POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Architettura per il Progetto Sostenibile (LM-4)

Tesi di Laurea Magistrale

Il Design for Deconstruction per l'architettura circolare.
Applicabilità di un processo innovativo

Relatore:
Prof. Guido Callegari

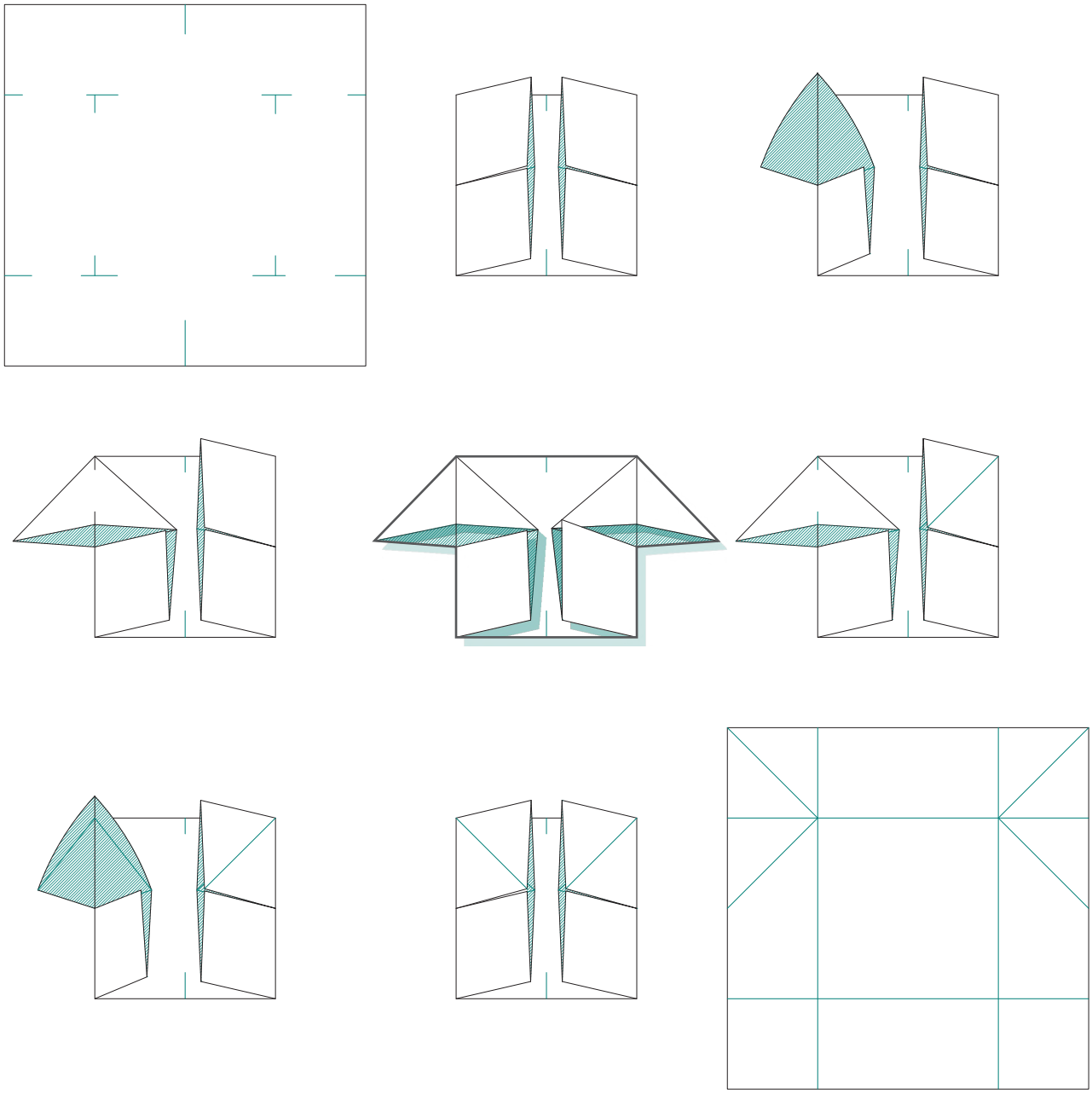
Co-relatore:
Prof. Paolo Simeone

Candidate:
Ilaria Saba | s288352
Marta Sobrero | s284919

Anno Accademico 2021/2022

Il Design for Deconstruction per l'architettura circolare.

Applicabilità di un processo innovativo



Ilaria Saba | Marta Sobrero

2021/2022

A sviluppi futuri

ABSTRACT

| ITA

Le sfide che, oggi, il mondo delle costruzioni deve affrontare sono legate a una storia di consumi rispetto ai quali si deve intervenire tramite delle strategie di *mitigazione* ed *adattamento*. Il settore delle costruzioni gioca un ruolo cruciale nell'aiutare questa causa.
Se da una parte, si sta vivendo un avanzamento tecnologico del settore, dall'altra, si può osservare come questa innovazione non trovi sempre le condizioni più favorevoli alla sua applicazione. In questo contesto, il *Building Information Modelling* diventa uno degli strumenti alleati della sostenibilità del progetto.
Osservando le tendenze attuali, possiamo notare che l'attenzione maggiore è rivolta, in termini di sostenibilità, alle fasi di costruzione e di uso degli edifici. Manca, però, un'attenzione altrettanto forte alla progettazione del fine vita, altro aspetto rilevante per la sostenibilità.
Il seguente lavoro ha come obiettivo quello di aprire un dibattito relativo al tema del *Design for Deconstruction*, un nuovo approccio alla progettazione, nel quale si tiene in considerazione l'intero ciclo di vita dell'edificio, che diventa circolare.

Si aprono degli interrogativi relativi all'effettiva convenienza nell'adottare tale metodo di progettazione. In tal senso, l'esplorazione di questi temi passerà, nel presente elaborato, per l'analisi dei principali casi studio localizzati sul territorio nazionale, europeo ed internazionale, individuando, in tal modo, i caratteri di innovazione e le condizioni al contorno che determinano un differente approccio al sistema.
Inoltre, un contributo a tale analisi teorica, verrà offerto dai differenti pareri di diversi professionisti del settore, che si avvicinano al tema tramite diversi approcci specialistici.

| ENG

The challenges that the construction world has to face today are linked to a history of consumption against which action must be taken through *mitigation* and *adaptation* strategies. The construction sector plays a crucial role in helping this cause.
If on the one hand, there is a technological advancement in the sector, on the other, it can be observed that this innovation does not always find the most suitable conditions for its application. In this context, *Building Information Modeling* becomes one of the main instruments to achieve sustainability.
Observing current trends, much more attention is paid, in terms of sustainability, to the construction and use phases of buildings. However, there is no equally strong attention to designing the phase of *end-of-life,* which is another important aspect for sustainability.
The following objective is to open a work related to the theme of *Design for Deconstruction*, a new approach to design, in which the entire life cycle of the building is taken into account, which becomes circular.

Questions arise relating to the actual convenience in adopting this *design* method. In this context, the exploration of these themes will pass, in this paper, to the analysis of the main *case studies* located on the National, European and International territory, thus identifying the characteristics of innovation and the surrounding conditions that determine a different approach to the system.
Furthermore, a contribution to this theoretical analysis will be offered by the different opinions of various professionals in the field, who approach the topic through different specialist approaches.

GLOSSARIO

Accessibility
The ability to allow for easy access to building components for Deconstruction, refurbishment, replacement, or upgrade.

Assembly
An arrangement of more than one material or component to serve specific overall purposes.

Building fabric
All construction works that are fixed to the building in a permanent manner, so that the dismantling or replacement of the product constitute construction operations.

Building component
Construction product manufactured as a distinct unit to serve a specific function or functions.

Deconstruction
A process of selectively and systematically dismantling buildings to reduce the amount of waste created and generate a supply of high value secondary materials that are suitable for reuse and recycling.

Deconstruction
The taking apart of a constituent element of a building or assembly at the end of its useful life in such a way that allows components and parts to be re-used, recycled or recovered.

In-use condition
Any circumstance that can impact the performance of a building or assembled system under normal use.

Life cycle inventory analysis
Phase of a life cycle assessment involving the compilation and quantification of inputs and outputs for product throughout its life cycle.

Material separation
Operation to separate materials, including mechanical, chemical or thermal processes (e.g. shredding, smelting, sorting etc.) other than dismantling or Deconstruction.

Recovery
Any operation by which waste serving a useful purpose by replacing other materials, which would otherwise have been used to fulfil a particular function, or waste being prepared to fulfil that function, in a plant or in the wider economy.

Recycling
Any recovery operation by which waste materials are reprocessed into products, materials or substances whether for the original or other purposes.

Reuse
Operation by which a product, or a part thereof, having reached the end of one use stage is used again for the same purpose for which it was conceived.

Recyclability
Ability of waste product to be recycled, based on actual practices. Scenario Collection of assumptions and information concerning an expected sequence of possible future events.

Selective demolition
Removal of materials from a demolition site in a pre-defined sequence in order to maximize recovery and recycling performance.

Commissione Europea, *Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction*, 2021

ACRONIMI

ACRONIMO	Definizione
AEC	Architectural Engineering and Construction
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
BEDA	Building Element Deconstruction Analytics
BIM	Building Information Modelling
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment method
BWLPA	Building Whole Life Performance Analytics
CAM	Criteri Ambientali Minimi
C2CPII	Cradle to Cradle Products Innovation Institute
CDEW	Construction, Demolition and Excavation Waste
D-DAS	Deconstruction and Deconstruction Analytics System
DDAXML	Deconstruction and Deconstruction Analytics XML
DEM	Digital Elevation Models
DfA	Design for Assembly
DfDA	Design for Deconstruction Advisor
DfD	Design for Deconstruction
DfE	Design for Environment
DfM	Design for Manufacture
DfMA	Design for Manufacture & Assembly
DfSS	Design for Six Sigma
DGNB	German Sustainable Building Council
DoW	Designing out Waste
DSM	Digital Surface Model

DTM	Digital Terrain Models
EC3	Embodied Carbon in Construction Calculator
EPA	Environmental Protection Agency
EPD	Environmental Product Declaration
FSC	Forest Stewardship Council
GHG	Greenhouse Gases
HVAC	Heating, Ventilating, and Air Conditioning
IPCC	Intergovernamental Panel on Climate Change
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
LCA	Life Cycle Assessment
LCSA	Life Cycle Sustainability Assessment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LiDAR	Light Detection and Ranging
MEP	Mechanical, Electrical, and Plumbing
MMC	Modern Methods of Construction
MPS	Materie Prime Seconde
PA	Pre-Deconstruction Analytics
PDA	Pre-Deconstruction Audit
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
SAL	Stato Avanzamento Lavori
VDC	Virtual Design Construction
VR	Virtual Reality
WAAM	Wire Arc Additive Manufacturing

SOMMARIO

Glossario 8

Acronimi 10

INTRODUZIONE 16

01 **LA QUESTIONE CLIMATICA** 22

1.1 | Le conferenze delle parti 25

1.2 | In Europa e nel mondo 31

1.3 | La situazione italiana 35

02 **LE NUOVE ESIGENZE** 38

2.1 | Da economia lineare a circolare 41

2.2 | Nuove necessità 47

2.3 | I nodi critici della circolarità 55
2.3.1 | Consumo delle risorse (non rinnovabili) 56
2.3.2 | Le emissioni 57
2.3.3 | Il consumo del suolo 58
2.3.4 | Construction, Demolition and Excavation Waste (CDEW) 59

2.4 | Approfondimento: Life Cycle Assessment Methodology (LCA) 61

03 **L'INDUSTRIALIZZAZIONE DELL'EDILIZIA VERSO LA CIRCOLARITÀ** 64

3.1 | Dal sistema statico al sistema dinamico 67

3.2 | Panoramica sull'industrializzazione 71
3.2.1 | Rivoluzione Industriale 1.0 72
3.2.2 | Rivoluzione Industriale 2.0 74

3.2.3 | Rivoluzione Industriale 3.0 74
3.2.4 | Rivoluzione Industriale 4.0 76
3.2.4.1 | Il ruolo del BIM nel settore delle costruzioni 78
3.2.4.1.1 | Applicazione del BIM al MEP System 79
3.2.4.1.2 | Il modello cinese IDEF0 84

3.3 | Architectural Engineering and Construction (AEC) 89
3.3.1 | Le tendenze dell'AEC 91
3.3.1.1 | Digital Twins 91
3.3.1.2 | Artificial Intelligence (AI) 93
3.3.1.3 | Iperautomazione 95
3.3.1.4 | AR/VR 96
3.3.1.5 | Stampa 3D 97
3.3.1.6 | Big Data 100
3.3.1.7 | LiDAR 101

3.4 | Modern Methods of Construction (MMC) 105

DESIGN FOR DECONSTRUCION (DFD) **114**

04

4.1 | I presupposti del Design for Deconstruction 117

4.2 | Design for Deconstruction (DfD) 127

4.3 | I principi del Design for Deconstruction 131

4.4 | Altri approcci alla progettazione legati al DfD 137
4.4.1 | Modular Grid Design 138

4.5 | La teoria dei livelli 147
4.5.1 | Livelli di controllo 148
4.5.2 | Livelli funzionali 150
4.5.3 | Livelli di composizione tecnica 151

4.6 | DfD e normativa 159
4.6.1 | Environmental Assessment Methods 160
4.6.1.1 | BREEAM 160
4.6.1.2 | The Code for Sustainable Homes 162
4.6.1.3 | LEED 162
4.6.1.4 | DGNB 163
4.6.1.5 | GREEN STAR 164

05 **APPLICABILITÀ DEL SISTEMA** 168

5.1 | Fattibilità della decostruzione e ciò che la influenza 171
5.1.1 | Fattori fisici 171
5.1.2 | Fattori economici 172

5.2 | BIM integrated tools 175
5.2.1 | I software per la decostruzione 176
5.2.1.1 | Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) 176
5.2.1.2 | RecyclingGraph 183
5.2.1.3 | Urban Mining Scan - applicazione sull'esistente 185
5.2.2 | I software per il calcolo dell'Embodied Carbon 186
5.2.2.1 | TALLY: Autodesk Revit plug-in 188
5.2.2.2 |ONE CLICK: Autodesk Revit plug-in 190

06 **CASI STUDIO** 194

6.0 | Planisfero. Geografia della decostruibilità 198

6.1 | Casi studio in Europa Mediterranea 203
6.1.1 | Iperceramica Headquarters, 2020 (IT) 211
6.1.2 | Rigot Collective Dwelling Center, 2019 (CH) 227
6.1.3 | Wooden Nursery, 2020 (FR) 247
6.1.4 | Woodcube, 2013 (D) 261
6.1.5 | Altri 278

6.2 | Casi studio in Nord Europa 289
6.2.1 | Building D(emountable), 2019 (NL) 299
6.2.2 | Temporary Courthouse, 2016 (NL) 321
6.2.3 | The Green House, 2018 (NL) 339
6.2.4 | Altri 352

6.3 | Casi studio in America 363
6.3.1 | NASA Sustainability Base, 2012 (CA) 369
6.3.2 | CO|LAB, 2019 (VA) 385
6.3.3 | Altri 402

6.4 | Casi studio in Giappone 411
6.4.1 | Archery Hall & Boxing Club, 2013 (JP) 417
6.4.2 | Nest We Grow, 2014 (JP) 431
6.4.3 | Altri 444

INTERVISTE **452**

7.1 | PROGETTO (JP). Kengo Kuma & Associates 455

7.2 | PROGETTO (IT). Mario Cucinella Architects 463

7.3 | RICERCA (IT). Ing. Menapace Stefano 473

LE LIMITAZIONI DEL SISTEMA **484**

8.1 | Perchè il DfD non viene applicato in modo diffuso? 487
8.1.1 | La decostruzione compromette la sicurezza in cantiere? 488
8.1.2 | Ricertificazione dei materiali per il riutilizzo strutturale 489
8.1.3 | Considerazioni economiche 490
8.1.4 | Limitazioni nel quadro normativo 490
8.1.5 | Strumenti tecnologici 491
8.1.6 | Disponibilità di piattaforme per lo scambio della MPS 492
8.1.7 | Barriere culturali della progettazione 493
8.1.8 | Idoneità di specifiche tipologie edilizie 493

8.2 | Deconstruction vs. Demolition 497
8.2.1 | La decostruzione selettiva 498

CONCLUSIONI **504**

07

08

Bibliografia e sitografia alla fine di ogni capitolo

INTRODUZIONE

Premesse

Le sfide che deve affrontare oggi il mondo delle costruzioni sono legate a una storia di consumi, sia in termini di risorse, sia in termini di suolo, con le quali, rispetto alla condizione attuale, si deve intervenire tramite delle strategie di *mitigazione ed adattamento*.

A livello europeo e mondiale, l'obiettivo comune è quello di rendere le attività antropiche meno impattanti per l'ambiente.

Rispetto all'obiettivo stabilito con la COP26 del 2021, di limitare l'incremento di temperatura a +1,5 °C rispetto all'era preindustriale entro il 2100, il settore delle costruzioni ha un ruolo cruciale nell'aiutare questa causa.

Ad oggi, infatti, la produzione di materiali che richiedono processi produttivi ad alte temperature e un consumo massiccio di risorse non rinnovabili, come cemento e calcestruzzo, è ancora molto elevata. Il settore delle costruzioni è, appunto, responsabile dell'emissione del 39% di CO_2: risulta necessario, quindi, intervenire per invertire questa tendenza.

La produzione massiva di rifiuti è un'ulteriore conseguenza. Il settore delle costruzioni fa un uso intensivo delle risorse naturali generando forti impatti sul territorio e un progressivo impoverimento della materia prima, che non è illimitata.

I numeri parlano chiaro: in Italia, rispetto al totale dei rifiuti del Paese, dal rapporto dell'Associazione Nazionale Produttori di Aggregati Riciclati (ANPAR) emerge che il 40% deriva da interventi di costruzione e demolizione, di cui il 10% è costituito da rifiuti pericolosi. Si parla di un'elevata quantità di rifiuti, pari a 4 milioni di tonnellate prodotte ogni anno, di cui il 90% potrebbe essere sfruttato come risorsa nel settore delle costruzioni e a maggior ragione nell'industria dei componenti edili, riducendo così importanti impatti ambientali e allo stesso tempo riattivando l'economia del settore.

Come dichiara Thomas Miorin, fondatore di Rebuild e presidente di Re-Lab, in occasione della manifestazione di Rebuild del 2016, "serve un nuovo processo produttivo, che sia industriale, che faccia propri i parametri economici dell'efficienza e del costo, che faccia leva sul parametro dell'energia, sull'aumento dell'intensità d'uso dei beni e soprattutto sull'economia di scala, sull'economia di varietà e sul flusso continuo delle informazioni in tutto il processo".

Insomma, l'edilizia italiana sta cambiando in profondità e occorre puntare, in tutte le fasi della produzione, dall'ingegnerizzazione, all'assemblaggio, alla finitura e alla gestione post vendita, all'efficientamento dell'intero sistema: i margini ci sono e sono ampi, stando a quello che è stato detto a Rebuild.

La scarsità di linee guida, a livello europeo e italiano, che forniscano delle alternative

circolari ugualmente convenienti, anche a livello economico, fa sì che nel settore delle costruzioni si verifichi una situazione di stallo. Se da una parte, si sta vivendo un avanzamento tecnologico del settore, in quella che conosciamo come la Rivoluzione Industriale 4.0, dall'altra, si può osservare come questa innovazione non trovi sempre le condizioni più favorevoli alla sua applicazione.
Secondo un'indagine datata 2015 della *Ellen MacArthur Foundation*, un'autorità nel campo dell'economia circolare, il 10-15% del materiale viene sprecato durante la fase di costruzione, mentre tra i materiali di scarto della demolizione, ben il 54% finisce in discarica.
Riprendendo le parole di David Chesire, regional director di Aecom, multinazionale anglosassone e leader mondiale nella progettazione e costruzione di opere di ingegneria, in occasione della manifestazione promossa da Rebuild, "dobbiamo pensare di progettare a strati, minimizzare gli sprechi, selezionare materiali e componenti, costruire tenendo presenti i processi di disassemblaggio e l'adattabilità. Lo scarto deve essere ridefinito come una risorsa di valore e gli edifici devono diventare delle banche di materiali per le future generazioni. Possiamo raggiungere questo obiettivo creando costruzioni che possano essere smontate, in parte o completamente, per poter riusare i diversi componenti, recuperare i materiali e ricostruire gli interi edifici in un altro luogo".

I temi trattati

L'elaborato, dunque, percorre un excursus nel quale si toccano le tappe dell'avanzamento tecnologico nel settore delle costruzioni, dove la tecnologia diventa uno strumento di supporto alla circolarità dell'edilizia stessa. Su questa linea, il lavoro seguente tratta una serie di tendenze progettuali e costruttive che mettono in pratica la volontà di rendere i processi edilizi più sostenibili.
Tali tendenze rientrano all'interno della macro-categoria del *Design for Environment*, con cui si identifica comunemente un sistema di strategie progettuali atte a controllare un prodotto, un processo o un servizio, migliorandone la compatibilità ambientale.
Questo cambiamento di tendenza, nell'ambito dell'edilizia, ha potuto attuarsi a livello informatico, grazie all'applicazione dell'integrazione delle competenze specialistiche: questo si traduce nella tecnologia BIM (*Building Information Modelling*), che diventa uno dei principali alleati della sostenibilità ambientale ed economica del progetto.
Grazie alla tecnologia BIM, siamo in grado di progettare, coordinare, testare, analizzare e risolvere qualsiasi potenziale problema, all'interno di un modello digitale virtuale del progetto di costruzione, prima che qualsiasi lavoro fisico debba essere eseguito; possiamo calcolare le quantità e i costi, e persino i programmi di approvvigionamento, prima che il processo abbia inizio nel cantiere; possiamo testare e analizzare le prestazioni dei futuri ambienti edilizi, tenendo conto dell'occupazione, del movimento delle persone, dei sistemi di trattamento dell'aria ecc., in questi modelli digitali; possiamo pianificare le operazioni future e

la manutenzione di questi futuri ambienti edilizi.
Rispetto a quanto detto finora, osservando le tendenze attuali, possiamo osservare che l'attenzione maggiore è rivolta, in termini di sostenibilità, alle fasi di costruzione e di uso degli edifici. Manca, però, un'attenzione altrettanto forte alla sostenibilità del fine vita, fase nella quale si ha la produzione più massiva di rifiuti, molto spesso non riutilizzabili. Di conseguenza, questo lavoro ha come obiettivo quello di creare un inquadramento relativo al tema del *Design for Deconstruction* (DfD), che può essere interpretato come un nuovo approccio alla progettazione, nel quale si tiene in considerazione l'intero ciclo di vita dell'edificio, che diventa circolare.
Con il *Design for Deconstruction* si va oltre la fase di scelta dei materiali, includendo nuovi principi di studio: l'innovazione delle tecniche di smontaggio, la riciclabilità del *design*, il suo impatto futuro sull'ambiente e come sarà d'aiuto alle generazioni future. Questo approccio è ad oggi possibile grazie all'evoluzione dei sistemi informatici, che consentono di controllare nel minimo dettaglio la geometria e la localizzazione dei singoli componenti, al fine di attuare una *costruzione al contrario* una volta che l'edificio abbia concluso la sua fase di utilizzo.
La circolarità di una progettazione volta allo smontaggio sta nella possibilità di disassemblare le componenti senza che la struttura subisca delle alterazioni e, contemporaneamente, nella possibilità di reimpiego delle stesse componenti in altre strutture. Cambia anche il concetto di edificio durevole nel tempo. Gli architetti e gli ingegneri del passato progettavano e realizzavano le loro creazioni con una vita utile fissata, pari a circa 50 anni per edifici residenziali e 100 anni per edifici industriali, ma con un *end of life* critico, che prevedeva unicamente il conferimento in discarica delle diverse parti.
Con il DfD si passa a edifici che possono rivivere più vite, diventando pilastri e solai per future strutture ancora non ideate. L'edificio diviene una banca di materiali che possono essere recuperati e reintegrati, limitando, di conseguenza, l'estrazione e i vari processi di raffinazione delle materie vergini.

Gli obiettivi della trattazione

Il contributo analitico di questo lavoro è quello di cercare di capire quali siano le condizioni che permettono l'applicazione di tali principi teorici, nella realtà pratica di piccole aziende o di studi di progettazione comunemente distribuiti sul territorio nazionale e non. Si aprono degli interrogativi relativi all'effettiva convenienza nell'adottare tale metodo di progettazione, spaziando dall'ambito economico, all'ambito della sicurezza in cantiere, fino alla disponibilità di personale competente nel campo.

Metodologia di analisi

Una tematica in corso di sviluppo e di trasformazione, come l'innovazione tecnologica rispetto alla smontabilità delle componenti edilizie, risulta essere, ad oggi, scarsamente trattata in letteratura.
Di conseguenza, si è praticata tale analisi grazie a riferimenti bibliografici consistenti principalmente in articoli di ricerca e pubblicazioni scientifiche.

La ricerca affrontata nei primi capitoli, dove si sono approfonditi temi quali gli strumenti tecnologici a disposizione, l'avanzamento tecnologico degli ultimi anni e le varie soluzioni possibili in tema di circolarità, ha trovato successivamente conferma nell'analisi di diversi casi studio relativi agli ultimi due decenni.
Questi ultimi, localizzati in quattro distinte macroaree geografiche, sono stati analizzati non solo da un punto di vista delle scelte tecnologiche, ma anche nell'osservazione delle condizioni che hanno portato all'adozione delle stesse: culturali, normative, sociali ed economiche. L'analisi di queste profonde differenze, principalmente culturali e normative, ha determinato l'individuazione di quattro ambiti: Europa Mediterranea, Nord Europa, America e Giappone.
Volendo approfondire l'analisi sperimentale iniziata con l'esame dei casi studio, l'obiettivo successivo è stato quello di cercare un confronto diretto con alcuni personaggi di rilievo nel campo, sia progettisti che ricercatori. Un'opportunità fondamentale per lo sviluppo di questo lavoro è stata la possibilità di dialogare con due progettisti di casi studio da noi analizzati: Mario Cucinella per l'Italia e Kengo Kuma per il Giappone; nell'ambito della ricerca, rispetto ai temi dell'innovazione tecnologica, abbiamo, invece, potuto raccogliere il parere dell'ingegnere Stefano Menapace, ricercatore in questo campo.
Di conseguenza, questo lavoro di tesi è in parte figlio di quanto si può trarre dalla letteratura, ma, in buona parte, di un'osservazione di quanto effettivamente succede nella pratica professionale.

Si tratta, quindi, di un'analisi esplorativa, nella quale l'obiettivo è stato quello di individuare la possibile corrispondenza tra la definizione teorica e l'applicazione pratica del sistema. L'indagine di quanto è stato realizzato finora ha rappresentato il punto di partenza per un'analisi critica di questo approccio, valutando se si tratti di una strada effettivamente conveniente dal punto di vista ambientale o di una forma di ambientalismo di facciata.
Rispetto alla situazione attuale, ciò che possiamo aspettarci è che il mondo dell'edilizia, nei decenni a venire, continuerà ad evolversi, diventando più circolare e meno sedentario.

"Questo in realtà non è un edificio temporaneo, è un edificio permanente con una funzione temporanea e una posizione mutevole"

Menno Rubbens,
architetto e sviluppatore di progetti presso Cepezed projects

LA QUESTIONE CLIMATICA

© Daniel Oberg

01

1.1 | Le conferenze delle parti

1.2 | In Europa e nel mondo

1.3 | La situazione italiana

1.1 | Le conferenze delle parti

Ad oggi, uno dei temi di attualità di cui si tratta maggiormente è la questione climatica. Questa, come vedremo, ha un forte impatto su moltissimi settori produttivi. Uno dei principali comparti trainanti di questa crisi climatica è, purtroppo, quello dell'edilizia, che rimane ancora oggi ancorato a metodi poco innovativi.

Un punto cardine che sancisce una presa di posizione da parte delle comunità rispetto al problema ambientale è la nascita delle COP, le Conferenze delle Parti, che diventano un impegno annuale, durante il quale si fa il punto sulle azioni da intraprendere per fermare il cambiamento climatico.

Le COP nascono dalla Convenzione Quadro sul cambiamento climatico delle Nazioni Unite, firmata da 154 Nazioni nel 1992, al Summit della Terra di Rio de Janeiro, che arrivava due anni dopo il primo rapporto dell'IPCC (*Intergovernamental Panel on Climate Change*) sul cambiamento climatico, con il quale la comunità scientifica forniva le evidenze di un cambiamento climatico in atto e del ruolo giocato dalle attività umane.

Si riconoscono come principali fattori determinanti i gas effetto serra $(GHG)_3$, prodotti dalle attività antropiche.

Come riportato nell'articolo scientifico *P. Friedlingstein et al. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data, 11, 1783-1838-2019*, in epoca preindustriale si registrava una concentrazione in atmosfera di gas effetto serra pari a 277 ppm circa; avvicinandoci al 2020, osserviamo un aumento con il quale ci si avvicina ai

407-410 ppm.
Quando parliamo di impatto di un processo produttivo, di un individuo o di un gruppo, ci riferiamo al concetto di *embodied carbon*: ciò consiste in un bilancio dell'anidride carbonica equivalente emessa. Si parla di anidride carbonica equivalente in relazione alle emissioni di tutti i gas a effetto serra, normalizzati rispetto all'effetto della CO_2, essendo, questo, il *gas killer* maggiormente presente in termini di concentrazione in atmosfera.
All'interno del protocollo di Kyoto, redatto nel 1997 ed entrato in vigore solo nel 2005, vengono classificati come *gas killer*: biossido di carbonio (CO_2); metano (CH_4); protossido di azoto (N_2O); idrofluorocarburi (HFC); perfluorocarburi (PFC); esafluoro di zolfo (SF_6).
Citando James N. Rosenau, scienziato politico americano, la sostenibilità è difficilmente classificabile come forza globalizzante, perché cade tra frammentazione e integrazione. La necessità della preservazione dell'ambiente è un valore largamente condiviso, ma che si scontra con la frammentarietà e le contraddizioni delle politiche.
Ne è una dimostrazione ciò che seguì all'apertura della COP3 di Kyoto, nel 1997, nella quale si iniziò ad introdurre i primi impegni vincolanti che i vari Paesi firmatari avrebbero dovuto rispettare, per ottenere un risultato concreto. Fu difficile, fin da principio, coinvolgere gli Stati Uniti, principali produttori di gas effetto serra.
Con la COP21 di Parigi del 2015, si vuole arrivare a un nuovo accordo internazionale il più possibile inclusivo e vincolante: le parole chiave sono *mitigazione* e *adattamento*.
L'obiettivo è quello di limitare l'aumento di temperatura, entro il 2100, a +2 °C, avendo come punto zero l'epoca preindustriale.
Dopo 3 anni dalla firma degli accordi da parte del presidente Barack Obama, inizia il ritiro ufficiale degli Stati Uniti con la presidenza Trump.

"Gli Stati Uniti cominceranno a negoziare un nuovo accordo sul clima", ha detto Trump. "Vogliamo un accordo che sia giusto. Se ci riusciremo benissimo, altrimenti pazienza. Ci sarà quindi la fine dell'applicazione degli impegni di riduzione", continua, "e soprattutto dei versamenti al Fondo Verde per il clima che costa agli USA una fortuna".[1]
Gli USA tornano ufficialmente a far parte degli accordi sul clima grazie alla firma del presidente Joe Biden.
Con la COP26, che si è tenuta nel 2021 a Glasgow, si è trovato un accordo sulla necessità di ridurre del 45% le emissioni entro il 2030, riducendo, inoltre, l'incremento della temperatura fissato entro il 2100 a 1,5 °C, anziché 2 °C.
Gli obiettivi principali che sono stati fissati in agenda sono:

- La riduzione delle attività di deforestazione;
- Un aumento dell'efficienza dei veicoli elettrici;
- Maggiori investimenti nel campo del rinnovabile;

1 G. GAGLIARDI per la Repubblica, *Clima, Trump conferma l'uscita degli Usa dagli accordi di Parigi. Obama: "Così si rifiuta il futuro"*, 2017

- Una riduzione della dipendenza dai combustibili fossili.[2]

Anche in questo caso, non mancano le contraddizioni: si parla di fine dell'età del carbone; nonostante ciò, si contano ad oggi 390 nuovi progetti di centrali carbonifere, la cui costruzione è prevista per il prossimo futuro. La maggior parte saranno realizzate tra Indonesia, Cina, India e Vietnam.[3]

I termini architettura bioclimatica, bioarchitettura e bioedilizia o edilizia sostenibile vengono spesso utilizzati come sinonimi, ma non esiste una definizione univocamente condivisa. Li accomuna una modalità di progettazione architettonica basata sui principi dell'equilibrio estetico e dell'armonia, della salute, della tutela dell'ambiente, della sicurezza e del risparmio energetico.

L'*Architettura Bioclimatica* è lo studio delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni dei sistemi tecnologici che rispondono maggiormente alle caratteristiche ambientali e climatiche del sito e che consentono di raggiungere condizioni di benessere all'interno degli edifici.

Nasce come traduzione del termine tedesco *bau biologie* utilizzato dall'Istituto Indipendente di Ricerca fondato nel 1976 a Neubern (Germania) a sostegno di un costruire biologico.

Il termine viene frequentemente utilizzato per indicare materiali, processi e metodi edilizi rispettosi della salute degli abitanti, possibilmente di origine naturale e a basso impatto ambientale. L'accento si sposta dall'oggetto costruito, all'uomo che lo abita, alle condizioni di benessere psico-fisico delle persone in rapporto alle abitazioni e ai siti di fabbrica.

La sostenibilità edilizia può essere delineata attraverso dieci principi guida:

1. Ricercare uno sviluppo armonioso e sostenibile del territorio, dell'ambiente urbano e dell'intervento edilizio;
2. Tutelare l'identità storica delle città e favorire il mantenimento dei caratteri storici e tipologici legati alla tradizione degli edifici;
3. Contribuire, con azioni e misure, al risparmio energetico e all'utilizzo di fonti rinnovabili;
4. Costruire in modo sicuro e salubre;
5. Ricercare e applicare tecnologie edilizie sostenibili sotto il profilo ambientale, economico e sociale;
6. Utilizzare materiali di qualità certificata ed eco-compatibili;
7. Progettare soluzioni differenziate per rispondere alle diverse richieste di qualità dell'abitare;
8. Garantire gli aspetti di *safety* e di *security* dell'edificio;
9. Applicare la domotica per lo sviluppo di una nuova qualità dell'abitare;
10. Promuovere la formazione professionale, la progettazione partecipata e l'assunzione di scelte consapevoli nell'attività edilizia.

2 P. Buatier per Tripinyourshoes, *COP26: tra questione ambientale e strategie politiche*, 2021

3 ivi

Un intervento concreto è necessario anche nel campo delle costruzioni, che pesa per il 29% ca. sul consumo annuo totale di energia, prodotta principalmente da risorse a contenuto energetico non rinnovabili, di origine fossile.
La sensibilità sulla tematica si sta facendo sempre più forte negli ultimi anni e il problema viene sottolineato dall'associazione no profit *Global Footprint Network*, che dal 1972 calcola il numero di giorni dell'anno in cui la biocapacità terrestre riesce a provvedere all'impronta ecologica umana. Il debito naturale che provocano i principali settori industriali è sempre più marcato, arrivando, nel 2021, ad essere in deficit già al 29 luglio.
Se non si attuano delle strategie imminenti, l'*Earth Overshoot Day*[4] sarà sempre più vicino.

4 Earth Overshoot Day (in italiano il giorno del Superamento Terrestre, del sovrasfruttamento della Terra o dello sforamento) indica a livello illustrativo il giorno nel quale l'umanità consuma interamente le risorse prodotte dal pianeta nell'intero anno.

© Christian Wiedige

1.2 | IN EUROPA E NEL MONDO

Se osserviamo più da vicino la situazione europea, il primo aspetto da tenere in considerazione è la crescita incontrollata in ambito edilizio che si poté osservare tra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento.
Con il *Piano Marshall*, annunciato ufficialmente nel 1947 come piano per la ripresa economica dei Paesi duramente colpiti dalla guerra, si ebbe un boom edilizio che portò all'edificazione a tappeto delle città italiane.
La popolazione delle principali città industriali del Nord Italia raddoppiò, con un abbandono dei territori del Mezzogiorno dedicati, invece, maggiormente all'agricoltura.
Questo ha portato a una situazione attuale nella quale, in campo edilizio e di sostenibilità, la questione saliente non è la nuova costruzione, ma la riqualificazione. L'attività di costruzione edilizia, che caratterizzò il periodo del boom economico, fu infatti fondata sulla quantità, piuttosto che sulla qualità: ereditiamo, quindi, oggi, un territorio quasi completamente edificato, perlopiù irreversibilmente; un patrimonio edilizio energeticamente poco funzionale, che comporta dispendi energetici molto elevati.
Un primo momento nel quale si iniziò, per questioni economiche, a porre l'attenzione sulla necessità di limitare la dipendenza europea dalle fonti energetiche fossili fu il 1973, anno della prima crisi energetica. La guerra dello Yom Kippur determinò conseguenze durissime per i paesi occidentali: i paesi dell'OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*), in sostegno a Siria ed Egitto, decisero un

forte aumento del prezzo del petrolio a livello globale e la diminuzione del 25% delle esportazioni, oltre a un embargo nei confronti dei Paesi maggiormente filoisraeliani. Nel 1979, con la seconda crisi energetica, il prezzo del greggio al barile passò da 12 a 35 dollari.

La prima legge sull'efficientamento energetico risale al 2002.

Il tema ambiente non può però, ad oggi, in una società globalizzata, essere ridotto a quelli che al tempo della guerra dello Yom Kippur erano i Paesi civilizzati dell'Occidente.

Durante il XX secolo, l'ascesa delle economie industrializzate ha registrato un incremento esponenziale nell'estrazione di risorse non rinnovabili: dalla ghiaia per l'edilizia, alle risorse minerarie; dai metalli di base, a quelli preziosi, fino ai combustibili fossili.

Un rapidissimo aumento della produzione globale si è avuto dal 2000, ed è stato causato soprattutto dall'accelerazione della crescita economica nelle economie emergenti di Asia e America Latina. Un lieve segno della recessione globale del 2009 ha rallentato, ma purtroppo non certo invertito, l'uso delle fonti non rinnovabili, il cui ritmo di estrazione è aumentato nuovamente con la ripresa della produzione economica globale, già dal 2010.

Oggi, in Asia e America Latina, in cui si sta vivendo una fase di industrializzazione molto accelerata, la costruzione di strade, edifici, sistemi fognari, aeroporti, reti elettriche, canali per l'irrigazione, ferrovie e tutta una serie di altre infrastrutture richiedono volumi significativi di energia, di risorse minerarie, di metalli, e altre risorse non rinnovabili. L'aumento della domanda è veramente importante.

Come ricordano gli analisti del *McKinsey Global Institute*, la Cina e l'India "stanno attraversando un'accelerazione economica circa 10 volte superiore alla Rivoluzione Industriale e di una portata 100 volte maggiore" a causa delle loro popolazioni assai più vaste, "il che genera una forza economica 1.000 volte più potente".[5]

Nonostante la corsa alla domanda di risorse, le nazioni industrializzate continuano a produrre economie basate sull'usa e getta.

In definitiva, facendo un bilancio, possiamo dire che, se a una rapida espansione delle economie emergenti continuerà a corrispondere la tendenza dei Paesi industrializzati ad usare gli oggetti una sola volta prima di scartarli, sarà difficile che la disponibilità di risorse garantisca la sua sopravvivenza nei prossimi decenni.

5 Yuval Atsom et al., *Winning the 30 Trillion of Dollars Decathlon: Going for Gold in Emerging Markets*, McKinsey Quarterly, agosto 2012

© Michele Bitetto

1.3 | LA SITUAZIONE ITALIANA

L'Italia è da anni attiva a livello internazionale in ambito di ricerca e azioni nel campo della circolarità.

Durante la Presidenza del G7 *Ambiente di Bologna* (11-12 giugno 2017), si è promossa l'adozione di un piano di lavoro per sviluppare azioni comuni in tema di efficienza delle risorse ed economia circolare. Riconoscendo infatti che 12 dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile fanno riferimento all'efficienza delle risorse e che, entro il 2030, tutti i Paesi sono chiamati a "raggiungere la gestione sostenibile e l'uso efficiente delle risorse naturali", i Ministri dell'Ambiente dei Paesi G7 hanno stabilito:

- Di condividere le metriche esistenti sull'uso efficiente delle risorse;
- Individuare le lacune nelle misurazioni e sviluppare possibili nuovi indicatori globali, locali e nazionali, inclusi quelli più promettenti in termini di potenziale riduzione dei GHG;
- Di condividere informazioni sulla gestione sostenibile dei materiali a livello internazionale;
- Di lavorare con le organizzazioni competenti per sviluppare un'analisi solida e credibile degli impatti macroeconomici dell'efficienza delle risorse;
- Di coinvolgere i cittadini ed in particolare i giovani nella transizione verso un'economia più circolare ed efficiente nell'uso delle risorse.[6]

L'Italia parte da una posizione di relativo vantaggio in termini di circolarità, anche a

6 Ministero della Transizione Ecologica, *Strategia nazionale per l'economia circolare: Linee Programmatiche per l'aggiornamento*, 2021

causa della storica scarsità di materie prime che ha indotto a incentivare il risparmio delle stesse e il recupero di rifiuti. Molto, tuttavia, resta da fare per compiere una vera e propria transizione verso la circolarità, lungo la strada indicata dall'Unione Europea, sia in termini di eco-progettazione, durabilità, riparabilità e condivisione dei prodotti, sia per quanto riguarda la riduzione dei rifiuti.
A partire dal documento di inquadramento e di posizionamento strategico *Verso un modello di economia circolare per l'Italia*, che nel 2017 ha rappresentato l'inquadramento generale e strategico del nostro Paese sul tema dell'economia circolare, ed in continuità con gli impegni adottati nell'ambito dell'Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici, in sede G20 e nell'Unione Europea, è emersa l'esigenza di aggiornare tale strategia, al fine di adeguarla alle evoluzioni del contesto internazionale, europeo e nazionale.

Il *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza* (PNRR) ha individuato tra le missioni più urgenti quella per l'economia circolare e l'agricoltura sostenibile.
In particolare, la missione sull'economia circolare ha come obiettivo il miglioramento del sistema della gestione dei rifiuti, con investimenti per l'ammodernamento e lo sviluppo di impianti di trattamento volti al recupero della materia, da localizzare principalmente al Centro-Sud. Ad oggi, infatti, il 70% degli impianti di trattamento dei rifiuti è localizzato al Nord.
Oltre a garantire un maggiore supporto da parte del MiTE (Ministero della Transizione Ecologica) a tutte quelle autorità locali che ne avranno necessità, il PNRR prevedere anche un'avanzata attività di monitoraggio, anche tramite droni e telerilevamento, degli smaltimenti illegali, spesso fonte di contaminazione del territorio.
Tra gli investimenti del PNRR, non sono inclusi impianti quali inceneritori e, ovviamente, discariche.
L'insieme di questi progetti andrà esteso avendo come orizzonte temporale il 2026, momento nel quale, idealmente, si dovrebbe ottenere un dimezzamento dei rifiuti plastici in mare, dei rifiuti urbani, e la riduzione del 30% delle microplastiche rilasciate nell'ambiente entro il 2030.

"Lo sviluppo dell'economia circolare deve riguardare tanto il miglioramento dell'efficienza nelle produzioni, quanto il cambiamento dei modelli di consumo.
È quindi necessario intervenire sulle tipologie e modalità di consumo e sui comportamenti dei consumatori, anche affrontando questioni generali come il concetto di benessere, i modelli culturali e l'etica.
La modifica dei comportamenti e delle scelte personali è un tema molto difficile da affrontare, perché ha a che fare con una molteplicità di sensibilità, bisogni, esigenze e desideri, priorità, abitudini, luoghi di vita, storie personali; tuttavia, non si può prescindere dalla necessità di fare acquisire maggiore consapevolezza alle persone, per meglio comprendere le ricadute che una determinata scelta di

acquisto o determinati comportamenti provocano sull'ambiente e sull'economia.
Al fine di acquisire maggiore consapevolezza, anche da parte dei produttori, potrebbe essere utile lo svolgimento di analisi mirate a comprendere meglio quanto e come i consumatori sono disposti a prediligere prodotti *ecosostenibili*.
Pertanto, è opportuno elaborare un *Piano nazionale di educazione e comunicazione ambientale*, declinato localmente che, partendo dalle scuole dell'obbligo fino ad arrivare alle famiglie, contribuisca a formare una generazione di cittadini critici, consapevoli e informati in grado di decidere consapevolmente e incidere con le loro scelte sui vari meccanismi economico-produttivi e sociali del paese." [7]

Nell'ambito delle scelte consapevoli, è noto che il MiTE emana da tempo i Criteri Ambientali Minimi, i cd. CAM. Essi promuovono lo sviluppo e la diffusione di tutte quelle soluzioni innovative nei materiali, nella progettazione dei prodotti e dei servizi che consentono la massima estensione della vita utile dei beni, il loro reinserimento nei cicli produttivi nella maniera più efficiente possibile, con minori sprechi e le minori esternalità, anche in relazione alla presenza e alle emissioni di sostanze pericolose e all'uso di energia.
Prescrivono, per esempio, un contenuto minimo di materia riciclata per diverse tipologie di prodotti o materiali, oppure una riduzione dell'uso di sostanze chimiche pericolose o, ancora, una riduzione della produzione di rifiuti.
I CAM costituiscono uno degli strumenti principali per lo sviluppo di vere e proprie filiere circolari.

7 Ministero della Transizione Ecologica, *Strategia nazionale per l'economia circolare: Linee Programmatiche per l'aggiornamento*, 2021

Fonti:

1. (Articolo online) G. GAGLIARDI per la Repubblica, *Clima, Trump conferma l'uscita degli Usa dagli accordi di Parigi. Obama: "Così si rifiuta il futuro"*, 2017 https://www.repubblica.it/ambiente/2017/06/01/news/usa_trump_clima_ambiente-167001939/
2. (Articolo online) R. CAPRITTI per Infobuildingenergia, *29 luglio: abbiamo finito le risorse rinnovabili*, 2021 https://www.infobuildenergia.it/29-luglio-abbiamo-finito-le-risorse-rinnovabili/
3. (Articolo) Yuval Atsom et al., *Winning the 30 Trillion of Dollars Decathlon: Going for Gold in Emerging Markets*, McKinsey Quarterly, agosto 2012
4. (Documento) MiTE, *Strategia Nazionale per l'Economia Circolare*, 2022 https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/SEC_21.06.22.pdf
5. (Articolo) G. BOLOGNA, *Il picco delle risorse non rinnovabili e il futuro dell'economia*, GreenReport.it https://greenreport.it/rubriche/il-picco-delle-risorse-non-rinnovabili-e-il-futuro-delleconomia/
6. (Documento) Ministero della Transizione Ecologica, *Strategia nazionale per l'economia circolare: Linee Programmatiche per l'aggiornamento*, 2021 https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/economia_circolare/SEC_30092021_1.pdf pag. 9, 25, 47-48

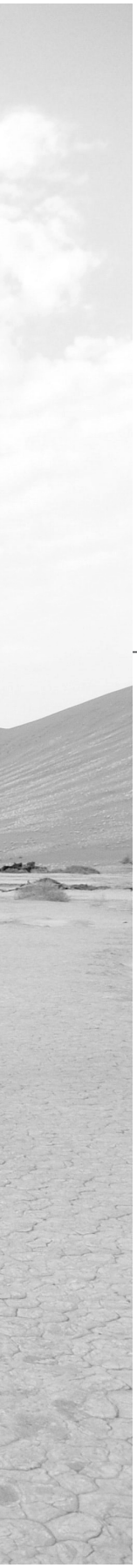
LE NUOVE ESIGENZE

© FJilbert Ebrahimi

MAIRIE DE PAR
NE DÉPOSEZ RIEN SUR LA VOIE PUBLIQUE
TRIEZ VOS DÉCHETS
UTILISEZ LE BAC APPROPRIÉ

02

© Peter Burdon



2.1 | DA ECONOMIA LINEARE A CIRCOLARE

Secondo la definizione della *Ellen MacArthur Foundation*[8], economia circolare "è un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola.
In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera".
Questo concetto si basa su tre principi fondamentali:

- Preservare e valorizzare il capitale naturale;
- Ottimizzare i rendimenti delle risorse;
- Ridurre al minimo i rischi del sistema e migliorarne l'efficacia.

8 Ellen MacArthur Foundation: organizzazione senza scopo di lucro che ogni anno offre sovvenzioni e investimenti relativi al programma sull'Economia circolare

Il flusso dei materiali nell'industria edile segue un andamento prevalentemente lineare, all'interno del quale e a causa del quale la materia prima si sta esaurendo. Questo flusso di materiali è spesso definito come unilateralmente lineare: si passa dall'estrazione delle materie prime, attraverso la produzione, l'assemblaggio, l'utilizzo, arrivando, alla fine, alla demolizione.
Questi sistemi prevedono un unico scenario di fine vita, ovvero la produzione di rifiuti e scarti derivanti dalla demolizione.
All'interno degli ecosistemi biologici, risulta essere totalmente assente la contrapposizione tra risorsa e rifiuto: il rifiuto di una componente dell'ecosistema diventa risorsa per un'altra.

ReSOLVE	Key Elements	Actions	Potential Impact
ReGenerate	• Regenerating, restoring natural capial; • Safeguarding, restoring and increasing the resilience of ecosystems; • Returning caluable biological nutrients safety to the biosphere.	• Regewable energy use; • Land restoration; • Resource recovery; • Renewable production system.	**Low**
Share	• Maximising asset utilisation; • Pooling the usage of assets; • Reusing assets.	• Residentual sharing / CO- Housing; • Parking charing; • Applicances / tool sharing; • Office sharing and hot-desking.	**Hight**
Optimise	• Optimising system performance; • Prolonging as asset's life; • Decreasing resource usage; • Implementing reverselongistics.	• Industrial processes; • Smart urban design; • Energy efficiency improvement; • Passive design.	**Medium**
Loop	• Keeping products and materials in cycles, prioritising inner loops; • Remanfacturing and refurbishing products and components; • Recycling materials.	• Modular and off-site construction; • Stage by stage demolition; • Material banks of demolition waste for remanufacturing; • Recycle demolition waste.	**High**
Virtualise	• Displacing resource use with virtual use; • DEplacing physical with virtual locations; • Delivering services remotery.	• Technological innovation; • Tele-working; • Virtualisation of products, processes; • Smart home, big data and connected appliances.	**Medium**
Exchange	• Selecting resources and technology wisely; • Replacing with renewable energy nad material sources; • Using alternative material inputs; • Repycling product-centric ones.	• Better performing materials; • Better performing technologies; • 3D printing.	**Medium**

(Tabella) © Ellen McArthur Foundation, *The Circular Economy in the Environment Report by ARUP*, September 2016. Rielaborazione a cura delle autrici

Idealmente, si può pensare a una trasformazione del processo industriale che lo porti ad essere il più vicino possibile all'andamento circolare dei processi naturali.
In un'economia circolare, l'obiettivo è massimizzare l'utilità dell'infrastruttura esistente: il prodotto di scarto di un sistema può essere utilizzato come input all'interno di un altro.
Perché questa tendenza si attui, è necessario ipotizzare più scenari di fine vita dei prodotti e delle componenti, che vadano oltre l'incenerimento e il conferimento in discarica.
Rispetto ad altri settori, gli edifici non funzionano tendenzialmente con la sequenza *take-make-dispose*.

La *Ellen McArthur Foundation* ha elaborato il framework *ReSOLVE*, riportato nella tabella della pagina precedente, per spiegare come l'economia circolare sia basata sulla nozione fondamentale che "i flussi di materiali possono essere divisi in due cicli interagenti tra loro: il ciclo delle risorse biologiche e il ciclo delle risorse tecnologiche".
Si spiega anche che, nonostante molti progetti possano implementare alcuni aspetti di circolarità, è molto difficile che esistano attualmente dei progetti che incorporino al loro interno tutte le caratteristiche necessarie per essere dichiarati completamente circolari.
Il framework *ReSOLVE* può essere applicato a prodotti, edifici, città, regioni e addirittura sistemi economici.
L'azione politica, a livello regionale e nazionale, può investire nella transizione tecnologica che punti verso la circolarità del comparto delle infrastrutture, incoraggiando la partecipazione dei diversi *stakeholders*.
Per citare un esempio, con il piano d'azione dell'UE per l'economia circolare, introdotto nel 2015, si è sottolineata una serie di azioni specifiche e di ostacoli rispetto alla transizione verso l'economia circolare.
"In linea con l'obiettivo dell'UE di neutralità climatica entro il 2050, previsto dal *Green Deal*, nel marzo 2020 la Commissione Europea ha proposto un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Tale piano è incentrato sulla prevenzione dei rifiuti e la loro gestione ottimale, e promuove, inoltre, la crescita, la competitività e la leadership globale dell'UE nel settore.
Nel voto del 9 febbraio 2021, il Parlamento Europeo ha richiesto norme più severe sul riciclo, con obiettivi vincolanti da raggiungere entro il 2030 per l'uso e il consumo di materiali.
[…] La circolarità e la sostenibilità devono essere integrate in tutte le fasi della catena del lavoro, per raggiungere un'economia completamente circolare: dalla progettazione alla produzione, fino al raggiungimento del consumatore.
Il piano d'azione della Commissione Europea ha stabilito sette aree chiave, essenziali per raggiungere un'economia circolare: plastica; tessile; rifiuti elettronici; cibo e acqua; imballaggi; batterie e veicoli; edifici e costruzioni.

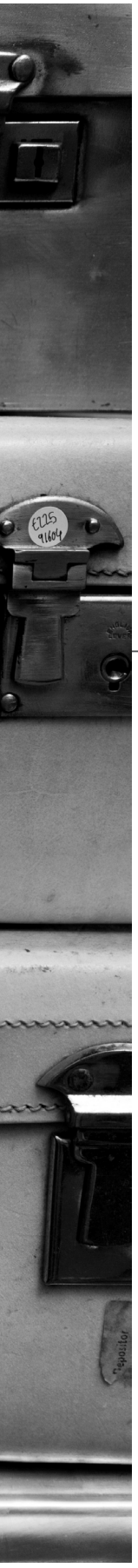
[…] L'industria edile è responsabile di oltre il 35% dei rifiuti totali dell'UE. I deputati hanno richiesto che la durata del ciclo di vita degli edifici venga prolungata, che vengano stabiliti degli obiettivi di riduzione dell'impronta di carbonio dei materiali, così come dei requisiti minimi sull'efficienza energetica e delle risorse."[9]

Oltre la metà della popolazione mondiale vive attualmente nelle città, una cifra che dovrebbe aumentare a due terzi entro il 2050. La nuova Agenda urbana delle Nazioni Unite sottolinea che l'urbanizzazione è una tendenza che pone profonde sfide in materia di sostenibilità. Dal punto di vista della sostenibilità climatica e delle transizioni energetiche, è fondamentale considerare che le città, come stima l'AIE[10], rappresentano quasi i due terzi della domanda globale di energia e il 70% delle emissioni di carbonio del settore energetico: un'impronta in continua crescita, che si aggiunge alle emissioni di altri settori.

9 Parlamento Europeo, Attualità, *Economia circolare: in che modo l'UE intende realizzarla entro il 2050?* , 2021

10 AIE: Agenzia Internazionale per l'Energia.

© Rene Bohmer



2.2 | NUOVE NECESSITÀ

Gli eventi correnti, che riguardano la società globalizzata di tutto il mondo, ci portano a una riflessione critica sull'identità dell'architettura e sul suo ruolo nell'evoluzione della società stessa.
"La prima fondamentale riflessione scaturisce dalla constatazione che, anche a seguito della crisi economica che ha investito tutti i settori della produzione e dello sviluppo, profondi cambiamenti stanno pervadendo il territorio dell'architettura. Una crisi che ha reso il ritmo del cambiamento ancora più incalzante.
In una condizione in continua evoluzione, i comportamenti degli individui e della società e, per riflesso, i caratteri degli spazi vitali entro cui questi comportamenti si manifestano, risultano instabili e difficilmente codificabili. […]. La pandemia ha contribuito ad accelerare la transizione verso le nuove tecnologie.
In pochi mesi, se non addirittura settimane, sono cambiati i comportamenti delle persone e questi hanno prodotto significative ricadute sugli spazi dell'abitare, del lavoro, della cura, della formazione, del tempo libero, sulla mobilità e, in generale, su tutte le attività umane. La pandemia ci ha fatto anche capire che il diverso comportamento delle persone ha prodotto l'inversione della tendenza degli indicatori di inquinamento, con una riduzione degli agenti responsabili della salute degli esseri umani e dell'ambiente."[11]

Ci troviamo, quindi, di fronte a due principali frontiere del cambiamento: l'avanzamento e lo sviluppo delle nuove tecnologie e la presa di coscienza collettiva

11 R. ROMANO, N. SETTOLA, L. MARZI, *La tecnologia dell'architettura in una società che cambia, alla luce del convegno SITdA 2019*, 2021, Università degli studi di Firenze

dell'emergenza energetica e ambientale.

Come si dovranno, quindi, evolvere le capacità del progettista architetto? E con quali relazioni con l'innovazione tecnologica sempre più spinta?
Il metodo della conoscenza si evolve nel tempo: essa viene acquisita nel momento in cui serve, proprio perché l'accesso alle informazioni può avvenire in tempi reali e con maggiore facilità. Possiamo dire, quindi, che l'avanzamento della tecnologia è direttamente legato ai bisogni reali dell'individuo e della comunità, e si deve scontrare direttamente con la dimensione reale del progetto, all'interno della quale si deve introdurre il discorso della fattibilità.
A sfide complesse corrispondono, quindi, risposte complesse.

"Guardare al futuro"

È questo il messaggio recentemente indirizzato al settore delle costruzioni da *Rebuild* 2016, la manifestazione promossa da Re-Lab e Habitech, la società di ricerche e servizi innovativi di Rovereto.
Un appuntamento, quello che da cinque anni si tiene a Riva del Garda, le cui parole d'ordine sono state: *circular, digital, social*. Perché, piaccia o no, questo è il nuovo orizzonte anche per il settore edilizio italiano, un orizzonte che va sotto il nome di industrializzazione delle costruzioni.
Un tema antico, certo, ma che oggi riprende nuovo interesse grazie alla rivoluzione tecnologica, alla digitalizzazione e alle nuove forme di produzione e, anche, a causa della crisi economica, delle costruzioni in particolare.
I dati macroeconomici non lasciano scampo: nulla sarà più come prima. E molti degli elementi che tradizionalmente formano il mercato sono oggi radicalmente mutati. Per sempre.

A pensarla così è anche Filippo Delle Piane, vicepresidente di ANCE[12]. "Stiamo assistendo a una fase economica di profonda trasformazione. Occorre capire le logiche e le dinamiche odierne del mercato che abbiamo di fronte" sostiene convinto Delle Piane. "Se non riusciremo in questo intento, ben difficilmente potremo concepire modelli di impresa efficienti ed efficaci adatti a competere".
E le differenze tra ieri e oggi per Delle Piane, che oltre a ricoprire un importante ruolo all'interno dell'associazione costruttori nazionale fa parte del comitato scientifico di Rebuild, non sono poche.

Nelle pagine successive si riportano alcuni stralci delle interviste svolte durante la manifestazione *Rebuild*, promossa da Re-Lab e Habitech, che risultano essere un interessante spunto di riflessione sulla tematica, riportate all'interno dell'articolo *Industrializzazione delle costruzioni. Circular, digital, social,* del 2016.

12 ANCE: L'Associazione nazionale costruttori edili, è l'associazione di categoria che, dal maggio 1946, rappresenta a livello nazionale gli imprenditori privati di ogni dimensione e forma giuridica, operanti nei settori delle opere pubbliche, dell'edilizia abitativa, commerciale, direzionale e industriale.

Articolo - Industrializzazione delle costruzioni:
Circular, digital, social

Economia digitale | Nuova edilizia

Filippo Delle Piane, Vicepresidente di ANCE "Anni fa la casa rappresentava la risposta a un'esigenza primaria, poi, successivamente è diventata il bene rifugio per eccellenza.
Oggi non è più così. Oggi, l'obiettivo della casa in proprietà viene sostituito dalla disponibilità a pagare ciò che si utilizza in modo da poter avere il prodotto più aderente alle esigenze del momento. Ieri il sistema creditizio ha sempre dato il suo sostegno alle operazioni immobiliari qualunque esse fossero. Oggi, abbiamo un mondo bancario che scoppia di liquidità ma che non può offrire al mondo delle imprese delle nostre dimensioni perché troppo rischioso, secondo i criteri di una finanza contabile lontana dal territorio. Tutto ciò non significa che non esista più un mercato, ma che esso è diventato selettivo ed esigente, come ogni mercato che passi dal soddisfare i bisogni primari a una nuova realtà di sostituzione".

INSOMMA, NIENTE È PIÙ COME PRIMA. MA SE IL MONDO, A CAUSA DELLA CRISI E DELLA RIVOLUZIONE TECNOLOGICA, È CAMBIATO, COME DEVE CAMBIARE ANCHE IL SISTEMA DELLE IMPRESE?

Filippo Delle Piane, Vicepresidente di ANCE "In questa nuova situazione serve un modello di impresa completamente nuovo. Non possiamo più permetterci di fare un mestiere di tipo approssimativo. I tempi e i costi di realizzazione di un'opera non possono più essere considerati come fattori aleatori e in mutamento continuo. Dobbiamo pretendere una progettazione veramente esecutiva e coordinata in tutti gli aspetti e il Building Information Modeling (BIM)[13] può essere di grande aiuto a una pianificazione e a un monitoraggio approfonditi delle attività di cantiere. Insomma, i nuovi operatori del mercato delle costruzioni saranno sempre più grandi, strutturati e professionali".

Tre parole che rappresentano il futuro delle costruzioni di casa nostra, che deve passare, secondo gli organizzatori della kermesse, per l'industrializzazione del settore.

MA COSA SIGNIFICA OGGI INDUSTRIALIZZARE IL SETTORE DELLE COSTRUZIONI DEL NOSTRO PAESE?

Thomas Miorin, fondatore di Rebuild e presidente di Re-Lab "Tre sono le

13 BIM (acronimo, in italiano, di Modellizzazione delle Informazioni di Costruzione): metodo per l'ottimizzazione della pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni tramite aiuto di un software. Tramite esso tutti i dati rilevanti di una costruzione possono essere raccolti, combinati e collegati digitalmente.

strade che il comparto deve percorrere. Economia circolare, digitalizzazione del settore e socializzazione delle esperienze. Ciò che abbiamo proposto a Riva del Garda è proprio questo: offrire uno sguardo al futuro e lavorare nel campo dell'innovazione. Non solo sul piano teorico, ma nel concreto. Perché concrete sono le esperienze di innovazione che in Italia e all'estero si stanno poco a poco sommando. Quella dell'impresa svedese Skanska[14], per esempio, la multinazionale svedese delle costruzioni e quinta impresa di costruzioni più grande al mondo, che è in grado di realizzare la propria produzione prefabbricata all'interno di immobili in disuso vicino ai cantieri, in cui vengono poi assemblati i vari componenti edilizi prefabbricati. Oppure le esperienze di prefabbricazione, più contenute, di alcune aziende italiane in Veneto, Trentino e Lombardia o quelle di alcune piccole imprese che praticano il principio della circolarità. O ancora, esperienze interessanti di utilizzo di tecnologie digitali e del BIM. Sono tutti elementi e casi concreti che stanno contribuendo all'evoluzione del settore".

14 Skanska: società multinazionale di costruzioni e sviluppo con sede in Svezia. Skanska è la quinta impresa edile più grande del mondo secondo la rivista *Construction Global*.

MA COS'ALTRO DEVE CAMBIARE PER AVVIARE LE COSTRUZIONI VERSO UN APPROCCIO INDUSTRIALE DELLA PRODUZIONE?

Thomas Miorin, fondatore di Rebuild e presidente di Re-Lab "Serve un nuovo processo produttivo, che sia industriale, che faccia propri i parametri economici dell'efficienza e del costo, che faccia leva sul parametro dell'energia, sull'aumento dell'intensità d'uso dei beni e soprattutto sull'economia di scala, sull'economia di varietà e sul flusso continuo delle informazioni in tutto il processo".

Insomma, l'edilizia italiana sta cambiando in profondità e occorre puntare, in tutte le fasi della produzione, dall'ingegnerizzazione, all'assemblaggio, alla finitura e alla gestione post vendita, all'efficientamento dell'intero sistema: i margini ci sono e sono ampi, stando a quello che è stato detto a Rebuild.

(Prosegue) "L'edilizia del futuro si spiega con tre cifre: 20, 60, 20. Il primo 20% sarà ancora rappresentato dall'edilizia tradizionale, il 60% sarà la quota di prefabbricazione, il restante 20% sarà appannaggio delle costruzioni speciali. Il processo industriale necessiterà perciò di un'infrastruttura digitale a partire dalle operazioni di rilievo e rappresentazione; la scansione 3D sarà il punto di partenza di un processo imperniato sul BIM, in grado di gestire molteplici dimensioni del progetto: quelle fisiche, i tempi, i costi, l'energia, gli approvvigionamenti e la gestione del cantiere. Il passaggio a forme di prefabbricazione spinta dovrà includere la capacità di processi produttivi capaci di minimizzare lo spreco di tempo, di materiali e di energia, secondo i principi della

cosiddetta lean production, e di produrre con tempi e costi industriali soluzioni personalizzate, come teorizza la digital manufacturing. La fase di cantiere richiederà nuove competenze e nuovi strumenti; i nuovi sistemi di controllo e di regolazione cambieranno la gestione degli edifici e degli impianti. È questo il momento di ripensare l'industria italiana delle costruzioni, pena un'ulteriore forte perdita di competitività del nostro comparto".

MA IN CHE MODO E IN CHE FORME LO SVILUPPO DI UN'ECONOMIA CIRCOLARE RIGUARDA ANCHE I SETTORI DELLE COSTRUZIONI E DELL'IMMOBILIARE, TRADIZIONALMENTE AD ALTO CONSUMO DI RISORSE E CAPITALE?

Enzo Micelli, docente allo Iuav di Venezia e presidente del comitato scientifico di Rebuild "La fase espansiva della produzione edilizia lascia al nostro Paese un patrimonio di beni immobili pubblici e privati significativo.
Continuare a produrre nuove costruzioni appare ingiustificato. Occorre ripartire dalla città che già esiste per promuoverne la rigenerazione di tutte le sue parti: questa è l'agenda degli operatori alle prese con i nuovi processi di creazione del valore immobiliare pubblico e privato. Un programma simile appare in linea con i principi dell'economia circolare".

MA SE È QUESTO È L'ORIZZONTE POSSIBILE DEL SETTORE, A CHI SPETTA IL COMPITO DI DARE IL VIA? AI PRODUTTORI DI COMPONENTI, AI COSTRUTTORI, AI PROGETTISTI, AGLI SVILUPPATORI IMMOBILIARI? AL LEGISLATORE E QUINDI ALLA POLITICA?

Enzo Micelli, docente allo Iuav di Venezia e presidente del comitato scientifico di Rebuild "Bella domanda. Sicuramente il compito centrale spetta alla politica, che a mio modo di vedere dovrebbe affermare una volta per tutte che la fase espansiva è finita, che occorre riusare, che occorre produrre meno e meglio. E poi tutti quanti dovrebbero capire che in questo contesto di mercato a vincere è la domanda non più l'offerta, come un tempo.
Oggi, se si vogliono fare case per essere subito abitate occorre aggregare la domanda, che si compone su basi nuove come la possibilità di godere di spazi condivisi, come sta avvenendo con l'esperienza di Co22 di via XXII marzo a Milano, per esempio. Poi, a ruota sono tutti gli attori del processo produttivo edilizio che devono fare proprie le tre parole dell'economia circolare: riduci, riusa, ricicla. Un percorso nuovo per le costruzioni, ma già intrapreso da altri settori manifatturieri, penso al caso dell'automotive. Ciò che importa è immaginare e costruire una

filiera produttiva che abbia queste caratteristiche. Le tradizionali ricette, quelle di un tempo, basate sugli sgravi fiscali, non servono. Nelle costruzioni si può aprire una fase di radicale sperimentazione di un percorso di industrializzazione sposato sul nuovo paradigma della manifattura digitale, che appare l'unica strada per conciliare industrializzazione e prototipazione sistematica della specificità delle costruzioni".

MA IN QUESTO NUOVO PROCESSO, CHI, DEGLI ATTORI PROTAGONISTI DELLE COSTRUZIONI, È UN PASSO AVANTI AGLI ALTRI?

Filippo Delle Piane, Vicepresidente di ANCE "A Rebuild si è visto che il fattore comune è oggi rappresentato dalla digitalizzazione e in questo contesto, grazie all'uso del BIM, i più avvantaggiati sono i grandi studi di progettazione e le grandi imprese di costruzione. Le imprese di medie e medio-grandi dimensioni, dobbiamo ammetterlo, hanno perso la centralità nella filiera delle costruzioni. Oggi, questo ruolo lo svolgono le grandi società. Non si tratta di proporre la crescita dimensionale delle imprese, ma di lavorare a un modello parallelo di integrazione della filiera produttiva dei diversi soggetti. A mio giudizio, le imprese di costruzione dovranno diventare il fulcro, il pivot, di questo coordinamento di filiera".

Non sono poche le imprese del Nord Europa che negli ultimi anni hanno intrapreso un percorso di innovazione radicale. Diverse grandi aziende del Vecchio Continente, come la già citata Skanska, stanno esplorando la possibilità non solo di progettare con maggiore standardizzazione e prefabbricazione, ma anche di produrre queste piccole serie a chilometro zero, all'interno di capannoni posti nei pressi del cantiere, nei quali temporaneamente viene svolto l'approvvigionamento e l'assemblaggio. In questo elenco di imprese virtuose troviamo anche i gruppi imprenditoriali inglesi come Royal Bam Group, Laing O'Rourke e Volkerwessels.

David Chesire, regional director di Aecom, multinazionale anglosassone e leader mondiale nella progettazione e costruzione di opere di ingegneria "Dobbiamo pensare di progettare a strati, minimizzare gli sprechi, selezionare materiali e componenti, costruire tenendo presenti i processi di disassemblaggio e l'adattabilità. Lo scarto deve essere ridefinito come una risorsa di valore e gli edifici devono diventare delle banche di materiali per le future generazioni. Possiamo raggiungere questo obiettivo creando costruzioni che possano essere smontate, in parte o completamente, per poter riusare i diversi componenti, recuperare i materiali e ricostruire gli interi edifici in un altro luogo".[15]

15 P. MEZZI, *Industrializzazione delle costruzioni: circular, digital, social, Il nuovo Cantiere*, 2016

© Annie Spratt

2.3 | I NODI CRITICI DELLA CIRCOLARITÀ

Quali sono le motivazioni pratiche per le quali dovremmo puntare ad una completa circolarità, non solo nel settore delle costruzioni, ma anche negli altri comparti?

La volontà di cambiare e rinnovare il sistema edilizio nel suo insieme, parte da una condizione di base critica. L'economia circolare è solo da pochi anni uno dei temi centrali all'interno del settore, in quanto si è preso coscienza dell'impatto ambientale dell'edilizia, che, sia a livello italiano che europeo, è uno dei comparti produttivi più nocivi per l'ambiente.
Sono molteplici le fasi del meccanismo edilizio, all'interno delle quali sono insiti dei nodi critici sui quali aprire dei ragionamenti a scala nazionale e globale, perché l'idea della circolarità venga implementata.
Il tema di punta, ad oggi, è sicuramente riguardante una fase che si deve affrontare nel momento in cui si deve intervenire su una situazione problematica di partenza: il trattamento dei rifiuti, derivanti dall'applicazione di un approccio demolitivo nei confronti dell'architettura e di tutti gli altri comparti produttivi.
Possiamo affermare, in realtà, che questa fase deriva da degli step precedenti sui quali, ancora oggi, c'è poca attenzione. Questo, in parte, perché lavorare consapevolmente sui processi iniziali richiede una conoscenza del tema che fino ad oggi è scarseggiata.
Di seguito, vengono riportati gli approcci critici dell'edilizia nei confronti della circolarità.

2.3.1 | Consumo delle risorse (non rinnovabili)

Strade e ferrovie ad alta velocità, complessi edilizi, gadget elettronici, agricoltura a rese elevate, ecc. dipendono dall'utilizzo di massicce quantità di risorse non rinnovabili. Gran parte delle materie prime che sono utilizzate nelle economie industrializzate non sono rinnovabili (negli Stati Uniti una quota del 95%, e in Cina ormai dell'88%), e ciò costituisce un dato certamente molto differente con le nostre società preindustriali, nelle quali le economie erano dominate soprattutto dall'utilizzo di risorse quali il legname, l'acqua, le fibre vegetali, le pelli di animali e altre risorse rinnovabili.[16]

16 G. BOLOGNA, Il picco delle risorse non rinnovabili e il futuro dell'economia, GreenReport.it

Il settore delle costruzioni fa un uso intensivo delle risorse naturali, generando forti impatti sul territorio e un progressivo impoverimento della materia prima, che non è illimitata. Classificate come risorse che possono rigenerarsi costantemente, le risorse rinnovabili non sono più tali se la frequenza di consumo delle stesse, da parte dell'uomo, è superiore alla frequenza di rigenerazione della risorsa stessa. È anche utile sottolineare che tutte le risorse presenti in natura sono teoricamente rinnovabili, ma i differenti processi necessari per la loro rigenerazione presentano tempi estremamente variabili, che spaziano da pochi giorni a milioni di anni.
In diversi settori, tra i quali quello dell'edilizia è uno dei capigruppo, il consumo di risorse non rinnovabili è aumentato drasticamente, portando a delle condizioni ambientali sempre più allarmanti.
Nel campo di applicazione edile il problema può essere in parte contenuto mediante la minimizzazione della produzione dei rifiuti, ossia l'uso razionale e disciplinato delle materie disponibili e l'incentivazione del recupero dei rifiuti prodotti attraverso o il riutilizzo o il riciclo.
Per avere maggiore consapevolezza, in termini quantitativi, rispetto a questo tema, è necessaria un'analisi attenta di tutte le fasi del ciclo di vita di un materiale o componente o dell'intero organismo dell'edificio: dall'estrazione della materia fino allo smaltimento del materiale a fine vita.
Le risorse naturali non sono inesauribili e, di conseguenza, la bioedilizia predilige ecomateriali derivanti da fonti rinnovabili, che non siano tossici per l'uomo e il cui eventuale smaltimento non arrechi danni all'ecosistema.
La sostenibilità dell'edificio è perseguita attraverso il ricorso a materiali e sistemi costruttivi, in cui il rapporto tra forma e tecnologia delle componenti è finalizzato al miglioramento delle prestazioni energetiche attive e passive dell'ambiente costruito.

È importante, dunque, indirizzare la scelta verso materiali da costruzione provenienti da materie prime rinnovabili locali e riciclabili, rinunciando invece a quelli di difficile smaltimento. Che si tratti di lavori *ex-novo* oppure di attività di manutenzione ordinaria o straordinaria sugli edifici, occorre verificare che i

Materiale	U.d.M.	Fase di produzione (A1, A2, A3)	Fase di costruzione (A4, A5)	Fine vita (C1, C2, C3, C4, D)	Totale
Mattoni	kg CO_2 eq/kg	0.2315	0.00078	0.0042	0.2434
Isolamento termico (Rockwool)	kg CO_2 eq/kg	1.1746	0.0102	0.0042	1.1890
Gesso	kg CO_2 eq/kg	0.2257	0.0078	0.0042	0.2376
Intonaco	kg CO_2 eq/kg	0.2032	0.0244	0.0042	0.2318
Pittura	kg CO_2 eq/kg	1.9414	0.0244	0.0042	1.9699
Rivestimento tetto	kg CO_2 eq/kg	0.3449	0.0078	0.0042	0.3568
Impermeabilizzante	kg CO_2 eq/kg	0.7375	0.0244	0.0042	0.7660
Barriera al vapore	kg CO_2 eq/kg	0.2032	0.0244	0.0042	2.5456
Piastrelle in ceramica	kg CO_2 eq/kg	0.5465	0.0078	0.0042	0.5585
Colla	kg CO_2 eq/kg	1.1040	0.0005	0.0042	1.1086
Massetto	kg CO_2 eq/kg	0.8269	0.0078	0.0042	0.8389
Isolamento termico (XPS)	kg CO_2 eq/kg	3.7577	0.0244	0.0042	3.7862
Casseri vespaio	kg CO_2 eq/kg	1.9114	0.0244	0.0042	1.9400
Fonoisolamento	kg CO_2 eq/kg	1.8899	0.0244	0.0042	1.9184
Pannelli cartongesso	kg CO_2 eq/kg	0.1618	0.0102	0.0042	0.1762
Barre d'armatura	kg CO_2 eq/kg	1.9624	0.0078	- 0.5860	1.3842
Calcestruzzo	kg CO_2 eq/m^3	237.94	19.48	- 44.7700	212.65
Pannelli X-Lam	kg CO_2 eq/m^3	- 685.53	55.21	810.23	179.91

(Tabella) *Global Warming Potential dei materiali edilizi per fase di vita.* Rielaborazione a cura delle autrici

materiali utilizzati rispettino i seguenti criteri:

- Che siano certificati come provenienti da materie prime rinnovabili;
- Che provengano per la maggior parte da fonti locali (sia per utilizzare le risorse presenti sul territorio incentivando il mercato locale, sia per ridurre le emissioni derivanti dal trasporto);
- Che possano essere riciclati e riutilizzati il più possibile, concluso il loro utilizzo.[17]

17 Solo Ecologia, *Edilizia sostenibile con materiali da costruzione provenienti da materie prime rinnovabili*, 2017

2.3.2 | Le emissioni

Dal punto di vista delle emissioni di CO_2, il settore dell'edilizia è uno dei più impattanti. Da solo è responsabile del 39% delle emissioni di CO_2 in atmosfera. [18]
Come, nella pratica, una scelta consapevole dei materiali da costruzione può ridurre le emissioni?
L'impatto ambientale, derivante dalla scelta di un materiale, piuttosto che di un

18 Infobuildingenergia, Emissioni di CO2: valutare l'intero ciclo di vita dell'edificio, 2017

altro, non può essere quantificato facendo riferimento, unicamente, alla fase di produzione. Si deve considerare, invece:

- La fase di estrazione;
- La fase di lavorazione;
- La fase di trasporto.

Di seguito, viene riportata una tabella con lo scopo di presentare i valori unitari di energia emessa da diverse tipologie di materiali durante il loro intero ciclo di vita, in funzione anche del contesto climatico.
I valori vengono assunti con segni positivi quando si hanno emissioni di $CO_{2eq.}$; con segni negativi quando si ha assorbimento.

I valori negativi di CO_2 assorbita per carbonatazione dalle strutture in calcestruzzo fanno riferimento al solo fine vita di questo materiale.
Il valore negativo negli edifici con pannelli in legno, invece, è imputabile alla CO_2 biogenica, ovverosia alla capacità degli alberi da cui proviene il legno di assorbire anidride carbonica durante la loro crescita.[19]

19 Ingenio, Analisi LCA: confronto fra proprietà eco-meccaniche di edifici in calcestruzzo e legno, 2019

Il direttore esecutivo del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), Inger Andersen, ha affermato che "l'aumento delle emissioni nel settore degli edifici e delle costruzioni sottolinea l'urgente necessità di una tripla strategia per ridurre in modo aggressivo la domanda di energia nell'ambiente costruito, decarbonizzare il settore energetico e implementare strategie sui materiali che riducano le emissioni di anidride carbonica del ciclo di vita". E continua "i pacchetti di recupero green possono fornire la spinta che ci consentirà di muoverci rapidamente nella giusta direzione. […] Spostare il settore degli edifici e delle costruzioni su un percorso a basse emissioni di carbonio rallenterà il cambiamento climatico e produrrà forti vantaggi per la ripresa economica, quindi dovrebbe essere una chiara priorità per tutti i governi".[20]

20 C. GERINO, *Onu: le emissioni di CO2 legate agli edifici sono da record*, 2020

2.3.3 | Il consumo del suolo

L'applicazione del sistema tradizionale, la cui caratteristica principale è l'irreversibilità, ha determinato la riduzione della disponibilità di gran parte del territorio naturale e agricolo, riducendo "il suolo ad una piattaforma da valorizzare, da trasformare il più in fretta possibile, con grave perdita di terreni fertili, di biodiversità e di permeabilità dei suoli."
Secondo i dati del 2015 dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA)[21] "tra il 2008 e il 2013 il fenomeno ha riguardato mediamente 55 ettari al giorno, con una velocità compresa tra i 6 e i 7 metri quadrati di territorio che,

21 ISPRA: ente pubblico di ricerca italiano, istituito con la legge n. 133/2008, e sottoposto alla vigilanza del ministero della transizione ecologica.

nell'ultimo periodo, sono stati irreversibilmente persi ogni secondo: un consumo di suolo che continua a coprire aree naturali e agricole con asfalto e cemento, edifici e capannoni, servizi e strade; questo a causa di nuove infrastrutture, di insediamenti commerciali, produttivi e di servizio e dell'espansione di aree urbane, spesso a bassa densità. I dati mostrano come a livello nazionale il suolo consumato sia passato dal 2,7% degli anni '50 al 7,0% stimato per il 2014, con un incremento di 4,3 punti percentuali.
In termini assoluti, si stima che il consumo di suolo abbia intaccato ormai circa 21.000 chilometri quadrati del nostro territorio" (ISPRA, 2015, p. 7)."[22]
Come creare una controtendenza?
Una visione utopistica potrebbe suggerire come soluzione la realizzazione di fondazioni, edifici, e, di conseguenza, città completamente disassemblabili e riassemblabili.

22 E. GRANATA, *Consumo di suolo: una questione civile che riguarda tutti*

2.3.4 | Construction, Demolition and Excavation Waste (CDEW)

Come è definito il fine vita di un edificio?
Attualmente, gli scenari possibili sono tre:

- Restauro, dove possibile e consentito;
- Demolizione;
- Abbandono.

Come detto precedentemente, la demolizione delle strutture ha un importante impatto ambientale, ma non è la sola attività nel settore a causare una consistente produzione di rifiuti.
Anche le attività di costruzione, rifunzionalizzazione e scavo influiscono notevolmente sull'ambiente.
I rifiuti da demolizione, costruzione e scavo (CDEW), sono costituiti da un insieme eterogeneo di materiali, prevalentemente di matrice non pericolosa, con caratteristiche diverse. L'eterogeneità di questi rifiuti porta a un'inevitabile difficoltà nel gestirli, differenziarli e riutilizzarli per inserirli in un nuovo ciclo di vita.
Se si considera il volume generato, i rifiuti da CDEW costituiscono il maggior flusso nell'Unione Europea, pari a circa un terzo di tutti gli scarti prodotti.
Sul suolo italiano, nonostante vengano eseguiti numerosi interventi di restauro, i rifiuti derivanti da queste attività rappresentano una delle percentuali maggiori.
I numeri parlano chiaro: rispetto al totale dei rifiuti del Paese, dal rapporto dell'Associazione Nazionale Produttori di Aggregati Riciclati (ANPAR), emerge che il 40% deriva da interventi di costruzione e demolizione, di cui il 10% è costituito da

rifiuti pericolosi.
Si parla di un'elevata quantità, pari a 4 milioni di tonnellate prodotte ogni anno, di cui il 90% potrebbe essere sfruttato come risorsa nel settore delle costruzioni e, a maggior ragione, nell'industria dei componenti edili, riducendo così importanti impatti ambientali e, allo stesso tempo, riattivando l'economia del settore.[23]
Secondo un'indagine datata 2015 della Ellen MacArthur Foundation, un'autorità nel campo dell'economia circolare, il 10-15% del materiale viene sprecato durante la fase di costruzione, mentre, tra i materiali di scarto della demolizione, ben il 54% finisce in discarica.
L'Unione Europea si è data degli obiettivi ambiziosi. Con la Direttiva 2008/98/CE si è prefissato di raggiungere un tasso di recupero dei rifiuti da CDEW pari ad almeno il 70%, entro il 2020, in tutti gli Stati membri.

23 G. BARBARO per Architetturae Sostenibile.it, Rifiuti speciali non pericolosi da C&D: la gestione eco-efficiente in Italia, 2012

Per migliorare le prestazioni della filiera edilizia bisogna attuare una gestione sostenibile di questa tipologia di rifiuti, con l'obiettivo di:
- Recuperare risorse secondarie;
- Ridurre il consumo di risorse primarie;
- Ridurre i flussi di rifiuti prodotti.

Il primo passo è quello di separare i materiali inerti dai materiali pericolosi, classificandoli e suddividendoli per categorie.
Alcuni esempi:
- Rifiuti riutilizzabili: ad es. infissi, coppi, radiatori. Questi possono avere come destinazione finale il riutilizzo;
- Rifiuti non recuperabili;
- Rifiuti lapidei, la cui destinazione finale è legata alla produzione di riciclati di qualità;
- Altri rifiuti, come: carta e cartone, legno, metalli, vetro, plastiche. Questi ultimi potrebbero essere utilizzati per la produzione di materia prima seconda.

Un approccio che promuova la qualità dei materiali riciclati, evitando la contaminazione degli stessi, potrebbe costituire un importante input nello sviluppo di una maggiore credibilità e affidabilità delle materie prime seconde, nell'immaginario comune dell'utente standard.
Quando parliamo di recupero della materia, possiamo distinguere:
- *Upcycling*: con il quale si ottiene un riciclato di qualità pari o superiore al prodotto di partenza;
- *Downcycling*: con il quale si ottiene un riciclato di qualità inferiore.

In conclusione, la gestione integrata dei rifiuti, nonostante garantisca aspetti come l'ecosostenibilità e l'efficienza del cantiere, rimane comunque caratterizzata da una maggiore difficoltà di applicazione nello scenario edilizio comune, in quanto maggiormente laboriosa.
È fondamentale, anche in questo campo, il ruolo del progettista: la soluzione più

sostenibile rimane comunque, sempre, la prevenzione, che si può perseguire attraverso una corretta progettazione. Ciò consiste, anche, nello svolgere delle analisi accurate sui parametri iniziali e sulle condizioni al contorno. La progettazione non deve essere applicata solo fino alla conclusione del cantiere, ma deve tenere conto anche del fine vita dell'edificio, quindi della sua decostruzione, della gestione della filiera dei rifiuti e del possibile reimpiego dei componenti.
Una significativa riduzione del conferimento in discarica dei rifiuti può avere come conseguenza la maggiore disponibilità di spazio. Ad esempio, negli Stati Uniti, dove i rifiuti da CDEW rappresentano circa un terzo del volume dei materiali che entrano nelle discariche, un tasso di deviazione dell'80% (come quello che si sta verificando nei Paesi Bassi) determinerebbe l'accessibilità di terreni per altri usi facoltativi.

2.4 | Approfondimento: Life Cycle Assessment Methodology (LCA)

Ad oggi, non esistono protocolli di valutazione dell'intero ciclo di vita di un edificio, che consentano uno studio completo dalla culla alla culla, in considerazione delle opzioni di fine vita.
Esiste una serie di differenti tipologie di analisi che possono essere condotte per svolgere uno studio LCA, ovvero: *process based, input-output based, hybrid based*.
L'analisi *processed based* è il metodo più comunemente utilizzato: si basa su uno studio dei principali processi produttivi e indaga il consumo di risorse e il quantitativo di emissioni derivanti da ognuno di essi. Teoricamente, il processo dovrebbe essere ricondotto all'iniziale punto di partenza: questo può essere difficile, in quanto i processi sono interconnessi tra di loro ed è difficile stabilire il punto di partenza effettivo; di conseguenza, è necessario definire un punto di *cut-off,* cosa che determina un'incompletezza dello studio.
Questo approccio è implementato in diversi software e all'interno di alcuni database, nonostante presenti una certa carenza di informazioni a seconda del confine che è stato imposto.
L'approccio di analisi *input-output based* è una tecnica *top down* basata su dati economici. Studi di analisi del ciclo di vita che utilizzano questo approccio possono essere considerati più completi: generalmente tengono in considerazione aspetti che potrebbero essere stati bypassati in fase di definizione del flusso dei processi, in quanto comprendono anche aspetti relativi agli impatti economici. Esiste, però, anche il rischio che i dati non siano aggiornati.
L'analisi *hybrid based* combina i due approcci per ottenere risultati più completi, con meno margine di errore. La scelta dell'utilizzo di un sistema, piuttosto che di un altro, dipende dalla disponibilità dei dati; tuttavia, in generale, i requisiti a valle

(costruzione, uso e fine vita) saranno valutati utilizzando l'analisi *process based*, mentre l'estrazione del materiale e la produzione saranno valutati utilizzando l'analisi *input-output based*.
L'analisi *hybrid based* garantisce, comunque, che ci sia una maggiore precisione, in quanto si ha un range di aspetti considerati più ampio, rispetto alle due soluzioni presentate precedentemente.

I differenti stadi attraverso i quali si deve passare, per condurre un'analisi LCA, sono:
- Costruzione dell'edificio;
- Trasporto;
- Utilizzo;
- Manutenzione, interventi di riparazione;
- Decostruzione/demolizione dell'edificio;
- Trasporto;
- Scenari di fine vita: riuso/riciclo/dismissione in discarica.

I dati relativi all'estrazione iniziale del materiale, la lavorazione e la produzione dei componenti provengono da banche dati esistenti: questi dati sono quelli nei quali il lavoro di analisi delle emissioni è più meccanico.
È importante che il trasporto del materiale sia preso in considerazione negli studi di analisi del ciclo di vita degli edifici, perché questo può avere un grande impatto e, inoltre, uno studio di questo tipo può aiutare a illustrare i vantaggi dell'approvvigionamento di materiali a livello locale. La distanza che i materiali devono percorrere per raggiungere il sito può variare notevolmente a seconda del paese in cui è in corso la costruzione.
Si pensa spesso che la fase di costruzione abbia un impatto minimo in termini di emissioni di carbonio per l'intera vita degli edifici; tuttavia, fornisce comunque un contributo. Questo si riferisce esclusivamente all'energia utilizzata per mettere insieme fisicamente l'edificio e non include l'energia e il carbonio incorporati dei materiali.
Le fasi di uso e funzionamento dell'edificio sono quelle per le quali, a livello normativo, si cerca di imporre le maggiori restrizioni (Lausten, 2008); nella maggior parte dei casi, tale fase è responsabile della maggiore percentuale di emissioni nell'intero ciclo di vita. Vi è una difficoltà nel prevedere il consumo energetico operativo, in quanto questo dipende, in primo luogo, dagli standard su cui si basava la costruzione e, in secondo luogo, dalla quantità di emissioni non regolamentate. I regolamenti edilizi si concentrano su quelle emissioni che possono essere ridotte dalle scelte costruttive: illuminazione fissa, riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria e servizi edilizi. Le emissioni non regolamentate sono quelle dell'elettronica e degli elettrodomestici (TV, computer, ecc.) nell'utilizzo da parte dagli occupanti (Shapps, 2011); è difficile prevedere le

emissioni che ne deriveranno.
L'analisi *input-output based* sembra essere un metodo comunemente utilizzato nel calcolo della manutenzione/riparazione di un edificio. Suzuki e Oka (1998) hanno stimato la frequenza con cui i diversi componenti all'interno dell'edificio avrebbero dovuto essere sostituiti o riparati e, quindi, hanno calcolato l'energia e il carbonio associati a questo. Lo studio conclude che in un arco di vita di quarant'anni, le emissioni di CO_2 associate alla manutenzione e alla ristrutturazione sono pari a 128 kg CO_2/m^2.

Fonti:

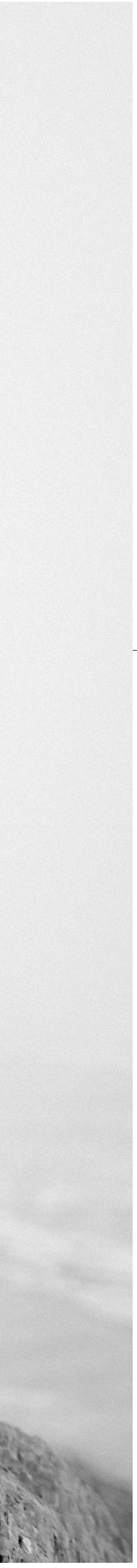
1. (Articolo online) Parlamento Europeo, Attualità, *Economia circolare: in che modo l'UE intende realizzarla entro il 2050?*, 2021 https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20210128STO96607/economia-circolare-in-che-modo-l-ue-intende-realizzarla-entro-il-2050
2. (Libro online) R. ROMANO, N. SETTOLA, L. MARZI, L*a tecnologia dell'architettura in una società che cambia, alla luce del convegno SITdA 2019*, 2021, Università degli studi di Firenze https://issuu.com/dida-unifi/docs/la_tecnologia_dell_architettura_in_una_societa_che pag. 57-58
3. (Articolo online) Fonte: P. MEZZI, *Industrializzazione delle costruzioni: circular, digital, social, Il nuovo Cantiere*, 2016 http://www.ilnuovocantiere.it/industrializzazione-delle-costruzioni-circular-digital-social/
4. (Articolo online) G. BOLOGNA, *Il picco delle risorse non rinnovabili e il futuro dell'economia,* GreenReport.it https://greenreport.it/rubriche/il-picco-delle-risorse-non-rinnovabili-e-il-futuro-delleconomia/
5. (Articolo online) Solo Ecologia, *Edilizia sostenibile con materiali da costruzione provenienti da materie prime rinnovabili*, 2017 https://www.soloecologia.it/21112017/edilizia-sostenibile-materiali-costruzione-provenienti-materie-prime-rinnovabili/11120
6. (Articolo online) Infobuildingenergia, *Emissioni di CO2: valutare l'intero ciclo di vita dell'edificio*, 2017 https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/emissioni-di-co2-valutare-lintero-ciclo-di-vita-delledificio/
7. (Articolo online) Ingenio, Analisi LCA: confronto fra proprietà eco-meccaniche di edifici in calcestruzzo e legno, 2019 https://www.ingenio-web.it/24485-analisi-lca-confronto-fra-proprieta-eco-meccaniche-di-edifici-in-calcestruzzo-e-legno
8. (Articolo online) C. GERINO, *Onu: le emissioni di CO2 legate agli edifici sono da record*, 2020 https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/17/news/rapporto_onu_le_emissioni_di_co2_legate_agli_edifici_hanno_raggiunto_il_record-278668982/
9. (Articolo online) E. GRANATA, *Consumo di suolo: una questione civile che riguarda tutti* http://planetb.it/consumo-di-suolo-una-questione-civile-che-riguarda-tutti/
10. (Articolo online) Arch. E. MELONI per Infobuilding, *I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) e l'edilizia circolare*, 2021 https://www.infobuild.it/approfondimenti/rifiuti-scarti-edili-corretto-processo-smaltimento/
11. (Articolo online) G. BARBARO per ArchitetturaeSostenibile.it, *Rifiuti speciali non pericolosi da C&D: la gestione eco-efficiente in Italia*, 2012 https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/rifiuti-speciali-non-pericolosi-ced-gestione-eco-efficiente-italia-760
12. (Report) C. J. KIBERT, A. R. CHINI, *University of Florida Overview of Deconstruction in Selected Countries,* University of Florida, 2000

L’INDUSTRIALIZ-ZAZIONE DELL’EDILIZIA VERSO LA CIRCOLARITÀ

© Luca Bravo

03

© Karsten Winegear



3.1 | DAL SISTEMA STATICO AL SISTEMA DINAMICO

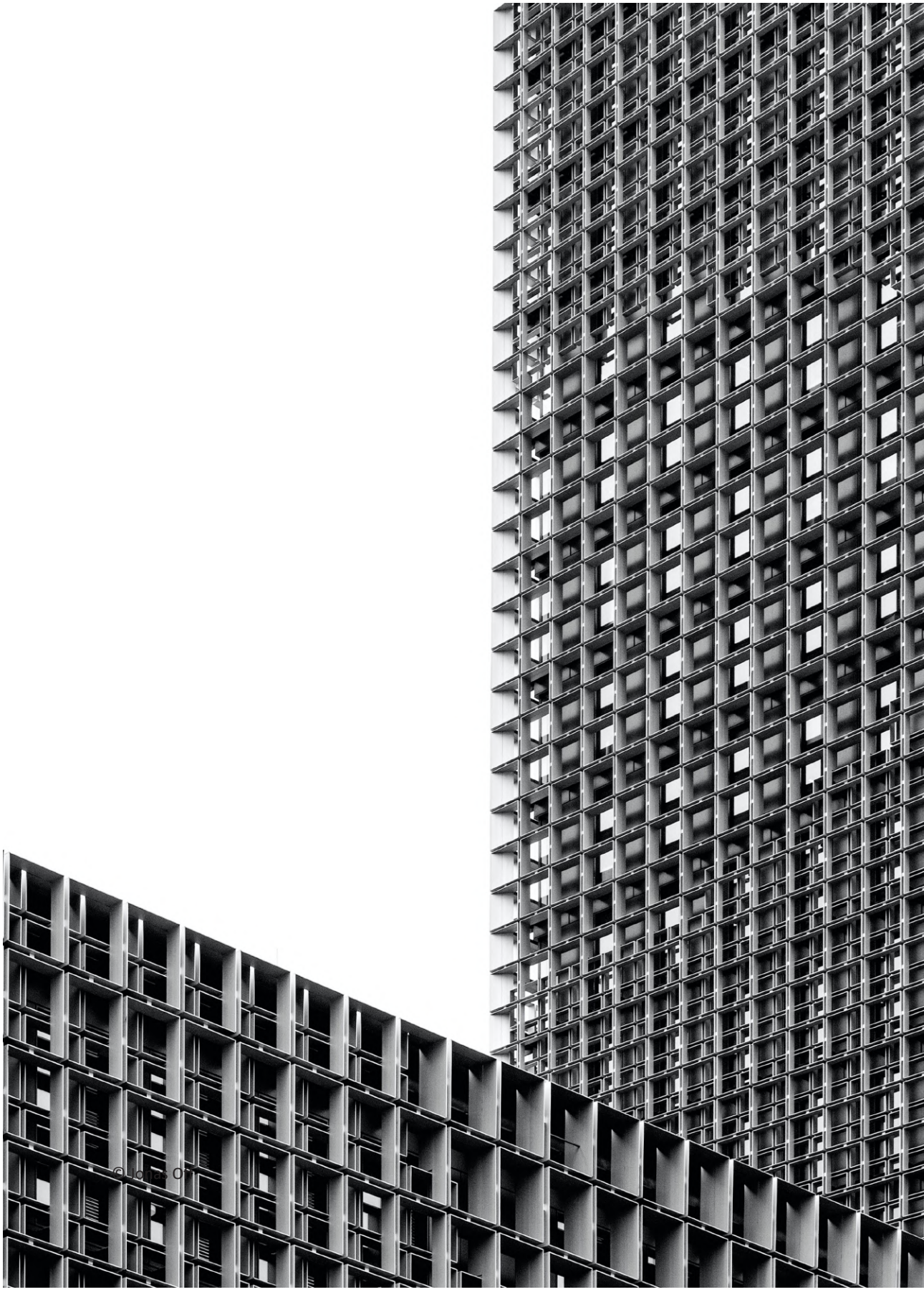
Si è compiuto un grande passo per il settore delle costruzioni. All'incirca in 15 anni, i criteri di progettazione sono cambiati, seguiti dalle tecnologie adottate e dalle nuove necessità portate dall'attualità. Vengono analizzati e progettati non solo gli aspetti strutturali, ma anche i differenti sistemi dell'involucro, l'ingresso della luce naturale all'interno degli ambienti e i sistemi di coibentazione e di sicurezza al fuoco. Nasce il nuovo concetto di *design* della costruzione.
Il settore edile diviene un vera e propria industria, capace di generare profitto e di muovere l'economia del paese.
Innovazione tecnologia: questa è la nuova parola da inserire nel dizionario del settore edilizio a cui bisogna fare riferimento per poter attuare la trasformazione che le esigenze sociali e ambientali richiedono. L'industrializzazione edilizia non deve essere intesa come un obiettivo, ma come un mezzo per attuare e valorizzare gli standard abitativi dei cittadini.
Vengono definiti tre centrali principi di sostenibilità:

- L'adattabilità alle esigenze degli utenti;
- L'aumento dell'efficienza dei materiali e dell'energia;
- La creazione di un'economia sostenibile.

Il passaggio da un'architettura tradizionale ad una sostenibile si deve specchiare nel passaggio da un sistema statico ad un sistema dinamico, dove la dinamicità è intesa come reattività anche alla riconfigurazione, associata al riutilizzo e riciclaggio,

e non solo all'applicazione di sistemi innovativi come il BIM.
I sistemi costruttivi convenzionali sono caratterizzati da un processo costruttivo semplificato e da una limitata gamma di componenti, per consentire un più facile monitoraggio dell'insieme. Essi vengono definiti sistemi chiusi, in quanto operano indipendentemente da altri settori e destinazioni d'uso. Questa diviene una caratteristica che li porta a limitare drasticamente il livello di efficienza tecnologica e ambientale, in quanto diminuisce la corrispondenza con ciò che li circonda e che può condizionare il loro stato.
La configurazione di questa tipologia di sistemi avviene in maniera standard, ovvero tramite un'integrazione fissa dei componenti e dei sistemi all'interno della struttura. Per la costruzione di sistemi chiusi, generalmente, vengono impiegati dei componenti di dimensioni maggiori e spesso si finisce per avere prodotti identici, se si considera la produzione di massa.
Il sistema tradizionale determina la rigidità delle strutture, cosa che influenza sia l'utilizzo che la demolizione. Questo fatto è dato dall'integrazione tradizionale delle funzioni e dei materiali attraverso connessioni fisse, che limitano le azioni di manutenzione e l'accessibilità ai componenti con cicli di vita più brevi. Il sistema edificio diviene, quindi, statico e immutabile, a causa della quasi impossibilità di poter intervenire nel rimuovere alcuni componenti per la loro sostituzione, senza danneggiare le parti associate. Di conseguenza, sono limitate le capacità di tali strutture di adattarsi al cambiare delle esigenze degli utenti che le abitano. Ciò implica che ogni cambiamento all'interno del sistema costruito porta ad avere ripercussioni su tutta la struttura.
L'industrializzazione porta con sé la volontà di abbandonare il sistema statico (chiuso), per attuare un metodo innovativo di progettazione e costruzione, capace di rendere il sistema dinamico (aperto).
Questa nuova concezione dinamica è definita dalla collaborazione di sottosistemi indipendenti. L'interconnessione delle discipline, quali la pianificazione, la progettazione, la produzione, la gestione del sito e l'*end of life* della struttura, permette di efficientare l'intero sistema edilizio, producendo strutture *aperte* che consentono il cambiamento continuo e interventi di aggiunta e di ripristino.
Il tempo diviene alleato della costruzione e non più distruttore. La possibilità di cambiare, adattarsi a nuovi utilizzi e rinnovarsi, conferisce alle strutture *aperte* una marcia in più rispetto alle strutture *chiuse*. Il disassemblaggio diviene ricchezza.
Il principio base di tale metodologia è la possibile scissione dei sottosistemi. Ogni sottolivello ha differenti durate e aspetti funzionali; di conseguenza, necessita di interventi ciclicamente e meccanicamente distinti. A differenza del sistema statico, il sistema dinamico consente di scindere il sottosistema dal tutto, senza compromettere le caratteristiche degli altri livelli.
L'organizzazione gerarchica dei singoli componenti e servizi della struttura ha un ruolo centrale all'interno di questo nuovo metodo.
Ogni servizio ed elemento diviene indipendente dalla struttura, grazie ad un ordine

gerarchico.
Flessibilità, adattabilità e dinamicità diventano le parole chiave per descrivere le nuove strutture aperte.
I nuovi principi hanno aperto la strada all'industrializzazione delle costruzioni, spostando l'attenzione da sistemi e componenti fissi e statici a dei sistemi aperti e dinamici.



3.2 | PANORAMICA SULL'INDUSTRIALIZZAZIONE

Come analizzato nei capitoli precedenti, il settore delle costruzioni sta vivendo anni di forte sperimentazione e innovazione. La digitalizzazione rappresenta la caratteristica principale della quarta Rivoluzione Industriale (definita 4.0).
La capacità di rinnovarsi e adattarsi alle nuove esigenze, sia in termini di sostenibilità, sia di efficienza, ha permesso al settore di ridurre notevolmente gli impatti, i costi e i tempi di costruzione. Il mondo edile non si è mai evoluto così velocemente come negli ultimi venti anni.
La rivoluzione tecnologica nel settore delle costruzioni è stata un motore di evoluzione per l'uomo, e continua ad esserlo. I principali argomenti che sono stati oggetto di cambiamento nel settore sono stati: i materiali, il potere energetico e il controllo della tecnologia.
Prima di analizzare nel dettaglio la quarta rivoluzione industriale, è essenziale fare una panoramica sui cambiamenti che ha vissuto il settore delle costruzioni negli anni.
Prima del 19° secolo, la progettazione si muoveva all'interno di forti limiti strutturali, imposti dai materiali disponibili, sia di origine naturale, sia fabbricati dall'uomo. Si costruiva prevalentemente con legno, pietra, malta di calce e cemento.

1st	→	2st	→	3st	→	4st
Mechanization, water power, steam power		Mass production, assembly line, electricity		Computer and automation		Cyber Physical Systems

3.2.1 | Rivoluzione Industriale 1.0

La prima Rivoluzione Industriale, avvenuta tra il 1760 e il 1830, è stata segnata dall'importante crescita del settore meccanico. L'industria meccanica pesante divenne un'incubatrice di nuovi materiali da costruzione, essenziali per il rinnovamento dei processi edilizi. Nuovi materiali quali il vetro, la ghisa e l'acciaio divennero alleati preziosi di architetti e ingegneri per realizzare strutture che mai prima si potevano immaginare, per forma, struttura e funzionalità.

Di seguito vengono presentati alcuni casi studio riconducibili alla Rivoluzione Industriale 1.0.

Nel gennaio del 1850 fu formato un comitato per scegliere il progetto per un edificio per esposizioni temporanee, che mettesse in mostra le ultime tecnologie e innovazioni da tutto il mondo, in occasione della Grande Esposizione Universale che si sarebbe tenuta a Londra nel 1851.
La struttura doveva essere il più economica possibile, ed essere costruita entro il primo maggio del 1851.
Il primo esempio di edificio interamente industrializzato è, così, fornito dal Crystal Palace, il primo edificio in Europa nel quale struttura e rivestimento sono sviluppati in maniera standardizzata e completamente integrati nel formare l'edificio.
Il progetto era basato su una griglia modulare, costituita da triangoli rettangoli specchiati e moltiplicati, in vetro, sostenuti da una griglia di travi e pilastri in ghisa. Questa unità modulare era molto leggera e resistente: fu estesa per una lunghezza di 564 metri. Tutti gli elementi erano prefabbricati e facili da assemblare, inoltre ogni unità modulare risultava essere strutturalmente indipendente da tutte le

altre: questo consentiva agli operatori di lavorare autonomamente e di velocizzare i tempi di montaggio complessivi. La struttura richiese soli otto mesi per essere completata.
Ciò che è interessante è che, quando l'esibizione fu chiusa 6 mesi dopo, la struttura fu disassemblata e riassemblata nella zona suburbana di Sydenham Hill, nel Sud di Londra.
Il caso studio del Crystal Palace di Londra rappresenta un punto di partenza verso la definizione di un nuovo metodo di analisi rispetto alla composizione tecnica e alla potenzialità delle strutture leggere.
Contrariamente, rispetto alle strutture tradizionali, dove tutti gli elementi sono uniti insieme a formare un'unica massa, si ha una nuova situazione di separazione delle funzioni dell'edificio: supporto, partizionamento e tamponatura.

L'applicazione di questo concetto si può osservare non solo nel Crystal Palace, ma anche nella Menier Chocolate Factory, progettata dall'architetto H.R. Palmer nel 1829.
In questo caso, l'innovazione è data dall'utilizzo di lamiere ondulate in ferro battuto, che costituiscono un sistema di copertura leggero che non ha necessità di supporti in legno secondari.
Se da una parte possiamo identificare l'industrializzazione come motore dell'innovazione tecnologica, dall'altra dobbiamo osservare che un altro aspetto fondamentale è quello economico.

3.2.2 | Rivoluzione Industriale 2.0

La seconda Rivoluzione Industriale, avvenuta tra il 1870 e il 1914, si incentrò sulla produzione di massa attraverso la mappatura di nuovi elementi e tecnologie.
La produzione dell'acciaio, nel settore elettrico e dei trasporti, ha guidato il settore edile rinnovando i sistemi di progettazione di architetti ed ingegneri. Le nuove tecnologie e conoscenze hanno permesso agli operatori di raggiungere importanti traguardi in campo strutturale, ottenendo un importante livello di alleggerimento verticale delle strutture. La prefabbricazione inizia a diventare una strategia di progettazione che diviene mezzo essenziale per attuare la seconda Rivoluzione Industriale nel settore.

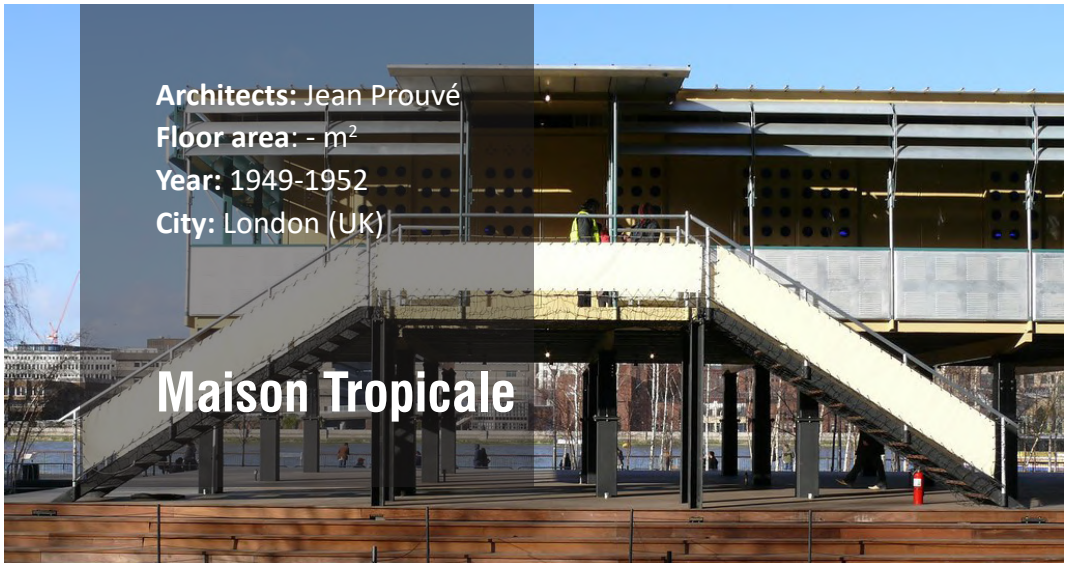
3.2.3 | Rivoluzione Industriale 3.0

La terza Rivoluzione Industriale vede un cambiamento nell'approccio degli operatori nei confronti della tecnologia.
Alla fine degli anni '50 del Novecento, grazie all'*Information Technology* (IT) e ai computer, è stato possibile iniziare a digitalizzare molteplici informazioni, in campo meccanico e analogico, portando la produzione di massa a un livello successivo.
I software divengono strumenti essenziali per architetti e ingegneri, permettendo loro di essere assistiti nelle fasi di progettazione. Il 3D viene impiegato come nuovo metodo di rappresentazione per migliorare la precisione ed espandere i limiti delle creazioni e delle produzioni.
L'innovazione porta alla richiesta di nuove capacità digitali da parte degli operatori nel settore, che consentano loro di inserire input tecnici all'interno dei software. Le geometrie costruite devono essere realizzate attraverso processi di fabbricazione *Computer Numerically Controlled* (CNC), che permettono di svolgere funzioni di controllo di base sul movimento di macchinari, attraverso istruzioni codificate.
Il CNC ha permesso l'integrazione dei modelli CAD con il *Computer Aided Manufacturing* (CAM), per produrre la *mass-customization* e la produzione computerizzata di elementi costruttivi.
Con la fabbricazione digitale e i nuovi strumenti dell'architettura digitale si passa ad una costruzione più economica ed efficiente.

Il Dopoguerra

Rispetto alle premesse fatte finora, nelle quali iniziamo a vedere i primi avanzamenti di un'innovazione in atto (con edifici come il Crystal Palace o la Tour Eiffel, realizzata

per l'Esposizione Universale del 1889 a Parigi), si deve guardare anche a quello che fu lo scenario europeo immediatamente successivo a questa fase: la ricostruzione del Dopoguerra.
In questo momento, tutte le tecnologie elaborate, vennero unite per definire un sistema che permettesse di ottenere delle componenti standardizzate e prefabbricate, che potessero essere trasportate ovunque.
Il concetto della prefabbricazione venne adattato a quelle che erano le esigenze del momento: costruire velocemente e al minimo costo. Ne risultò una netta contrapposizione rispetto a quanto era successo in esempi come quello del Crystal Palace: contrariamente a quanto succedeva in questo esempio, il prefabbricato divenne uno strumento di omologazione, con il quale si creò un tessuto costruito ovunque uguale a se stesso.
L'obiettivo era quello di ottenere delle componenti prefabbricate che fossero il più grandi possibili, in modo tale da limitare il numero delle operazioni di assemblaggio. Un aspetto che non venne considerato è il fatto che, più grande è l'elemento, minore è la possibilità di movimento e adattabilità della struttura.
Ciò che rappresenta una contraddizione in quanto detto finora, è il fatto che l'industrializzazione dell'architettura è stata dominata dalla logica di produzione di componenti standardizzate che, prima di tutto, fossero *cost-saving*.
Come dice W. Mitchell nel suo articolo *Artefact grammars and architectural invention*, lo studio dello sviluppo della scienza dei materiali e delle tecniche di produzione è un argomento che non è mai chiuso e definito: gli sviluppi della tecnologia possono sempre estendere il range dei materiali disponibili e delle tecniche di produzione conosciute; inoltre, le esigenze dell'economia e le condizioni sociali possono determinare ciò che è effettivamente praticabile in un preciso momento e in un particolare contesto.
Ciò che caratterizza questa fase dell'industrializzazione dell'architettura è una maggiore attenzione verso la limitazione dei costi, piuttosto che verso la qualità della vita.
Alcuni architetti, tra i quali Richard Rogers, Norman Foster, Jean Prouvé etc., hanno proposto diversi esempi nei quali si va oltre il modello di edificio industrializzato raccontato precedentemente. Questi ultimi dimostrano che ci sono diversi modi di realizzare edifici che siano il risultato dell'assemblaggio di componenti prefabbricate.
Un esempio può essere la Maison Tropicale, realizzata tra il 1949 e il 1952 su progetto di Jean Prouvé, a Londra.



La Maison Tropicale è un esempio di edificio, tecnologicamente parlando, molto avanti per i suoi tempi. Prouvé fu rinominato *il padrino dell'alta tecnologia*, infatti entrò a far parte della giuria del Centre Pompidou.
Fu progettata per essere trasportata in aree remote dell'Africa con degli aerei cargo, per poter ospitare i coloniali francesi.
Venne realizzata interamente, per motivi di trasporto, in pezzi di alluminio e acciaio piatti e leggeri. Si tratta di un esempio di edificio in anticipo, anche in termini di *eco-design*. Viene considerato la massima espressione dell'interesse dell'architetto per le strutture mobili.
Durante la progettazione, Prouvé ha prestato particolare attenzione nel garantire che i singoli componenti, prima del montaggio, potessero essere imballati in modo tale da poter essere caricati su aerei per il trasporto all'estero.
Il modello, realizzato per la prima volta nel 1951 a Brazzaville, Repubblica del Congo, è stato ricostruito ora nello spazio esterno della Tate Modern, a Londra.

3.2.4 | Rivoluzione Industriale 4.0

La quarta Rivoluzione Industriale, rispetto alle precedenti, ha subito una rapida ascesa nel settore.
"Mentre la Rivoluzione Industriale 1.0 ha introdotto l'energia meccanica, la Rivoluzione Industriale 2.0 ha alleggerito l'industria e la Rivoluzione Industriale 3.0 ha digitalizzato l'informazione e la produzione, l'industria 4.0 ha amalgamato il mondo fisico con l'era dell'informazione, diretta dall'approccio del sistema *cyber-fisico*."[24]
Come anticipato precedentemente, la Seconda Guerra Mondiale ha segnato un periodo di nuove necessità nel settore: si rese necessario un piano di

24 R. MASKURIY, A. SELAMAT, K. N. ALI, P. MARESOVA, O. KREJCAR, *Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?*, 2019

ricostruzione, per recuperare le perdite subite a seguito delle distruzioni causate dai bombardamenti.
L'argomento è diventato nuovamente centrale a seguito della crisi abitativa avvenuta nel 2005. Un duro colpo al settore delle costruzioni è stato dato dall'aumento della popolazione mondiale di circa 200.000 persone al giorno, fattore che ha determinato la necessità di aumentare il ritmo e l'efficienza nel costruire. Si aveva urgente necessità di alloggi a prezzi più accessibili e di nuove infrastrutture sociali di utilità e di trasporto.
Questi hanno avuto, e avranno, un impatto positivo sull'economia nel settore. I cambiamenti costringono le aziende e i professionisti a continuare a innovarsi, diventando più efficienti sotto distinti aspetti, dalla scelta delle risorse impiegate alla riorganizzazione del processo produttivo.
Gli enti operatori devono fare riferimento alle tecniche innovative derivanti dalla digitalizzazione del settore. Incorporando il BIM, le scansioni tridimensionali, i droni e la realtà aumentata si riuscirà a raggiungere una maturità di mercato tale da dominare il cambiamento nel settore.
L'industria 4.0 è anche conosciuta come *produzione intelligente*, *internet industriale* o *industria integrata*. Si fa riferimento all'*Internet of Things* (IoT) e all'internet dei servizi integrati con l'ambiente di produzione. Le aziende del settore hanno la possibilità di connettersi e controllare i propri servizi, macchinari e fabbriche in maniera istantanea attraverso il *Cyber Physical System* (CPS). Grazie al sistema informatico del *Ciber-fisico*, è possibile interagire in maniera continua con il sistema fisico di una determinata risorsa. Esso si basa sulle tre C: capacità computazionale, comunicazione e capacità di controllo.
Gli operatori, costantemente collegati in rete con professionisti di ambiti differenti, hanno la possibilità di attuare migliori pianificazioni raggiungendo importanti risultati aziendali e sociali.
La quarta Rivoluzione Industriale, caratterizzata dalla digitalizzazione e dai nuovi strumenti innovativi, ha fatto sì che il BIM diventasse il nuovo deposito di informazioni progettuali.
Il BIM è ormai diventato lo strumento di riferimento nel settore delle costruzioni, grazie alla sua potenzialità e interconnessione con altri ambiti. L'integrazione del BIM nell'ambiente IT ha accompagnato la principale delle transizioni: dalla pratica di *reagire all'evento* si è passati alla pratica di *prevedere l'evento*.
La previsione consente di avere maggiore controllo e garantisce una supervisione più accurata dei singoli processi progettuali e produttivi, raggiungendo così un livello di consapevolezza fin dalle prime fasi di elaborazione del progetto.
L'IoT, insieme al BIM, ha permesso, a diverse parti interessate al progetto, di interagire in tempo reale da luoghi distinti. L'innovazione delle collaborazioni professionali ha portato a massimizzare la produttività, migliorare il flusso di informazioni durante l'intero ciclo di vita di un prodotto, ottimizzare l'efficienza energetica e migliorare la sicurezza e la protezione, sia in cantiere che durante

l'uso.
L'innovazione che si sta vivendo in questi ultimi due decenni è ancora agli inizi: alcune aziende stanno cercando di adottare le nuove tecnologie e software e, quelle poche che li hanno già assimilati, non li utilizzano al 100% delle loro potenzialità. Gli aspetti tecnici di alcune tecnologie sul mercato sono ancora oggetto di studio.
Le alte potenzialità delle nuove tendenze portano i progettisti a realizzare lavori di costruzione sempre più complessi e all'avanguardia.
L'industria 4.0 diviene, quindi, un importante snodo per consentire al settore di passare da decenni caratterizzati da un andamento costante del mercato, a un nuovo modello di business.
Nonostante il settore edile determini un importante contributo occupazionale ed economico per molti Paesi, ad esso si associano ancora degli investimenti di capitale molto bassi.
Uno studio del 2019, intitolato *Industria 4.0 per l'edilizia: quanto è pronta l'industria?* fa emergere l'importante impronta che la quarta Rivoluzione Industriale sta lasciando nel settore edile, facendo emergere, inoltre, delle riflessioni legate alla lenta adozione di alcuni strumenti tecnici da parte di professionisti e imprese.
"L'industria 4.0 ha sfidato il settore edile fornendo uno sguardo al potenziale della digitalizzazione delle costruzioni. Questo ha comportato la disponibilità di dati digitali e l'accesso digitale online a banche dati che raccolgono ed elaborano automaticamente i dati elettronici. [...] La filiera frammentata del settore edile, che comprende diverse piccole e medie imprese (PMI), limita la capacità di investire in tecnologie innovative. Un altro motivo, alla base della lenta adozione, è il divario tra edilizia e produzione, che è relativamente enorme, sebbene entrambi i settori siano classificati nello stesso gruppo e lavorino insieme. Anche l'indisponibilità di una strategia di modifica del processo, un piano di implementazione dedicato e l'allineamento della strategia aziendale hanno contribuito alla lentezza dell'adozione. [...] Con la capacità di automatizzare sia i processi di progettazione che di produzione e la possibilità di gestire una quantità eterogenea e significativa di informazioni, si prevede che l'Industria 4.0 sarà in grado di migliorare la qualità e la produttività delle costruzioni e di attrarre investitori nazionali ed esteri."[25]

25 Industria 4.0 per l'edilizia: quanto è pronta l'industria?, 2019

3.2.4.1 | Il ruolo del BIM nel settore delle costruzioni

L'editor di BIM Ireland, descrive perfettamente la situazione e l'importanza del BIM nell'articolo, *Remote Working and Collaboration*[26]:
"Se dividiamo la costruzione in tre parti, ovvero progettazione, approvvigionamento e costruzione fisica, è chiaro che quasi il 100% della progettazione e dell'approvvigionamento potrebbe aver luogo senza che le persone debbano incontrarsi fisicamente. Le tecnologie per il lavoro e le riunioni a distanza, basate

26 BIMireland.it, *Remote Working and Collaboration*, 2020

sul cloud, sono in atto da molti anni e le persone hanno improvvisamente avuto un risveglio del loro potenziale.
Utilizzando tecnologie come il BIM (Building Information Modelling), siamo in grado di progettare, coordinare, testare, analizzare e risolvere qualsiasi potenziale problema, all'interno di un modello digitale virtuale del progetto di costruzione, prima che qualsiasi lavoro fisico debba essere eseguito. Possiamo pianificare la logistica e la sequenza di lavoro, in questi modelli digitali, per vedere come l'assemblaggio fisico può essere eseguito al meglio, in modo sicuro (un processo chiamato BIM 4D).
Possiamo calcolare le quantità e i costi, e persino i programmi di approvvigionamento, in questi modelli digitali, prima che debba aver luogo qualsiasi lavoro fisico (un processo chiamato BIM 5D).
Possiamo testare e analizzare le prestazioni dei futuri ambienti edilizi, tenendo conto dell'occupazione, del movimento delle persone, dei sistemi di trattamento dell'aria ecc., in questi modelli digitali (un processo chiamato BIM 6D), e possiamo pianificare le operazioni future e la manutenzione di questi futuri ambienti edilizi (un processo chiamato BIM 7D).
Soprattutto, possiamo fare quasi tutto questo lavoro, senza dover essere fisicamente in co-locazione, tutti concentrati attorno al modello digitale. Chiaramente, la combinazione tra lavoro a distanza basato su cloud e strutture per riunioni a distanza, combinate con il BIM, fornisce l'ambiente ideale per andare avanti e rimanere altamente produttivi in questa nuova *era di pandemie* in cui ci troviamo".

3.2.4.1.1 | Applicazione del BIM al MEP System

L'industria *Architecture, Engineering, Construction and Operations* (AECO), di cui si parlerà nel dettaglio nel capitolo successivo, è parte integrante del settore delle costruzioni, che produce progetti architettonici, progetti ingegneristici e costruzione di servizi. Come detto precedentemente, l'industria delle costruzioni 4.0 esplora ed approfondisce l'applicazione della tecnologia digitale in campo costruttivo, ingegneristico ed industriale; ciò, con l'obiettivo di determinare uno sviluppo sostenibile a livello sociale, economico ed ambientale.
Il BIM riveste un ruolo chiave all'interno dell'industria 4.0, rappresentando il principale sistema di *data repository* per la raccolta di informazioni digitali nel MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*) system.
Il MEP system include i sistemi di riscaldamento, di ventilazione e condizionamento dell'aria, siglati *Heating, Ventilating, and Air Conditioning* (HVAC), i sistemi elettrici, elettronici e gli impianti idraulici, che sono importanti componenti dell'edificio e delle relative infrastrutture.
I tre campi tecnologici, *Mechanical, Electrical and Plumbing*, a cui si fa riferimento

in ambito di MEP system, sono quelli il cui studio e approfondimento rende gli edifici abitabili per l'uomo.
Le installazioni MEP sono tendenzialmente progettate contemporaneamente, in modo da incrementare la collaborazione tra le diverse parti.
Quando si progetta un edificio, un approccio integrato rispetto ai sistemi MEP garantisce risultati migliori, rispetto a una soluzione progettuale nella quale ogni sistema viene pensato come se fosse isolato.

In ambito residenziale e commerciale, i sistemi tecnologici principali che vengono previsti riguardano il riscaldamento, la ventilazione e il condizionamento dell'aria.
Questi sistemi mantengono la temperatura e l'umidità interne in un range di valori che garantisce comfort e salute; la ventilazione meccanica, inoltre, provvede a garantire un continuo ricambio di aria pulita. Ciò permette di mantenere la concentrazione di inquinanti molto bassa.
Quali sono i campi di approfondimento nello sviluppo di un MEP system?

M: *Mechanical Engineering*
ASHRAE[27] raccomanda di mantenere l'umidità relativa tra il 30% e il 60%. Questo range di valori minimizza la presenza di batteri e virus aerotrasportati, determinando comfort per gli occupanti. Se i valori di umidità escono da questo range per periodi di tempo estesi, si possono verificare delle conseguenze negative: un'umidità relativa molto bassa può irritare la pelle, mentre un'umidità relativa elevata può stimolare la crescita di batteri e muffe.
La progettazione degli impianti meccanici richiede uno studio progettuale più attento, a livello di organizzazione architettonica degli spazi, in quanto tali impianti sono, generalmente, di grandi dimensioni (ad es. pompe di calore, unità di trattamento aria, etc.).

27 ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*: ente internazionale con sede a New York che si occupa di normative nei campi del riscaldamento, della ventilazione, del condizionamento dell'aria e della refrigerazione

E: *Electrical Engineering*
Nelle costruzioni particolarmente sviluppate in altezza, trovare il giusto posizionamento per l'impianto elettrico può aiutare a risparmiare grosse quantità di materiale.
Si tende ad avere una maggiore flessibilità rispetto ai sistemi meccanici, in quanto i sistemi elettrici occupano meno spazio e possono essere gestiti più facilmente.
Con l'aiuto dei software di progettazione MEP, è possibile disporre l'intero impianto riducendo al minimo la lunghezza totale del circuito, ed evitando conflitti di posizione con installazioni meccaniche e idrauliche.

P: *Plumbing Enineering*
Le installazioni idrauliche sono, a loro volta, soggette a verifiche. Il processo di definizione dell'idraulico prevede come primo step la progettazione dei percorsi delle tubazioni, similmente al progetto dei passaggi dei fili elettrici nella definizione

di tale impianto.
Le installazioni idrauliche interagiscono con gli impianti meccanico ed elettrico da molti punti di vista, e la collaborazione tra i diversi progettisti che si occupano di tali temi è fondamentale:

- Gli edifici multipiano solitamente necessitano di serbatoi che mandino l'acqua in pressione verso l'alto. Questi vengono attivati tramite l'elettricità;
- I sistemi di produzione di acqua calda sanitaria normalmente utilizzano un piccolo boiler elettrico, oppure uno scambiatore di calore, collegato a una caldaia per il riscaldamento degli ambienti.

Negli ultimi 10 anni, la richiesta di applicazione del BIM nel MEP system ha subito una forte accelerazione. Ad esempio, come in un sistema visivo dal vivo, tramite il BIM è possibile individuare dei disallineamenti tra le varie componenti impiantistiche; inoltre, è possibile fornire delle possibili soluzioni alternative in modo automatico.
Stante la crescente domanda di *edifici digitali*, progettati tramite la tecnologia BIM, considerata ormai parte integrante dell'industria delle costruzioni 4.0, è necessario sviluppare una maggiore conoscenza di tali sistemi.
In contrasto con il fortissimo aumento della domanda di tecnologia BIM nel settore AECO, c'è stata una mancanza di studi su come i sistemi MEP, basati su BIM, possano essere efficacemente incorporati nei progetti di ingegneria per gli studenti universitari.
In sintesi, sebbene l'applicazione BIM sia diventata un luogo comune in termini di pratica dei sistemi MEP, al momento manca la comprensione di come le competenze relative al BIM e le più ampie tecnologie dell'industria 4.0 possano essere incorporate nei programmi di formazione ingegneristica.
Sono stati pubblicati diversi studi sull'utilizzo del BIM nel contesto MEP.
Yung et al. documentano e sviluppano uno studio MEP in coordinamento con un modello BIM, sulla base del linguaggio IDEF0, di cui si parlerà successivamente. Viene dimostrato che il modello, e quindi il coordinamento con il sistema BIM, può ridurre i costi del coordinamento manuale tra le diverse parti impiantistiche.

"MEP coordination is an important area of constructability review. Three knowledge domains are required for MEP coordination, namely, design, construction, and operations and maintenance. Each domain consists of several knowledge areas. It can be seen that other than design knowledge, a lot of construction, operation and maintenance related knowledge areas are required for MEP coordination."[28]

Korman et al.

28 J. ZHANG et alii, *Toward next-generation engineering education: A case study of an engineering capstone project based on BIM technology in MEP systems*, 2020

Domain	Knowledge area	Author (Date)
Design Knowledge	• System function and performance; • Material considerations; • Support requirements; • Aesthetic considerations; • Insulation and clearance.	Korman et al. (2003)
Concstruction knowledge	• Sequencing considerations; • Fabrication considerations; • Installation considerations; • Safety requirements; • Start-up and testing requirements; • Tolerance and variance; • Productivity.	Korman et al. (2003); Tabesh and Staub-French (2006)
Operations and maintenance	• Accessibility requirements; • Expandability and retrofit requirements; • Safety considerations; • Connection considerations; • Performance; • Space.	Korman et al (2003); Tabesh and Staub-French (2006)

(Tabella) © P. YUNG et ali, *Knowledge areas for MEP coordination,* 2014. Rielaborazione a cura delle autrici

Korman et al. (2003) classificano le interferenze tra le varie componenti in un MEP system in 5 tipologie, ovvero: effettive, estese, funzionali, temporali e future.

- Le interferenze effettive fanno riferimento a problematiche di natura fisica, meglio conosciute come *hard clashes*;
- Le interferenze estese fanno riferimento a problematiche dello spazio nel suo complesso (come, ad esempio, percorsi di ingresso);
- Un esempio di interferenza funzionale può essere una tubazione che occlude una sorgente luminosa;
- Le interferenze future si presentano quando lo spazio abitativo non è disponibile per operazioni di manutenzione o espansione;
- L'interferenza temporale si riferisce alla prevenzione di una sequenza e pianificazione efficiente della costruzione.

Tradizionalmente, il coordinamento dei MEP è condotto attraverso un *processo di confronto sequenziale* (Riley et al. 2005; Khanzode et al. 2008; Korman e Speidel 2010). In questo processo, il progetto preliminare è preparato da un ingegnere consulente, mentre il progetto dettagliato per ogni attività è sviluppato da appaltatori specializzati. Questi ultimi confrontano in sequenza i loro disegni esecutivi, alla stessa scala, su un tavolo luminoso, sovrapponendo più fogli, e cercano di identificare potenziali conflitti. Ovviamente questo metodo manuale è costoso, dispendioso in termini di tempo e inefficiente.

Riley et al., nel 2005, hanno intervistato 12 project manager negli Stati Uniti e hanno scoperto che il costo di coordinamento MEP per laboratori di ricerca o ospedali variava da \$0,4 a \$1,89/ft^2, che è circa lo 0,8-2,7% del costo totale MEP.

Con il rapido sviluppo della tecnologia BIM, il processo di coordinamento MEP viene, invece, notevolmente facilitato.

Project Details	MEP design and modelling organization & roles	Benefit of BIM enabled MEP coordination	Author (Date)
A 3-storey 250,000 ft² medica i office build ing and a 2-storey I ,400 space parking garage in California; contrae! value $96.9M; floor to ceiling height: 2.74-2.90 m.	Procurement method: "Des ign Assist"; MEP functional design by consultant engineer; MEP coordination facilitated by generai contractor; MEP detail design, modelling, and coordination by specialty contractors (led by HVAC contractor).	For owner: No RPls or change orders related to field conflicts of mode led part, saving of $9M and 6 months; For consultants: spent less time during construction phase; For general contractor: spent less time in resolving field conflicts, better safety performance; For specialty contractors: ali trades finished ahead of or on schedule, higher field productivity, more pre-fabrication, less rework .	Staub-French and Khanzode (2007); Khanzodee et al. (2008)
A 1-storey plant facility of 20,000 ft² in California; contract value $6 M.	Procurement method : Design and bu ild; MEP functional design by consultant engineer; design coordination by general contractor; MEP detail design and modelli ng by specialty contractors.	Most design conflicts/errors identified before construction; productivity significantly improved; less rework; increased opportunities for pre-fabrication; fewer request for information; fewer change orders; ability to build the system with less skilled labor force; improved safety performance ; better cost control.	Staub-French and Khanzode (2007)
A 6-storey 11,427 m² (123,000 ft²) Chem-Bio teaching andresearch space in Vancouver	Procurement method: CM at risk MEP functional design by consultant engineer: only about 800 m² of laboratory and corridor soace were modeled by university researcher.	Identified 25 design errors, omissions and inconsistencies; avoided 25 MEP coordination issues or conflicts.	Tabesh and Staub-French (2006)
A 168,00 ft² art perforing center in California; contract value $ 100 M	Procurement method: CM at risk w ith GMP; MEP design (from schematic to construction documentation) by consultant engineer, Constructab ility review by CM; modeled by CM (cost $80,000).	More subcontractors were w illing to bid and the lowest bid was with in budget ; 2000 clashes identified and cosi avoided was estimated to be $5M.	Ghanem and Wilson (2011)
A 32-storey (including 3 basement car park levels) 17,400 m² apartment building	A controlled experiment was conducted where one designer used trad itional 2D coordination while the other used 3D coordination.	30 based method is almost 30% more time efficient; In traditional 20 method about 1/3 of time is devoted to non-value-adding checking and correction; Some interferences could only be detecte with 3D method.	Santos and Ferreira (2008)

(Tabella) © P. YUNG et ali, *A comparison of cases with BIM enabled MEP coordination*, 2014.
Rielaborazione a cura delle autrici

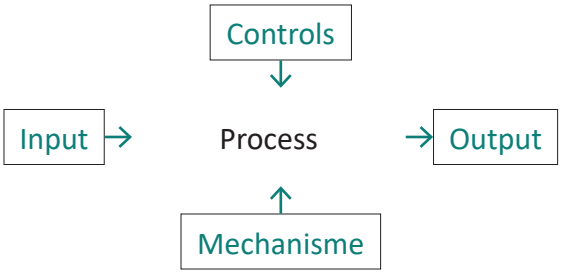
3.2.4.1.2 | Il modello cinese IDEF0

Viene presentata di seguito l'elaborazione, da parte degli autori Yung et al., di un sistema di coordinamento MEP/BIM., che prende il nome di linguaggio IDEF0.
Nonostante la portata del settore delle costruzioni in Cina, l'implementazione del BIM nella pratica costruttiva è ancora limitata. Un'indagine condotta nel 2011 ha mostrato che il 73% delle imprese costruttive intervistate non ha mai adottato il BIM, e solo il 27% dichiara di avere familiarità con tale tecnologia.
Idealmente, progettare con il BIM significa affrontare tutti gli step progettuali, fin dall'inizio, in 3D. Nonostante ciò, data la scarsa conoscenza e adozione del sistema, gli autori elaborano un sistema di coordinamento MEP/BIM nel quale sono incluse alcune fasi progettuali che prevedono elaborazioni 2D.

"We shall use IDEF0 language to describe the process. IDEF0 does not itself improve the MEP coordination process, but it is a very good tool to present our proposed process specifically designed for transition into BIM usage.
IDEF0 language is a modelling tool to specify business function in a simple diagram. The advantage of using IDEF0 for process analysis is that the subsystems in a process can be analyzed in detail".[29]

P. YUNG et ali

29 P. YUNG et ali, *A BIM-Enabled MEP coordination process for use in China (pag5)*, 2014



(Tabella) © P. YUNG et ali, *Elements of a IDEF0 Model*, 2014. Rielaborazione a cura delle autrici

Per quanto riguarda la progettazione MEP, è necessario un processo codificato. Il BIM ha il principale scopo di fornire e coordinare informazioni: queste devono essere sfruttate nel *decision making process*.

Il linguaggio IDEF0, proposto dagli autori, ha lo scopo di facilitare questo processo, in quanto il suo obiettivo è quello di fornire, in maniera dettagliata, gli input, gli output, gli attori etc. dell'intero processo: ciò facilita il flusso e l'integrazione delle informazioni e la possibilità di seguire il processo in maniera consapevole.

Il modello IDEF0 è sviluppato per livelli. Il livello 1, quello più alto, mostra le prime sei funzioni principali del BIM all'interno del processo progettuale:

- *Project plan*;
- *2D concept design;*
- *3D concept modeling;*
- *2D detail design;*
- *3D detail modeling;*
- *Review meeting.*

Ogni funzione può essere ulteriormente suddivisa, per mostrare i dettagli più significativi di ognuna.

In prima battuta, si ha la scomposizione della fase di progettazione 2D, interna al livello 2, in tre macro-fasi: progetto architettonico, progetto strutturale e progetto impiantistico MEP. Questi tre sottosistemi potrebbero essere ulteriormente scomposti, ma questo va oltre lo scopo finale degli autori.

La terza fase del livello 1 è la definizione del modello 3D. L'input è dato dal concept progettuale prodotto in 2D e l'output sarà una modellazione dettagliata. In questa fase, il concept progettuale 2D potrebbe non avere il livello di dettaglio richiesto per la modellazione.
Successivamente, si ha la fase nella quale si definiscono le condizioni per creare un modello 3D definitivo, nel quale tutte le informazioni fornite possano integrarsi a vicenda. I modelli relativi alle singole discipline vengono costruiti separatamente in parallelo e, solo successivamente, vengono integrati in un modello finale. Alla fine, il modello ottenuto dalla somma dei singoli modelli realizzati precedentemente, richiederà un'ottimizzazione conclusiva.

Un modo per facilitare la coordinazione tra i progettisti è "riunirli tutti insieme in una grande unica stanza", come suggerito da Khanzode et al. (2008)
La quarta sezione del progetto dettagliato 2D è quella fase con la quale si arriva a un maggiore livello di dettaglio; con la quinta sezione, si ottiene invece un modello 3D di dettaglio. A seguito di questa fase, si ricercano i conflitti tra le diverse parti e si suggerisce come questi possano essere risolti.
La differenza tra la progettazione 3D dettagliata e la modellazione concettuale sta negli ultimi due livelli di azione: individuazione dei conflitti vs. ottimizzazione progettuale per le discipline MEP.

Fatta eccezione per alcuni vincoli conosciuti, come, ad esempio, l'altezza dei soffitti, la dimensione delle tubazioni etc., esistono altri punti focali che vanno considerati durante un'operazione di coordinamento MEP, per evitare le cosiddette *soft clashes*.

Si deve indicare:

- Se le tubazioni sono rivestite da isolamento e, eventualmente, lo spessore dell'isolamento: frequentemente, nei disegni tecnici viene indicata solamente la dimensione dei tubi;
- Le proprietà materiche delle tubazioni, in quanto, a seconda di ciò, è richiesto uno spazio differente per i cambi di direzione;
- Lo spazio e le modalità di installazione;
- Lo spazio accessibile per la manutenzione.

Alcune *soft clashes* possono essere individuate tramite software, definendo lo spazio necessario per alloggiare lo specifico elemento. Ad esempio, in un caso riportato dagli autori, c'è uno spazio di soli 50 mm tra le canaline dell'impianto elettrico e i canali dell'aerazione, ma sono richiesti 100 mm di spazio di installazione sopra la canalina stessa. Nonostante non ci sia un forte contrasto tra le due componenti, c'è bisogno di una modifica. Risultando impossibile spostare i canali dell'aerazione in alto di 50 mm, si deve apportare una modifica alla posizione di qualche canale.

Quanto alla sequenza di coordinamento dei sistemi MEP, Koman et al., nel 2010, suggeriscono il seguente ordine:

1. Condutture dell'aria HVAC;
2. Sistema produzione acqua calda sanitaria;
3. Tubazioni di processo HVAC;
4. Tubazioni antincendio;
5. Tubazioni di distribuzione dell'acqua;
6. Rete elettrica.

Il primo punto, quello della canalizzazione dell'aria, è il più difficile da modificare in un secondo momento e, di conseguenza, deve essere verificato per primo; l'ultimo punto, l'elettrico, è considerato il più flessibile.
La struttura dell'edificio ha la priorità assoluta, in quanto non può essere modificata se non in casi di estrema necessità; di conseguenza, l'integrazione del MEP system avviene dopo la definizione dell'architettonico e dello strutturale.
In conclusione, si può dire che l'utilizzo del BIM non comporta una riduzione significativa delle tempistiche, essendo comunque presente una fase di progettazione 2D; d'altra parte, però, può aiutare a minimizzare i costi relativi al coordinamento manuale delle discipline MEP, riducendo potenzialmente il numero di modifiche necessarie in corso d'opera e, di conseguenza, i costi totali.

© Marvin Meyer

3.3 | ARCHITECTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION (AEC)

I settori dell'architettura e dell'ingegneria hanno trovato negli anni molteplici punti di connessione, lavorando insieme per determinare e definire gli interventi e le prestazioni delle strutture.
L'AEC, acronimo di *Architectural Engineering and Construction*, rappresenta una collaborazione tra i professionisti del mondo edile. La collaborazione avviene dalle prime fasi di progettazione, fino alle fasi di realizzazione ed esecuzione.
Ognuno dei tre settori è necessario per poter garantire l'efficacia del sistema e costituisce un pilastro chiave per l'equilibrio complessivo dello stesso:

- *Architectural:* gli architetti hanno il compito di progettare il concept per la costruzione, il restauro o l'intervento di ristrutturazione degli edifici;
- *Engineering:* gli ingegneri supervisionano i progetti di costruzione o di manutenzione, necessari per l'effettiva messa in opera dell'idea progettuale iniziale;
- *Construction:* i professionisti del campo divengono responsabili dei progetti di costruzione ed eseguono il lavoro grazie ad operatori qualificati.

Questo settore ha avuto un lento sviluppo rispetto ad altri. Negli ultimi anni, grazie agli incentivi statali e alle nuove disponibilità e necessità, è divenuto un nuovo punto di interesse per imprese e utenze, sia private che pubbliche.
L'*Orion Talent AEC Professional Search* ritiene che "l'AEC è un mercato globale in crescita e dovrebbe raggiungere i 10,5 trilioni di dollari entro il 2023. Gli esperti

prevedono, inoltre, che cresca con un tasso di crescita annuale del 4,2%, da qui al 2026. Inoltre, il settore globale dell'AEC ha registrato una crescita del fatturato annuo del 40% per 16 anni di fila. Storicamente, i posti di lavoro nel settore sono cresciuti del 3,2%, ma si prevede che cresceranno del 5% nel 2022 e poi in modo esponenziale nei prossimi anni."[30]

30 Orion Talent, *What is the AEC Industry & Where is it Going*, 2022

La crescita prevista nel settore diviene un trampolino di lancio, sia per l'economia, sia per le aziende e i lavoratori.

Per poter sostenere il progresso è necessario affrontarlo con mezzi e forza lavoro qualificata, in grado di garantire il successo di questi nuovi meccanismi, che definiscono il settore in crescita.

La preoccupazione sorge dalla carenza di forza lavoro qualificata, in quanto chi occupa oggi tali posti di lavoro è in età più avanzata e meno propenso all'avanzamento tecnologico: ciò determina un grande divario di competenze e un buco di conoscenze che potrebbe essere difficile da colmare.

Stacia Norman, direttore del ramo del *Construction Recruitment* presso *Orion Talent* spiega che "la capacità di trovare talenti per l'industria AEC sta cambiando. I giovani stanno entrando nel mondo del lavoro, i lavoratori più anziani lo stanno lasciando e sempre più persone lavorano da remoto"; continua Stacia "abbiamo una carenza di persone esperte per soddisfare le esigenze del settore AEC. Sarà una sfida reclutare, assumere e trattenere i talenti nel 2022, ma può essere fatto con il giusto team di reclutamento in atto".[31]

31 Orion Talent, *What is the AEC Industry & Where is it Going*, 2022

Nonostante le grandi difficoltà da affrontare per garantire un'adeguata assimilazione dell'innovazione in atto, il settore delle costruzioni si sta rinnovando grazie alla forte collaborazione tra tutti i sottosistemi, che permette di avere un migliore controllo progettuale e processuale.

Le startup hanno giocato e giocano un ruolo chiave in questa rapida trasformazione. Grazie ai finanziamenti delle società di capitale di rischio, le startup si stanno specializzando, offrendo nuove tecnologie specifiche nel settore delle costruzioni e in quello immobiliare.

La rapida innovazione che stiamo vivendo ha subito una scossa positiva dalla pandemia che, nonostante l'emergenza, dal 2020 ha rivoluzionato il mondo. Questa crisi è diventata una grande opportunità per il settore, permettendo ad aziende e privati di abbracciare più velocemente lo sviluppo tecnologico e generando altrettanti cambiamenti con tale ritmo e tale tasso di innovazione. La necessità di adattarsi ad un *lockdown* totale ha permesso di fortificare la digitalizzazione di molti processi, che sono diventati più produttivi.

"Never let a good crisis go to waste."

Winston Churchill

Sebbene il settore abbia fatto un rapido balzo in avanti nell'era del Covid-19, questo è stato possibile solo grazie all'innovazione che era in atto già negli anni precedenti.

3.3.1 | Le tendenze dell'AEC

Nonostante il settore dell'*Architecture, Engineering & Construction* abbia abbracciato in ritardo la rivoluzione digitale, le innovazioni tecnologiche stanno favorendo la crescita di quest'ultimo. L'AEC sta diventando, negli ultimi anni, un serbatoio di nuove tecnologie. Dal BIM alla stampa 3D, dalla realtà virtuale a quella aumentata e alla *mixed reality*, il design generativo e i gemelli digitali: sono tutte innovazioni che stanno cambiando il settore edile. Si sta assistendo ad un rapido rinnovamento dei processi interni delle aziende e dei metodi per fornire un servizio ai clienti.
Sono molti gli aspetti positivi che hanno portato ad affermarsi le nuove tendenze dell'AEC, tra cui: la riduzione al minimo degli ordini di modifica, l'aumento dell'efficienza, il miglioramento del ritorno sull'investimento e della qualità dei progetti. Queste hanno portato architetti e ingegneri a rinnovarsi, rivedendo il loro modo di lavorare.

Di seguito vengono definite le sette tendenze innovative del settore edile.

3.3.1.1 | Digital Twins

Il *Digital Twin* è una rappresentazione digitale di una risorsa fisica, di un processo o di un sistema, nonché delle informazioni ingegneristiche che ci consentono di comprenderne e modellarne le prestazioni. I gemelli digitali possono includere modelli 3D, rendering digitali e persino l'animazione o la simulazione del traffico stradale, dei percorsi pedonali e dei flussi d'acqua.
Ciò permette di analizzare un oggetto del mondo reale, consentendo di controllare il comportamento del prodotto e della struttura, prevedere futuri interventi di manutenzione e calcolare la qualità e le prestazioni. Queste valutazioni permettono di avere un'idea chiara dell'insieme di un edificio, ancor prima che questo venga costruito. La disamina avviene, appunto, tramite un *gemello* digitale, virtuale.
Questa tendenza permette una gestione digitale dei dati delle infrastrutture. L'introduzione dei Digital Twins nel mondo AEC fa riferimento al modello digitale BIM di edifici e di strutture. Architetti e ingegneri utilizzano i software 2D e 3D,

come CAD, GIS e BIM, per progettare e realizzare il clone digitale di una struttura.
Nasce una nuova tendenza di cooperazione tra professionisti, ad esempio Microsoft e Bentley[32], con la finalità di unire le forze per offrire soluzioni relative alla pianificazione urbana e delle città intelligenti.
Nel 2022 le partnership continueranno ad evolversi in ecosistemi più ampi e multi-partners, integrando il Digital Twin all'interno del modello digitalizzato.

32 Bentley: storica azienda automobilistica britannica di autovetture di prestigio fondata nel 1919 da Walter Owen Bentley a Cricklewood, nei dintorni di Londra.

Vengono definiti alcuni ambiti dei Digital Twins. Essi sono:

- Il modello dei dati: consiste nella descrizione digitale di un manufatto e dei processi che lo riguardano, attraverso dati geometrici e alfanumerici. Oltre all'intera struttura si può definire precisamente anche un suo componente o un sottosistema. Si procede a un'analisi che va dai processi di progettazione a quelli di produzione, impiego, gestione e manutenzione;
- Le analitiche: attraverso l'utilizzo di algoritmi di analisi si verifica il comportamento del manufatto e dell'ambiente in cui è prodotto. Questo avviene tramite sensori, IoT, etc. Viene analizzato il suo gemello virtuale per trarre informazioni riguardo il funzionamento, la gestione e la manutenzione del ciclo di vita utile. Infine, il sistema permette di indagare le interazioni tra il prodotto e l'utente finale;
- La conoscenza: viene effettuata una strutturata raccolta di dati storici, delle esigenze, delle esperienze e delle migliori pratiche, per poter padroneggiare efficientemente il prodotto e migliorare, in maniera continuativa, le prestazioni.

Il Digital Twin diviene un clone del progetto o dell'oggetto reale. Le sue potenzialità di previsione e di controllo lo rendono uno strumento essenziale per architetti e ingegneri. Permette di tenere sotto controllo diversi ambiti, quali:

- Il controllo di produzione: nel quale viene verificato il corretto avanzamento della costruzione secondo previsioni, input progettuali e normativi e l'esperienza accumulata nelle produzioni precedenti e nell'uso;
- Il controllo di gestione: impiega il gemello digitale per verificare il corretto comportamento del fabbricato e dei suoi componenti e per prevedere il mantenimento della qualità originaria e delle performance nell'uso quotidiano;
- Il controllo strategico: l'impiego del Digital Twin è volto a garantire il mantenimento di uno stato ottimale nel tempo e prevedere la risposta alle mutevoli esigenze degli utenti, in continuo cambiamento.

I Digital Twins divengono fondamentali alleati per realizzare una struttura, sia in fase di progettazione e produzione, sia in fase di utilizzo. Attraverso questo sistema, si riducono drasticamente le possibili problematiche che, applicando una metodologia tradizionale, emergerebbero solo in fase di cantiere, portando ad un aumento dei tempi e dei costi di lavorazione.

3.3.1.2 | Artificial Intelligence (AI)

L'Intelligenza Artificiale (AI) è un insieme di tecnologie differenti in grado di consentire alle macchine di percepire, comprendere, agire e apprendere con livelli di intelligenza simili a quelli umani.
Negli ultimi anni si sta prendendo più coscienza delle grandi potenzialità del sistema, ma non è una novità. Il termine *Artificial Intelligence* è stato coniato negli anni '50 da John McCarthy, informatico americano, ritenuto il padre dell'AI; solo dagli anni '90, con l'innovazione tecnologica, dei computer e dei software, il sistema ha assistito ad un importante decollo in molteplici settori.
Viene impiegato per la pianificazione urbana, nei trasporti, nel BIM, in ambito di marketing e delle risorse umane. Anche nel settore delle costruzioni sta emergendo questa nuova tecnologia.
Viene utilizzata nei software di ingegneria e architettura per la progettazione generativa, la selezione dei materiali e il *Robotic Process Automation* (RPA).
L'intelligenza artificiale viene applicata in vari ambiti, dalla scelta di materiali codificati al controllo dei processi produttivi. La potenzialità emerge dalla possibilità di inserire dati e vincoli, come dimensioni o resistenze al vento o alla neve, da cui il software genera una serie di opzioni efficaci per poter sopperire a tutti gli input definiti dal progettista. Infatti, viene definita una progettazione interattiva.
Una branca dell'AI è il *Machine Learning*, l'apprendimento automatico, nel quale una macchina viene predisposta con l'abilità di apprendere informazioni dai dati in maniera autonoma, senza istruzioni esplicite.
L'intelligenza artificiale può essere distinta in due categorie: l'*AI ristretta* e l'*AI generale*.
L'*AI ristretta*, definita *debole*, è la tecnologia che utilizziamo quotidianamente e il suo campo di applicazione è ristretto, in quanto vengono eseguiti singoli comandi; diversa è l'*AI generale*, definita *forte*, che permette di ampliare il campo d'azione di una macchina, arrivando ad emulare l'intelligenza umana.
Nonostante i software riescano a svolgere alcune mansioni in maniera più efficiente dell'uomo, il ruolo dell'operatore rimane centrale all'interno di questa tecnologia. La macchina totalmente indipendente rimane un concetto su carta, perché le capacità umane restano essenziali nel processo di elaborazione dei dati.

Nell'ambito dell'architettura e dell'ingegneria, l'intelligenza artificiale sta cambiando il settore sotto diversi aspetti.

Esplorare con maggiore efficienza gli edifici.
L'AI permette di effettuare una valutazione completa dell'elaborato progettuale: dai calcoli strutturali, all'analisi dell'impatto ambientale di tale prodotto. Questo aspetto permette di rendere più sostenibile una struttura. Il controllo e l'analisi dei

sistemi delle acque piovane, dell'illuminazione e degli impianti di climatizzazione portano ad avere una panoramica ambientale fin dall'inizio.

Passare dal punto A al punto B più velocemente.
La progettazione di un edificio implica molteplici variabili e scelte da compiere, che potrebbero rubare tempo prezioso al progettista. Attraverso l'AI tutte le operazioni vengono velocizzate, garantendo un risultato efficace.
Permette ad architetti ed ingegneri di avere sotto controllo l'intera panoramica dell'edificio, che comprende la progettazione concettuale, la progettazione dettagliata, l'analisi, la documentazione, la fabbricazione, la costruzione, il funzionamento e la manutenzione, una volta che l'edificio è stato costruito, e anche i piani di ristrutturazione o demolizione.
Utilizzando il BIM si ottiene un elaborato contenente molteplici informazioni, compresi i tempi e i costi di realizzazione. L'AI, quindi, diviene uno strumento innovativo per identificare inefficienze, problematiche e tendenze ancor prima che un prodotto venga realizzato, così da evitare sprechi di tempo e denaro, in fase di costruzione e manutenzione.

Camminare con i clienti attraverso una struttura prima che questa venga costruita.
L'AI per la realtà aumentata permette a clienti e a operatori di camminare all'interno dell'edificio in progetto, prima che questo venga realizzato. La qualità della visita è aumentata grazie alla completa simulazione dell'esperienza, dalla parte estetica alla parte sonora. Così facendo, si possono eseguire valutazioni efficaci per implementare il progetto, prima che sia troppo tardi o costoso per effettuare modifiche in corso d'opera.

Aggiornare il processo di costruzione.
La gestione e il controllo del cantiere da parte dell'intelligenza artificiale è un grande passo in avanti nel settore. Oltre all'impiego di macchinari da costruzione autonomi e semi-autonomi, per facilitare le operazioni di estrazione e costruzione, l'AI permette di analizzare il cantiere identificando i potenziali fattori di rischio.
Questa miglioria porterebbe a diminuire i rischi per la sicurezza, i relativi ritardi e i costi di costruzione fino al 20%.

Rendere gli edifici più sicuri.
La sicurezza all'interno di un cantiere o di un edificio costruito può essere monitorata automaticamente attraverso i sistemi di sicurezza intelligenti. Questi sono in grado di scansionare rapidamente e rilevare automaticamente attività sospette e di inviare avvisi agli operatori e ai proprietari. La sicurezza viene garantita anche attraverso dei sistemi di chiusura intelligenti, limitando l'ingresso a determinati locali e aree a coloro che non ne hanno le credenziali d'accesso.

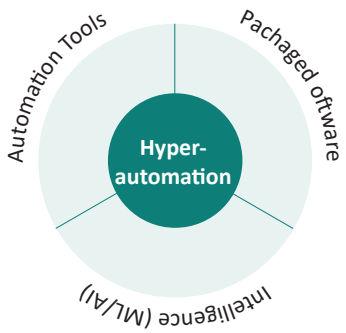
Ottimizzare la manutenzione degli edifici.
La potenzialità della tecnologia AI permette anche di verificare e analizzare i dati dei sensori, così da monitorare perdite o malfunzionamenti. Essi rendono più facile che mai tenere sotto controllo le prestazioni e l'efficienza di un edificio.

Ispirare il design per l'interazione su larga scala.
Grazie alla tecnologia AI è possibile analizzare il comportamento delle persone e i modelli di utilizzo di determinati prodotti e spazi. Questa innovazione può aiutare i progettisti e le imprese a realizzare edifici per creare intere *smart city.* Il comportamento e l'interazione degli utenti con un ambiente consente di ricavare molte informazioni utili a livello progettuale: dalle mutabili esigenze umane, alle differenti abitudini.

3.3.1.3 | Iperautomazione

La trasformazione digitale in corso sta aumentato la domanda di automazione delle operazioni aziendali in tutti i settori. L'*hyperautomation* permette di fornire una risposta efficace, offrendo un'automazione completa e sofisticata, favorendo così la possibilità di guadagnare in efficienza, automatizzando molti processi di business.
Secondo Gartner[33] "l'iperautomazione è un approccio disciplinato e orientato al business, che le organizzazioni utilizzano per identificare, controllare e automatizzare rapidamente il maggior numero possibile di processi aziendali e IT.
L'iperautomazione implica l'uso orchestrato di più tecnologie, strumenti o piattaforme, tra cui: Intelligenza Artificiale (AI); apprendimento automatico; software di architettura basati su eventi; Automazione Robotica dei Processi (RPA); Business Process Management (BPM) e Suite di Gestione intelligente dei Processi Aziendali (iBPMS); Piattaforma di integrazione come Servizio (iPaaS); strumenti *low-code/no-code*; software confezionati; e altri tipi di strumenti di automazione delle decisioni, dei processi e delle attività."

33 Gartner Inc.: società per azioni multinazionale che si occupa di consulenza strategica, ricerca e analisi nel campo della tecnologia dell'informazione con oltre 15.000 clienti nel mondo.

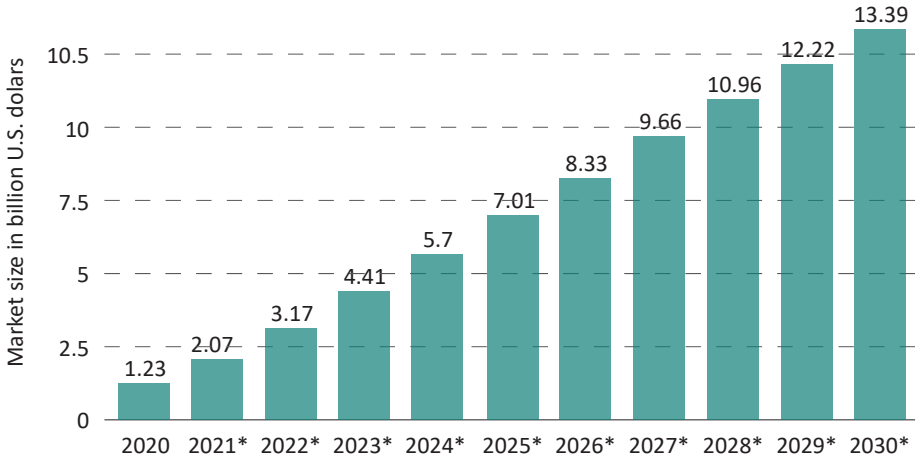


(Grafico) *Hyperautomation – Composizione tipica dei sistemi di automazione.* Elaborazione a cura delle autrici

È in atto un periodo di trasformazione nel quale, anche grazie alla pandemia da Covid-19, le aziende sono sempre più spinte a digitalizzarsi. Secondo un sondaggio Gartner del 2021, il 70% dei CEO vuole rendere le proprie organizzazioni più digitali. Anche per questo l'*Hyperautomation* è divenuta un elemento strategico.

La società di analisi Statista[34] ha recentemente previsto che il mercato complessivo del software abilitante l'iperautomazione raggiungerà i 532 miliardi di dollari. Rappresenta una nuova tendenza, in quanto consente alle organizzazioni un'automazione rapida e intelligente di tutti i processi aziendali, accelerando identificazione, disamina e automatizzazione degli stessi.

34 Statista: sito web tedesco per la statistica, che rende disponibili dati raccolti da istituzioni che si occupano di ricerca di mercato e di opinioni, così come statistiche riguardanti l'ambito economico e statale



(Grafico) © Statista, *Robotic process automation (RPA) market size worldwide from 2020 to 2030 (in billion U.S. dollars),* 2021. Rielaborazione a cura delle autrici

La stessa società multinazionale Gartner, prevede che entro il 2024/25, la combinazione di iperautomazione e processi ridisegnati guardando al digitale ridurrà i costi operativi del 30%.

Le aziende AEC faranno sempre più propria questa tendenza, in quanto diviene un mezzo per migliorare l'efficienza e ridurre i costi dei loro interventi, passando da flussi di lavoro svolti in maniera manuale a flussi automatizzati e iperautomatizzati.

Le aziende di software, come Autodesk[35], impiegano questa tendenza per potenziare le loro strategie di iperautomazione, andando oltre le rapide e puntuali soluzioni, consentendo elevati ritorni a livello aziendale, sui propri investimenti nel campo.

35 Autodesk: azienda di software e servizi rivolti alla progettazione di infrastrutture, costruzioni civili e industriali, ma anche di contenuti multimediali.

3.3.1.4 | AR/VR

La *Augmented Reality* (AR) e la *Virtual Reality* (VR) si stanno evolvendo. Architetti e ingegneri impiegano questa tecnologia per eseguire operazioni di ispezione, manutenzione e riparazione: si sta acquisendo un altissimo livello di precisione

ingegneristica. Questa, insieme al posizionamento a livello GPS della tecnologia all'interno del mondo fisico, sta permettendo agli operatori edili di fornire ai clienti delle visualizzazioni molto accurate dei progetti commissionati. L'esperienza del cliente diventa a 360° all'interno della struttura, permettendo ai progettisti di comunicare le informazioni in maniera semplificata, ridurre al minimo i conflitti e le problematiche e analizzare le possibili alternative progettuali.
La sovrapposizione della struttura virtuale all'interno di un ambiente reale, prima che questa venga costruita, permette di arricchire la visione e le percezioni.
L'AR/VR sta diventando uno strumento centrale per i professionisti, capace di controllare il progredire del lavoro in cantiere, poter individuare problematiche e relative soluzioni progettuali.
La tecnologia, come anticipato, se correlata alla precisione del GPS, può raggiungere dei livelli di prestazione altissimi. Dal semplice 3D di edifici si arriva a modelli di cantiere georeferenziati, con la definizione di strutture sotterranee, cavi e tubi.
L'AR/VR è concettualmente pura immaginazione e concreta realtà.
Non è impiegata solo nel mondo dell'architettura: un esempio è ricollegabile al terremoto di Christchurch del 2011, in Nuova Zelanda, per cui l'Università di Canterbury ha utilizzato questa tecnologia per individuare in maniera efficace gli edifici distrutti, definendo immediatamente la gravità della situazione.
In conclusione, la realtà virtuale continuerà ad essere una tendenza nel mondo dell'AEC, potendo migliorare le prestazioni di lavoro e facendo guadagnare tempo e denaro nella risoluzione di problematiche o visualizzazioni, prima che la struttura venga costruita.

3.3.1.5 | Stampa 3D

Nel settore delle costruzioni, la tecnologia della stampa 3D sta trovando spazio nei progetti di aziende e liberi professionisti, incluse iniziative di progettazione e costruzione extra-terrestri in collaborazione con la NASA[36].
Il primo uso della stampa 3D in edilizia risale al 2004, quando il professore Behrokh Khoshnevis dell'Università del South Carolina, tentò di stampare un muro attraverso questa tecnologia.
Il funzionamento è determinato dalla presenza di un braccio robotico che estrude strati di calcestruzzo per creare un vero e proprio modello 3D. Questa tecnologia determina numerosi vantaggi, che le fanno acquistare importanza nel settore.
Uno dei vantaggi più evidenti è la riduzione del tempo: da un lavoro che dovrebbe durare 3 settimane si passa a 3-4 giorni di lavorazioni. Inoltre, si ha un cantiere silenzioso e si riduce il rischio di infortuni, in quanto, in molti casi, non è necessaria l'installazione di ponteggi. L'impiego delle stampanti 3D porta ad avere un continuo flusso di lavoro, in quanto le macchine non hanno bisogno di fare pause come un

36 NASA, acronimo di National Aeronautics and Space Administration: agenzia governativa civile responsabile del programma spaziale e della ricerca aerospaziale degli Stati Uniti d'America.

comune operatore.
La sostenibilità di questo processo è legata alle modalità di espulsione del materiale, che avviene per processi additivi anziché sottrattivi. Rispetto ad altri sistemi costruttivi, la stampa 3D permette di avere maggiore padronanza delle geometrie di una struttura, replicando fedelmente il modello 3D di riferimento.
Nonostante le grandi opportunità e vantaggi della stampa 3D, ci sono ancora molti aspetti che la portano a rimanere una soluzione di nicchia: si tratta, infatti, di una tecnologia non ancora codificata e standardizzata.
Essendo un metodo ancora in fase di sviluppo, emergono ulteriori criticità nel calcolare e verificare le resistenze nel tempo di strutture realizzate con questa tecnologia.

Esistono differenti tecnologie di stampa 3D impiegate nel settore dell'edilizia. Di seguito vengono citate alcune di queste.
Nel primo caso, il calcestruzzo impiegato non è un calcestruzzo convenzionale, ma un cemento a presa rapida, che permette di realizzare la stratificazione senza che il livello precedente si sfaldi sotto al nuovo.
Esistono molteplici progettisti che hanno elaborato nuovi macchinari che impiegano differenti tecnologie per effettuare la stampa 3D. Ad esempio, l'azienda *Constructions-3D*, che ha realizzato una stampante in grado di lavorare all'interno del sito di costruzione e, terminato il lavoro, esce dalla porta posteriore del costruito.
L'azienda *Cazza Construction* utilizza un sistema di gru mobili, che consente di ampliare l'area di costruzione, realizzando strutture più grandi e più alte.
Ancora, il risultato della collaborazione tra l'Università di Nantes, *Bouygues Construction* e *Lafarge Holcim* è stato un robot industriale sviluppato per stampare 3 strati di materiale alla volta (due strati di schiuma polimerica e un terzo di calcestruzzo). La stratificazione porta ad un isolamento sia all'interno che all'esterno, con un'anima strutturale di rinforzo costituita dallo strato di calcestruzzo.
Un ulteriore esempio: in Italia è stato presentato un nuovo processo di stampa 3D, dall'architetto Enrico Dini, che viene ricordato come *l'uomo che stampa case in 3D*. *D-Shape*, il macchinario, ha un funzionamente che si basa sul legame di materiali, che rende possibile solidificare uno strato di materiale con un legante. Il processo avviene per stesura degli strati di sabbia, seguito da una pioggia di gocce di legante, che serve a far indurire gli strati. Ad oggi questo macchinario è in grado di creare strutture di 6 m^3.
L'innovazione non si ferma all'espulsione del cemento: l'azienda olandese MX3D ha realizzato un modello di costruzione chiamato *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM), che permette di stampare strutture metalliche in 3D. Il robot è costituito da un saldatore e da un ugello per saldare barrette di metallo. Questa metodologia è il risultato della collaborazione tra *Air Liquide* e *ArcelorMittal*.
Quelli enunciati sono solo alcuni degli esempi che sottolineano come il settore

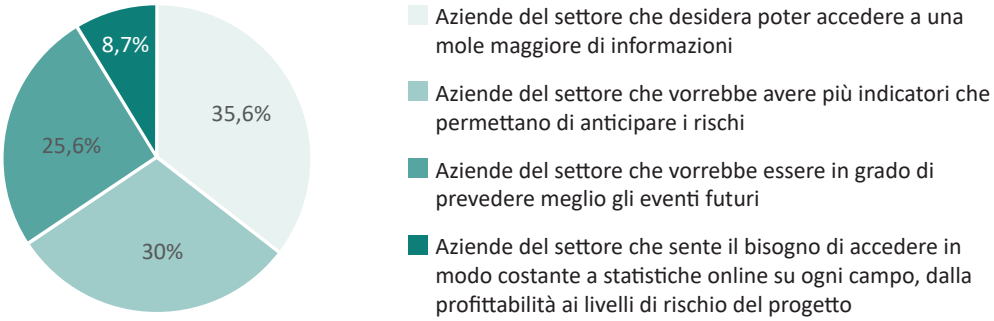
dell'AEC sia in continua crescita e ricerca.
Di seguito viene presentato un caso studio italiano, realizzato da Mario Cucinella.

"TECLA è un innovativo modello circolare di abitazione in cui confluiscono le ricerche sulle pratiche costruttive vernacolari, lo studio del clima e dei principi bioclimatici, l'uso di materiali naturali e locali. Si tratta di un progetto a emissioni quasi zero: il suo involucro e l'utilizzo di un materiale totalmente locale ha permesso di ridurre sprechi e scarti. Questo e l'uso della terra cruda fanno di TECLA un esempio pionieristico di abitazione a basse emissioni di carbonio. [...] 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 forma peculiare, dalla geometria di insieme alle creste esterne, ha permesso l'equilibrio strutturale della costruzione, sia durante la fase di stampa 3D dell'involucro, sia una volta completata la copertura, dando vita ad un design organico e visivamente coerente.
[...] La ricerca tecnologica di WASP, specializzata nella stampa 3D di terra a Km0, ha portato alla tecnologia di stampa 3D collaborativa denominata Crane WASP, la prima al mondo modulare e multilivello progettata per costruire in maniera collaborativa opere edilizie. TECLA è dunque il primo modello innovativo di abitazione costruito impiegando simultaneamente due bracci stampanti sincronizzati nell'ambito di una costruzione, il tutto grazie ad un software in grado di ottimizzare i movimenti evitando collisioni e garantendo l'operatività in simultanea. Il sistema viene configurato in base alle esigenze di progetto e definisce la struttura di un cantiere sicuro ed efficiente. Ogni unità stampante ha una superficie di stampa pari a 50 metri quadrati e rende, quindi, possibile la costruzione in pochi giorni di moduli abitativi indipendenti. L'involucro di TECLA può essere sintetizzato in: 200 ore di stampa, 7000 codici macchina (G-code), 350 strati di 12 mm, 150 km di estrusione, 60 metri cubi di materiali naturali, per un consumo medio minore di 6 kW".

3.3.1.6 | Big Data

L'innovazione tecnologica nel campo dell'informatica, la crescita delle reti 5G e i sensori *Internet of Things* (IoT) stanno contribuendo ad incrementare la disponibilità di dati. Grazie a ciò, la raccolta dei dati informatizzati è oggi molto più rapida e semplice.
Il termine *BigData* (in italiano *MegaDati*) indica, quindi, una raccolta di dati volumetricamente molto estesa, veloce e varia, così ampia da richiedere una serie di tecnologie e metodi analitici specifici per l'estrapolazione delle informazioni.
Il termine viene utilizzato riferendosi alla capacità di codificare un'enorme mole di dati eterogenei, strutturati e non strutturati, così da poter far emergere i legami tra fenomeni e informazioni.
Il settore AEC, grazie ai *BigData*, sarà sempre più veloce e preciso, permettendo di avvicinarsi ai progettisti e ai clienti. Questa tecnologia permetterà di estrapolare informazioni dalle proprie risorse in tempo reale. Ad esempio, grazie ai *BigData*, un operatore può sapere quando una struttura non è in uno stato ottimale o se il calcestruzzo di un ponte sta cedendo.
La raccolta sistematica e completa dei dati sta diventando uno strumento essenziale per efficientare il settore delle costruzioni, riducendo i tempi e i costi per la realizzazione dei progetti.
Secondo uno studio del *Southern Alberta Institute of Technology* (SAIT) di Calgary, è emerso che il passaggio al BIM abbia ridotto i costi del 20%. Secondo un altro studio, svolto dall'Università di Calgary, i modelli di *Virtual Design Construction* (VDC)[37] e gli *Unmanned Aerial Systems* (i droni) stanno diventando dei recettori e produttori di dati essenziali nel settore, trasformandosi in strumenti capaci di colmare il *gap* di produttività del settore.

37 VDV: gestione di modelli prestazionali multidisciplinari integrati di progettazione/ costruzione , il prodotto, i processi di lavoro e l' organizzazione del team di progettazione/ costruzione/ operazione al fine di supportare in modo esplicito e obiettivi di affari pubblici.



(Grafico) Studio dell'università di Calgary, *Sondaggio alle aziende del settore.* Riaborazione a cura delle autrici

Riportando un esempio, un drone che sorvola un'area per soli 30 minuti riesce a raccogliere milioni di dati che, successivamente, vengono riportati nei modelli 3D. Di conseguenza, volando sopra ad un cantiere, lo strumento immagazzina moli di

informazioni, rendendo i lavori più rapidi e sicuri.
Le potenzialità dei *BigData*, nel settore delle costruzioni, divengono un alleato strategico sia nella fase di progettazione, che in quella di costruzione e al termine dei lavori stessi.
Webuildvalue descrive precisamente i vantaggi dell'impiego di questa tecnologia nel settore AEC, nell'articolo *Big data: la rivoluzione nelle costruzioni*, del 2018. "Nella parte progettuale la raccolta delle informazioni comprende non solo il progetto stesso, ma anche l'analisi dei dati ambientali, le indicazioni degli *stakeholders*, così come le discussioni sui social media dei cittadini interessati al progetto. Si tratta di informazioni strategiche che, come nel caso della Brown University, possono influenzare perfino il posizionamento di un'opera.
Nella fase di costruzione, invece, vengono analizzati dati come gli eventi atmosferici, il traffico, il proseguimento delle attività intorno al cantiere: tutti elementi che possono aiutare a rendere i lavori più rapidi ed efficienti. Ad esempio, sensori posti sui macchinari utilizzati in cantiere possono indirizzare la scelta sull'acquisto o sul *leasing* del macchinario stesso. Allo stesso modo, geolocalizzare i macchinari contribuisce a migliorare la logistica, riducendo così il tempo perso.
La terza fase è poi essenziale per testare la qualità del lavoro fatto e prevedere eventuali interventi di aggiustamento. Sensori posti all'interno di edifici, ponti o strade permettono, infatti, di monitorare il funzionamento e, in generale, i livelli di performance dell'infrastruttura; così come raccogliere informazioni sull'impatto del traffico su una strada o sulla flessibilità di un ponte può aiutare ad evitare rischi per la sicurezza degli utenti."[38]
In conclusione, le potenzialità dei *BigData* sono in continuo incremento, grazie all'innovazione tecnologica e al più frequente utilizzo degli stessi. La risoluzione dei problemi, la riduzione dei costi, l'implementazione della sicurezza e l'organizzazione efficiente dei processi produttivi, sono alcuni dei vantaggi di questo macro settore in espansione.

38 Webuildvalue, *Big data: la rivoluzione nelle costruzioni*, 2018

3.3.1.7 | LiDAR

La tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnologia capace di misurare la distanza di un determinato oggetto da rilevare. Il LiDAR è stato a lungo utilizzato per rilievi di infrastrutture come edifici, ponti o strade. Questo ha permesso al settore edile di effettuare rilievi, ispezioni e controlli su molteplici strutture che, attraverso un metodo manuale, sarebbero stati difficili da effettuare. L'impiego di questa nuova tecnologia riguarda anche altri settori, che effettuano analisi su foreste, territori, etc.
La tendenza LiDAR consiste nell'inviare un input di luce da un aeroplano o un elicottero, fino a terra. L'impulso colpisce il suolo e ritorna al sensore. La distanza

viene quindi misurata registrando il tempo che la luce impiega per ritornare al sensore di partenza. Per questo motivo questa tecnologia prende il nome di *Light Detection and Ranging*.
Viene definito un sistema di campionamento, in quanto quest'ultimo è capace di inviare sui 160.000 impulsi al secondo con un livello di precisione molto elevato (circa 15 cm in direzione verticale e 40 cm in orizzontale). Le nuvole di punti LiDAR riescono a creare un milione di punti, e, quindi, i rispettivi dati.

La tecnologia LiDAR si basa su una serie di punti chiave.

Numeri di ritorno.
La capacità della tecnologia LiDAR di raccogliere il maggior numero di informazioni possibile, può essere descritta prendendo come esempio ciò che succede in una foresta: la luce che filtra tra le chiome degli alberi può essere paragonata alla luce LiDAR che filtra tra gli oggetti. Una volta passata, però, la luce non colpirà solamente il terreno nudo, ma potrà riflettersi in differenti direzioni prima di colpire il suolo.
Ogni volta che la luce colpisce un elemento intermedio, tra la sorgente e il suolo, si ottengono dei *Return Number* (*1° Return, 2° Return, 3°…*). Questo è uno degli aspetti principali di questa tecnologia.

***Digital Elevation Models*.**
Sono modelli di terra nuda (topografici) della superficie terrestre. Utilizzando solo i ritorni a terra, con LiDAR si possono costruire dei *Digital Elevation Model* (DEM). Questi si differenziano dai *Digital Terrain Models* (DTM), perché questi ultimi incorporano i contorni.

***Digital Surface Models*.**
La luce inviata dalle attrezzature LiDAR, prima di arrivare al terreno, può colpire degli oggetti e, ad ogni oggetto, corrisponde un ritorno. Il primo ritorno che colpisce l'oggetto permette di definire un *Digital Surface Model* (DSM), elaborando prospetti da superfici naturali e costruite.

***Canopy Height Model*.**
Questa tipologia permette di risalire all'altezza reale della topografia di un determinato luogo. Attraverso la sottrazione delle elevazioni dalla terra nuda (DEM) dalla superficie digitale (DSM), è, quindi, possibile definire precisamente l'altezza reale di un determinato ambiente dal suolo.
Questo fattore diviene utile per distinguere le caratteristiche dell'elemento colpito.

L'intensità della luce.
La precisione dei dati che vengono rilevati tramite il LiDAR è bilanciata anche dalla forza di ritorno della luce. Questa è data dalla tipologia di elemento che viene

colpito dalla luce, le cui percentuali di riflessione sono indicate come intensità LiDAR.
L'intensità è influenzata da diversi fattori, ad esempio: la portata, l'angolo di incidenza, il raggio, il ricevitore e la composizione della superficie.

La classificazione a punti.
All'interno del LiDAR può avvenire una catalogazione dei punti attraverso dei codici di classificazione assegnati dall'*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS)[39]. Alcune tipologie di classi possono essere il terreno, la vegetazione, gli edifici, l'acqua, etc. Molte volte la classificazione a punti può rientrare all'interno di una categoria, avendo delle classi di punti secondarie. Ad esempio, la vegetazione può essere suddivisa in bassa, media e alta. Di conseguenza, si può decidere di effettuare un rilievo solo di una serie di categorie prescelte.

39 ASPRS: società dotta americana dedita alla fotogrammetria e al telerilevamento. È l'organizzazione membro degli Stati Uniti della International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Questa tecnologia si sta evolvendo, tanto da riuscire a rilevare anche luoghi difficilmente raggiungibili, così da poter avere un insieme di dati precisi riguardanti aree e strutture di difficile localizzazione.
Il LiDAR consentirà a sempre più architetti ed ingegneri di ricavare il maggior numero possibile di informazioni da una struttura, velocizzando molti processi di rilievo e reperimento di documentazione. Altre applicazioni possibili, oltre al rilievo di supporto agli studi di progettazione, sono il monitoraggio dei cantieri e dello Stato Avanzamento Lavori (S.A.L.), il rilievo per l'aggiornamento di mappe catastali e planimetrie comunali, la modellazione e il rendering 3D di edifici ed infrastrutture ai fini urbanistici e architettonici, il rilievo di discariche con calcolo delle volumetrie e/o la progettazione di ampliamenti, etc.

Nel complesso, queste tendenze tecnologiche e strategiche saranno gli ingredienti chiave perché urbanisti, costruttori e consulenti possano supportare, tramite lo strumento della progettazione, obiettivi comuni come crescita economica, qualità della vita, salute e benessere, diversità, equità e inclusione, sicurezza e protezione, mobilità, efficienza e sostenibilità.
Combinate tra loro, queste tecnologie creeranno un'infrastruttura digitale che consentirà l'adattabilità necessaria, affinché le città e le comunità siano sempre reattive alle continue ondate di innovazione, sia digitali che fisiche.

© Yves Cedric Sc

3.4 | MODERN METHODS OF CONSTRUCTION (MMC)

Il termine *Modern Methods of Construction* (MMC) include una serie di approcci alla progettazione, inclusi la costruzione e l'assemblaggio delle componenti *off-site*. La traduzione dell'acronimo MMC è variata nel corso degli anni, ma all'interno di questa macrocategoria si possono raccogliere alcuni concetti:

- Costruzione volumetrica: realizzazione di unità tridimensionali, che sono completamente montate *off-site*;
- Pre-assemblaggio di componenti secondarie: inserimento di componenti di dimensioni importanti, realizzate *off-site*. Ad esempio: camini prefabbricati, abbaini, travi IPE;
- Realizzazione di sistemi prevalentemente costituiti da pannelli, come ad esempio il legno lamellare CLT o pannelli strutturali coibentati SIPS.[40]

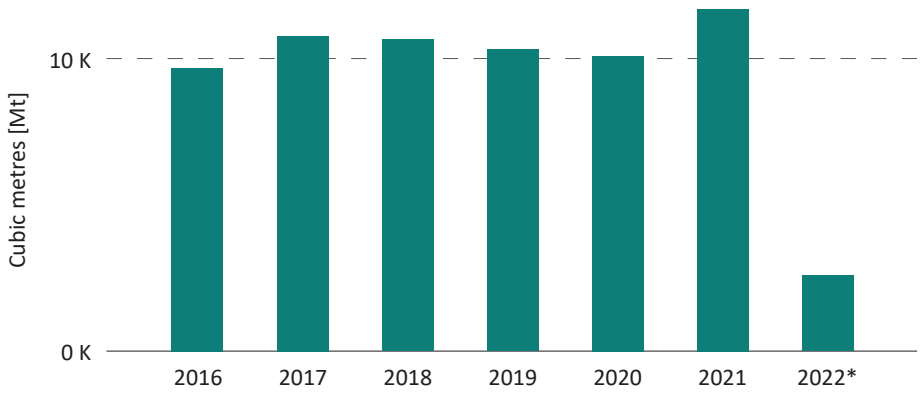
Come riporta NHBC Foundation[41], nella pubblicazione *Modern methods of construction, Views from the industry*, risalente al 2016, ad oggi la costruzione in muratura continua a rappresentare la scelta più comune per realizzare nuove costruzioni ad uso abitativo. La proporzione è rimasta abbastanza costante negli ultimi 8 anni.

40 NHBC Foundation, *Modern methods of construction*, 2016

41 NHBC: organismo di definizione degli standard e il principale fornitore di garanzie e assicurazioni per le nuove case nel Regno Unito, che fornisce servizi di gestione del rischio all'edilizia e all'industria edile in generale.

(Grafico) © NHBC, *New building, share by construction type in the UK, 2008-15*, 2016.
Rielaborazione a cura delle autrici

Le decisioni relative a quale metodo di costruzione debba essere seguito in una nuova opera, nella maggior parte dei casi, vengono prese a livello regionale, piuttosto che nell'ambito dello studio di progettazione.
Nell'indagine condotta da NHBC Foundation nel 2016, la maggior parte degli intervistati si definisce *follower* oppure *late adopter* dei metodi costruttivi enunciati precedentemente, quali la costruzione volumetrica, l'uso di pannelli etc., piuttosto che *market leader* nell'utilizzo di queste forme di MMC.
Solamente il 10% delle organizzazioni intervistate si è definito *market leader*: per la maggior parte, imprese di costruzione di edifici di grandi e medie dimensioni.
Nonostante un forte legame alla tradizione costruttiva locale, questa tendenza è in forte cambiamento negli ultimi anni. Come viene mostrato nella tabella successiva, il Regno Unito sta vivendo un importante cambio di rotta nell'impiego del legname nel settore delle costruzioni: dal 2016 l'importazione di tale materiale è aumentata radicalmente in tutto il paese, fino a raggiungere, nel 2021, 11691,93 Mt di legname. Nonostante i dati nel 2022(*) rappresentino solo i primi 3 mesi dell'anno, si può presupporre che questa tendenza sarà in continuo aumento.



(Grafico) © Timber Trade Federation, *Wood imports: cubic metres (Mt) per years in the UK*, 2021.
Rielaborazione a cura delle autrici

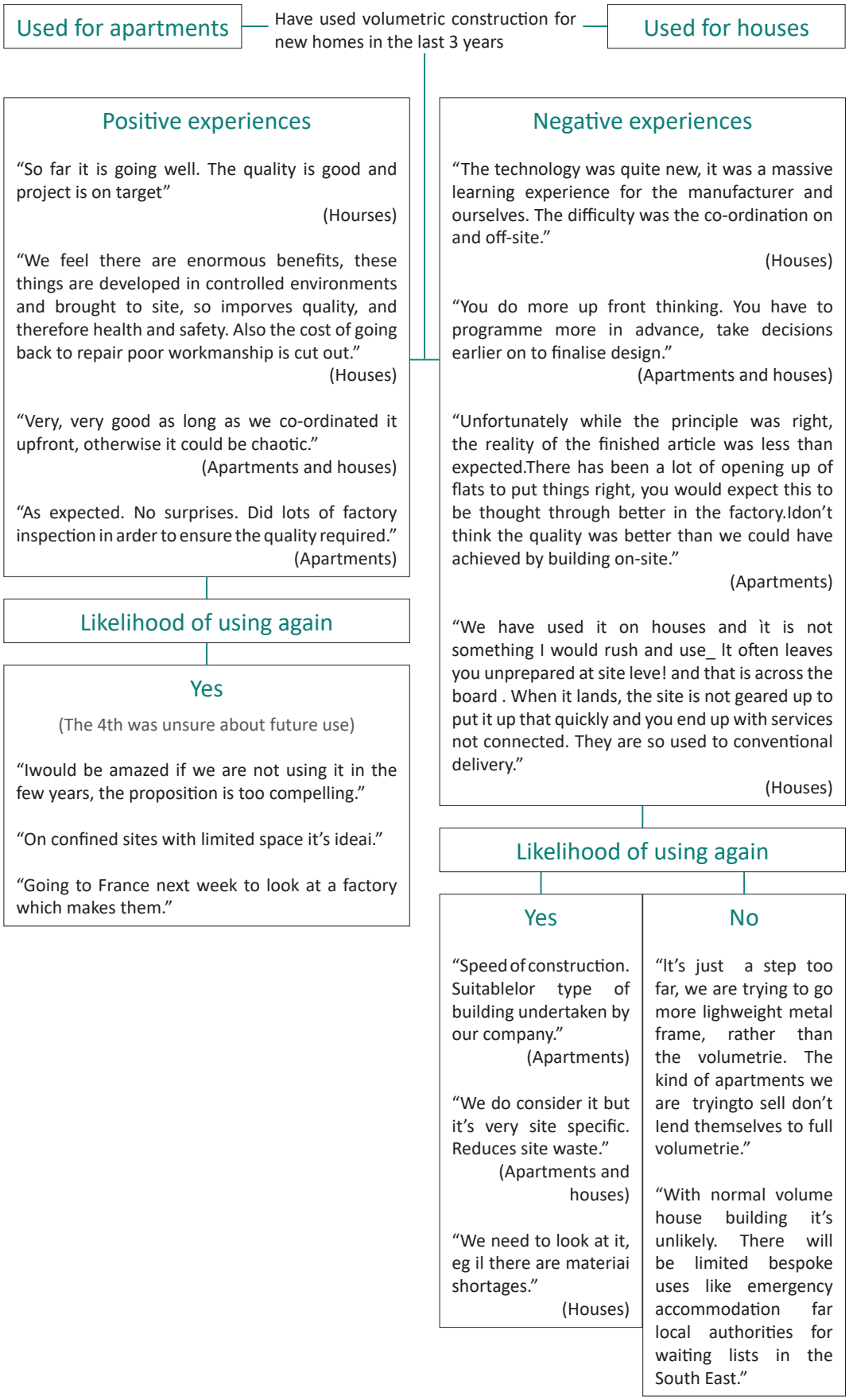
La principale motivazione per considerare l'uso delle tecniche relative al MMC è la facilità nell'ottenere un programma di costruzione più rapido. Oltre a questo, altre motivazioni valide possono riguardare: il miglioramento della qualità costruttiva, della salute e della sicurezza; la riduzione dei costi e un incremento nell'efficienza dell'intera costruzione.
Per i costruttori che seguono i metodi MMC, secondo l'indagine condotta da NHBC Foundation, la velocità di costruzione si è rivelata il principale beneficio sperimentato nella pratica. Il 33% dei costruttori intervistati ha dichiarato che l'applicazione di tali metodi ha contribuito ad aumentare il numero di unità costruite.
Meno della metà degli intervistati ha riferito di aver avuto delle conseguenze di riduzione dei costi e miglioramento della redditività, nonostante il potenziale dell'applicazione dei metodi MMC di offrire costi preliminari ridotti, migliorati flussi di cassa e ricavi di vendita più rapidi. Questo è dipeso, probabilmente, dal fatto che ci si aspettava che l'applicazione di questi metodi potesse avere un effetto immediato anche su opere di piccola e media scala.
Si ritiene, inoltre, che l'applicazione dei nuovi sistemi MMC non abbia fornito un grande contributo alla riduzione della dipendenza da materiali da costruzione che già scarseggiavano. Materiali quali i mattoni faccia a vista sembrano essere ancora richiesti in grandi quantità, a prescindere dal fatto che la struttura sottostante sia o meno realizzata secondo i principi MMC.

Nella pagina successiva, vengono riportate schematicamente le esperienze di alcuni professionisti, intervistati rispetto ai benefici ottenuti dall'applicazione di sistemi di costruzione volumetrica, la quale è stata descritta precedentemente all'inizio di questo paragrafo.

Le principali preoccupazioni relative all'applicazione completa di una costruzione volumetrica, da parte dei progettisti e costruttori, sono legate alla percezione dei costi associati e alla mancanza di fornitori.
Due terzi dei soggetti intervistati, alla domanda su come percepiscano i costi associati all'applicazione della costruzione volumetrica rispetto ad altri approcci, ha risposto che si aspettava spese più elevate.
Altri dubbi, che sono emersi in un'indagine condotta telefonicamente e, quindi, con un numero di intervistati molto più ampio, riguardano: la possibile percezione delle strutture prefabbricate da parte di potenziali acquirenti; la disponibilità delle giuste competenze lavorative per l'installazione; la mancanza di flessibilità in loco; la logistica dei trasporti.

"One of the biggest reasons why modern methods of construction hasn't taken off, particularly timber frame, is that it's a series of cottage industries, it doesn't sell itself very well".

(House builder)



(Grafico) © NHBC, *Full volumetric users' experiences,* 2016. Rielaborazione a cura delle autrici

Large house builders	• Capital cost • Buyer reactions • Lack of suppliers
Medium-sized house building	• Capital cost • Lack f suppliers • Lack of flexibility on-site • Need for early design freeze
Housing essociations	• Capital cost • Lack of sub-contractor skills • Lack of suppliers

(Grafico) © NHBC, *The barriers by type of organisation.* Rielaborazione a cura delle autrici

Nell'indagine condotta da NHBC Foundation, agli intervistati è stato chiesto di esporre la propria idea rispetto al potenziale contributo del MMC nell'ambito della costruzione di nuove abitazioni nel Regno Unito, e il possibile ruolo che questo giocherà nelle loro imprese e aziende. Inoltre, sono stati intervistati rispetto al ruolo del MMC nell'incrementare la produzione edilizia.
In generale, il principale contributo che viene percepito dagli intervistati è quello relativo alla velocizzazione delle costruzioni; inoltre, ci si aspetta che l'introduzione di questi nuovi metodi costruttivi aiuti a migliorare la qualità del costruito.

Vengono riportati, nell'ambito di questa indagine, alcuni commenti rispetto al contributo del MMC nel nuovo settore delle costruzioni.[42]

42 NHBC Foundation, Modern methods of construction, 2016

"Look at what the Chinese are doing, they can build 32 modular storeys in 24 weeks and the build quality looks very good. We could use it all over London. It could revolutionise the building industry. We have so many sub-contractors on our books it would make them null and void"

(House builder)

"The contribution of MMC is the ability to deliver a limited range of similar dwellings quite quickly. It's almost akin to the prefabs of post war. The real offering is the speed of construction and being able to develop the product in a factory environment. The next step is to take away any wet trades, particularly external wet trades affected by weather conditions"

(House builder)

"We only need to build a certain number each year, we are not a volume builder. But it allows us to phase a site better, allows us to get streetscapes in better, it allows our sales team to actually sell, not a building site as such, but an area to live, so we can actually move people in to a finished street a lot quicker"

(House builder)

"It's definitely a more efficient way of building. It probably has less impact on the surrounding environment we are working in, for example you are not delivering so many materials on-site. The end user benefits from the efficiency of the house. Less time is spent on-site so the surrounding environment is less impacted"

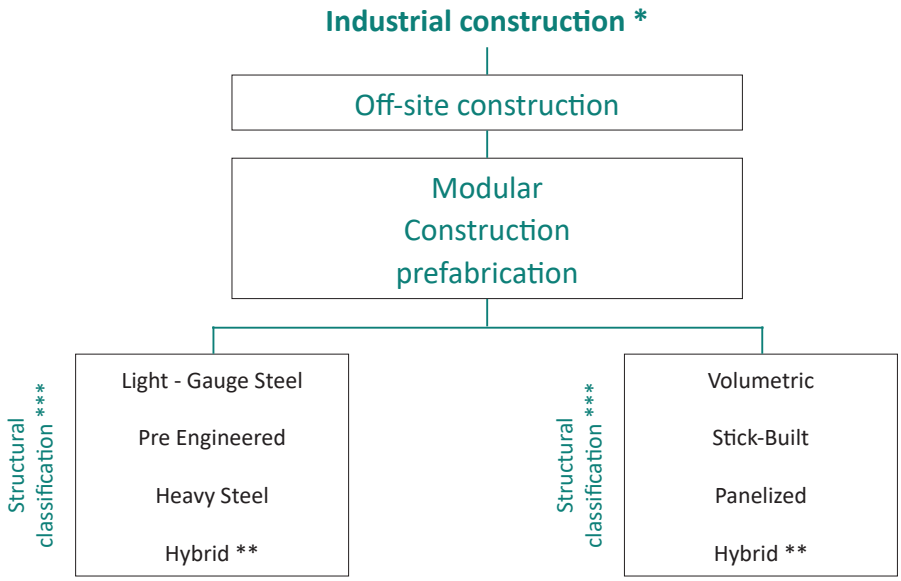
(House builder)

"With houses its contribution is limited. The large house builders have not bought into it. Go down the open panel timber frame route, fine, but putting fully volumetric in doesn't stack up, it's all about volume. If you have got a thousand homes to deliver which are the same that's fine, you could probably go into partnership with an MMC builder. But if you have a stop/start programme when you can't guarantee the supply of MMC that increases costs. So timber frame is fine, anything more 'modern' than that makes it a lot more difficult for the industry to deal with the lack of flexibility"

(House builder)

L'NHBC Foundation ha definito, nella ricerca del 2006 *Modern methods of construction - Who's doing what?*, quanto l'MMC abbia importanti vantaggi, sottolineando "il potenziale per un miglioramento del 30% nella velocità di costruzione di nuove case attraverso l'adozione di innovazioni, con una potenziale riduzione dei costi del 25%, nonché la possibilità di progressi nel miglioramento della qualità e dell'efficienza energetica."[43]

43 NHBC Foundation, Modern methods of construction, 2016



(*) Industrial construction can vary as a result of the developments in building technologies by applying Off-site and On-site.
(**) Hybrid structures do not consist of a single building system. It refers to the methodology in which more than one system is used together.
(***) Structural classification have been done considering only structural steel systems. Wooden (timber), reinforced concrete and other structural systems are excluded from this study.

(Grafico) © Dorce, prefabricated and construction, *Le relazioni tra le tematiche dell'MMC.* Rielaborazione a cura delle autrici

Fonti:

1. (Articolo online) R. MASKURIY, A. SELAMAT, K. N. ALI, P. MARESOVA, O. KREJCAR, *Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?*, 2019
2. (Articolo online) BIMireland.it, *BIM Consultant and Director at ArcDox Ralph Montague describes to BIMIreland.ie the "digital transformation" we are witnessing – the rise of remote working and collaboration in the "age of pandemics"*, 2020 https://bimireland.ie/2020/08/26/remote-working-and-collaboration/

3. (Articolo online) O. TRONCONI, Complexlab, *L'innovazione nelle costruzioni* https://www.complexlab.it/topic/facility-management-e-finanza-immobiliare/innovazione-nelle-costruzioni
4. (Articolo online) MAGNETTI BUILDING, Edilizia industrializzata: cos'è e che vantaggi ha, 2019 https://www.magnetti.it/edilizia-industrializzata/
5. (Articolo online) Fonte: P. MEZZI per Il Nuovo Cantiere, *Industrializzazione delle costruzioni: circular, digital, social, Il nuovo Cantiere*, 2016 http://www.ilnuovocantiere.it/industrializzazione-delle-costruzioni-circular-digital-social/
6. (Articolo online) G. BOLOGNA per GreenReport.it, *Il picco delle risorse non rinnovabili e il futuro dell'economia*, 2016 https://greenreport.it/rubriche/il-picco-delle-risorse-non-rinnovabili-e-il-futuro-delleconomia/
7. (Articolo online) M. TOBIAS, *What Does MEP Mean in Construction?*, 2021 https://www.ny-engineers.com/blog/what-does-mep-mean-in-construction
8. (Articolo di ricerca) J. ZHANG et alii, Toward next-generation engineering education: A case study of an engineering capstone project based on BIM technology in MEP systems, 2020
9. (Articolo di ricerca) P. YUNG et ali, *A BIM-Enabled MEP coordination process for use in China*, 2014
10. (Articolo di ricerca) J. ZHANG et al per Wiley, *Toward next-generation engineering education: A case study of an engineering capstone project based on BIM technology in MEP systems*, 2021
11. (Articolo online) Orion Talent, What is the AEC Industry & Where is it Going, 2022 https://www.oriontalent.com/recruiting-resources/blog/537/what-is-the-aec-and-where-is-it-going
12. (Articolo online) T. COLEING per Asite, *Top 8 Trends For Architecture, Engineering and Construction (AEC) Technology in 2019*, 2019 https://www.asite.com/blogs/top-8-trends-for-aec-tech-in-2019
13. (Articolo online) GIM International, *Il 123 dell'AEC: rinnovare l'architettura, l'ingegneria e l'industria delle costruzioni con le immagini satellitari*, 2020 https://www.gim-international.com/content/article/the-123-of-aec-renewing-the-architecture-engineering-and-construction-industry-with-satellite-imagery
14. (Articolo online) C. RUTKOWSKI, *Six Trends Driving The Architecture, Engineering And Construction Industry,* 2021 https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/05/05/six-trends-driving-the-architecture-engineering-and-construction-industry/
15. (Articolo online) C FAILLA, I*ndustrializzazione edilizia: in 15 anni le soluzioni di riferimento sono state completamente sostituite*, 2020 https://www.ingenio-web.it/28253-industrializzazione-edilizia-in-15-anni-le-soluzioni-di-riferimento-sono-state-completamente-sostituite
16. (Articolo online) A. PAVAN, *Glossario BIM - Che cosa è il Gemello Digitale (Digital Twin)*, 2019 https://www.ingenio-web.it/24143-glossario-bim---che-cosa-e-il-gemello-digitale-digital-twin
17. (Articolo online) Accenture, Artificial Intelligence https://www.accenture.com/it-it/insights/artificial-intelligence-summary-index?c=acn_glb_brandexpressiongoogle_12691563&n=psgs_1221&gclid=Cj0KCQjw3v6SBhCsARIsACyrRAlaDnLso-uzqnF0tATfK97Gv7U8G7HMJ3kd0DcACsQAF8mAD-qcf2YaAiNwEALw_wcB
18. (Articolo online) K. OBERSTE-UFER, *7 modi in cui l'intelligenza artificiale sta rivoluzionando l'architettura*, 2020 https://blog.dormakaba.com/it/7-modi-in-cui-lintelligenza-artificiale-sta-rivoluzionando-larchitettura/
19. (Articolo online) F. TORRINI, *Hyperautomation: come funziona e perché è importante,* 2022 https://universeit.blog/hyperautomation/
20. (Articolo online) P. ZUELLI, *In che modo la realtà aumentata influenzerà l'architettura?* https://www.sunbell.it/2020/04/01/realta-aumentata-architettura/#:~:text=dalla%20realt%C3%A0%20aumentata%3F-,Realt%C3%A0%20aumentata%20e%20architettura,costruita%2C%20prima%20che%20ci%C3%B2%20avvenga
21. (Articolo online) N. A., *Stampa 3D: il futuro dell'edilizia*, 2022 https://www.3dnatives.com/it/stampa-3d-edilizia-240920219/
22. (Articolo online) Modulo.net, *Il primo modello innovativo di abitazione ecosostenibile stampato in 3D in terra cruda* https://modulo.net/it/realizzazioni/tecla-technology-and-clay
23. (Articolo online) Webuildvalue, *Big data: la rivoluzione nelle costruzioni*, 2018 https://blog.osservatori.net/it_it/architettura-big-data-tecnologie-evoluzione
24. (Articolo online) GISGeography, *A Complete Guide to LiDAR: Light Detection and Ranging*, 2022 https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/
25. (Articolo online) National Oceanic And Atmospheric Administration, *What is lidar?*, 2021 https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html
26. (Articolo online) Multiopticdrone, *Mappatura 3D tramite laser scanner (LiDAR)* https://www.multiopticdrone.com/mappatura-3d-tramite-laser-scanner-lidar/?gclid=Cj0KCQjwgYSTBhDKARIsAB8KukuUZeW2pRTQ29YKSwr7wezYMKXLSY4DAfYpf_ZMWk-7PbD2i1cocrkaAvf9EALw_wcB
27. (Articolo online) Timber Trade Federation, *Dashboard delle statistiche,* 2021 https://ttf.co.uk/statistics/dashboard/
28. (Documento) NHBC Foundation, *Modern methods of construction*, 2016 https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2016/07/NF70-MMC-WEB.pdf

DESIGN FOR DECONSTRUCTION (DFD)

© Josh Olalde

04

© Jake Nebov

4.1 | I PRESUPPOSTI DEL DESIGN FOR DECONSTRUCTION

Il principio dell'economia circolare in edilizia si applica a diverse scale: il concetto di *urban mining* vede la città come una miniera di materiali da poter riutilizzare; l'edificio inteso come *material bank* attribuisce valore ai materiali e prodotti da costruzione stoccati negli edifici; i prodotti e i materiali possono essere riciclati, con un contenuto di riciclato sia di tipo pre-consumo sia di tipo post-consumo, e riciclabili alla fine del loro ciclo di vita.

Sono attualmente diffuse diverse strategie per l'applicazione dei principi dell'economia circolare in edilizia:

- Approccio *End-of-life*: demolizione selettiva e gestione fine vita dei rifiuti da demolizione;
- Approccio *End-of-life*: riqualificazione vs. demolizione;
- Approccio progettuale: *design for Deconstruction* nella progettazione del nuovo;
- Approccio progettuale: *design for durability/flexibility* nella progettazione del nuovo.[44]

Gli approcci sopra elencati rappresentano delle soluzioni edilizie, e non solo, per combattere le problematiche che, ad oggi, indeboliscono il pianeta, contrastando gli impatti che il settore edile ha sull'ambiente e sulla salute dell'uomo.

La crisi climatica ha portato il *Cradle to Cradle Products Innovation Institute* (C2CPII)[45] ad avviare il movimento *Built Positive*. Lo stesso C2CPII l'ha definito "un'iniziativa per aumentare il valore e la qualità dei materiali e dei prodotti

44 Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia*, 2019

45 C2CPII: istituto dedicato a promuovere l'innovazione per l'economia circolare attraverso prodotti con impatto positivo sulle persone e sul pianeta.

utilizzati nell'ambiente costruito e nell'economia circolare".
Esso si basa su 6 principi chiave: il *design* circolare; la qualità e salubrità dei materiali; il *design* per lo smontaggio e il recupero; la catena di valori della collaborazione e dell'integrazione; i valori della qualità e della quantità; le politiche e gli standard.
Questa nuova tendenza potrebbe avere come scenario finale un'ulteriore rivoluzione industriale, capace di assicurare la produzione con un impatto positivo sulla società, sull'economia e sul nostro pianeta. Questo approccio ha come obiettivo l'applicazione di un sistema economico circolare, che si traduce in una riduzione degli sprechi e nell'uso ciclico di materiali da costruzione.

"Because being less bad isn't enough anymore"[46]

Thijs Maartens,
membro del C2CPII *Built Environment Team*

46 Mosa, *Built Positive: the future of sustainable building and architectural design*, 2018

Tecnologie che stimolano il riutilizzo e il riciclo dei materiali sono sempre esistite nella storia, anche se per ragioni diverse: per facilità di costruzione, Michelangelo riutilizzò del materiale lapideo proveniente dal Colosseo nei lavori per il Palazzo Farnese; per ragioni di adattabilità, gli edifici tradizionali giapponesi sono costruiti realizzando una struttura primaria in legno, mentre una seconda struttura è realizzata in risposta alle richieste degli occupanti rispetto alla gestione interna degli spazi: questa seconda struttura può essere smontata e rimontata a seconda delle esigenze.
Passando per la Rivoluzione Industriale 4.0, la presa di coscienza relativa alla necessità che l'edilizia diventi circolare ha trovato un'applicazione pratica grazie allo sviluppo di tecnologie sempre più avanzate.
La tematica dei *BigData* diventa uno strumento fondamentale perché i progettisti abbiano piena consapevolezza delle scelte che vengono operate nelle fasi del pre cantiere: una maggiore disponibilità di informazioni consente di realizzare strutture intelligenti e che possano avere una vita più lunga; i software che supportano tale tecnologia permettono, inoltre, di avere un controllo costante delle prescrizioni normative relative all'oggetto di costruzione, rispetto alla sua localizzazione e alle leggi vigenti.
Poter realizzare un gemello digitale dell'edificio in progetto, ancora prima che i lavori partano nel cantiere, significa ottimizzare tutte le fasi di vita dell'edificio stesso e prevedere concretamente le situazioni future di manutenzione e di decostruzione o demolizione. Così facendo, gli operatori hanno modo di conoscere la posizione di tutte le componenti e, di conseguenza, poter intervenire in maniera puntuale.
Possiamo dire, in generale, che lo sviluppo tecnologico che si sta vivendo negli ultimi anni ha come obiettivo generale quello di incrementare la prevedibilità degli

eventi che riguarderanno l'edificio, avvicinandosi sempre di più a un'autonomia degli stessi, come anticipato nella tecnologia dell'iperautomazione.
Rispetto a queste tematiche, la progettazione si indirizza verso nuovi criteri che dimostrano una maggiore attenzione nei confronti dell'ambiente. Queste tendenze possono riassumersi all'interno del concetto di *Design for Environment* (DfE).

DfE è anche il nome originale di un programma dell'*Environmental Protection Agency* (EPA) degli Stati Uniti, creato nel 1992, che lavora per prevenire l'inquinamento e il rischio che quest'ultimo comporta per l'uomo e l'ambiente. Il programma fornisce informazioni sulle formulazioni chimiche più sicure per la pulizia e altri prodotti. L'EPA ha ribattezzato il suo programma *Safer Choice* nel 2015.

*Con **Design For Environment**[47] si identifica comunemente un sistema di strategie progettuali atte a controllare un prodotto, un processo o un servizio, migliorandone la compatibilità ambientale.*

47 J. W. HERRMANN e L. C. SCHMIDT, Design for Environment (DfE): Strategies, Practices, Guidelines, Methods, and Tools, 2007

Il *Design for Environment* è definito, inoltre, dagli stessi autori, come "the systematic consideration of design performance with respect to environmental, health, and safety objectives over the full product and process life cycle."[48]

48 ivi

Le prime linee guida enunciate per il DfE risalgono al 1990; furono redatte da Anneke van Waesberghe con la sua organizzazione no profit *East Meets West*.
L'obiettivo era migliorare la filiera dei processi produttivi, implementando, negli stessi, un nuovo approccio rispetto all'ambiente, con la finalità di ridurre al minimo l'impatto sulla salute umana e sul pianeta.
Questo è stato possibile grazie a un ampliamento dello studio dei processi produttivi, nel quale si allargano i confini dell'analisi: dalla culla alla culla. Ciò permette alle aziende di ottimizzare le proprie lavorazioni.
L'approccio del DfE analizza cinque aspetti, che seguono il ciclo di vita di un prodotto:

- Materiali ed estrazione;
- Produzione;
- Trasporto, distribuzione e imballaggio;
- Uso;
- Fine vita, *Design* per lo smontaggio e *Design* per il riciclaggio.

Guideline	Reason
Avoid or minimise use of hazardous, toxic or in any other way environmentally unfriendly materials.	Decrease toxic and/or hazardous emissions in later life stages and/or decrease harmful emissions during production.
Avoid materials with a high energy content (Aluminium).	Decrease the amount of energy used during extraction and/or production.
Use materials which are renewable, recyclable and/or recycled, minimise use of thermosets or mixed polymers.	Decrease the amount of non-renewable materials to be extracted from the earth.
Design products in a way that reduces material use, use better design instead of over- dimensioning.	Decrease the amount of materials to be extracted from the earth.
Design for minimum waste production during production.	Decrease amount of material wasted during production.
Minimise number of materials used.	Increase recyclability and ease the sorting process.

(Tabella) © H. SRINIVAS, *Materials Extraction.* Rielaborazione a cura delle autrici

Guideline	Reason
Avoid or minimise the use of hazardous, toxic or in any other way environmentally unfriendly materials.	Decrease amount of harmful gaseous, liquid or solid emissions during production.
Minimise and recycle residues and waste from production processes, within the manufacturing plant or outside it.	Decrease amount of raw material required and the amount of waste created by production processes.
Minimise use of energy-intensive process steps, such as high heating differentials, heavy motors and extensive cooling.	Decrease the amount of energy used by the production processes.
Optimise use of heat exchangers and similar devices to utilise otherwise wasted heat.	Optimisation of energy flows in production processes.
Minimise losses from production facilities by good construction, service and fast repair. Also provide maximum insulation of walls, pipes and ceiling.	Prevention of losses by leaks, oversized boilers and bad insulation.

(Tabella) © H. SRINIVAS, *Production*. Rielaborazione a cura delle autrici

Guideline	Reason
Optimise efficiency transport modes following these rules: • Transport by container ship or train is preferable over transport by lorry; • Transport by air is to be avoided.	Decrease energy use and emissions from transport and avoid environmentally harmful ways of transport (such as flight).
Minimise long distance transport by maximising work with local suppliers and markets.	Decrease long distance transport and all energy use and emissions from such source.
Maximise efficiency of transportation by use of standardised transport packaging, bulk packaging, such as Europallets and transport of larger amounts of goods simultaneously.	Increase efficiency of transport.
Minimise amount of packaging material and the number of (virgin) materials in the packaging.	Decrease amount of material needed for packaging reduce contamnalia to aid the recycling of materials.
Maximise use of refillable or reusable containers where appropriate.	Decrease amount of material needed for packaging by re-use of containers.
Avoid use of non-appropriate materials for packaging such as, PVC and Aluminium.	Decrease amount of toxic, hazardous or also valuable materials in waste.

(Tabella) © H. SRINIVAS, *Transport, distribution and packaging* Rielaborazione a cura delle autrici

Guideline	Reason
Stimulate possible reuse of the product by: • Classic design • Sound constructions that does not become prematurely obsolete technically	Extend possible lifetime of a product, therefore decreasing need for new products
Stimulate possible remanufacturing/refurbishing by: • Hierarchical and modular structure • Use of detachable points; • Use of standardised joints; • Position joints to minimise necessary movement of product during Deconstruction; • Indicate opening instructions for non-destructive Deconstruction.	Extend possible life time of part and components and therefore decrease need for new products.
Stimulate possible recycling of part and materials by: • Using recyclable materials with an existing market; • Use tables on compatibility of metals, plastics and glass and ceramics; • Avoiding polluting elements that interfere with the recycling process; • Mark any part made from synthetic materials with standardised material codes; • Avoid threaded metal inserts in plastic; • Avoid plated metal; • Avoid or minimise painting and fillers.	Decrease need for virgin materials.
Stimulate safer incineration by concentrating toxic materials and providing easy removal.	Decrease hazardous emissions from incineration process.

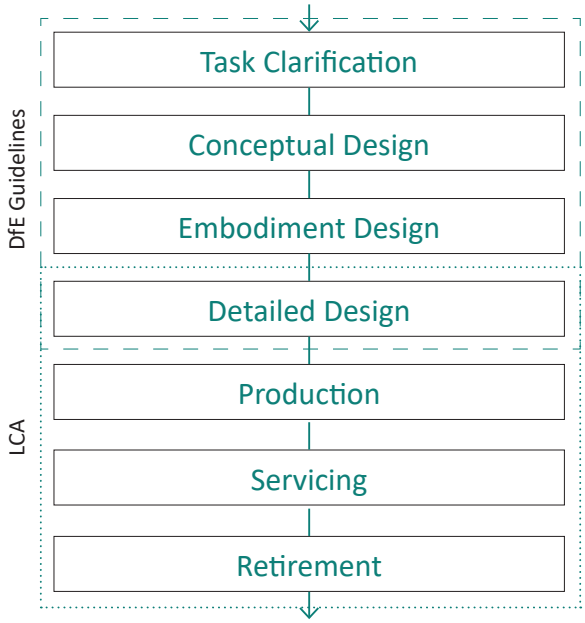
(Tabella) © H. SRINIVAS, *End of life, Design For Deconstruction and Design For Recycling.* Rielaborazione a cura delle autrici

Guideline	Reason
Minimise energy consumption during use by: • Using lowest energy consuming components; • Using default power down mode; • The insulation of heating components.	Decrease energy consumption during life.
Minimise amount of consumables used during the use stage by: • Product design e.g. permanent filters instead of paper filters; • Minimise leakage, e.g. by installing a leak detector; • Reusing consumables, e.g. reuse water from washing facilities to flush toilets; • Clear instructions to prevent misuse, e.g. by providing instructions on the product itself • Product design to prevent spillage, e.g. provide instructions on how often a product, such as filter cartridges, should be replaced, or by designing the filling inlet large enough to to prevnt spilling; • Use of calibration marks to restrict required amounts of consumables, e.g. dosage for laundry detergents; • Product design that stimulates sustainable behaviour, e.g. only reusable cups and no disposable cups provided at drinks dispenser or double sides copies default option.	Decrease the amount consumables used by a product during its life.
Optimise life time of product by increasing reliability and durability.	Decrease need for new products, hence decrease material and energy use for production.
Design for easier maintenance and repair by: • Indicate opening instructions for cleaning and/ or repair; • Indicate parts for maintaining by colour codes; • Make location of wear detectable on parts; • Make vulnerable parts easy to dismantle and replace.	Increase life span of a product by easier repair and maintenance.
Design in modular product structure.	Enable upgrading, hence prolonging of life time, of products at a later date.
Avoid designs with a technical life span which outdates the aesthetic life span.	Decrease disposal of operational products because of outdated aesthetic design.
Design product to meet possible future needs of users.	Extend possible life span of products.
Minimise the use of: • Periodical consumables such as batteries, cartridges and containers; • Liquid materials for maintenance such as cooling liquid or lubricants; • Any consumables containing toxic or otherwise hazardous materials.	Decrease use of consumables in any form during the use stage of the products life span.
Minimise generation of gaseous emissions such as CO2 and tetraethyl lead, odours or any other undesirable emissions.	Decrease emissions during usage stage of life span.

(Tabella) © H. SRINIVAS, *Use.* Rielaborazione a cura delle autrici

La strategia adottata in ambito di DfE consiste nel migliorare la tecnologia e le tattiche di progettazione, per ridurre al minimo l'utilizzo delle risorse nei processi produttivi. Oltre a questo, il goal è riuscire, quindi, a soddisfare le esigenze dei clienti e le necessità dei produttori.

Sono stati sviluppati diversi strumenti e software per assistere i progettisti nella ricerca di prodotti o processi/servizi ottimizzati.
Come elemento chiave viene applicata l'analisi LCA. Essa viene utilizzata per calcolare gli impatti delle diverse alternative di produzione, consentendo ai progettisti e alle aziende di compiere delle scelte consapevoli rispetto alle criticità e potenzialità di ogni fase.



(Grafico) *Processo DfE.* Rielaborazione a cura delle autrici

Nell'ambito del *Design for Environment*, che unisce edilizia green e circolarità, una delle strategie di intervento in attività progettuale è quella del *Design for Assembly* (DfA).

*Il **Design for Assembly** è definito come progettazione per l'assemblabilità, cioè per conseguire una semplificazione nel montaggio ed una riduzione dei tempi e della possibilità di errore.*[49]

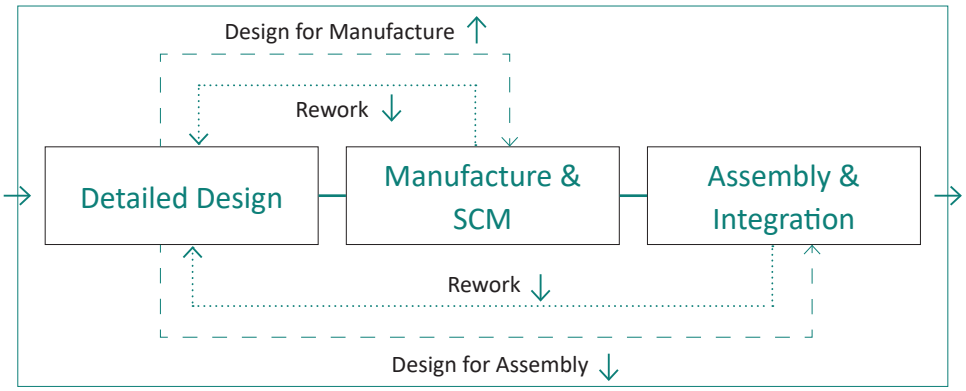
49 B. GOLDENSE, A History of Design for Manufacturing and Assembly, 2022

Il DfA è una tecnica di analisi che può essere applicata sia a prodotti nuovi, sia a prodotti già esistenti. L'obiettivo è quello di valutare l'efficienza di assemblaggio dei prodotti, le possibilità e le strategie di riprogettazione.
Esistono alcuni principi di riferimento del DfA:

- Minimizzare il numero dei componenti, consentendo una riduzione dei costi e

dei materiali impiegati;
- Orientarsi verso un assemblaggio modulare, migliorando e accelerando le tempistiche;
- Eliminare le regolazioni e gli aggiustamenti, facilitando l'assemblaggio nelle differenti fasi;
- Usare parti che si fissano o si posizionano da sole, eliminando complesse azioni di montaggio e assemblaggio, che potrebbero compromettere il futuro disassemblaggio;
- Facilitare la manipolazione delle parti, semplificando il lavoro della manodopera.

Per applicare la tecnica del DfA è necessario seguire delle linee guida, che tengono in considerazione il tempo impiegato per l'assemblaggio e la classificazione delle singole parti del prodotto. Queste consentono di prevedere con maggiore accuratezza la possibilità di disassemblaggio nella fase ultima.
Parlare di DfA ci porta a citare il *Design for Six Sigma* (DfSS), il cui obiettivo è quello di modellare e migliorare le prestazioni di un prodotto ancor prima di crearne un prototipo/campione. Questo approccio permette di determinare i potenziali miglioramenti delle prestazioni considerando degli elementi nel loro insieme.
Utile per il raggiungimento di questo fine è realizzare una mappa di processo, il cui obiettivo è rendere visibili tutte le fasi, gli input e gli output del sistema.
La mappa è utilizzata anche per stimare il tempo e il costo totale di assemblaggio, e per costruire una base per un progetto di P-FMEA (utilizzando una P-Map tradizionale). Essenziale è il ruolo dei team interfunzionali, che hanno il compito di definire i criteri, i vincoli e le finalità dell'analisi, calibrando l'efficienza e il risultato del sistema attraverso opportuni controlli per l'assemblaggio. Viene verificato anche il soddisfacimento delle richieste del cliente e la qualità del servizio che viene messo a disposizione, riducendo i costi e le criticità.



(Grafico) © C. YIN, S. HOU, *Application Design for Manufacture and Assembly to Reducing "Rework",* 2019. Rielaborazione a cura delle autrici

Nell'ambito di una nuova consapevolezza, da parte dei professionisti del settore,

ma anche in termini più generali, rispetto alla necessità di un'inversione di rotta del mondo dell'edilizia, all'interno della macrocategoria di tendenze progettuali nota come DfE, è possibile citare anche quello che prende il nome di *Design for Deconstruction* (DfD).

*Il **Design for Deconstruction** è un approccio progettuale con il quale si fa riferimento alla concezione di strutture che siano facilmente disassemblabili: in questo modo, esse possono diventare delle banche dati di materiali che potranno vivere una seconda vita.*

L'applicazione di tale metodologia di progettazione è, ad oggi, possibile, e si vedrà nei capitoli successivi in che termini, solo in virtù dell'avanzamento tecnologico che si è vissuto negli ultimi anni, come descritto precedentemente.
Progettare strutture che siano effettivamente concepite per essere smontate, senza causare danni in fase di smontaggio alle altre componenti, ha come base tecnologica la conoscenza dettagliata di ogni singolo bullone della struttura stessa: la sua composizione, la sua esatta posizione e il suo ruolo all'interno del complesso dell'edificio.
Pertanto, l'innovazione tecnologica, le nuove necessità e i cambi di normativa associati portano ad una inversione di tendenda rispetto ai tradizionali sistemi di demolizione che coinvolgono la struttura nel suo fine vita. La capacità tecnologica e progettuale consente di guidare il progettista nel pianificare la decostruzione, che si basa su un approccio sistematico, come per la costruzione.

Oggi, gli approcci alla progettazione (*Design*) sono molteplici e ognuno di essi tratta il tema dell'edilizia e dell'ambiente in maniera differente, diversificandosi per una maggiore attenzione rispetto a specifiche diverse. Possiamo citare il *Designing out Waste* (DoW), il *Design for Manufacture* (DfM), il *Design for Manufacture & Assembly* (DfMA), *Design for Dysposal / Design for Recovery / Design for Ricycling* e molti altri. Questo porta a sottolineare i molteplici ambiti in cui si sta assistendo ad una ricerca di nuovi sistemi e metodologie da applicare per efficientare il sistema edilizio esistente e nuovo.

© D. McCullough

4.2 | DESIGN FOR DECONSTRUCTION (DFD)

La decostruzione nel campo dell'edilizia può essere definita come un processo selettivo e sistematico, che permette lo smontaggio degli edifici.
La finalità è quella di generare un approvvigionamento di materiali secondari, idonei al riutilizzo o al riciclaggio, così da ridurre la quantità di rifiuti.
La decostruzione è un'alternativa alla demolizione di massa, sistema tradizionale che limita il recupero delle risorse impiegate e ne incentiva lo smaltimento in discarica. Si passa, quindi, da un processo meccanico ad un processo ad alta intensità e manodopera.
La decostruzione può essere descritta anche come *costruzione al contrario*: i materiali installati per ultimi saranno i primi ad essere rimossi a fine vita dell'edificio. Questo approccio, nel campo dell'edilizia, prende il nome di *Design for Deconstruction* (DfD), anche detto *Design for Disassembly*. Si tratta di un approccio che permette di tenere in considerazione l'intero ciclo di vita della struttura, dalle prime fasi di cantiere fino al fine vita dell'edificio. Questa pratica consente di progettare e realizzare una struttura che sia caratterizzata da elementi e componenti studiati in modo tale che, una volta conclusa la vita della struttura, essi possano essere disassemblati e reimpiegati all'interno di un nuovo sistema edilizio.
Questo aspetto garantisce che le successive fasi, quali ristrutturazione, riparazione e rimozione, possano essere condotte in modo più efficace.
Rispetto all'approccio tradizionale alla progettazione, nel quale il coordinamento

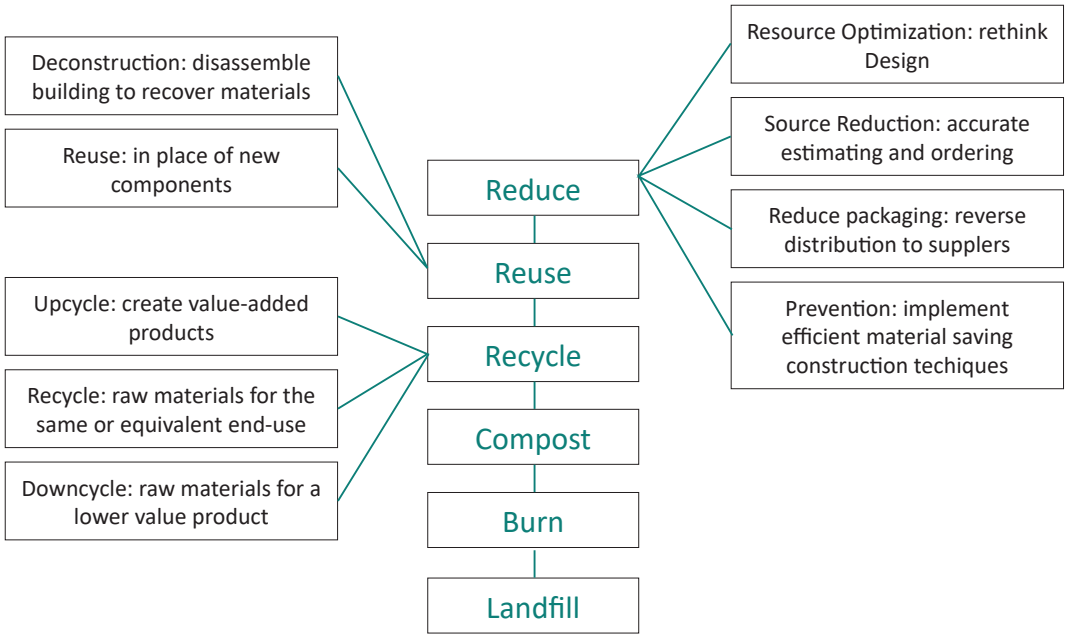
avveniva solo nelle fasi finali, il processo di progettazione era sequenziale e veniva svolto solo a livello funzionale, con questo nuovo approccio, la progettazione tiene in considerazione molti più fattori che vanno a modificarne i meccanismi e migliorarne il risultato.
Il DfD è un'importante parte del *Green Design*.

*Il **Green Design** è la progettazione di un prodotto di un sistema, sociale o economico, nel rispetto dell'ambiente. L'intento del design sostenibile è quello di eliminare completamente l'impatto negativo sull'ambiente attraverso un design intelligente e sensibile.*

Il *Design for Deconstruction* viene considerato un'innovazione nel campo, ma le sue origini derivano dal DfA, la cui applicazione viene datata, come fase iniziale, intorno agli anni novanta del Novecento.
Il DfD e le rispettive potenzialità sono emerse solo in tempi recenti. Diversi fattori ne hanno determinato la lenta emancipazione.
Negli ultimi anni, infatti, le pressioni imposte dalla normativa rispetto al tema del DfE hanno determinato un interesse dei progettisti rispetto a questo nuovo approccio; d'altra parte, però, si è intensificato il problema del progressivo aumento dei costi e della difficoltà di reperimento delle materie prime.

Con il DfD si va oltre la fase di scelta dei materiali, includendo nuovi principi di studio: l'innovazione delle tecniche di smontaggio, la riciclabilità del *design*, il suo impatto futuro sull'ambiente e come sarà d'aiuto alle generazioni future.
Cambia anche il concetto di edificio durevole nel tempo. Gli architetti e gli ingegneri del passato progettavano e realizzavano le loro creazioni con una vita utile fissata, pari a circa 50 anni per edifici residenziali e 100 anni per edifici industriali, ma con un *end of life* critico, che prevedeva unicamente il conferimento in discarica delle diverse componenti.
Con il DfD si arriva a concepire edifici che possono rivivere più vite, diventando pilastri e solai per future strutture ancora non ideate. In questo modo, si limitano l'estrazione e i vari processi migliorativi dei materiali vergini.
Il goal è cercare di mantenere il più alto possibile il valore di un determinato materiale e/o componente, per garantirne la ciclità.

Lo schema riportato nella pagina seguente indica quanto la riduzione dell'uso dei materiali sia una soluzione più virtuosa rispetto a tutti gli altri scenari di fine vita. Il riutilizzo è posizionato appena sotto la prevenzione/riduzione: questo implica, ovviamente, anche una fase di decostruzione.



(Grafico) © C.J. KIBERT, A. R. CHINI, *Waste Management Hierarchy for demolition and construction operations.* Rielaborazione a cura delle autrici

L'approccio del DfD apporta differenti vantaggi, rispetto alla demolizione convenzionale:

- L'aumento del tasso di dirottamento dei rifiuti dalla discarica ad altri sistemi di trattamento;
- Il potenziale riutilizzo dei componenti edilizi progettati;
- Maggiore facilità di effettuare una raccolta differenziata dei materiali residui;
- Maggiore protezione dell'ambiente, sia alla scala locale che a quella globale.

Il DfD è destinato a diventare uno dei principali paradigmi della progettazione, integrandosi nei sistemi normativi, tecnologici, sociali e edilizi.
Al contempo, il DfD definisce una successione di fasi: *upfront, operating and back-end*.
Incorporare il ciclo di vita degli edifici, compreso il fine vita, nelle decisioni antecedenti la costruzione, aumenta il valore dell'edificio stesso e incrementa le potenzialità di riutilizzo futuro.

© Brandi Redd

4.3 | I PRINCIPI DEL DESIGN FOR DECONSTRUCTION

Si definiscono precise scelte progettuali già nelle fasi iniziali. Gli accorgimenti di cui si parla "facilitano le azioni di trasformazione, implementazione e demolizione dei manufatti, la selezione di elementi, materiali e componenti e la loro riparazione, riuso e riciclo."[50]
"Il progetto dovrà essere orientato a forme e tipologie architettoniche dinamiche e adattive, a organizzazioni spaziali multiple, complesse e variabili e ad aggiornamenti tecnologici durante il suo ciclo di vita (Guy and Ciarimboldi, 2007)."

50 L. ERRANTE, A. DE CAPUA, *Design for Deconstruction e riqualificazione del patrimonio residenziale pubblico. Un caso studio*, 2021

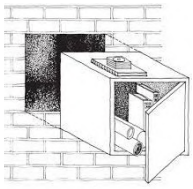
Vengono presentati di seguito i 10 principi del DfD.

1 | Documentare i materiali e i metodi per la decostruzione

L'importanza dell'etichettatura di connessioni e di materiali riveste un ruolo importante nell'applicazione del concetto di DfD. Stilare una documentazione accurata e puntuale su tutti gli aspetti progettuali che vengono applicati alla struttura e redigere un *piano di smantellamento* permette di rendere più efficienti le fasi di smontaggio e di demolizione.
Devono essere presentati tutti i dettagli costruttivi di tutte le parti.
Oltre a presentare documenti relativi al *design* e alla costruzione delle strutture, come i piani architettonici, i disegni ingegneristici, i componenti e i materiali

utilizzati, è importante allegare anche una documentazione fotografica, che identifichi l'ubicazione.
Conservare tutte queste informazioni diviene un passo fondamentale nell'applicazione di questo approccio.
In Svezia, il progettista di una scuola elementare, la Ostratorn School[51], in Lund, ha pensato di far realizzare una *Black Box* e inglobarla nella muratura. All'interno ha potuto inserire tutta la documentazione del progetto, così da garantirsi la possibilità di assistere la futura decostruzione.

51 Ostratorn School, Lund, Sweden, Graham, 2003 - in Design for Adaptability: an introduction to the principles and basic strategies



2 | Accurata selezione dei materiali secondo il principio di precauzione

La scelta dei materiali da applicare, sia alla parte strutturale che non, deve essere guidata da consapevolezza.
Devono essere tenuti in conto tutti gli aspetti che riguardano gli impatti ambientali, attuali e futuri, che tale materiale e processo produttivo dello stesso possono arrecare all'ambiente e alla salute umana.
Esistono alcune accortezze per effettuare una scelta consapevole dei materiali:

- Si devono evitare materiali contenenti al loro interno delle sostanze pericolose;
- Si devono preferire materiali semplici, piuttosto che compositi;
- Si deve evitare di scegliere una varietà troppo ampia di materiali differenti.

La scelta e conseguente riduzione di sprechi deve partire dall'inizio del processo di progettazione dell'edificio e essere parte integrante dell'intera vita dello stesso.

3 | Progettare connessioni accessibili

La progettazione delle connessioni deve essere accurata e studiata, con l'obiettivo di renderle visivamente, fisicamente ed ergonomicamente accessibili. Questo aspetto migliora la facilità di disassemblaggio della struttura e la velocità di tale processo, limitando l'impiego di attrezzature costose e processi lunghi.

4 | Ridurre al minimo o eliminare le connessioni chimiche

L'applicazione di connessioni strutturali attraverso sistemi leganti, sigillanti e colle rende più complessa la fase di separazione delle stesse, compromettendo il principio base del DfD.
Ridurre, o addirittura eliminare, questa tipologia di connessioni permette di diminuire gli impatti negativi sulla salute umana ed ecologica e di facilitare e velocizzare tutte le azioni di disassemblaggio.

5 | Utilizzare collegamenti bullonati e avvitati

Le connessioni devono essere progettate per sopportare un uso ripetuto. Oltre a standardizzare e industrializzare la produzione degli elementi di connessione, è necessario ridurre il numero degli stessi per facilitare la disassemblabilità del complesso.

6 | Sistemi meccanici, elettrici e idraulici (MEP) separati

Gli elementi impiantistici devono essere studiati e progettati in modo tale da poter essere separati con maggiore semplicità. L'utilizzo di sistemi MEP consente di facilitare gli interventi di riparazione, sostituzione, riutilizzo e riciclaggio in campo meccanico, elettrico ed idraulico.

7 | Progettazione degli strumenti

La progettazione deve essere volta a garantire la maneggevolezza degli strumenti da parte degli operatori e di tutti gli attori coinvolti nel processo costruttivo.
Una componente che semplifica sia l'atto di utilizzo, sia quello di analisi e comprensione dei componenti edilizi, è la progettazione modulare: si ha una riduzione notevole del margine di errore nelle fasi di assemblaggio e, di conseguenza, disassemblaggio.

8 | Semplicità di struttura e forma

Ideare e progettare attraverso delle forme semplici e delle griglie dimensionali standard e di riferimento consente di facilitare la costruzione e la decostruzione della struttura.
L'applicazione di sistemi strutturali a campata aperta permette di efficientare i processi e gli interventi su un'opera, secondo il principio del DfD.
La semplicità nell'organizzazione spaziale è un parametro che permette una facile conversione degli edifici in altro uso e l'adattamento alle nuove e future necessità, senza introdurre nuovi processi costruttivi per modificare la suddivisione degli spazi.

9 | Intercambiabilità

Adottare i principi della modularità garantisce un maggiore controllo nella scelta di materiali e sistemi. La standardizzazione dei componenti, oltre a consentire una costruzione più semplice e veloce, permette di facilitarne la sostituzione e il riutilizzo, senza compromettere o intaccare il resto della struttura. L'industrializzazione e la prefabbricazione devono essere previste a partire dal singolo elemento strutturale o non strutturale.

10 | Decostruzione sicura

L'accurata progettazione e meccanizzazione delle fasi processuali per la realizzazione di una struttura consentono di garantire una migliore organizzazione del cantiere. Si efficientano il movimento e la sicurezza dei lavoratori, delle attrezzature, dell'accesso al sito e il flusso di materiali al suo interno.
Tra i rischi da minimizzare ed eliminare per l'operatore c'è anche quello legato alla tossicità dei materiali potenzialmente pericolosi, con cui entra in contatto. Tale rischio deve essere minimizzato anche pensando al futuro occupante del locale.
Emergono diversi criteri a cui fare riferimento e che definiscono le finalità e le potenzialità nell'utilizzo di questo sistema. L'accurata progettazione e scelta degli elementi tecnici impiegati in un progetto consentono di ottenere:

- Flessibilità, adattabilità, versatilità e multifunzionalità del materiale scelto;
- Riduzione della quantità di materiale utilizzato;
- Modularità degli elementi e/o delle connessioni;
- Sostituzione di impianti meccanizzati con soluzioni passive;
- Riduzione o eliminazione dell'uso di adesivi, resine, colle o pitture;
- Riduzione o eliminazione di giunti o connessioni tra elementi che ne pregiudicano la riutilizzabilità.

L'elevata potenzialità dell'impiego di questo sistema consente di rompere la *catena* che si è creata negli anni dell'industrializzazione edilizia, in cui si è sviluppata una tendenza che vede come unici scenari finali la demolizione, con conferimento in discarica dei componenti, o l'abbandono edilizio.
Si deve ritrovare la strada del *riduci, riutilizza e ricicla*.

© Elvir K

4.4 | ALTRI APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE LEGATI AL DFD

"Environmentally benign products are products that comply with environmental regulations and may have significant features that reduce environmental impact. The ideal environmentally benign product is one that not only would be environmentally neutral to make and use but also would actually reverse whatever substandard conditions exist in its use environment. The ideal environmentally benign product would also end its life cycle by becoming a useful input for another product instead of creating waste"[52].

52 D. P. FITZGERALD, J. W. HERRMANN e L. C. SCHMIDT, *Design for Environment (DfE): Strategies, Practices, Guidelines, Methods, and Tools*, 2007

Ci sono molti sistemi per minimizzare l'impatto ambientale di un prodotto. Le opportunità di uno sviluppo che sia il più sostenibile possibile si hanno, ovviamente, nella fase di progettazione. Di conseguenza, nello sviluppo di nuovi prodotti, si deve considerare un maggior numero di fattori, rispetto a quanto si facesse in passato, legati non solo all'impatto ambientale del prodotto stesso, ma anche alle preferenze del consumatore, alla normativa vigente, etc.

La nuova attenzione alla questione ambientale, nell'ambito della progettazione, combina una serie di tendenze, che hanno come punto in comune quello di rendere il progetto un processo preventivo. Alcuni temi chiave sono: il disassemblaggio, la conformità normativa, l'impatto sulla salute umana e sulla sicurezza e la minimizzazione dell'utilizzo di materiali pericolosi.
Nello sviluppo di un prodotto o nel processo di progettazione di un edificio,

un'importante fase è quella del *decision making*, con la quale si risponde alla domanda *come dovrebbe essere il progetto?*. Si definiscono la forma, la taglia, i materiali, il processo e le componenti. Queste informazioni aiutano il progettista a capire quali requisiti il progetto debba soddisfare.

4.4.1 | Modular Grid Design

I modelli geometrici sono sempre stati un aspetto fondamentale della cultura umana. In natura, l'ordine geometrico è raramente riconoscibile: è, infatti, una costruzione della mente umana che aiuta a dare un ordine a ciò che ci circonda. L'utilizzo delle griglie è la base di molte tecniche che semplificano e analizzano quantitativamente il mondo reale.
Una griglia può aiutare un progettista a controllare la posizione degli elementi costruiti nello spazio, rendendo lo spazio stesso più funzionale. Specialmente nella progettazione di nuovi spazi urbani, l'utilizzo di una griglia modulare aiuta a compiere delle scelte più consapevoli su larga scala, garantendo comunque una certa libertà di movimento all'interno dei singoli blocchi. Se facciamo un passo indietro, possiamo osservare che il modello della griglia può essere applicato anche alla scala dell'edificio, e questo può avere diverse implicazioni, non solo in termini di gestione degli spazi interni, ma anche in riferimento al potenziale di sostenibilità dell'edificio.
A proposito di una delle tendenze maggiormente sviluppate in fase di progetto e che, potenzialmente, contribuiscono a una maggiore circolarità e sostenibilità dell'architettura, parliamo di *Modular Grid Design*.

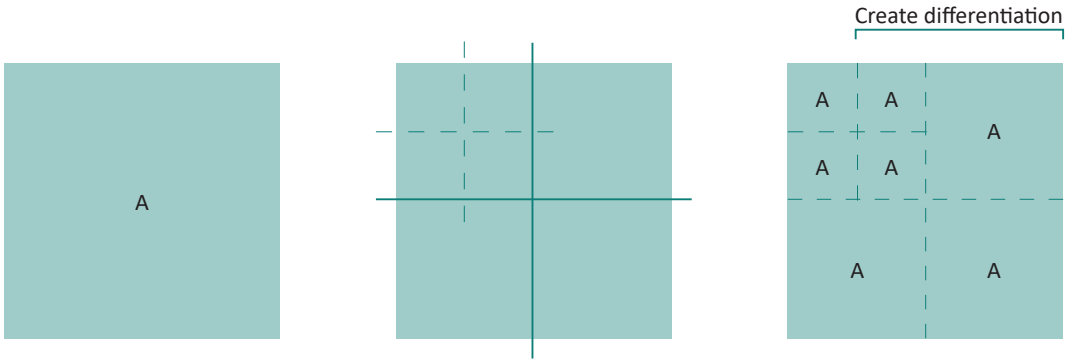
*Il **Modular Grid Design** è un principio di progettazione che suddivide un sistema in parti più piccole chiamate moduli, che possono essere create, modificate, sostituite o scambiate indipendentemente con altri moduli o tra sistemi diversi.*

Come la modularità può contribuire alla sostenibilità?
L'approccio modulare ha come obiettivo finale, principalmente, il riuso sistematico dei materiali costruttivi, riducendo ai minimi termini la produzione di rifiuti.
L'idea della modularità è stata discussa come una strategia attraverso la quale generare delle forme e creare efficienza spaziale. La modularità aumenta con l'avanzare della tecnologia, spostando l'attenzione verso la scelta dei materiali e delle tecniche costruttive: si va verso l'utilizzo di elementi prefabbricati, che permettono una progettazione più rapida e un utilizzo di soluzioni più semplici nella fase di assemblaggio.
Nonostante ciò, si parla raramente di modularità come strategia per ottenere una maggiore sostenibilità in ambito architettonico: si discutono maggiormente temi quali l'efficienza energetica, la riduzione del *run-off*, l'utilizzo di materiali verdi o

ingegnerizzati, etc.
Si presta, quindi, maggiore attenzione alla sostenibilità della fase di utilizzo più che a quella di progettazione.
Come spiegato precedentemente, il *Design for Deconstruction* è una tendenza architettonica orientata, nella fase di progetto e di costruzione, verso la possibilità di riuso dei materiali costruttivi e la minima produzione di rifiuti.
Attraverso l'idea di assemblaggio-disassemblaggio, che accompagna ogni fase del progetto, il sistema edificio viene concepito come un meccanismo complesso: si presta maggiore attenzione alla scelta delle componenti, ai *layers* e all'utilizzo di giunti che siano smontabili.
Nel DfD, l'idea della modularità viene sfruttata per incrementare l'efficienza dei materiali e determinare una maggiore prevedibilità di tempi e costi: l'edificio diventa flessibile e le sue componenti intercambiabili.
Basandosi sulla letteratura recente, si può dire che i principi di applicazione del *Design for Deconstruction* (come ad esempio: la suddivisione in *layers*, l'emancipazione delle singole parti l'una dall'altra, la scelta di giunzioni e connessioni semplificate e reversibili), sono più facilmente applicabili se accompagnati da una modularità formale: la modularità offre, infatti, una maggiore prevedibilità e più scenari di riuso.
L'idea di griglia modulare è basata su una suddivisione geometrica, che funziona come un singolo modello moltiplicato e riposizionato in un particolare ordine. Un modulo diventa un componente autonomo, ma supporta l'intero sistema dettando il rapporto con le altre componenti. Quest'idea di base determina un'organizzazione più semplificata.
Se il concetto della modularità viene applicato fin dalla fase di definizione del concept progettuale, la produzione di rifiuti può essere ridotta e gestita in maniera più attenta fin dalle prime fasi. Ciò può essere osservato nell'applicazione della modularità in costruzioni realizzate con elementi prefabbricati o riciclati: la tendenza è quella di usare meno materiale, e, di conseguenza, produrre meno scarti.
Attraverso la definizione di moduli, è possibile ottimizzare:

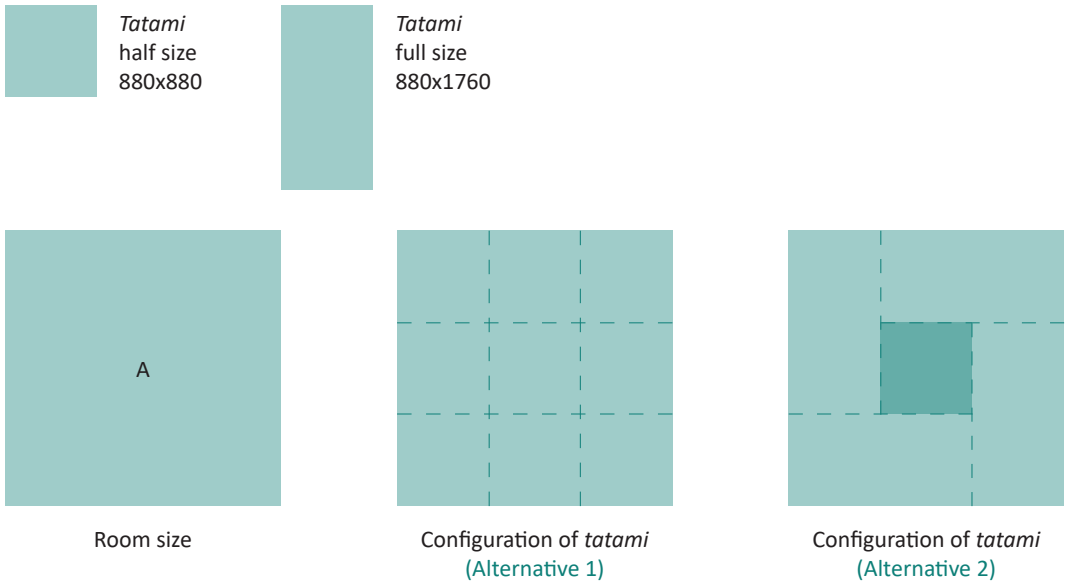
- I processi di assemblaggio e disassemblaggio;
- L'efficienza dei materiali;
- Il fabbisogno energetico;
- Il flusso dei materiali e dei rifiuti.

Un punto a sfavore, può essere dato dal fatto che la modularità è spesso vista come una limitazione alla creatività, in quanto genera monotonia nella progettazione. Tuttavia, si deve considerare il fatto che un edificio modulare è maggiormente passibile di variazioni. Si può intervenire con azioni di suddivisione, moltiplicazione o differenziazione degli spazi: questo offre una maggiore flessibilità e intercambiabilità, grazie alla possibilità di applicazione di sub-moduli.



(Grafico) © A. K. FADHILAH, R. SURYANTINI, *Subdivision and differentiation in modularity, allowing flexibility and interchangeability of building components*. Rielaborazione a cura delle autrici

Le modifiche ai moduli di base possono essere ottenute per addizione o per sottrazione: ciò permette di ottenere una diversa configurazione degli spazi, che può rispondere ad esigenze differenti.
Questo tipo di flessibilità è stato simulato nelle case giapponesi, dove la dimensione delle stanze è basata sul modulo del *tatami*.
Il *tatami* è sostanzialmente la tradizionale pavimentazione giapponese, composta da pannelli modulabili di forma rettangolare che rispondono a caratteristiche ben definite, inclusa la dimensione *tatami giapponese*: ogni modulo si compone di un pannello di legno o di altro materiale rigido (*tatamidoko*), foderato con una stuoia (*tatamiomote*) composta da un rivestimento di paglia di giunco intrecciata (*igusa*), che contiene al suo interno anche strati in paglia di riso pressata.
Il modulo intero ha dimensioni 880x1760 mm. La suddivisione del modulo e la sua applicazione nello spazio può creare differenti configurazioni, nonostante si parta da una dimensione, appunto modulare, che è fissata.



(Grafico) © A. K. FADHILAH, R. SURYANTINI, *Learning the interchangeability and flexibility of tatami's module and the room size in Japanese house*, 2020. Rielaborazione a cura delle autrici

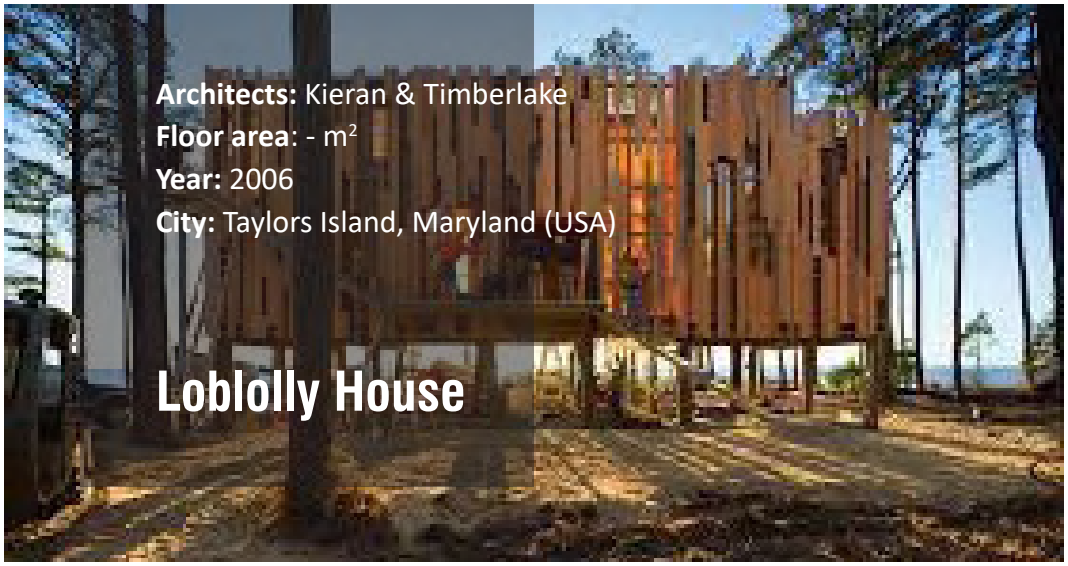
La variazione dei moduli dipende, comunque, da alcuni fattori che possono costituire delle limitazioni: primo fra tutti, il sistema costruttivo. Questo determina, inevitabilmente, la combinazione delle componenti dell'edificio, e, di conseguenza, la gestione degli spazi.
Il sistema costruttivo più flessibile è sicuramente quello a telaio, in quanto c'è una maggiore possibilità di composizione degli spazi abitativi.
Applicando il concetto della modularità, il processo di disassemblaggio può essere semplificato, in modo che gli step verso il riuso e il riciclo siano più semplici.
La flessibilità facilita le modifiche parziali che potrebbero essere necessarie nell'edificio in fase di utilizzo e incrementa il potenziale di riciclo delle varie componenti.
Come strategia progettuale, l'applicazione della modularità richiede una pianificazione attenta delle connessioni tra i vari moduli.

Di seguito vengono presentati due casi studio, nei quali viene applicato il concetto della modularità.
Cellophane House e Loblolly House sono due progetti sviluppati negli USA da Kieran and Timberlake, sulla base del principio del *Design for Deconstruction*.
L'analisi di questi due edifici, attraverso la presentazione dei disegni progettuali, è volta ad identificare la componente modulare degli stessi.

"In 2008, 500 architects were asked to submit proposals for full-scale designs reflecting the current state and future potential of prefabricated architecture to be evaluated for exhibition at The Museum of Modern Art.
[...] Cellophane House™ was assembled like a car: The whole construction was broken down into integrated assemblies, called "chunks," that were fabricated off site, then delivered via trailers to the site and stacked on top of each other with

a crane. Eighty percent of the construction was completed in six days. [...] Unlike prefabricated housing in which originality and site-specificity may be lost in the manufacturing process, Cellophane House™ is a flexible system of building that enables multiple outcomes. The frame can accommodate a variety of materials to suit different needs, tastes, and budgets; the house can adapt to different sites and climatic factors, and interior floor plans can be easily rearranged.
[...] The final experiment at MoMA was its Deconstruction. The house was deglazed, un-stacked, and disassembled at ground level using basic handheld tools. Parts were organized on pallets and removed from the site in two days. Virtually no waste was generated, and 100 percent of the embodied energy in materials was recovered. The only remnant was a patch of gravel in an asphalt lot."[53]

53 Kierantimberlake, *How can we create a house that holistically advances architecture through agendas of on-site assembly, design for Deconstruction, and reuse of materials?*

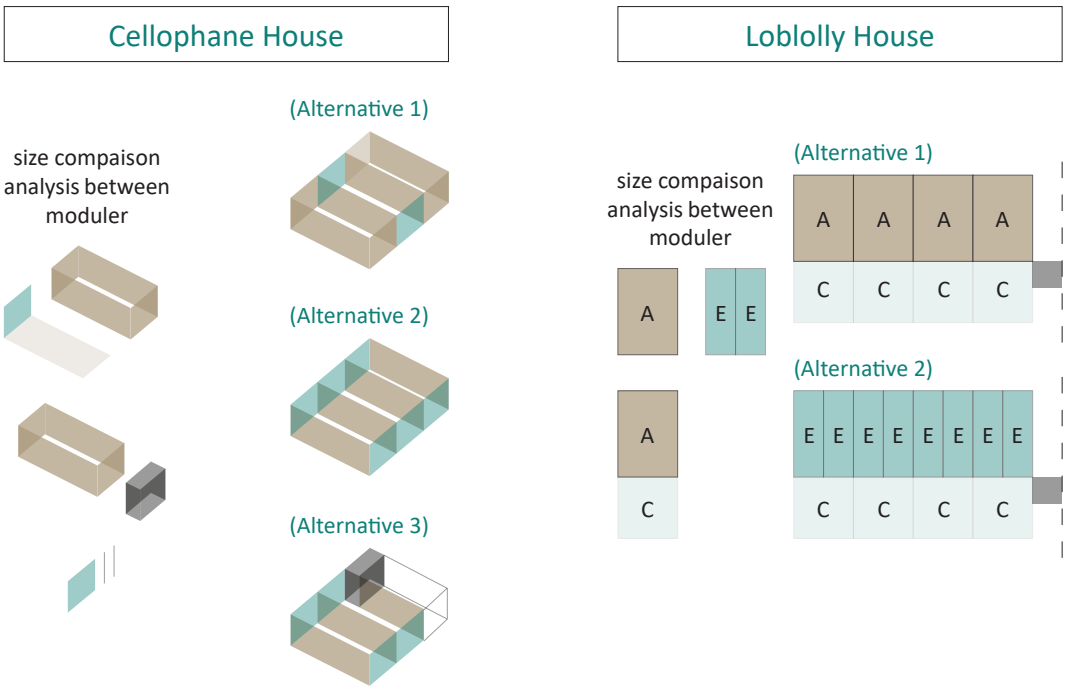


"Most houses are built from thousands of parts, which are transported separately to the construction site and pieced together by hand—a process of extraordinary duration, cost, and environmental impact. With Loblolly House, by contrast, we wanted to use integrated assemblies of those parts, fabricated off site, to build a house in an entirely different way.
[...] Each element—and its junctures with other elements—was first digitally modeled to an exquisite level of detail. At the time, in 2004, parametric modeling software was in its nascent stages and required significant effort, but its use ensured that elements fabricated simultaneously would fit together perfectly. The assemblies were then fabricated off site, anticipating their attachment to the aluminum scaffold system that would eventually support and connect them. Unlike a traditional building process, in which construction must happen sequentially from the ground up, with Loblolly House, the various elements could be prepared at the same time, shifting 70 percent of the effort to the factory. All of the house's systems were pre-integrated into the floor and ceiling panels, termed

smart cartridges, to distribute radiant heating, hot and cold water, waste water, ventilation, and electricity throughout the house."[54]

54 Kierantimberlake, *How can we holistically transform the way we make architecture, compressing the construction timespan and making use of technology to create a truly sustainable, aesthetically moving shelter?*, 2006

Le componenti dell'edificio sono mappate in diagrammi, che organizzano i dati in: materiali, *layers* e tipologie di connessione.
I moduli individuati vengono esaminati per individuare dei *patterns* di modularità e indagare le possibilità di flessibilità e intercambiabilità che questo tipo di approccio progettuale garantisce.
Nella Loblolly House e nella Cellophane House, l'edificio consiste in una serie di componenti che sono fabbricate *off-site* e assemblate *on-site*. Entrambi gli edifici sono realizzati principalmente con elementi prefabbricati leggeri, ad esempio in acciaio o in alluminio.
Gli edifici sono entrambi progettati tramite una definizione degli spazi semplificata, cosa che garantisce una semplicità di assemblaggio e disassemblaggio.
In linea con i principi del DfD, elencati precedentemente, entrambi i casi studio utilizzano connettori modulari e disassemblabili. Il tipo di connessioni usate nella Loblolly e nella Cellophane House sono dei semplici giunti a secco, che sono scelti per la facilità di smontaggio; inoltre, anche la fase di montaggio può essere gestita con l'utilizzo di semplici strumenti.
Grazie all'utilizzo di connessioni che non sono ibride, queste possono essere rimosse e assemblate facilmente. Possiamo osservare, quindi, il concetto della modularità applicato anche a un livello di dettaglio, come quello delle connessioni.



(Grafico) © A. K. FADHILAH, R. SURYANTINI, *Modules comparison and the simulation of module's configuration in Cellophane House (left) and Loblolly House (right),* 2021.
Rielaborazione a cura delle autrici

Attraverso un'analisi della distribuzione planimetrica dei due casi studio, è possibile individuare diversi modelli di relazione tra i moduli: moduli più piccoli possono sostituire quelli più grandi, tramite l'applicazione di azioni di suddivisione. Tali moduli possono essere planari o volumetrici.
Essendo il caso della Loblolly House realizzato tramite l'applicazione di soli moduli planari, le modifiche ottenibili tramite divisione/moltiplicazione possono riguardare unicamente la dimensione delle stanze; al contrario, nella Cellophane House si può osservare una combinazione di moduli planari e volumetrici, che sono in stretta correlazione tra di loro. I moduli planari e volumetrici sono intercambiabili tra loro, in quanto condividono caratteristiche dimensionali simili.
Questo comporta che la suddivisione dei moduli può supportare la performance dell'edificio in termini di decostruibilità, garantendo che le componenti possano essere riutilizzate in quanto flessibili e facilmente modificabili rispetto alle differenti esigenze.
Circa il 50% delle componenti dei due casi studio appena discussi è completamente intercambiabile. Tali componenti sono principalmente elementi basici, come ad esempio le componenti del telaio strutturale, i giunti, oltre a elementi planari che formano i muri e i pavimenti.
Nella Loblolly House, è presente un numero di componenti intercambiabili minore, in quanto la dimensione degli spazi interni non è modulare; di conseguenza, ogni stanza richiede delle componenti che abbiano delle misure specifiche diverse.
Questo dimostra che i moduli planari determinano una maggiore intercambiabilità, rispetto ai moduli volumetrici, specialmente nel definire lo spazio e la sua dimensione.
In definitiva, si può dire che lo scenario di riuso finale, che si può generare nei due casi studio, dipende fortemente dall'intercambiabilità delle componenti dell'edificio, in particolare per quanto riguarda moduli planari e connessioni.
In conclusione, possiamo dire che la modularità è una delle strategie di progetto che contribuisce ad ottenere un'architettura che sia più sostenibile.
L'analisi sui due casi studio ha dimostrato che l'utilizzo del criterio della modularità rende lo studio del potenziale di riuso molto più prevedibile, se l'intero complesso edificio è progettato per essere flessibile e intercambiabile. Questo può diventare un interessante punto di partenza per considerare la modularità come un criterio utile non solo per definire delle forme e accelerare il processo costruttivo, ma anche per produrre meno rifiuti e allungare la vita dei materiali stessi.
Esistono ulteriori possibilità nell'utilizzo dei moduli, che possono incrementare il potenziale di riutilizzo. Tali strategie garantiscono una maggiore flessibilità delle componenti durante le fasi di assemblaggio-disassemblaggio e contribuiscono a diminuire il numero dei giunti e le differenze tra le varie componenti, in modo che il processo possa essere più veloce.

© Henry Co

4.5 | LA TEORIA DEI LIVELLI

"When we examine the composition of complex artifacts we are likely to see a hierarchical structure. The kind of hierarchy we find depends on the criteria we apply for the decomposition of the configuration under scrutiny. One criterion can be to consider the whole composed of parts that lend themselves for control by separate agents in charge of the design or maintenance of it".[55]

55 N.JOHN HABRAKEN, *Control hierarchies in complex artifacts*, 1987

Per poter capire e valutare la performance di un edificio, dobbiamo innanzitutto considerare che questo è un oggetto complesso. Occorre, in primo luogo, definire un metodo che permetta di rendere sistematica la lettura del costruito, suddividendolo in livelli comprensibili e distinti tra loro.
In letteratura possiamo ritrovare diversi casi di studio in cui il sistema edificio viene scomposto in livelli diversi a seconda del tipo di ricerca che si vuole affrontare: il punto in comune è la definizione di *layers* interdipendenti tra di loro.
La definizione proposta da F. Duffy e modificata da S. Brand nel suo libro pubblicato nel 1994 *How Building's Learn*, si basa sull'analisi di casi studio e prodotti tramite il sistema delle sei S: *Site* - *Structure* - *Skin* - *Services* - *Space Plan* - *Stuff* (Brand, 1994).
Queste categorie sono pensate per definire l'edificio come un sistema in cui i livelli del cambiamento sono in costante frizione tra loro: *layers* caratterizzati da un veloce cambiamento, come *Space Plan,* sono bilanciati da *layers* più statici come *Structures*, che sono meno flessibili.

Ad esempio, il posizionamento nello spazio di un elemento strutturale, che tendenzialmente viene definito una sola volta, detterà la definizione dello spazio abitato interno; se la configurazione dello spazio interno non trova accordo con la struttura, in questo caso abbiamo forte contrasto tra i due livelli.
Habraken introduce, invece, i livelli di controllo: "[...] Three kinds of control hierarchies are distinguished. The first, called assembly hierarchy, is commonly known and predominantly technical in nature. It tells us that a unit on a higher level of the hierarchy is composed of parts we find on the lower level. Control is one of assembly of smaller parts into a larger one and the process is a sequence of assemblies.
In the other two control hierarchies the entities we find on a lower level do not assemble to form a higher level unit. The relation between the levels is not one of assembly but of 'dominance' where the transformations on the lower level are constrained by the higher level. Of these two, one has to do with the control of physical elements and is called a dependency hierarchy. The other has to do with the control of spaces in which we distribute our physical parts and is called a territorial hierarchy."[56]

56 ivi

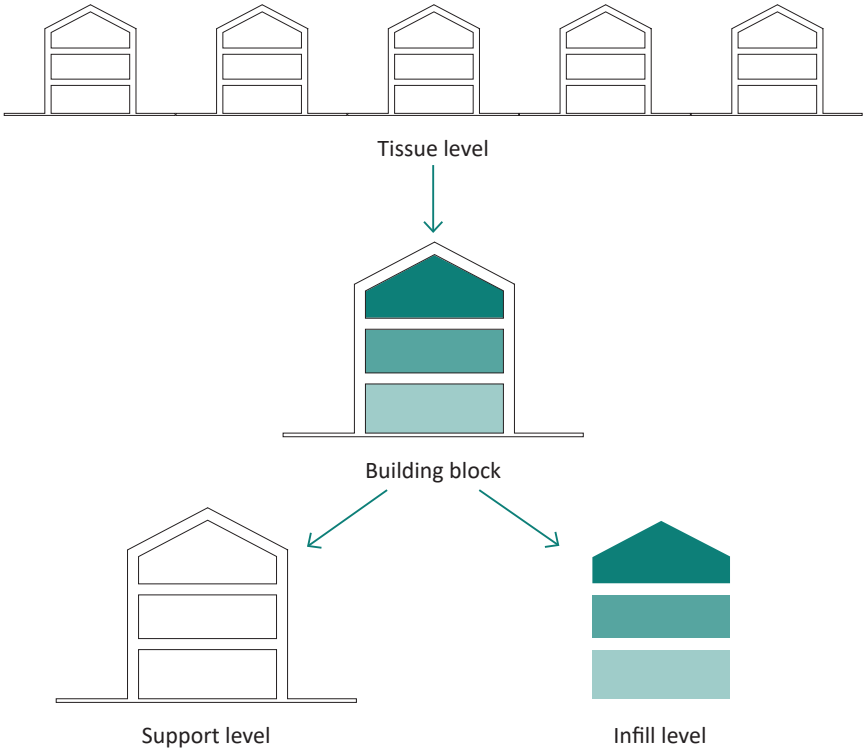
Ciò che possiamo dire è che, nella teoria dei livelli, alcuni dominano su altri. Come detto precedentemente, questa dominanza è definita dalla velocità di cambiamento dei *layers* stessi.
Le dinamiche della complessità del sistema sono dominate dai livelli a cambiamento lento, mentre gli altri ne seguono l'andamento di conseguenza: i livelli che hanno maggiore durabilità (ad es. le componenti strutturali) dominano quelli che hanno una durabilità inferiore (ad es. l'organizzazione spaziale).
Questo potrebbe portare il progettista a pensare che la soluzione per rendere l'edificio un sistema più dinamico possa essere eliminare l'interdipendenza stessa tra i diversi livelli.
La tendenza a un rapido cambiamento di alcuni livelli, intacca l'integrità di elementi appartenenti a livelli a cambiamento lento.
Per limitare questa forte dipendenza, è necessario che gli edifici diventino più preventivi.

4.5.1 | Livelli di controllo

La questione della scomponibilità e indipendenza dei vari livelli costituenti un edificio è stata trattata in modi diversi in diverse occasioni.
Un approccio molto conosciuto è quello che viene trattato dal professor Habraken, nel suo libro *De Dragers en de mensen* pubblicato nel 1960, il quale suggerisce "that the built environment could be divided into three levels of decision making, namely: urban fabric or tissue, base building or support, and fit out or infill. This

hierarchy of levels was developed following the pattern of responsibilities or control. The building interacts with inhibitants at the infill level (inhibitants define the infill level), the tenant organisation is responsible for the support level, and the whole community is responsible for the tissue levels".[57]

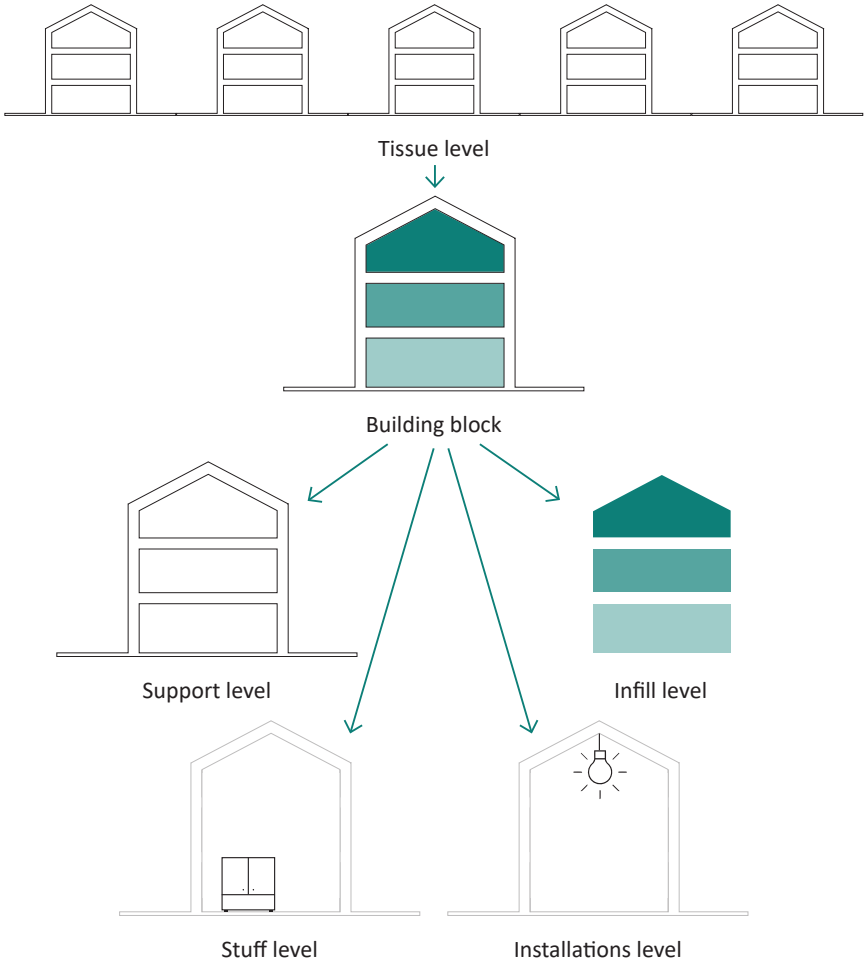
57 E. DURMISEVIC, Transformable building structure: *Design for Deconstruction as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, Netherlands*, 2006



(Grafico) © KAMO, *Fixed and flexible elements on building level*, 2020. Rielaborazione a cura delle autrici

La comunità si assume la propria responsabilità nel *tissue level* prendendo decisioni relative all'impronta degli edifici e alle connessioni tra le varie infrastrutture della città, nonché rispetto alle varie restrizioni a cui la città deve essere sottoposta.
Il *tissue level* si trova a un livello inferiore rispetto a un edificio costruito al suo interno: gli edifici possono essere trasformati o demoliti, mentre la città rimane la stessa.
All'interno del *building block*, la distinzione viene fatta tra i due livelli *support e infill*: con il primo termine si intende lo scheletro portante dell'edificio; con il secondo termine si fa riferimento a ciò che *riempie* la struttura.
Habraken definisce la struttura come un trampolino di lancio per il cambiamento: il supporto contiene strutture comuni, diverse funzioni d'uso, così come tutte le connessioni tra le diverse installazioni interne.
"A support remains constant during interior renovation. Lower level (*infill level*) configurations transform more easily and therefore with greater frequency than higher level configuration (*support level*)". (Habraken 1998)

B. Leupen, autore contemporanea di J. Habraken, riprende la definizione di *support e infill* level e introduce altri due livelli: *installations e stuff*.
Leupen suggerisce che la flessibilità e la variabilità di uno spazio sono direttamente derivanti dalla combinazione di aspetti funzionali quali *support, infill, installations, e stuff*, rispetto a due livelli decisionali: *support e infill*.



(Grafico) Elaborazione a cura delle autrici

4.5.2 | Livelli funzionali

Un altro approccio di sistematizzazione dei livelli interni all'edificio è proposta dal gruppo di ricerca Duffy and Brand, che argomenta che lo studio dell'edificio dovrebbe essere seguito dall'analisi dell'uso delle diverse componenti nel loro ciclo di vita.
Riprendendo quanto detto precedentemente, i vari livelli che vengono presentati nella definizione di Brand e Duffy sono:

- *Site*: la localizzazione urbana o lo spazio legalmente definito come lotto;

- *Structure*: le fondazioni e gli elementi portanti;
- *Skin*: la finitura esterna, che include anche i pavimenti e le facciate;
- *Services*: HVAC, sistemi di comunicazione e componenti elettroniche;
- *Space plan*: la definizione degli spazi interni, che include le partizioni verticali, le aperture, i soffitti, i pavimenti;
- *Stuff*: la mobilia.

(Grafico) Le durate dei singoli livelli del gruppo di ricerca Duffy and Brand. Elaborazione a cura delle autrici

4.5.3 | Livelli di composizione tecnica

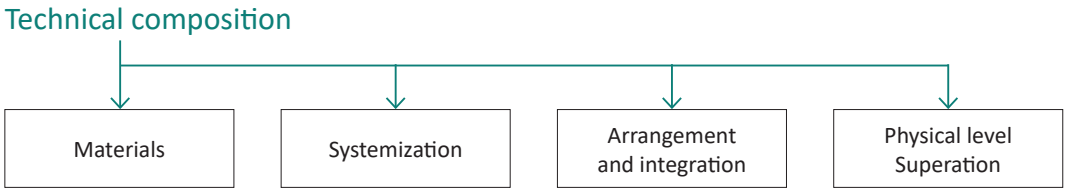
Rispetto a quanto è stato detto finora, si può assumere che la progettazione della fase di disassemblaggio sia necessaria perché le varie componenti dell'edificio hanno diversi cicli di utilizzo. Non solo, è da considerare anche il fatto che le stesse componenti hanno anche delle caratteristiche tecniche diverse.
Se consideriamo un sistema edificio standard, questo può essere composto di:

- Un sistema strutturale;
- Un sistema di partizioni interne;
- Un sistema di facciate e finiture esterne.

Un sistema di facciata ha un ciclo di utilizzo due volte più breve rispetto a quello di un sistema portante, e due volte più lungo rispetto a quello di un elemento di partizione.
Questo dovrebbe comportare che ogni singolo elemento costituente il sistema edificio venga considerato come una parte indipendente e a sé stante, così come i materiali, i quali hanno anch'essi durabilità distinte.
In conclusione, si può dire che la trasformazione di un edificio e l'indipendenza delle sue componenti non deriva unicamente dalla funzionalità dell'assemblaggio e dall'utilizzo che si farà delle stesse componenti nel loro ciclo di vita. Di conseguenza, la classificazione per livelli, proposta da Brand, dovrebbe essere approfondita: non è solo l'utilizzo che determina l'indipendenza di un livello, ma è anche, e soprattutto, la sua natura materica e tecnologica.
"Each physical level within a building deals first with its own life cycle duality, and secondly with the fact that surrounding components may have different changing rates. Technical composition deals with systematisation of materials according to

desired functionality and arrangement and integration of materials into specific physical level. How we call a specific physical level will depend on level of technical composition within the building. Major levels of technical composition can be called components, systems, and building and will have number of sublevels. Higher level will dominate lower level of technical composition".[58]

58 E. DURMISEVIC, *Transformable building structure: Design for Deconstruction as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, Netherlands,* 2006



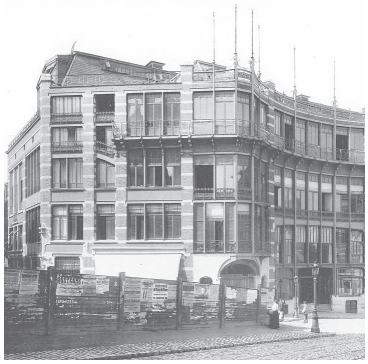
(Grafico) © E. DURMISEVIC, *An exampe shows the technical composition*. Rielaborazione a cura delle autrici

Il grafico viene mostrato per spiegare più chiaramente quanto detto finora, rispetto al termine *technical composition*. I due aspetti considerati fondamentali nel comprendere la composizione tecnica di un elemento sono: la durabilità e la collaborazione con altre componenti.

L'autore presenta un esempio di composizione di un pannello sandwich di facciata Il sistema comprende diverse parti e elementi, che hanno differenti usi e tempi di vita: mentre il rivestimento può avere una durata pari a 15-20 anni, dopo i quali può essere sostituito a causa della sua obsolescenza, altre parti hanno una vita più lunga, che può arrivare anche a 100-120 anni, come ad esempio le parti in calcestruzzo che costituiscono il supporto del sistema.

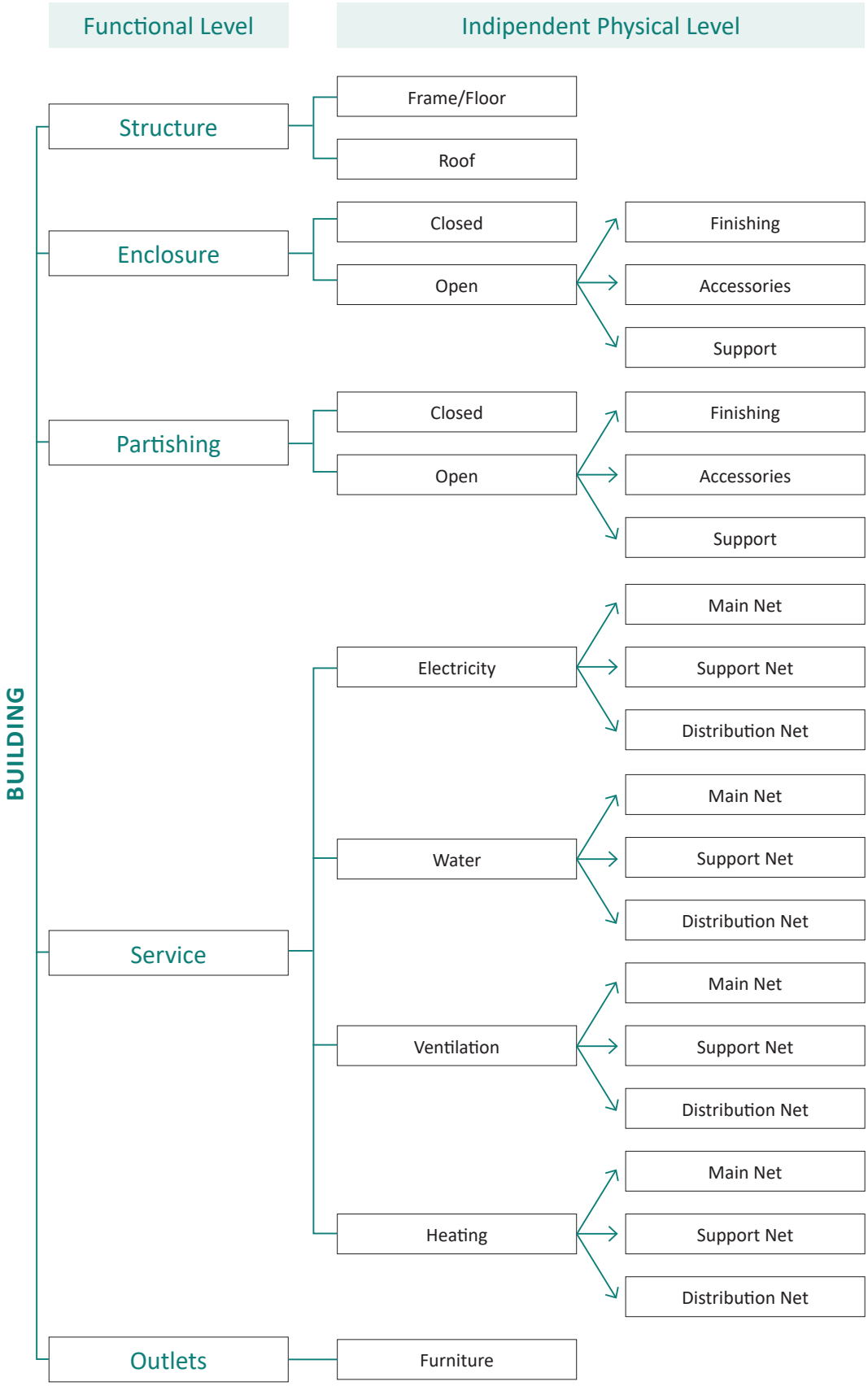
In questo contesto possono essere citati alcuni esempi, come la facciata della Maison du Peuple (House of the People) progettata a Bruxelles nel 1895 da Victor Horta e la IGUS factory, progettata da Nicholas Grimshaw, nella quale le facciate sono costituite da p*elli flessibili*. Questi esempi sopracitati sono stati analizzati nello studio di Suarez Fernandez-Coronado et al.

Lo studio dimostra che questi edifici hanno incrementato il proprio valore, le proprie condizioni di comfort e di flessibilità grazie a uno studio tecnologico approfondito, con il quale è stato possibile realizzare delle facciate adattabili e costituite da pezzi sostituibili (Suarez Fernandez-Coronado, 2010).



(Immagine) *Maison du Peuple (House of the People)*

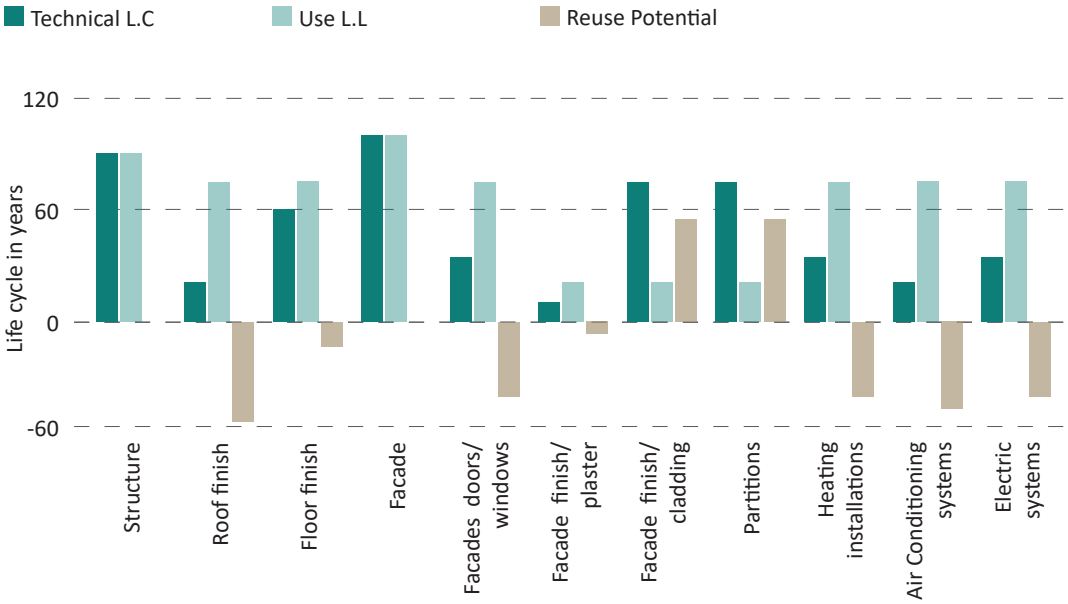
(Immagine) © C. JOBIN, *IGUS factory*



(Grafico) © E. DURMISEVIC, *The separation of physical levels*, 2010. Rielaborazione a cura delle autrici

Comunque, nessuna delle facciate menzionate precedentemente presentava elementi in calcestruzzo. L'importanza della composizione tecnica e l'indipendenza dei livelli fisici può essere compresa meglio nella seguente illustrazione fornita da Durmisevic, nella quale si dimostra che l'indipendenza dei livelli fisici può espandere il ciclo di vita di materiali ed elementi e facilitare il cambiamento e l'adattamento.

Per identificare parti dell'edificio che possano essere descritte come passibili di disassemblaggio, Durmisevic sviluppa una matrice nella quale studia la coordinazione tra i vari elementi rispetto alla loro durata di vita. Nel caso in cui il ciclo di vita a livello tecnico sia più lungo rispetto al ciclo di vita di utilizzo, il potenziale di riuso dell'elemento in questione sarà presentato come un valore positivo, che indicherà la possibilità di disassemblaggio.
Il grafico riportato di seguito rappresenta una matrice di coordinazione del ciclo di vita di una struttura convenzionale costruita in calcestruzzo.



(Grafico) © E. DURMISEVIC, *Lifecycle coordination matrix of the conventional concrete building and its parts and elements, values obtained from sources,* 2010. Rielaborazione a cura delle autrici

Rispetto alle matrici di natura qualitativa sviluppate da Durmisevic per l'individuazione di livelli indipendenti relativi al complesso dell'edificio, viene riportato, nella pagina seguente, un estratto di un articolo di ricerca redatto dal professor S. Viscuso, architetto e docente al Politecnico di Milano, pubblicato sulla rivista TECHNE22 e dal titolo *Programmare il disassemblaggio e il riutilizzo dei componenti edili*.
L'articolo, riprendendo le fila di una serie di studi relativi all'importanza dell'applicazione della teoria dei livelli, individua una possibile scomposizione dell'edificio in un modello ad albero, utile per definirne la reversibilità.

Articolo di ricerca - Coding the circularity.

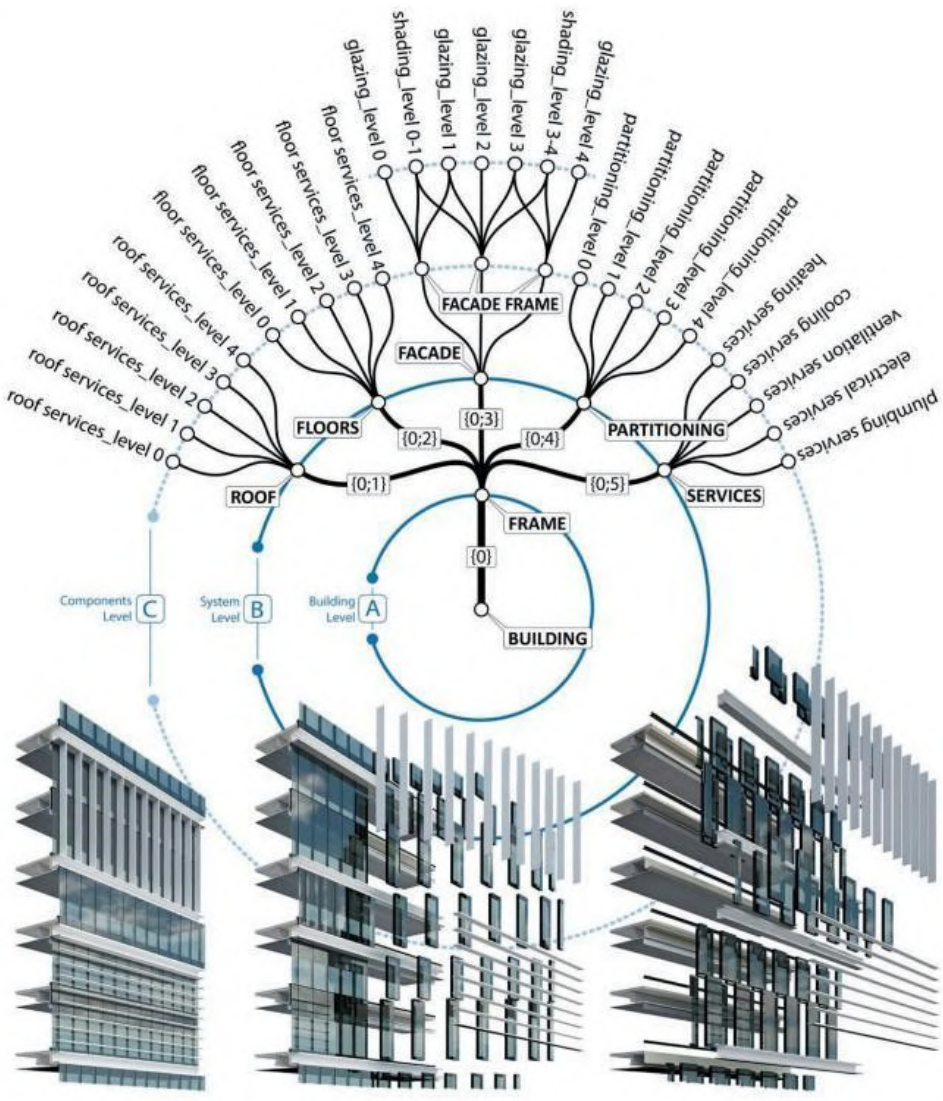
Programmare il disassemblaggio e il riutilizzo dei componenti edili / TECHNE 22

S. VISCUSO, Politecnico di Milano, Italia

"[...] L'esigenza di nuovi sistemi tecnologici trasformabili e adattabili, i cui elementi siano a loro volta riutilizzabili e riciclabili, è richiesta dalle nuove dinamiche immobiliari che impongono rinnovamenti frequenti per il *fit out* interno degli edifici, oltre che dalle recenti prescrizioni normative che indicano la reversibilità costruttiva come una delle potenziali strategie per la riduzione del consumo di risorse. Di conseguenza, nel corso degli ultimi anni, sono stati sviluppati diversi metodi per quantificare il livello di disassemblaggio di un sistema tecnologico, alcuni dei quali trasferiti da altri settori produttivi come l'elettronica e l'automotive. La maggior parte dei protocolli fornisce un punteggio pesato che permette di valutare la soglia di reversibilità di un progetto. Tuttavia, alcuni di essi si basano esclusivamente su parametri qualitativi (Durmisevic, 2006; Langston et al., 2008), mentre solo recentemente si contempla la possibilità di un futuro riutilizzo dei componenti (Conejos, 2013; Akinade et al., 2015; Sanchez and Haas, 2020). Analizzando tali procedimenti, è evidente il vantaggio di poter prefigurare un Deconstruction model digitale, organizzato secondo regole relazionali che possono essere implementate nei più comuni software di progettazione parametrica BIM. In fase di progettazione tecnologica e costruttiva, tali strumenti consentono di *annidare* oggetti digitali (*nesting*), in modo da creare una relazione gerarchica tra l'intero edificio, i suoi componenti e le parti costitutive di ciascun componente (*data tree*). Per progettare una configurazione aperta e dinamica, è necessario quindi separare le diverse funzioni dell'edificio mediante l'uso di sottosistemi autonomi per ciascuna funzione, assemblabili indipendentemente dalle altre parti della struttura. Ad esempio, un sistema di facciata può essere strutturato seguendo il modello di scomposizione funzionale in sotto-funzioni, come chiusura, finitura, isolamento, protezione dall'acqua e resistenza meccanica. Successivamente, le sotto-funzioni sono allocate attraverso gli elementi indipendenti che si dispongono in componenti, i quali formano un particolare sistema di facciata una volta assemblati. I componenti sono la materializzazione delle sotto-funzioni, le quali possono avere durate di vita differenti (Fig. 1). Scomponendo la facciata in un numero di componenti indipendenti, il sistema diventa più flessibile perché può essere facilmente modificato o riconfigurato in base a nuove esigenze di luminosità,

isolamento, posizione delle aperture, rivestimento.

L'indipendenza relazionale di ciascun ramo dell'albero di dati permette quindi di attuare sia una strategia a breve termine, relativa all'adattamento e all'uso futuro del manufatto architettonico, sia una strategia a lungo termine connessa allo scenario di fine vita dei componenti edilizi che lo compongono. Le caratteristiche principali di tali configurazioni dinamiche possono essere riassunte in semplici regole da poter scrivere all'interno dei codici di generazione ed annidamento delle geometrie parametriche (Vandenbroucke, 2016): i) separazione per livelli dei materiali o elementi base, corrispondenti a funzioni indipendenti; ii) creazione di una gerarchia aperta di sottoinsiemi distinti; iii) definizione di processi di assemblaggio/disassemblaggio paralleli anziché sequenziali".



(Tabella) © S. VISCUSO, *Modelli per la valutazione del livello di disassemblaggio degli edifici*.

Codificare le interfacce e le connessioni

“[...] La progettazione delle connessioni dell’edificio costituisce un aspetto quanto mai essenziale per definire la sua soglia di reversibilità.
Le interfacce da collegare definiscono il grado di libertà tra i componenti, controllabile attraverso la configurazione del bordo degli elementi e la specifica del tipo di connessione.
Una possibile catalogazione delle tipologie di interfaccia può basarsi su dei criteri di verifica del livello di reversibilità della connessione, che si prestano ad essere vincolati parametricamente attraverso specifici codici di modellazione, da adottare in fase di morfogenesi dei componenti (Golinska-Dawson and Kuebler, 2018). Ad esempio, le geometrie a doppio incastro risultano meno adatte al disassemblaggio, perché gli elementi possono essere smontati previa demolizione gli elementi collegati [...]”.

© Joao Marcelo Martins

4.6 | DFD E NORMATIVA

Si fa sempre più strada una contrapposizione netta tra l'approccio della demolizione e quello della decostruzione volta al riutilizzo delle componenti e del suolo stesso. Nuove tecniche e strumenti per lo smantellamento delle strutture esistenti sono in fase di sviluppo.
Le istituzioni del mondo e le politiche locali stanno iniziando ad affrontare il tema della disassemblabilità del costruito, incrementando i costi delle operazioni di demolizione e, in alcuni casi, vietando lo smaltimento di materiali altrimenti utili.
BREEAM[59] Netherlands e DGNB[60] hanno promosso strumenti per la quantificazione dell'*adattabilità funzionale* (*functional adaptability* o *spatial reversibility*) degli edifici, considerando, ad esempio, il facile riposizionamento delle partizioni interne e la facilità di rimuovere alcune parti (Debacker e Manshoven, 2016).
(Caso studio esempio: A. BURGER SEED Architects, Martini Hospital, 2008, Groningen, Olanda, analizzato nel capitolo 6.)

Sia DGNB che BRE *Trust*[61] hanno sviluppato strumenti per valutare il livello di *Design for Deconstruction* nell'edilizia (Debacker e Manshoven, 2016).
Il primo ha sviluppato uno strumento per gli uffici di nuova costruzione. Considera quattro categorie di componenti: *building services, non-structural building components, non-load and load bearing components of the building shell*.
Il secondo ha sviluppato una metodologia generale per valutare il potenziale di decostruzione di un nuovo edificio residenziale: utilizzando un approccio di

59 BREEAM: *Building Research Establishment Environmental Assessment method*

60 DGNB: *German Sustainable Building Council*

61 BRE Trust: *Building Research Establishment*, il più grande ente di beneficenza del Regno Unito dedicato specialmente alla ricerca e all'istruzione nell'ambiente costruito.

assegnazione di un punteggio premiale in relazione a una serie di criteri, si ottiene un punteggio complessivo di decostruzione e, inoltre, delle raccomandazioni per migliorare la scomponibilità (Adams 2015).
Inoltre, un nuovo standard ISO 20887 per lo smontaggio e l'adattabilità degli edifici è in fase di sviluppo da parte del TC 59 / SC17[62], basato su uno standard esistente in Canada (Debacker e Manshoven, 2016).
(Caso studio esempio: POPULOUS ARCHITECTS, Olympic stadium, 2012, Londra, Inghilterra, analizzato nel capitolo 6.)

62 TC 59 / SC17: normativa riguardante la standardizzazione nel campo della sostenibilità delle opere edili nel contesto degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite.

4.6.1 | Environmental Assessment Methods

Di seguito viene riportato un elenco di diversi protocolli di valutazione ad oggi vigenti e tra i più utilizzati nella certificazione degli edifici, rispetto al loro impatto ambientale.
Si potrà osservare come il principio di progettazione volta allo smontaggio non sia contemplato tra i criteri oggetto di valutazione, se non in maniera secondaria, facendo, ad esempio, riferimento alla quantità di materiali o componenti riutilizzabili presenti all'interno dell'edificio stesso. Questo, ad eccezione di un unico caso, che è quello del protocollo di valutazione australiano *Green Star*[63], nel quale il tema del DfD viene trattato in maniera centrale.
Ciò ci porta a una riflessione relativa alla necessità di una codificazione specifica, a livello valutativo e normativo, di buone pratiche rispetto a questo nuovo approccio progettuale.

63 *Green Star*: protocollo di valutazione principalmente adottato in Australia.

4.6.1.1 | BREEAM

BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment method*) è stato uno dei primi metodi di valutazione ambientale ad essere sviluppato. Fu pubblicato per la prima volta nel 1990 ed è oggi uno dei più diffusamente utilizzati. In UK risulta essere il primo metodo di valutazione in classifica e sta vivendo una crescita in tutto il mondo.
Presenta una serie di specifiche differenti a seconda del diverso tipo di edificio, ad esempio: *BREEAM healthcare*, *offices*, *industrial, multi-residential*, *education*, *prisons*, *courts* e, la versione più utilizzata, *BREEAM for sustainable homes*.
Questi differenti *tools* si basano sugli stessi criteri di valutazione, ma evidenziano e valutano temi chiave che sono applicabili su certi livelli, ma non su altri.
Schemi di valutazione che trattano specificatamente problemi ambientali,

riguardanti altri Paesi o aree geografiche, sono stati sviluppati da BRE *global*, ad esempio BREEAM *Europe* o BREEAM *Gulf*; in molti Paesi è possibile utilizzare il protocollo BREEAM *International* oppure BREEAM *Bespoke International*.
Ci sono cinque diversi livelli di valutazione nel protocollo BREEAM: *pass*, *good*, *very good*, *excellent* e *outstanding*. I punti necessari per ottenere queste valutazioni possono essere ottenuti da dieci diverse categorie: gestione, salute e benessere, energia, trasporti, acqua, materiali, rifiuti, uso del suolo e ecologia, inquinamento e innovazione. Ciascuna di queste categorie indica, con una parola chiave, una specifica area tematica di problematiche ambientali.
Le questioni principali di cui ci si occupa nella categoria materiali sono: impatto del ciclo di vita dei materiali, riuso dei materiali, approvvigionamento sostenibile e durabilità.
Ad oggi, non sono trattati specifici punti che riguardino il tema del *Design for Deconstruction*. Ci sono, però, dei criteri di valutazione nei quali si ha la possibilità di guadagnare dei punti se la decostruzione è considerata come un approccio appropriato per il caso.
Se osserviamo i criteri di valutazione BREEAM, notiamo che sono disponibili sei crediti ottenibili tramite la specificazione delle caratteristiche del materiale costituente i principali elementi costruttivi dell'edificio: l'idea è quella di incoraggiare l'uso di materiali che abbiano un minore impatto sull'ambiente nel loro intero ciclo di vita.
Una struttura che sia stata progettata per essere decostruibile, può soddisfare questo criterio, in quanto l'impatto del materiale in questione sarebbe distribuito su più cicli di vita.
Ognuno dei principali elementi costituenti un edificio (muri esterni, finestre, pavimenti, muri interni, finiture) è valutato utilizzando il sistema di valutazione BRE *Green Guide*, che definisce l'assegnazione di un tot di punti per elemento a seconda dell'impatto ambientale dello stesso.
Il totale dei punti ottenuti equivale al totale dei crediti BREEAM che possono essere guadagnati. Nel caso in cui materiali riutilizzati siano sfruttati per la costruzione di nuovi elementi (ad esempio, mattoni riciclati), la guida suggerisce al valutatore di contattare BRE per un aiuto nella definizione del punteggio.
BRE ha pubblicato una guida per la definizione dei profili ambientali dei prodotti da costruzione: ciò aiuta a comprendere l'impatto ambientale di prodotti riciclati o riutilizzati.
É, inoltre, possibile ottenere un punto per il riuso di una struttura esistente nello stesso sito; d'altra parte, non si cita l'assegnazione di punti per il riuso di strutture esistenti in altri siti.

4.6.1.2 | The Code for Sustainable Homes

The Code for Sustainable Homes è stato, a sua volta, sviluppato da BRE ed è diventato operativo nel 2007. Dal maggio 2008, tutte le nuove costruzioni inglesi devono avere un codice di valutazione.
I punti possono essere ottenuti tramite la valutazione di nove diverse categorie: emissioni di CO_2, acqua, materiali, *run-off*, produzione di rifiuti, inquinamento, salute e benessere, gestione ed ecologia. Su queste categorie viene applicata una pesatura per equilibrare i valori dei diversi crediti all'interno delle stesse categorie.
Le abitazioni possono raggiungere livelli di certificazione da 1 a 6, dove 6 è il più alto livello. Ci sono alcuni standard obbligatori che devono essere rispettati per ogni livello di certificazione.
All'interno del codice per le case sostenibili, c'è un certo margine per ottenere crediti per il riuso dei materiali, ma poco per il requisito del *Design* per la decostruzione. Sono ottenibili 15 crediti per l'impatto ambientale dei materiali, che vengono valutati, come descritto precedentemente, per quanto riguarda il protocollo BREEAM.

4.6.1.3 | LEED

LEED è un protocollo di valutazione ambientale sviluppato da *US Green Building Council*. La sigla sta per *Leadership in Energy and Environmental Design*. È usato negli Stati Uniti d'America e si sta diffondendo anche a livello internazionale, con una serie di Paesi che stanno sviluppando la loro specifica versione.
La prima versione pilota del *LEED for New Construction and Major Renovations* è stata pubblicata nel 1998, e, da quel momento, ha subito una lunga serie di aggiornamenti, oltre all'aggiunta di nuovi metodi di valutazione specifici per alcuni tipi di edifici (ad esempio: *LEED for schools*).
La versione corrente ha un totale di 110 punti che possono essere ottenuti, con quattro livelli di certificazione raggiungibili: *certified*, *silver*, *gold* e *platinum*.
I punti sono divisi in sette diverse categorie: *Location and Transportation, Sustainable Sites, Water Efficiency, Energy and Atmosphere, Materials and Resources, Indoor Environmental Quality, Innovation, Regional Priority*.
Su 110 punti totali, 14 sono attribuiti alla categoria dei materiali e delle risorse, che è l'area dove viene valutata l'energia incorporata.
Nel LEED *for New Construction* sono presenti degli specifici punti ottenibili per il riuso di parti esistenti dell'edificio *on site* e in generale per il riuso dei materiali. Tali punti fanno sempre riferimento alla categoria *Materials and Resources*.

Per il riuso di edifici esistenti sono assegnati 3 punti:

- 1.1 *Building Reuse* è il credito che viene assegnato se viene mantenuto il 75% di muri, pavimenti e tetti esistenti;
- 1.2 *Building Reuse* viene assegnato se viene mantenuto il 95% degli stessi elementi esistenti;
- 1.3 *Building Reuse* viene assegnato se viene mantenuto il 50% degli elementi non strutturali e/o interni;

Per il riuso di materiali esistenti vengono assegnati 2 punti:

- 3.1 *Material Reuse* viene assegnato se viene riutilizzato il 5% dei materiali preesistenti nell'edificio
- 3.2 *Material Reuse* viene assegnato se si riutilizza una percentuale di materiali esistenti pari al 10%.[64]

64 GBC Italia, LEED

4.6.1.4 | DGNB

Per rendere l'edilizia sostenibile applicabile in modo pratico, misurabile e quindi comparabile, la DGNB (*German Sustainable Building Council*) ha sviluppato un proprio sistema di certificazione. Il sistema è stato introdotto per la prima volta sul mercato nel 2009 e da allora è stato continuamente sviluppato; ad oggi, non solo è considerato il più avanzato al mondo, ma è anche riconosciuto a livello internazionale come *Global Benchmark for Sustainability.*

Il sistema di certificazione è disponibile in diverse varianti per edifici, quartieri e interni.

In termini di contenuti, il sistema DGNB si basa su tre paradigmi chiave che lo distinguono dagli altri sistemi di certificazione disponibili sul mercato:

- Valutazione del ciclo di vita;
- Valutazione olistica;
- Orientamento alle prestazioni.

All'interno del processo di certificazione, viene costantemente preso in considerazione l'intero ciclo di vita di un progetto e, anziché le singole misure, viene valutata la performance complessiva di un progetto.

Il sistema DGNB valuta l'ubicazione e la qualità tecnica e procedurale con un approccio olistico. Le prestazioni di queste qualità possono essere valutate mediante criteri di valutazione. Questi sono personalizzati per diversi tipi di utilizzo e possono essere applicati a nuovi edifici, edifici esistenti, ristrutturazioni ed edifici in uso.

Fin dall'inizio, il sistema DGNB si è distinto per il suo approccio internazionale. Il sistema può essere facilmente adattato alle variazioni climatiche, strutturali, legali e culturali di altri Paesi.

In generale, la certificazione DGNB per edifici, quartieri e interni è applicabile in

ogni Paese.
Per rendere più semplice l'applicazione a livello mondiale del sistema DGNB, nel 2020 la DGNB ha pubblicato una nuova versione internazionale migliorata del sistema di certificazione per i nuovi edifici: per la valutazione vengono utilizzati quasi esclusivamente standard internazionali.
A riprova della qualità costruttiva, si può ottenere un certificato DGNB platino, oro o argento. Un certificato bronzo può essere ottenuto anche per operazioni di edilizia sostenibile o edifici esistenti.

4.6.1.5 | GREEN STAR

Green Star è un protocollo di valutazione principalmente adottato in Australia, anche se è in uso anche in altri Paesi quali la Nuova Zelanda e il Sud Africa.
Il metodo di valutazione è stato costruito seguendo la stessa linea dei sistemi esistenti come BREEAM e LEED, ed è, quindi, più giovane: la versione pilota è stata rilasciata nel 2003 dal *Green Building Council Australia* (GBCA).
Esistono tre differenti valutazioni che sono certificate da GBCA:

- Una valutazione a 4 stelle, *Best practice*;
- Una valutazione a 5 stelle, *Australian excellence*;
- Una valutazione a 6 stelle, *World Leadership*.

Ci sono nove differenti categorie, nelle quali i punti possono essere ottenuti: *management, indoor environmental quality, energy, transport, water, materials, land use and ecology, emissions and innovation*.
Dei criteri di pesatura sono applicati ad ogni categoria, prima che il numero totale di punti ottenuti venga calcolato. Questi fattori di pesatura variano a seconda dell'area geografica nella quale il progetto è localizzato: ciò garantisce che la valutazione tenga in considerazione aspetti diversi, quali il clima e le condizioni ambientali generali del sito.
Ci sono 22 punti ottenibili all'interno della categoria dei materiali, nonostante non tutti possano essere applicabili al progetto: in questo caso, il credito in questione verrà rimosso dalla valutazione.
Green Star sembra premiare la minimizzazione dell'energia incorporata dei materiali, più di BREEAM e LEED. Sono ottenibili 6 punti per il riuso delle strutture: la quantità di punti guadagnati dipende dalla percentuale delle strutture esistenti riutilizzate.
È possibile guadagnare 1 punto, quando il valore di riutilizzo di materiali inclusi nel progetto sia pari o maggiore al 2%; 2 punti sono ottenibili se, quando si usa il calcestruzzo, l'energia incorporata di questo materiale è ridotta al minimo e se lo è altrettanto il consumo di risorse, grazie all'utilizzo di materiale riciclato.
Un sistema simile viene utilizzato per premiare la minimizzazione dell'energia

incorporata dell'acciaio: viene assegnato 1 punto per i progetti nei quali il 60% dell'acciaio viene riutilizzato, oppure nei progetti nei quali si abbia un contenuto di acciaio riciclato pari o superiore al 50%.
Inoltre, è possibile ottenere 2 punti per la riduzione della quantità di PVC utilizzata e per l'utilizzo di legname sostenibile.
Un nuovo punto chiave, aggiunto nell'aggiornamento della versione *Green Star* per uffici, è quello relativo al *Design for Deconstruction*: questa sezione premia i progetti nei quali parti dell'edificio vengono pensate per essere smontate a fine vita. Per ottenere il punto, il 50% delle componenti di intelaiatura strutturale, copertura e rivestimento di facciate dovrebbe essere progettato per lo smontaggio, oppure il 95% del totale del sistema facciata dovrebbe essere pensato sempre per questo scopo.
Ciò incoraggia delle azioni progettuali che riducano al minimo l'impatto dell'edificio a fine vita, consentendo un recupero massimizzato di materiale per il riuso.
Come si può osservare per quanto detto finora, *Green Star* sembra essere il protocollo di valutazione maggiormente attento alla minimizzazione dell'energia incorporata, iniziando a trattare e considerare anche l'impatto del fine vita. Si tratta, infatti, di un protocollo che promuove la progettazione per la decostruzione.

Altri protocolli di valutazione utilizzati a livello nazionale possono essere HQE (*Haute Qualité Environmentale*)[65], usato principalmente in Francia, e ITACA[66], usato in Italia.

65 HQE: strumento di valutazione francese.

66 ITACA: strumento di valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici.

Sustainability in buildings and civil engineering works

Design for Deconstruction and adaptability. Principles, requirements and guidance

ISO 20887:2020 (EN)[67]

67 SCC, ISO 20887:2020(en), 2020

3.2 | Adaptability

Ability to be changed or modified to make suitable for a particular purpose.

[SOURCE:ISO 6707-1:2017, 3.7.3.79]

3.3 | Assembly

Set of related components (3.7) attached to each other.

1. *Examples of assemblies include the total building envelope or the individual walls, roofs, or parapets and bearing or cable assemblies for bridges.*

[SOURCE:ISO 6707-1:2017, 3.3.5.5, modified — Note 1 to entry has been added.]

3.5 | Circular economy

Economy that is restorative and regenerative by design, and which aims to keep products, components (3.7) and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles.

[SOURCE:ISO 20400:2017, 3.1]

3.12 | Deconstruction

Non-destructive taking-apart of a construction works (3.9) or constructed asset (3.8) into constituent materials or components (3.7).

1. This process can be applied to a product, module (3.23), system, component, or assembly (3.3).

[SOURCE:ISO 15392:—, 3.11, modified — Note 1 to entry has been added.]

3.13 | Design for Deconstruction

Approach to the design of a product or constructed asset (3.8) that facilitates Deconstruction (3.12) at the end of its useful life, in such a way that enables components (3.7) and parts to be reused, recycled, recovered for energy or, in some other way, diverted from the waste stream.

1. The definition is derived from ISO 14021:2016, 7.4.1.

3.22 | Modular

Composed of modules (3.23) for easy construction or arrangement and adaptation or Deconstruction (3.12).

[SOURCE:ISO 7176-26:2007, 4.8.11, modified — References to "modules", "adaptation" and "Deconstruction" have been added.]

3.35 | Reversible connection

Connection that can be disconnected and/or disassembled for easy alterations and additions to structures.

1. This is applicable to components (3.7), assemblies (3.3), modules (3.23) or systems within a constructed asset (3.8).

Fonti:

1. (Documento) Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia*, 2019 https://gbcitalia.org/documents/20182/565254/GBC+Italia_Position+Paper+EC_04.pdf, pag. 3
2. (Magazine online) Mosa, *Built Positive: the future of sustainable building and architectural design*, 2018 https://magazine.mosa.com/en-us/built-positive-the-future-of-sustainable-building-and-architectural-design
3. (Articolo) D. P. FITZGERALD, J. W. HERRMANN e L. C. SCHMIDT, *Design for Environment (DfE): Strategies, Practices, Guidelines, Methods, and Tools*, 2007 https://kidv.nl/media/rapportages/dfe.pdf?1.0.1 (pag.3)
4. (Articolo online) H. SRINIVAS, *Guidelines: Design for Evironment* https://www.gdrc.org/uem/lca/guidelines.html
5. (Articolo online) B. GOLDENSE, *A History of Design for Manufacturing and Assembly*, 2022 https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213546/a-history-of-design-for-manufacturing-and-assembly
6. (Articolo online) R. ALLEN per Accendoreliability, *What is Design for Assembly?* https://accendoreliability.com/what-is-design-for-assembly/
7. (Documento) F. ALFIERI, N. BELLI, *Design fod Deconstruction*, http://www.startinnovation.it/documents/DESIGN_FOR_Deconstruction_START_INNOVATION.pdf
8. (Articolo di ricerca) L. ERRANTE, A. DE CAPUA, *Design for Deconstruction e riqualificazione del patrimonio residenziale pubblico. Un caso studio*, 2021 https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F%2F13ed87aed1fe6b64e177aad00d14e21289f8aa4eaa7e39123f8e6d0a50a63ebf&imgrefurl=https%3A%2F%2Foaj.fupress.net%2Findex.php%2Ftechne%2Farticle%2Fdownload%2F10596%2F10345%2F&tbnid=ZGv-0a6H7RPYLM&vet=12ahUKEwjgu96K9er2AhXE0oUKHZM2CsEQMygBegQIARAf..i&docid=NX0QoaysaXvhCM&w=1453&h=1120&q=Design%20for%20Deconstruction%20casi%20studio&ved=2ahUKEwjgu96K9er2AhXE0oUKHZM2CsEQMygBegQIARAf
9. (Documento) B. GUY and N. CIARIMBOLI, *DfD_Design for Deconstruction in the built environment: a guide to closed-loop design and building* https://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf
10. (Report) D. S. MACOZOMA, *Building deconstruction*, 2001 https://vdocument.in/building-deconstruction-cib-deconstruction-into-one-short-but-comprehensive-document.html?page=25
11. (Rivista accademica) A. K. FADHILAH, R. SURYANTINI, *Modularity in Design for Deconstruction (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture*, 2021
12. (Magazine online) Kierantimberlake, *How can we create a house that holistically advances architecture through agendas of on-site assembly, design for Deconstruction, and reuse of materials?* https://kierantimberlake.com/page/cellophane-house
13. (Magazine online) Kierantimberlake, *How can we holistically transform the way we make architecture, compressing the construction timespan and making use of technology to create a truly sustainable, aesthetically moving shelter?* https://kierantimberlake.com/page/loblolly-house
14. (Articolo) A. K. FADHILAH, R. SURYANTINI, *Modularity in Design for Deconstruction (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture*, 2021
15. (Articolo di ricerca) N.JOHN HABRAKEN, *Control hierarchies in complex artifacts*, 1987
16. (Tesi) E. DURMISEVIC, TRANSFORMABLE BUILDING STRUCTURES, *Design for Deconstruction as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, Netherlands*, pag. 100
17. (Libro) B. LEUPEN et al., *Time based architecture*, 2002 https://books.google.it/books?id=xCgIpz8FCwEC&lpg=PA12&ots=SoEgI0nX4b&dq=Leupen%202002%20levels%20of%20control&lr&hl=it&pg=PA130#v=twopage&q&f=false
18. (Articolo di ricerca) S. VISCUSO, *Coding the circularity. Programmare il disassemblaggio e il riutilizzo dei componenti edili / TECHNE 22* Politecnico di Milano, Italia
19. (Report) C. J. KIBERT, A.R. CHINI, *Overview of Deconstruction in Selected Countries*, 2000
20. (Articolo online) BeTrust, *Design for deconstruction – helping the construction unlock the benefits of the circular economy*, 2017 https://www.bretrust.org.uk/knowledgehub/design-for-deconstruction-helping-the-construction-unlock-the-benefits-of-the-circular-economy/
21. (Articolo online) A. BURGER SEED Architects, Martin Hospital, 2008, Groningen, Olanda. https://www.e-architect.com/holland/new-martini-hospital
22. (Documento) SSC, *ISO 20887:2020(en)*, 2020 https://scc.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:20887:ed-1:v1:en
23. (Documento) Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia,* 2019
24. (Documento) LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation, *Project Checklist*
25. (Articolo online) DGNB System, *The DGNB System*

APPLICABILITÀ DEL SISTEMA

© Nordwood Themes

05

© Josue Isai Ramos

5.1 | FATTIBILITÀ DELLA DECOSTRUZIONE E CIÒ CHE LA INFLUENZA

Esiste una varietà di fattori che influenza la fattibilità della decostruzione di un edificio. Questi fattori costituiscono sia delle opportunità, che delle barriere.
La maggior parte di essi varia a seconda del contesto in cui si svolge l'analisi, ma si possono individuare dei punti in comune.
Alcuni esempi possono essere:

- La condizione fisica dell'edificio;
- La pratica edilizia dell'area;
- L'economia locale;
- La disponibilità di mercati di scambio di materia prima seconda;
- Supporto politico;
- Percezione comune della materia prima seconda.

Queste tematiche possono essere suddivise in diverse categorie: fattori fisici e fattori economici.

5.1.1 | Fattori fisici

La decostruzione degli edifici, così come la demolizione, dipende prima di tutto dalla disponibilità di costruzioni che costituiscano la materia prima. Per quanto riguarda la decostruzione, un limite aggiuntivo è la disponibilità di edifici che siano,

effettivamente, decostruibili.
Le tipologie di edificio variano a livello locale, regionale e nazionale.
Si può parlare di decostruzione a livello strutturale o non strutturale: la scelta è determinata dalle condizioni fisiche dell'edificio e dall'analisi dei costi e benefici, in relazione alle due alternative.
Le condizioni fisiche da considerare in un edificio che deve essere decostruito sono:

- Tipologia di edificio: condomini, case a schiera, villette autonome;
- *Status* dell'edificio: in stato di abbandono, in vendita, in fase di ristrutturazione;
- Localizzazione: area residenziale ad alta densità costruttiva, area suburbana, periferia;
- Contesto circostante;
- Condizioni materiali dell'edificio: strutturalmente instabile, danneggiato dall'azione dell'acqua, soggetto ad atti di vandalismo, etc.;
- Materiali costruttivi: legno, calcestruzzo, acciaio, etc.;
- Accessi: mobilità, accesso al sito.

L'analisi di tali dati può essere utilizzata per definire il potenziale di decostruzione dell'edificio, in accordo con una scala di valutazione. Un esempio è quello fornito dal NAHB *Research Centre*[68], che propone una scala valutativa che viene utilizzata negli Stati Uniti.

68 NAHB (*National Association of Home Builders*), attualmente *Home Innovation Research Labs*: ente di ricerca nel settore dell'edilizia residenziale, in supporto ai clienti per superare le barriere all'innovazione.

Rating	Meaning	Description
AA	No deconstruction potential	Building in good condition, suitable for renovation.
AA	Some potential	Building have been fire damaged and gutted, deconstruction may not be cost effective.
AAA	High potential	Building with high value materials, suitable for deconstruction.

(Tabella) © NAHB Research Center rating scale, *Deconstruction potential.* Rielaborazione a cura delle autrici

Tendenzialmente, le strutture in calcestruzzo armato non sono adatte a un processo decostruttivo; è comunque possibile recuperare il calcestruzzo e i rottami di ferro per il riciclo, in caso di demolizione.
Le strutture più adatte a processi di smontaggio sono, invece, quelle in legno e in acciaio.

5.1.2 | Fattori economici

Il potenziale economico di un'operazione di decostruzione è dato da due fattori: la disponibilità di edifici che presentino materiali recuperabili e la domanda di mercato di questi ultimi. Ciò che influenza questi fattori è l'economia locale e l'attività costruttiva del contesto circostante, insieme alla presenza di programmi

politici ed incentivi economici.
Le sfide affrontate nel campo del *Design for Deconstruction* possono essere, quindi, riassunte in alcuni punti:

- Gli edifici esistenti non sono stati progettati per lo smontaggio;
- I componenti degli edifici non sono progettati per lo smontaggio;
- Non esistono spesso strumenti per lo smontaggio di edifici esistenti;
- I costi di smaltimento dei rifiuti sono spesso molto alti;
- Lo smontaggio richiede tempi aggiuntivi;
- I benefici economici e ambientali non sono ben stabiliti.

Va considerato che in un sistema costruttivo tradizionale, spesso, gli stessi meccanismi di montaggio sono complicati e difficili da decostruire. Possono essere presenti componenti personalizzati, che non hanno, quindi, utilità in altre costruzioni: questo può essere il caso dei materiali compositi, nei quali, nella maggior parte dei casi, i giunti sono realizzati ad umido; talvolta, alcuni elementi, come, ad esempio, componenti in legno, sono costruiti per stratificazione di tipologie di legno diverse (materiali diversi hanno caratteristiche diverse)[69].

69 D. SHUMAKER, UTSoA - Seminar in Sustainable Architecture, *Materials and Design for Deconstruction*

© Freddie Marriage

5.2 | BIM INTEGRATED TOOLS

Uno degli strumenti per valutare l'effettiva applicabilità della decostruzione è l'utilizzo dei sistemi informatici che, negli ultimi anni, si sono evoluti fino alla definizione di diversi *tools*, legati alla tecnologia BIM, che permettono un'applicazione automatizzata dei principi di smontabilità e sostenibilità costruttiva in generale.

Una fase chiave, in ambito di progettazione, è quella dell'analisi delle prestazioni delle strutture, nelle varie fasi del ciclo di vita. Nonostante questa fase sia, ad oggi, parte integrante del processo di progettazione, questo tipo di valutazione non viene comunemente applicata per valutare gli impatti di fine vita di un prodotto.

Come discusso nei capitoli precedenti, le attività legate al settore edile determinano un'importante impronta in ambito economico, ambientale e sociale. Per poter limitare l'impatto che le costruzioni hanno sul pianeta, bisogna intervenire alla radice del problema.

La fase di progettazione, infatti, è vista come il momento con il potenziale maggiore per ridurre le emissioni e i rifiuti provocati dall'attività edilizia.

Vengono analizzati alcuni software e *plug-in* sviluppati in ambito della Rivoluzione Industriale 4.0.

Alcuni esempi: *D-DAS* (2013) e *RecyclingGraph* (2016) per quanto riguarda la decostruibilità delle strutture, *Tally* (2013) e *One Click* (2020) per quanto riguarda il tema dell'*embodied carbon*.

Anticipare i processi di decostruzione è essenziale per efficientare il sistema di

smontaggio di una determinata costruzione. Questo principio può, e dovrebbe, essere applicato anche su edifici esistenti: a questo proposito, viene citato il servizio *Urban Mining Scan*, elaborato da *Rotor Deconstruction e New Horizon,* aziende del distretto belga-olandese impegnate nella demolizione selettiva e nel recupero dei componenti su edifici esistenti.

5.2.1 | I software per la decostruzione

Ad oggi, non sono ancora presenti delle linee guida chiare da applicare in tema di gestione dei rifiuti da CDEW (*Construction, Demolition and Excavation Waste*).
Diviene necessario adottare una strategia chiara ed efficace, così che architetti ed ingegneri siano in grado di applicarla durante la fase di progettazione. L'adozione di una strategia basata sulla demolizione porterebbe ad una diminuzione del 50% dei rifiuti CDEW.
Il modello di sviluppo economico attuale si basa sul *prendere-fare-consumare-smaltire*, trattando i materiali come prodotti usa e getta, in quanto facili da ottenere e poco costosi da smaltire.

5.2.1.1 | Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS)

Nel 2013, è stato sviluppato un sistema, da J.C.P. Cheng, L.Y.H. Ma, per la stima e la pianificazione dei rifiuti da demolizione e ristrutturazione, basato sul paradigma BIM. Il sistema fornisce una piattaforma per stimare la quantità di rifiuti che un edificio produrrà dopo un'opera di ristrutturazione o demolizione. Questo studio riguarda la gestione dei rifiuti, quando questi siano già stati prodotti.
Akinade et al., invece, hanno sviluppato uno strumento capace di affrontare i problemi derivanti dai rifiuti nella fase di progettazione, prima che questi vengano prodotti. Quest'ultimo sistema, che prende il nome di *Disassembly and Deconstruction Analytics System* (D-DAS), migliora il lavoro di progettazione, fornendo un metodo di analisi di smontaggio e smantellamento che consente, ad architetti e ingegneri, di valutare le prestazioni di fine vita dei progetti edilizi e apportare le modifiche necessarie, prima ancora che inizi la fase di cantiere.

Il BIM, come già detto, ha molteplici potenzialità di sistema; ciò lo rende uno degli strumenti più utilizzati dai progettisti. Tuttavia, gli attuali software BIM non hanno la capacità di integrare l'analisi delle prestazioni di sostenibilità al loro interno.
Lo sviluppo del D-DAS si basa sulla modellazione di informazioni, con la finalità di creare uno strumento di supporto alle decisioni progettuali, in ottica di sostenibilità ed efficienza del fine vita degli edifici.
Il sistema garantirebbe che gli edifici vengano progettati tenendo conto dei principi di progettazione delle fasi di smontaggio e decostruzione, permettendo un efficiente recupero dei materiali impiegati.
Pertanto, il principale obiettivo di questo sistema è quello di facilitare una scelta consapevole dei materiali durante la fase di progettazione, riducendo il quantitativo di CDEW.
L'uso e il riutilizzo efficiente dei materiali è l'obiettivo chiave dell'economia circolare (Douglas, 2016, COM, 2014), insieme a quello di mantenere l'*embodied energy* dei materiali perennemente all'interno dell'economia del settore.

La metodologia del sistema D-DAS

L'architettura D-DAS si basa sull'assemblaggio di diversi livelli, viste e componenti e, di conseguenza, sulla descrizione delle relazioni e delle interazioni tra di loro.
L'architettura è composta da quattro livelli, vale a dire:

- Il livello di archiviazione dei dati;
- Il livello semantico;
- Il livello di analisi e modello funzionale;
- Il livello di applicazione.

I quattro livelli sono logicamente collegati per funzionare come un unico sistema.

Il livello di archiviazione fornisce le capacità di catalogazione delle informazioni, necessarie per il funzionamento efficiente del sistema. A causa della natura variabile delle informazioni da archiviare (ad es. progettazione dell'edificio, specifiche dei materiali, informazioni sui materiali, ecc.), è stato sviluppato un database NoSQL[70] per l'implementazione della componente di archiviazione di D-DAS.
Il livello semantico fornisce al livello di analisi e ai modelli funzionali un accesso senza interruzioni al database, tramite l'uso del *Disassembly and Deconstruction Analytics XML* (DDAXML).
Il livello dell'applicazione fornisce l'interfaccia attraverso la quale le funzionalità di D-DAS sono messe a disposizione degli utenti.

70 NoSQL: movimento che promuove sistemi software dove la persistenza dei dati è in generale caratterizzata dal fatto di non utilizzare il modello relazionale, di solito usato dalle basi di dati tradizionali.

Con il *plug-in* D-DAS, la progettazione dell'edificio può essere valutata per le prestazioni di fine vita, incorporando l'obiettivo dell'economia circolare di garantire che, sul mercato, vengano introdotti pochi o nessun nuovo materiale.

Il modello D-DAS si basa su cinque modelli analitici e funzionali, vale a dire:

1. *Building Whole Life Performance Analytics;*
2. *Building Element Deconstruction Analytics;*
3. *Deconstruction Arising Analytics;*
4. *Design for Deconstruction Advisor;*
5. *Disassembly and deconstruction visualisation*.

Questi modelli sono discussi nelle seguenti sottosezioni.

1 | *Building Whole Life Performance Analytics* (BWLPA)

Il modello BWLPA tratta della continuità nell'uso dei materiali, a seguito della loro dislocazione da una struttura. Il monitoraggio dei materiali consente di verificare lo stato degli stessi, garantendo, nel caso di riduzione delle loro funzionalità, che vengano rimossi e portati dove verranno riutilizzati nel loro stato o riciclati per altri scopi. Questo modello consente di mantenere il principio di circolarità delle risorse, conservando il loro potenziale di energia incorporata.

La logica del modello *Building Whole Life Performance Analytics* (BWLPA) si basa sulla distribuzione *Weibull*[71] per il prodotto fabbricato e su vari fattori che influenzano le prestazioni dei materiali da costruzione nel tempo.

71 Weibull: distribuzione di probabilità continua definita sui numeri reali positivi e descritta dai parametri lambda e kappa. Prende il nome dal matematico svedese Waloddi Weibull che la descrisse nel 1951.

2 | *Building Element Deconstruction Analytics* (BEDA)

Il modello BEDA fornisce una valutazione della progettazione rispetto alla possibilità di applicazione del DfD. L'importanza di questo modello sta nella valutazione che viene effettuata su un edificio, con la finalità di comprendere se lo stesso potrebbe supportare la fase di decostruzione, piuttosto che quella di demolizione a fine vita.

Il modello BEDA si basa sul *Deconstructability Assessment Score* (DAS), presentato da Akinade et al. nel 2015, dove il grado di decostruibilità dell'edificio è determinato sulla base di fattori chiave DfD.

Alcuni dei fattori utilizzati per calcolare la DAS dei progetti edilizi, oltre a quelli elencati in precedenza nel sottocapitolo 4.3*, I principi del Design for Deconstruction*, sono: la specifica dei materiali riutilizzabili e riciclabili per la costruzione; l'uso di materiali tossici; l'uso di materiali con finiture secondarie nella costruzione dell'edificio.

3 | *Deconstruction Arising Analytics* (PA)

Il modulo *Pre-Deconstruction Analytics* (PA) fornisce la piattaforma per la generazione del *Pre-Deconstruction Audit* (PDA) per gli edifici, prima dello smontaggio e della demolizione. Questo modulo integra tecniche di apprendimento automatico per sviluppare il modello predittivo per la generazione di audit pre-decostruzione.
Il modulo PA, considerando l'edificio come una banca di materiali, ha come obiettivo la determinazione delle quantità di materiali ottenibili da un edificio dopo la demolizione. Il modulo PDA suddivide i materiali nei percorsi corrispondenti, ovvero: riutilizzabili, riciclabili, adatti al recupero energetico e da destinare alle discariche.
Il modulo PA si basa sulla combinazione di vari fattori, che, insieme, consentono di estrapolare le informazioni necessarie a compiere la valutazione del modulo. I fattori possono essere i dati storici PDA, le informazioni ottenute da esperti PDA e gli algoritmi di apprendimento automatico (come *Deep Neural Network, Restricted Boltzmann Machine, Support Vector Machine*, ecc.). Questi consentono di prevedere il livello di decostruzione raggiungibile. Con PDA, è possibile identificare potenziali mercati per materiali riutilizzabili e riciclabili.

4 | *Design for Deconstruction Advisor* (DfDA)

L'importanza di minimizzare l'estrazione e il successivo smaltimento dei materiali è un argomento ampiamente supportato dal DfD, sia in riferimento alla fase di costruzione sia alla fase di smantellamento e demolizione. Il seguente modulo esamina la progettazione dell'edificio per identificare possibili elementi e materiali edilizi che potrebbero essere ottimizzati per supportare la riduzione dei rifiuti e il riutilizzo dei materiali. Il modulo utilizza il punteggio di valutazione della decostruibilità, per valutare la progettazione dell'edificio; inoltre, fornisce specifiche di progettazione alternative e una selezione di materiali per prestazioni efficaci di fine vita.

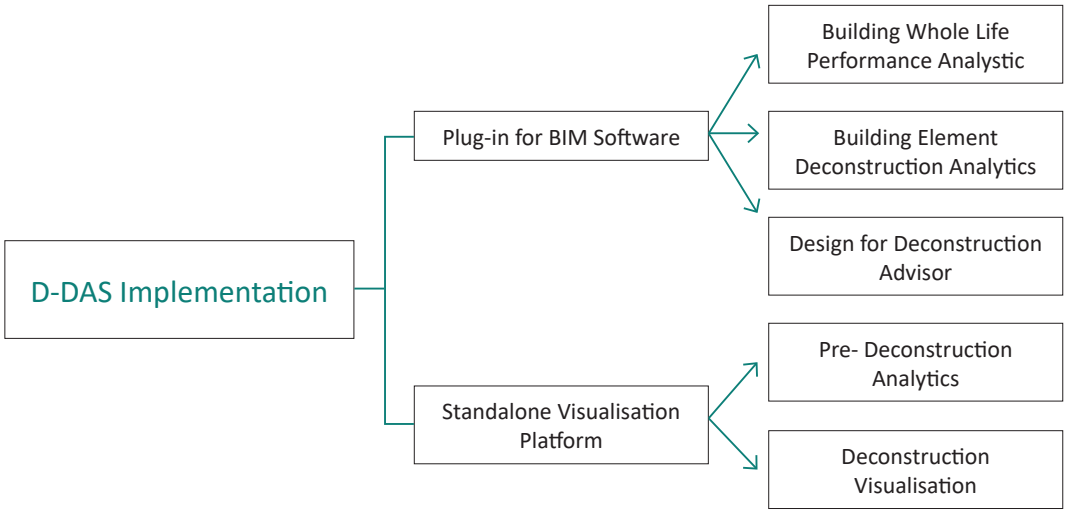
Il DfDA, insieme al modulo BEDA, fornisce un'analisi prescrittiva della progettazione degli edifici, definendo ed esaminando le diverse combinazioni di fattori che potrebbero influenzare le prestazioni di decostruzione e recupero dei materiali. Di conseguenza, il progettista, grazie all'analisi prescrittiva risultante dall'applicazione del modello D-DAS, è in grado di aggiornare il progetto della struttura, tenendo in considerazione le esigenze edilizie e del contesto.

5 | *Deconstruction and deconstruction visualisation*

Il modulo di visualizzazione di disassemblaggio e decostruzione è responsabile della generazione del piano di smontaggio e della visualizzazione del processo di disassemblaggio e decostruzione.
Il modulo consente di rigenerare il modello 3D degli edifici, individuando diverse categorie di materiali ottenibili. Sulla base del protocollo di decostruzione, questo modulo produce la simulazione del processo di decostruzione e smontaggio dell'edificio. Questo output aiuterà gli operatori ad ottenere informazioni dettagliate sulla costruzione e sugli elementi per iniziare la decostruzione e lo smontaggio. Fornirà, inoltre, la visualizzazione dei diversi materiali che potrebbero essere recuperati e dei loro possibili percorsi (riutilizzo, riciclo, recupero energetico, conferimento in discarica).

Applicazione pratica del D-DAS

Sono stati sviluppati due sistemi applicativi del *Deconstruction and Deconstruction Analytics System*. La prima implementazione si può trovare nell'omonimo *plug-in* D-DAS, sviluppato con l'uso di *Revit 2017 SDK* e *Visual C# programming language*. La seconda implementazione è l'applicazione autonoma basata su strumenti di simulazione e visualizzazione come *3D Max, Unity, Unreal, Maya, Stingray* ecc.
Le due implementazioni *plug-in* di D-DAS costituiscono uno strumento di supporto per architetti ed ingegneri nella fase di progettazione. Oltre ai progettisti, diviene di supporto anche per i pianificatori che si occupano della gestione dei rifiuti del sito.



(Grafico) © A. AKANDIA et al., *Implementation framework for D-DAS showing focus of this work*, 2019. Rielaborazione a cura delle autrici

I modelli che fanno riferimento al *plug-in* Revit sono il *Building Whole Life Performance Analytics*, il *Building Element Deconstruction Analytics* e il *Design for Deconstruction Advisor*.
Tali modelli, come precedentemente enunciato, forniscono ai progettisti la possibilità di valutare le prestazioni di tutta la vita dell'edificio, comprese le fasi di smontaggio e decostruzione.
Il *plug-in* rende disponibili dei parametri personalizzabili, oltre a quelli standard intrinsechi nel software madre, per la valutazione di un edificio e del suo *end of life*.

General	
Prefabricated assembly	V
Recyclable item	V
Reusable item	V
Contains toxic items	
Has own packaging	
Has secondary finishing	V

(Tabella) *Interfaccia D-DAS Plug-in Revit.* Elaborazione a cura delle autrici

Il modulo elabora le informazioni di input nel sistema, riportando come risultato un punteggio di valutazione della decostruzione (DAS) del progetto, sulla base di fattori DfD. Il software calcola, inoltre, i valori di riutilizzabilità (S_{ru}) e riciclabilità (S_{rc}) dei materiali scelti in fase di progettazione, conferendo ai progettisti un altro dato sull'*end of life* del lavoro.
Akanbia et al. hanno svolto l'analisi delle prestazioni D-DAS su un caso studio situato nella parte sud-occidentale del Regno Unito. L'analisi è stata scomposta in 3 diversi scenari, per comprendere come il programma elaborasse le diverse informazioni. Sono stati scelti tre materiali: il cemento (*concrete*), il legno (*timber*) e l'acciaio (*steel*).
Il modello 3D e le specifiche dei materiali per l'edificio del caso studio sono stati elaborati nel *Software Autodesk Revit 2017*. Viene riportata, nella pagina successiva, la tabella con i dati di input, richiesti dai modelli BEDA e BWLPA, necessari per svolgere l'analisi ed elaborare il risultato.

L'analisi del *Design for Deconstruction Advisor* (DfD Advisor), elabora risultati attraverso i quali vengono esaminati gli effetti delle scelte progettuali e della selezione dei diversi materiali utilizzabili.
Questa piattaforma fornisce ai professionisti i mezzi per provare varie combinazioni

di materiali su diversi componenti dell'edificio e selezionare una combinazione ottimizzata per le prestazioni di fine vita, valutando la riutilizzabilità, la riciclabilità e la recuperabilità. Con questa funzionalità, la scelta dei materiali per la costruzione viene ottimizzata, riducendo al minimo gli sprechi di risorse nelle fasi di costruzione e demolizione.

Scenarios	*nfb*	*ndc*	*ne*	*nc*	*vht*	*vSf*	*vm*	*DAS*	S_{ru}	S_{rc}
Concrete	0.00	20.00	64.00	256.00	8000.00	800.00	10000.00	0.57	0.42	0.58
Timber	40.00	20.00	64.00	256.00	10000.00	9000.00	10000.00	0.61	0.65	0.35
Steel	64.00	206.00	64.00	256.00	10000.00	9000.00	10000.00	0.94	0.93	0.07

(Tabella) © A. AKANDI et al., *Result of D-DAS evaluation of the building scenarios*, 2019.
Rielaborazione a cura delle autrici

Il risultato dell'analisi mostra un punteggio di valutazione della decostruibilità (DAS) di 0.94, 0.61 e 0.57 per la progettazione di edifici, rispettivamente con strutture in acciaio, legno e cemento. Ciò dimostra che l'edificio con struttura in acciaio ha il più alto livello di supporto per lo smontaggio e la demolizione, a differenza della struttura in cemento che ha il valore minore tra i tre scenari. Di conseguenza, i risultati della valutazione confermano che le connessioni smontabili all'interno di edifici in acciaio generano una quantità maggiore di materiali riutilizzabili.
D'altra parte, il progetto con la struttura in legno genera materiali che sono riutilizzabili al 65% e riciclabili al 35%, mentre il progetto con la struttura in cemento produce materiali che sono riutilizzabili al 42% e riciclabili al 58%.

Il *plug-in* di Revit analizzato rappresenta l'implementazione del sistema di analisi di disassemblaggio e decostruzione nel BIM, garantendo l'utilizzo della banca dati di informazioni di questo sistema.
Viene sfruttata la capacità di incorporare tutte le informazioni, relative alle caratteristiche funzionali e fisiche degli edifici e al ciclo di vita del progetto, in un modello di progettazione.
Emergono due vantaggi del D-DAS:

- Consente di effettuare una progettazione consapevole rispetto al fine vita;
- Consente di valutare il livello di conformità dei progetti ai principi e agli obiettivi dell'economia circolare.

Ciò garantisce il riutilizzo dei materiali, la riduzione del conferimento di rifiuti in discarica e la riduzione dell'estrazione di materie prime.

5.2.1.2 | RecyclingGraph

Il settore delle costruzioni in Germania e, in generale, in Europa, sta contribuendo significativamente al consumo di risorse a livello globale. Questo è il motivo per il quale l'*Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design*, dell'Università di Stuttgart in Germania, con una pubblicazione datata 2016, individua un metodo, eventualmente implementabile in un *tool*, con il quale poter affiancare la progettazione in modo tale che questa sia volta a un futuro disassemblaggio e riciclo delle componenti.
Il punto critico, che si affronta in questo articolo, è che il tema della disassemblabilità viene affrontato in maniera frammentaria rispetto alle singole componenti; non si trattano, però, temi chiave (e più complessi) come quello dei sistemi di montaggio e di fissaggio, che risultano essere i maggiori vincoli nella decostruzione.

Descrizione del sistema

Similarmente al metodo sviluppato dall'University Erlangen-Nürnberg nel 1990, *RecyclingGraphEditor*, lo studio che viene introdotto sviluppa un sistema per la descrizione della composizione delle parti di un edificio e per l'applicazione nel settore edilizio.
Oltre ai disegni progettuali e la lista dei materiali, nel *RecyclingGraph* sono specificati anche i principi di montaggio tra i diversi materiali e componenti.
I flussi di materiali sono registrati in diverse categorie e le singole frazioni omogenee di materiali sono dotate di dichiarazione ambientale di prodotto.
Al sistema, sono collegati anche altri dati relativi alle strutture, come ad esempio il costo o l'eventuale codice di dismissione del singolo materiale.
La tipologia di connessione tra le varie componenti dell'edificio viene identificata tramite il collegamento con un determinato processo produttivo, individuando due categorie: *joining* e *coating*.
La potenziale contaminazione di un materiale con un altro, come ad esempio l'utilizzo di colle, vernici, malte o intonaci, è specificata per ogni possibile combinazione materica sull'intero edificio (*material contaminates neighbouring material, material is contaminated by neighbouring material, no contamination*).
Un esempio di *RecyclingGraph* è presentato nell'immagine riportata nella pagina seguente:

- Il quadrato rappresenta il materiale;
- L'ellisse rappresenta il rivestimento;
- Il cerchio indica giunti e fissaggi.

Sono presenti poi degli ulteriori simboli, che indicano la potenzialità di disassemblaggio:

- Il cerchio senza colore rappresenta i giunti nei quali le varie componenti sono unite senza ulteriori mezzi meccanici o chimici;
- Il quadrato senza colore rappresenta strati d'aria;
- I segni +, - o = precisano possibili contaminazioni fra materiali adiacenti.

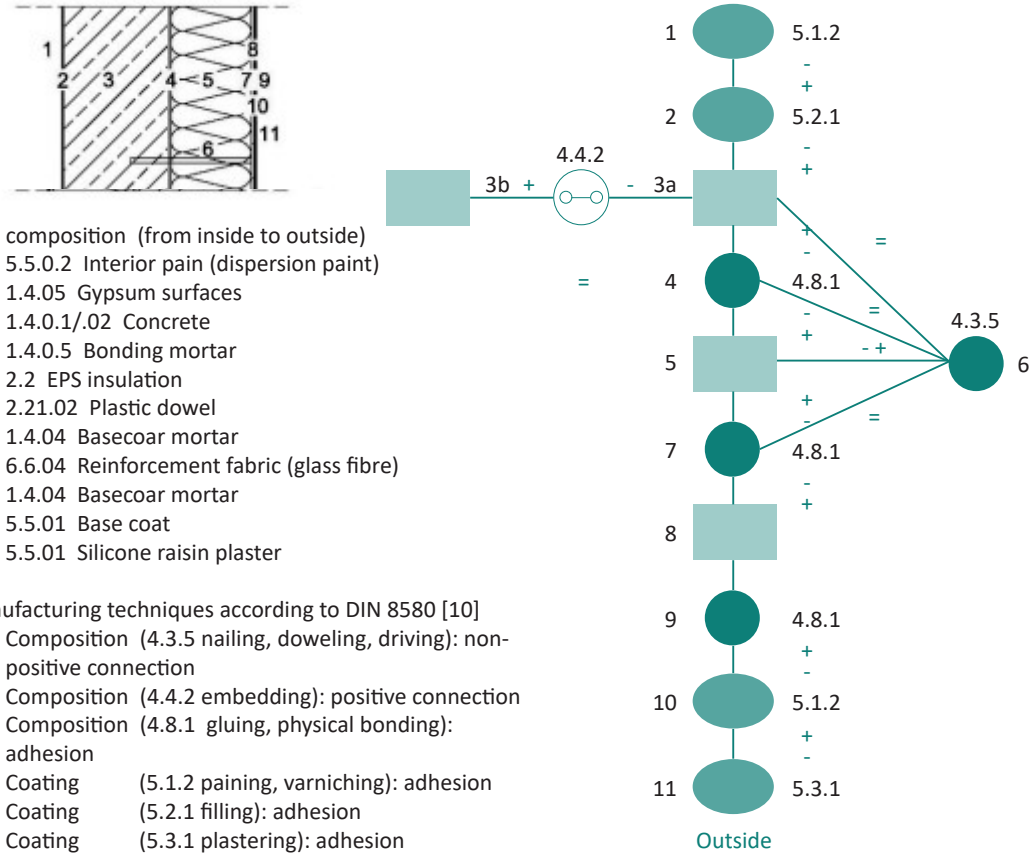
Il *RecyclingGraph* va letto verticalmente, dall'alto verso il basso.

Per quanto riguarda i sistemi di giunzione, la valutazione della potenzialità di disassemblaggio viene attribuita tramite l'assegnazione di un punteggio che può variare da 1 a 5, sulla base della seguente scala:

- 5: Smontabile senza danneggiamento dei componenti;
- 4: Generalmente smontabile senza danneggiamento o distruzione dei componenti;
- 3: Generalmente smontabile solo con danneggiamento dei componenti;
- 2: Generalmente smontabile solo con danneggiamento o distruzione dei componenti;
- 1: Smontabile solo con danneggiamento o distruzione dei componenti.

In aggiunta, per la valutazione dei materiali, vengono fornite all'utente delle informazioni sulla possibilità di riutilizzo, sui trattamenti di dismissione e gli stessi codici di dismissione, tratti dal database WECOBIS[72].

72 WECOBIS - Ökologisches Baustoffinformationssystem", [Online]. Available from: http://www.wecobis.de/



Wall composition (from inside to outside)

1. 5.5.0.2 Interior pain (dispersion paint)
2. 1.4.05 Gypsum surfaces
3. 1.4.0.1/.02 Concrete
4. 1.4.0.5 Bonding mortar
5. 2.2 EPS insulation
6. 2.21.02 Plastic dowel
7. 1.4.04 Basecoar mortar
8. 6.6.04 Reinforcement fabric (glass fibre)
9. 1.4.04 Basecoar mortar
10. 5.5.01 Base coat
11. 5.5.01 Silicone raisin plaster

Manufacturing techniques according to DIN 8580 [10]

- Composition (4.3.5 nailing, doweling, driving): non-positive connection
- Composition (4.4.2 embedding): positive connection
- Composition (4.8.1 gluing, physical bonding): adhesion
- Coating (5.1.2 paining, varniching): adhesion
- Coating (5.2.1 filling): adhesion
- Coating (5.3.1 plastering): adhesion

(Tabella) © D. SCHWEDE, E. STORL, *Example for the RecyclingGraph: external wall with a thermal insulation composition, 2016.* Rielaborazione a cura delle autrici

Ulteriori sviluppi

La metodologia deve essere ancora implementata in un *tool* di modellazione, che sarà utile al progettista nel definire le metodologie di giunzione delle varie componenti dell'edificio, in relazione alla possibilità della struttura di essere scomposta.
I giunti che hanno uno scarso potenziale di disassemblaggio possono essere identificati e sostituiti da soluzioni migliori già in fase di progetto.
Se si individua uno strato che potrebbe compromettere la riciclabilità di quello adiacente, questo può essere sostituito; se ciò non è possibile, si può ottimizzare il giunto in maniera tale che gli strati possano essere separati senza contaminazione.

Il concept funzionale del *RecyclingGraph* è studiato per essere implementato all'interno di un software, nel quale convergano anche le informazioni tratte da banche dati relative ai materiali (ad es. disponibilità, potenzialità di riciclo, etc.) e alle differenti possibili combinazioni *material-joint-material*, che possono essere fornite anche dall'utente. In questo modo, il database viene ampliato e può essere connesso con altri esistenti.

5.2.1.3 | Urban Mining Scan - applicazione sull'esistente

L'analisi del potenziale di disassemblabilità e riciclabilità può essere applicata, non solo durante la fase di progettazione di nuove costruzioni, ma anche su edifici esistenti, attraverso i processi dell'*Urban Mining*.
Le aziende del distretto belga-olandese, *Rotor Deconstruction e New Horizon*, hanno sviluppato, a cavallo tra il 2019 e il 2020, il database *Urban Mining Scan*. Il sistema è volto a quantificare e qualificare il potenziale di riuso dei materiali all'interno di anagrafiche digitali.

"These in-use stock of resources are the urban mines of the future."[73]
European Environment Agency

73 European Environment Agency, *Urban Mining*, 2015

Le città sono miniere di rifiuti da cui estrarre metalli utili al ciclo produttivo. L'*Urban Mining* è un concetto che spiega l'economia circolare delle città.
Attraverso *Urban Mining Scan* è possibile, quindi, svolgere un'accurata analisi dello stock di materiali di un edificio. Le fasi procedurali consistono nel:

- Effettuare l'analisi della struttura grazie al database integrato;
- Produrre un *digital report* sullo stock dell'edificio;
- Incorporare la scelta progettuale (demolizione, nuova costruzione e ristrutturazione) nell'*Urban Mining* stock dell'edificio;

- Elaborare un bilancio dei materiali, sia su scala globale, sia su sottoprogetto.

L'importante obiettivo del database belga-olandese è quello di diventare uno strumento di supporto ai professionisti, in vista di un intervento sul costruito: ciò, catalogando le risorse e, attraverso un quadro prestazionale, definendo la possibilità, se queste sono ancora idonee, di riutilizzarle o rigenerarle.

5.2.2 | I software per il calcolo dell'Embodied Carbon

Rispetto all'evoluzione informatica degli ultimi anni, all'interno dei software di progettazione BIM, si è sviluppata una maggiore attenzione all'aspetto della scelta dei materiali: questo, in relazione alla circolarità delle strutture e a una necessità di mitigazione delle emissioni di gas effetto serra.
Negli ultimi anni, si sta sviluppando l'integrazione tra l'approccio BIM e l'analisi LCA. Da una parte abbiamo la rappresentazione parametrica migliorata del sistema edilizio; dall'altra, una metodologia per valutare l'impatto ambientale dei processi produttivi e del ciclo di vita del sistema edificio. Si può osservare, quindi, una crescita, in ambito di ricerca, del numero di applicazioni che implementano il nuovo sistema integrato BIM-LCA.
La fusione BIM-LCA consente di effettuare delle valutazioni progettuali dell'ecoefficienza degli edifici, attraverso la relazione tra *design* e scelta dei materiali utilizzati nella costruzione.
L'approccio consiste nella creazione di un modello CAD 3D, realizzato tramite componenti contenenti un'ampia gamma di informazioni. Così facendo, la progettazione e la valutazione sono completamente automatizzate dal software. Tali informazioni sono connesse agli indicatori ambientali chiave riconosciuti a livello internazionale, come l'Eco-Indicatore[74].
Seo et al. descrivono questa integrazione in tre fasi: l'input comprende i dati dell'edificio e dei materiali in fase di lavorazione; l'analisi prevede il calcolo degli indicatori di performance richiesti; la soluzione copre il processo decisionale dell'utente, coinvolto nella selezione della soluzione preferita all'interno di una gamma di potenziali opzioni.
L'approccio consente di fornire agli operatori dati e metodi efficaci per esplorare le possibili strategie di mitigazione degli impatti ambientali, facendo riferimento a: il materiale, i metodi di lavorazione, di consegna e di costruzione.[75]
Nel 2016, è stato svolto un sondaggio: "l'86,5% dei professionisti del *Green Building*, nel campione di intervistati, ha affermato che utilizzerebbe l'LCA se fosse integrato con il BIM. I motivi sono facilmente comprensibili:

- La valutazione del ciclo di vita degli edifici senza automazione BIM può essere lunga e complessa;

74 Eco-Indicatore: strumento per i progettisti utile ad aggregare i risultati di una LCA in unità o numeri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati appunto Eco-indicatori.

75 S. Seo et al. per J. Green Build, *Automated Material Selection and Environmental Assessment in the Context of 3D Building Modelling*, 2007

- L'uso del BIM è diventato onnipresente;
- La maggior parte delle informazioni richieste per calcolare la valutazione del ciclo di vita degli edifici è già nel modello BIM."[76]

76 OneClickLCA, Valutazione del ciclo di vita di Revit: potenziale e vantaggi

Negli ultimi anni il tema del BIM-LCA è cresciuto in rilevanza e pubblicazioni. Vengono presentate di seguito alcune recensioni mirate.
"Ad esempio, Chong et al. hanno fornito una revisione mista per determinare l'attuale stato dell'arte di Sviluppo BIM per la sostenibilità in senso lato. L'approccio ha studiato diverse categorie (progettazione, costruzione, esercizio e manutenzione, ristrutturazione e demolizione, utilizzo di prodotti e materiali e consumo di energia). Le recensioni sottolineano la complessità di implementare la valutazione del ciclo di vita all'interno dei software e riportano alcune esperienze nelle quali il metodo LCA è stato utilizzato per valutare e identificare l'impatto ambientale della scelta del materiale.
Un recente studio, sviluppato da Soust-Verdaguer et al., ha affrontato una revisione critica degli studi per quanto riguarda l'integrazione BIM-LCA. È stata condotta un'analisi metodologica e ci si è concentrati sulla possibilità che offre la tecnologia BIM nella semplificazione del reperimento dei dati di input e nell'ottimizzazione dei dati di output, durante l'applicazione dell'analisi LCA.
Un altro articolo più recente, di Obrecht et al., identifica alcuni importanti problemi relativi alla metodologia LCA; alla conformità del database delle informazioni; all'automazione dello scambio di informazioni. Questo mostra che un collegamento automatizzato tra LCA e BIM semplifica la valutazione degli impatti.
Soares et al. hanno affrontato una ricerca sul miglioramento del comportamento energetico e sulle prestazioni ambientali degli edifici. L'analisi ha preso in considerazione vari studi e ha sottolineato la crescente rilevanza dell'applicazione della metodologia LCA nel contesto dell'ambiente costruito, rispetto alla possibilità di ottenere preziose informazioni utili per la selezione di opzioni di costruzione migliorate. Lo studio ha osservato che sfide significative dovrebbero essere affrontate nella ricerca futura a causa della complessità e della variabilità del tema.
Eleftheriadis et al. hanno elaborato uno studio che ha combinato la teoria LCA con la tecnologia BIM, in relazione a una continua necessità di aggiornamento sugli sviluppi dell'efficienza energetica. La ricerca ha individuato alcune applicazioni pratiche di integrazione BIM-LCA e ha discusso l'integrazione in termini di software.
Una revisione dettagliata è stata fornita da Wong et al. che hanno esaminato il concetto di BIM *green* e sostenibilità ambientale attraverso le varie fasi di sviluppo dell'edificio.
Infine, una revisione sistematica della letteratura di Llatas et al. riconosce le opportunità di integrazione della *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA) nel processo di progettazione dell'edificio e propone, inoltre, un approccio metodologico per implementare l'analisi LCSA nel BIM."[77]

77 O. BRAHOLLI, *Automated procedures for LCA analysis on a BIM projec*t, 2019-20

5.2.2.1 | TALLY: Autodesk Revit plug-in

Lo studio di architettura KieranTimberlake (KT Innovations), in collaborazione con PE *International* e *Autodesk Sustainability Solutions*, ha annunciato la disponibilità commerciale di *Tally*. Il *plug-in* è stato lanciato alla conferenza di Greenbuild nel novembre 2013.
Si tratta del *plug-in* Revit creato per calcolare l'impatto ambientale dei materiali da costruzione, sui sistemi di terra, aria e acqua. Ad oggi, risulta essere una delle poche applicazioni, integrate a Revit, in grado di fornire un supporto ad architetti ed ingegneri sulla scelta progettuale dei materiali, rispetto alla loro influenza sull'impronta ecologica complessiva dell'edificio.
Il database di Tally consente, quindi, di completare una valutazione del *Life Cycle Assessment* (LCA) dell'edificio, partendo dalla definizione delle relazioni tra elementi BIM e materiali da costruzione. Pertanto, vengono fornite ai progettisti delle informazioni relative all'impatto ambientale, all'*embodied energy* e all'impatto sul riscaldamento globale, associando tali dati ai componenti e oggetti BIM modellati.

L'impiego di questo sistema consiste nel ricollegare il modello prodotto su Revit a un database collegato a GaBi, il più grande set di dati ambientali per LCA utilizzato dalle principali aziende di tutto il mondo.
Il database combina gli attributi dei materiali, i dettagli di assemblaggio e le specifiche tecniche e architettoniche con i dati sull'impatto ambientale, comprese le informazioni sulle dichiarazioni ambientali di prodotto fornite dal produttore, per esempio, l'*Environmental Product Declaration* (EPD). Tally, infatti, consente di effettuare una valutazione LCA, catalogando le informazioni in 8 categorie di impatto, in linea con LEED e altri sistemi di certificazione.
L'output dei risultati può, quindi, essere generato in differenti suddivisioni:

- Per fasi del ciclo di vita;
- Per categoria Revit;
- Per divisione del *Construction Specifications Institute* (CSI).

Tally consente ad architetti e ingegneri di valutare, in tempo reale, l'impatto delle loro scelte progettuali sulla sostenibilità complessiva degli edifici.

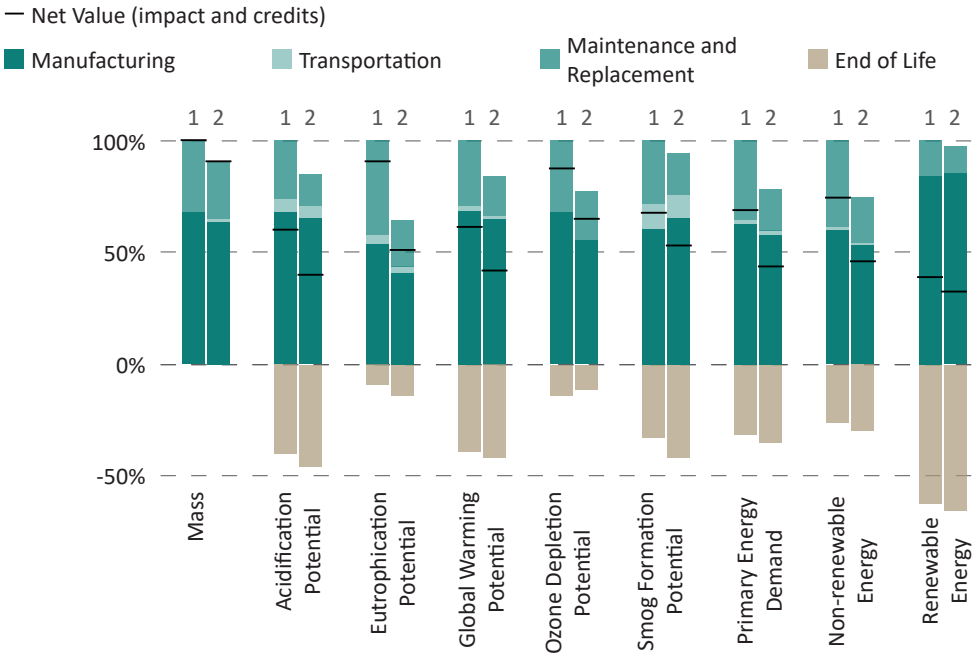
Il direttore dello sviluppo aziendale strategico per PE *International*, Heather Gadonniex, afferma "Tally consente ai professionisti della progettazione di valutare l'impatto dei prodotti all'inizio della fase di progettazione, consentendo una selezione più intelligente dei materiali e, in definitiva, la costruzione di edifici migliori e ad alte prestazioni".

"Tally risponde a una serie di domande: dal confronto di un intero edificio a un *benchmark*, all'esplorazione delle variazioni nella massa; dal tipo di costruzione dell'edificio, alla selezione delle finiture", spiega Roderick Bates, responsabile del team di sviluppo di Tally presso KieranTimberlake. "Può mostrare dove risiedono i maggiori impatti ambientali all'interno di un progetto e i modi in cui si confrontano le opzioni dei materiali".[78]

78 Building Design + Construction, *Meet Tally – the Revit app that calculates the environmental impact of building materials*, 2014

Nonostante Revit abbia un'ampia banca dati di materiali, molte tipologie specifiche non sono modellate all'interno del software: tra queste vernici, sigillanti ed elementi di fissaggio. Questi dati mancanti sono fondamentali per la completezza dell'analisi LCA; per questo motivo, Tally consente agli operatori di implementare la banca dati del software, assegnando a un nuovo materiale di input proprietà e quantità. Diventa, in questo modo, flessibile alle scelte progettuali.

Bueno et al., nell'articolo *Comparative Analysis between a Complete LCA Study and Results from a BIM-LCA Plug-In*, del 2018, a seguito dell'analisi comparativa svolta tra due software, GaBi e Tally, hanno presentato alcune limitazioni del *plug-in* Tally in Revit. Queste sono legate alla limitata disponibilità dei dati ambientali e allo scarso numero di alternative costruttive disponibili nel database.

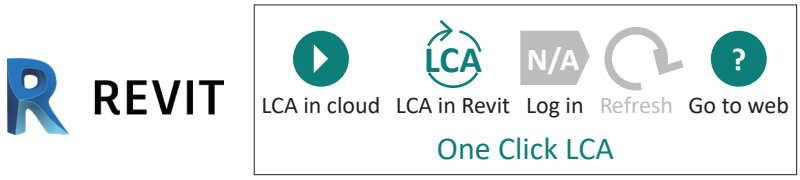


(Grafico) © Kierantimberlake, *Gli impatti ambientali calcolati da Tally su due diversi casi studio.* Rielaborazione a cura delle autrici

Tally consente di passare da una tipologia di valutazione basata sui calcoli di impatto ambientale regolamentati, ad una valutazione in tempo reale, svolta nei

momenti cruciali della progettazione.
Recentemente, *Carbon Leadership Forum* ha lanciato sul mercato un nuovo strumento, chiamato *Embodied Carbon in Construction Calculator* (EC3).
La finalità è quella di valutare le emissioni di carbonio dei materiali da costruzione, durante tutto il processo di progettazione. É nata una nuova collaborazione tra Tally ed EC3, nella quale il software Tally viene implementato tramite EC3: grazie a ciò, nuovi materiali vengono abbinati a prodotti specifici documentati dal produttore e ai dati dell'*embodied carbon* associati, basati sulle dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD).
La collaborazione ha consentito di aumentare il potenziale del software, estendendo l'analisi LCA a tutti gli ambiti del progetto.
L'approfondimento del concetto di *embodied carbon* dà così modo di far diventare la progettazione consapevole, rispetto alla catena di approvvigionamento dei materiali da costruzione.
Una maggiore attenzione nei confronti dell'efficienza energetica ha portato ad avere dei valori dell'*embodied energy* più accurati e veritieri, attraverso dei codici energetici normati e rigorosi, conferendo al software il ruolo di importante punto di riferimento per i progettisti nel settore delle costruzioni.

5.2.2.2 | ONE CLICK: Autodesk Revit plug-in



Il settore sta sviluppando molteplici metodi e sistemi applicativi in supporto ai progettisti.
Nel 2020, durante il programma di ricerca e innovazione *Orizzonte 2020* dell'Unione Europea, è stato sviluppato One Click LCA, dalla società finlandese Bionova Ltd.
La ricerca, dal nome *One Click LCA - transforming the construction industry through automated, affordable and scalable solution for assessing and improving the environmental impacts of construction projects and products*[79], ha finanziato un milione di euro.

79 O. BRAHOLLI, *Automated procedures for LCA analysis on a BIM project*, 2019-20

One Click LCA offre supporto diretto per il processo di verifica delle certificazioni di sostenibilità, tra le quali sono presenti BREEAM, LEED, HQE e DGNB.
Inoltre, può direttamente interagire con diverse interfacce di programmi BIM, come IFC4, Revit, Archicad, Excel, gbXML, SimpleBIM, etc.
La piattaforma, attraverso l'impiego di un algoritmo, ha la potenzialità di combinare i materiali BIM con i set di dati LCA disponibili. Un aspetto importante delle

nuove tecnologie è quello di colmare il divario di automazione nella valutazione dell'impatto. La mappatura dei materiali avviene attraverso l'ancoraggio tra i dati LCA e il software.
Il software One Click LCA può essere utilizzato in tre distinti modi, per eseguire l'analisi e i calcoli LCA sull'impatto ambientale:

- Procedura LCA nell'applicativo online, inserendo manualmente i dati dell'estratto *Bill of Quantities* (BOQ);
- Procedura LCA con Revit *Plug-in* e One Click LCA *cloud*;
- Procedura LCA importando il modello *Industry Foundation Classes* (IFC) e utilizzando *Simple* BIM.

Il software può analizzare e calcolare i risultati per le fasi complete dell'analisi LCA dalla culla alla tomba.
Il *plug-in* Revit One Click LCA, rispetto agli altri sistemi applicativi, ha ridotto al minimo l'inserimento manuale dei dati nella quantificazione dei valori di impatto ambientale.
Rispetto ai sistemi di calcolo tradizionali, il *plug-in* ha una struttura facile da utilizzare e permette di ridurre notevolmente i tempi di calcolo. Inoltre, è facilmente accessibile all'interno del software Revit.

Attraverso il *plug-in*, è possibile collegare gli elementi del modello e i materiali Revit con il One Click Database dei materiali LCA, che fornisce un'ampia varietà di EPD di diverse regioni geografiche, produttori e standard: questa differenziazione può essere utilizzata come criterio di scelta durante la mappatura dei materiali.

Confronto tra i due software

Di seguito, viene presentato lo studio e il confronto sui *tools* presentati in precedenza. Il calcolatore automatico One Click LCA viene ritenuto, in parte, simile al *plug-in* Revit Tally.

Dalla Mora et al., nell'articolo *PLEA 2018 Hong Kong Integration of LCA Tools in BIM toward a Regenerative Design. In Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture* del 2018, hanno confrontato i due modelli di integrazione BIM-LCA nei due *plug-in* di Revit enunciati in precedenza.
Dallo studio è emerso che "il confronto dei risultati ottenuti dai diversi software non è stato facile, a causa della diversa struttura dei due strumenti e, in particolare, dell'adozione di database diversi che hanno dato risultati differenti.
Tally e One Click LCA presentano diverse banche dati dei materiali, con conseguente modalità di selezione, diversa organizzazione della struttura dell'edificio e diverse modalità di calcolo. Mentre One Click LCA considera tutti i materiali separatamente,

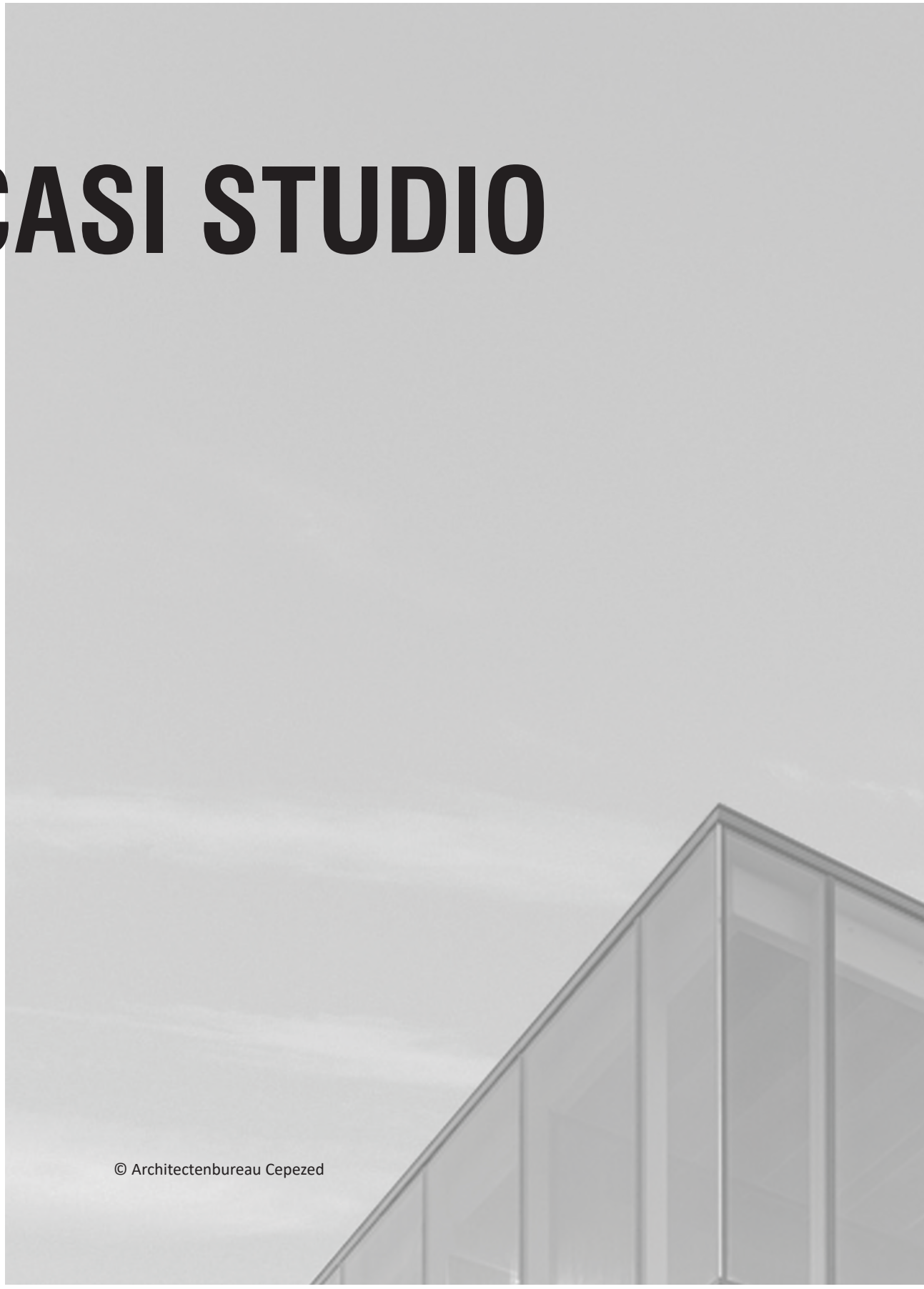
in Tally, l'impostazione predefinita della procedura di calcolo dà la possibilità di scegliere come considerare un componente.
Ad esempio, una muratura potrebbe essere considerata come determinante un unico impatto complessivo, oppure come la somma di diversi strati aventi impatti diversi; così, mattoni, malte e finiture sono considerate come materiali distinti. Questo è un vantaggio positivo per Tally, ma richiede anche più attenzione nella costruzione del modello edilizio".[80]

80 D. MORA et al., *PLEA 2018 Hong Kong Integration of LCA Tools in BIM toward a Regenerative Design. In Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture,* 2018

Fonti:

1. (Report) International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), *Building Decostruction*, 2001 https://vdocument.in/building-deconstruction-cib-deconstruction-into-one-short-but-comprehensive-document.html?page=1
2. (Report) C. J. KIBERT, A.R. CHINI, *Overview of Deconstruction in Selected Countries*, 2000
3. (Articolo di ricerca) D. Shumaker, UTSoA - Seminar in Sustainable Architecture, *Materials and Design for Deconstruction* https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/analytic_tools/analytic_tools/09_02_su_shumaker_daniel_paper_ml.pdf
4. (Articolo di ricerca) L. A. AKANDI et al., *Deconstruction and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy*, 2019 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619308637
5. (Articolo di ricerca) O.O. AKINADE et al., *Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS)*, 2015 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344915301166
6. (Articolo) D. SCHWEDE, E. STORL, *System for the analysis and design for Deconstruction and recycling in the construction industry*, 2016 https://www.researchgate.net/publication/305626924_System_for_the_analysis_and_design_for_Deconstruction_and_recycling_in_the_construction_industry pag. 4
7. (Articolo online) L. DEVLIEGER, *Waste not: Rotor and the practice of deconstruction*, 2019 https://www.architectural-review.com/essays/waste-not-rotor-and-the-practice-of-deconstruction
8. (Articolo online) OneClickLCA, *Valutazione del ciclo di vita di Revit: potenziale e vantaggi* https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-from-revit/
9. (Tesi di laurea) O. BRAHOLLI, *Automated procedures for LCA analysis on a BIM project*, 2019-20 https://bimaplus.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-OrjolaBraholli-Dissertation.pdf
10. (Articolo online) Building Design + Construction, *Meet Tally – the Revit app that calculates the environmental impact of building materials*, 2014 https://www.bdcnetwork.com/meet-tally-revit-app-calculates-environmental-impact-building-materials
11. (Articolo online) Kierantimberlake, *App Tally® per la valutazione del ciclo di vita*, 2016 https://kierantimberlake.com/page/tally#:~:text=A%20Revit%20plugin%2C%20Tally%20allows,%2C%20air%2C%20and%20water%20systems
12. (Articolo online) Building Design + Construction, *Architecture firm Perkins & Will to deliver 'carbon forecasts' for clients*, 2022 https://www.bdcnetwork.com/architecture-firm-perkins-will-deliver-carbon-forecasts-clients
13. (Articolo online) Graitec, *Tally - Revit For The Environmen*t, 2014 https://graitec.co.uk/blog/entry/tally-revit-for-the-environment
14. (Articolo online) OneClickLCA, *Life Cycle Assessment from Revit: potential and benefits* https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-from-revit/
15. (Articolo online) OneClickLCA, *BIM for sustainable building design with Model Checker* https://www.oneclicklca.com/bim-for-sustainable-building-design-with-one-click-lca-model-checker/

CASI STUDIO



© Architectenbureau Cepezed

6.1 | Casi studio in Europa

6.1.1 | Mario Cucinella Architetti, *Iperceramica Headquarters,* 2020 (IT)

6.1.2 | ACAU, R*igot Collective Dwelling Center,* 2019 (CH)

6.1.3 | Djuric Tardio Architects, *Wooden Nursery,* 2020 (FR)

6.1.4 | Architekturargentur, *Woodcube,* 2013 (D)

6.1.5 | Altri

6.2 | Casi studio in Nord Europa

6.2.1 | Architectenbureau Cepezed, *Building D(emountable),* 2019 (NL)

6.2.2 | Architectenbureau Cepezed, *Temporary Courthouse,* 2016 (NL)

6.2.3 | Architectenbureau Cepezed, *The Green House,* 2018 (NL)

6.2.4 | Altri

6.3 | Casi studio in America

6.3.1 | William McDonough + Partners, *Nasa Sustainability Base,* 2012 (CA)

6.3.2 | William McDonough + Partners, *CO|LAB,* 2019 (VA)

6.3.3 | Altri

6.4 | Casi studio in Giappone

6.4.1 | FT Architects, *Archery Hall & Boxing club,* 2013 (JP)

6.4.2 | Kengo Kuma & Associates, *Nest We Grow,* 2014 (JP)

6.4.3 | Altri

06

Nelle pagine che seguono verranno analizzati dei casi studio relativi ad edifici costruiti negli ultimi due decenni.
La scelta di dedicare un intero capitolo all'analisi dei casi studio è derivata dalla volontà di trovare conferma delle previsioni teoriche fatte nelle sezioni precedenti di questo lavoro.
La prima parte dell'elaborato è stata caratterizzata da un'analisi nella quale si è cercato di studiare, in senso assoluto, un approccio metodologico affrontato in sede di progettazione con una varietà di tematiche molto ampia, riguardante sia la nuova costruzione che l'intervento sul costruito.
La varietà delle fonti analizzate nella ricerca ha messo in luce forti differenze tra i differenti contesti europei, a noi più vicini, e mondiali. Di conseguenza, volendo dare forza alle teorie enunciate, il seguente capitolo è dedicato all'analisi di casi studio ideati e localizzati in quattro aree geografiche, per noi significative in fase di sviluppo di questo elaborato: l'Europa Mediterranea, il Nord Europa, l'America e il Giappone, ognuna con le proprie specifiche territoriali al suo interno.

Il metodo

Per quanto riguarda l'aspetto metodologico di elencazione dei successivi casi studio, all'interno delle singole aree geografiche sopra citate, sono stati esaminati edifici differenti tra loro, i cui aspetti di sostenibilità e innovazione nascono per motivazioni diverse e sono spinti da fattori culturali intrinseci distanti tra loro.
(Nella pagina successiva, il lettore potrà trovare un planisfero con un'elencazione esaustiva dei singoli casi studio presentati successivamente all'interno della tesi.)

La divisione in macroaree

Per facilitare la possibilità di un'analisi critica rispetto al criterio sulla base del quale queste macroaree siano state divise, ognuna di esse è aperta da una piccola introduzione normativa e socio-culturale. Emergono subito aspetti normativi molto forti, e forse limitanti, nel caso europeo (nello specifico in quello italiano, con le dovute differenze con il Nord Europa), rispetto, invece, a una cultura storica fortemente radicata nell'attività progettuale giapponese e in quella americana.
Un caso a sè stante nella nostra trattazione è quello europeo: per le finalità di questo lavoro, abbiamo ritenuto più opportuno trattare separatamente il caso del Nord Europa, il cui contesto culturale, di innovazione, di attenzione alle novità e alle esigenze della sostenibilità è molto più forte che altrove. Costituisce, quindi, secondo noi, un caso specifico che non poteva essere generalizzato all'interno del contesto europeo più ampio.

I criteri di scelta

All'interno di ogni macroarea, verranno presentati dei casi studio aventi caratteri progettuali e tecnologici molto diversi.
Se prendiamo il caso dell'Europa Mediterranea, tra le opere citate potremo trovare il caso dell'Iperceramica Headquarters (IT), un edificio progettato per ospitare degli uffici, insieme al Rigot Collective Dwelling Centre (CH), pensato invece come soluzione d'emergenza per ospitare dei profughi. Questo a dimostrazione del fatto

che l'innovazione tecnologica non è una scelta di nicchia: la prima è una struttura permanente, rivolta al settore terzario; la seconda è una struttura, al contrario, concepita volutamente temporanea, d'emergenza, che può cambiare destinazione d'uso, una volta cessata la necessità di accoglienza. Nonostante ciò, l'approccio tecnologico non è completamente diverso tra le due strutture.
Questo discorso si può ampliare anche alle altre macroaree precedentemente citate, in cui differenti casi studio dimostrano l'attenzione a aspetti specifici differenti. Le finalità, legate alla circolarità, sono le più diverse: saranno analizzati edifici pubblici, privati, che prestano maggiore attenzione alla scelta di materiali riciclati, locali, alla temporaneità di edifici la cui utilità è limitata nel tempo, o anche allo sviluppo di tecniche costruttive innovative che trovano la loro prima sperimentazione. La decostruibilità, in questi casi, non sempre è totale, ma può essere anche parziale, nel singolo dettaglio.
In chiusura ad ogni macroarea sono stati inseriti degli ulteriori casi studio, secondo noi rilevanti, ma non approfonditi per motivi di scarsità di materiale disponibile.

L'analisi del caso studio

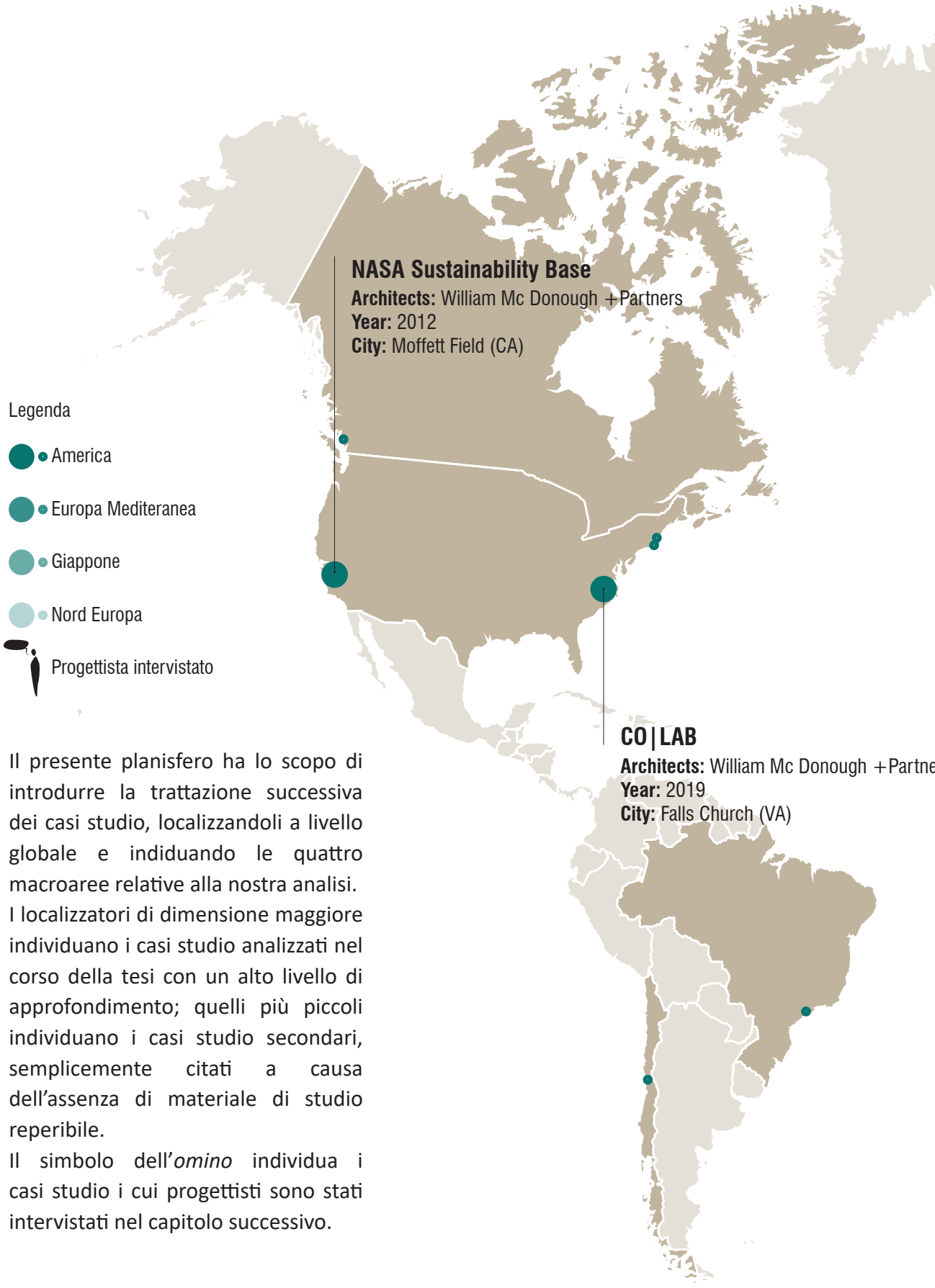
Scendendo nello specifico di ogni singolo caso, è stato analizzato il contesto nel quale il progetto è stato sviluppato, le condizioni al contorno, le scelte tecnologiche e i principali nodi di rilevanza per il nostro studio.
Per ogni singola trattazione, per riassumere in chiave di semplificazione i concetti raccontati nelle pagine precedenti, abbiamo elaborato due rappresentazioni grafiche: una matrice qualitativa e uno schema tecnologico concettuale.

La matrice riassume un'analisi qualitativa del caso studio tramite tre livelli di gradazione (*higher*, *medium* e *lower*) che riferiscono l'applicazione di diversi principi progettuali e tecnologici (in ordinata) sull'edificio, scomposto in diversi sottolivelli (in ascissa).
Rimanendo nella suddivisione in sottolivelli, una singola sezione è stata dedicata alla destinazione delle componenti a fine vita, individuando tre soluzioni (*demolizione*, *riciclo*, *riutilizzo*). Questa scelta è derivata dalla consapevolezza del fatto che la decostruibilità deve andare obbligatoriamente di pari passo con una seconda fase progettuale, legata unicamente alla destinazione dei materiali in fase di fine vita.
Nella parte inferiore della tabella, invece, vengono riportati dei principi generali che vengono rapportati alla scala dell'edificio.
La scelta degli elementi inseriti in ordinata (*strategie di progettazione*, *strategie costruttive*, *materiali e componenti*) è stata conseguente allo studio dei casi, che ha messo in luce degli aspetti chiave, più o meno approfonditi a seconda dello specifico caso.

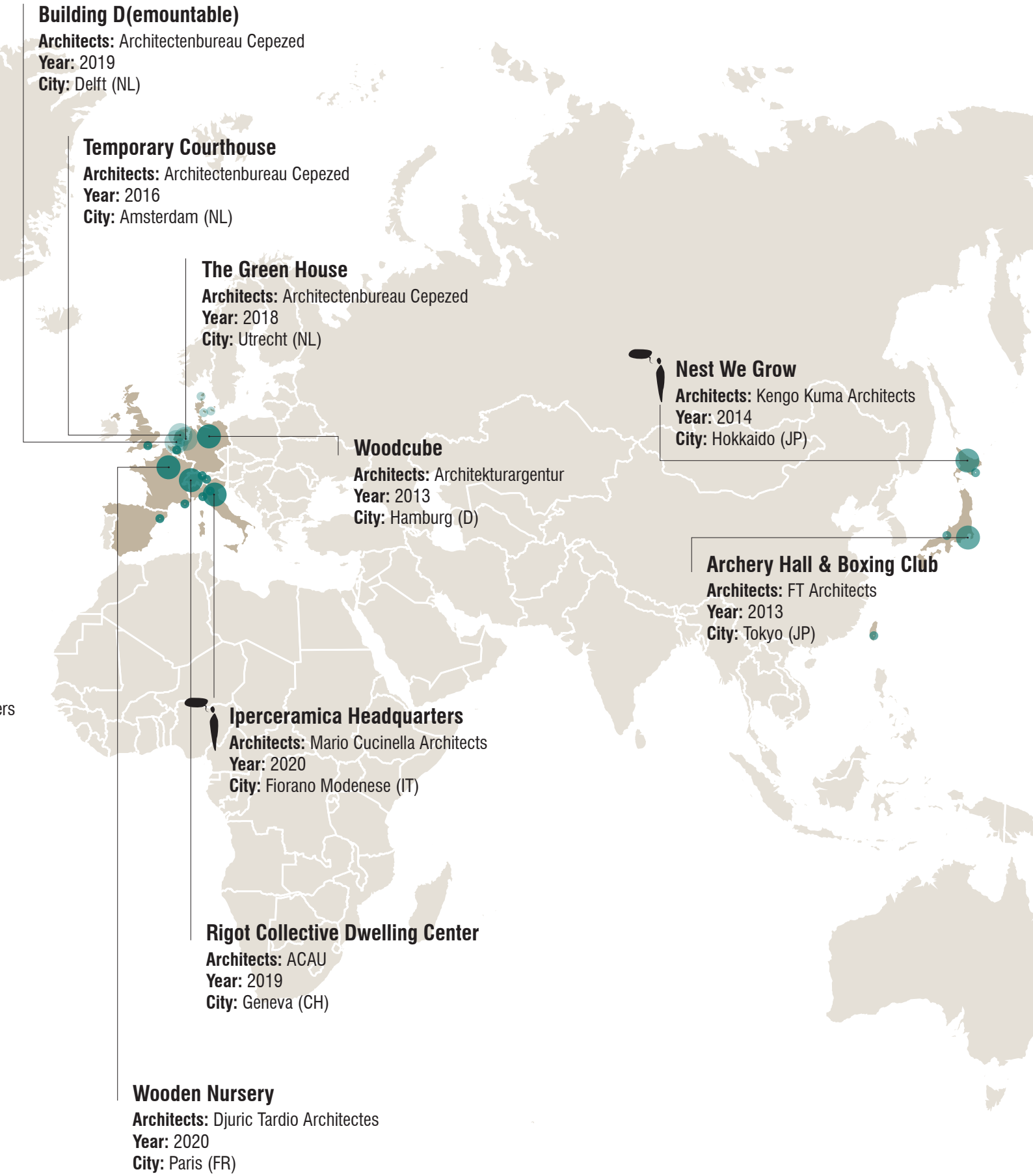
Lo schema tecnologico concettuale

La seconda rappresentazione grafica, riportante uno schema tecnologico concettuale, ha lo scopo di mettere in evidenza un punto focale dello specifico caso studio, che fa emergere la decostruibilità parziale o totale dello stesso.

6.0 | Planisfero. Geografia della decostruibilità



Il presente planisfero ha lo scopo di introdurre la trattazione successiva dei casi studio, localizzandoli a livello globale e indiduando le quattro macroaree relative alla nostra analisi.
I localizzatori di dimensione maggiore individuano i casi studio analizzati nel corso della tesi con un alto livello di approfondimento; quelli più piccoli individuano i casi studio secondari, semplicemente citati a causa dell'assenza di materiale di studio reperibile.
Il simbolo dell'*omino* individua i casi studio i cui progettisti sono stati intervistati nel capitolo successivo.


Building D(emountable)
Architects: Architectenbureau Cepezed
Year: 2019
City: Delft (NL)
Temporary Courthouse
Architects: Architectenbureau Cepezed
Year: 2016
City: Amsterdam (NL)
The Green House
Architects: Architectenbureau Cepezed
Year: 2018
City: Utrecht (NL)
Nest We Grow
Architects: Kengo Kuma Architects
Year: 2014
City: Hokkaido (JP)
Woodcube
Architects: Architekturargentur
Year: 2013
City: Hamburg (D)
Archery Hall & Boxing Club
Architects: FT Architects
Year: 2013
City: Tokyo (JP)
Iperceramica Headquarters
Architects: Mario Cucinella Architects
Year: 2020
City: Fiorano Modenese (IT)
Rigot Collective Dwelling Center
Architects: ACAU
Year: 2019
City: Geneva (CH)
Wooden Nursery
Architects: Djuric Tardio Architectes
Year: 2020
City: Paris (FR)

I casi studio

Europa Mediterranea

Iperceramica Headquarters

Rigot Collective Dwelling Center

Wooden Nursery

Woodcube

Nord Europa

Building D(emountable)

Temporary Courthouse

The Green House

America

NASA Sustainability Base

CO|LAB

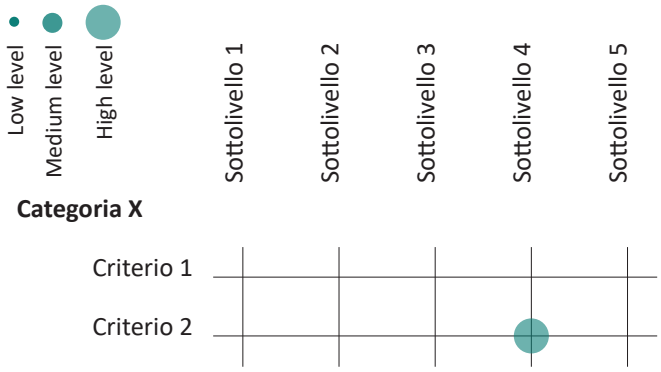
Giappone

Archery Hall & Boxing Club

Nest We Grow

La matrice qualitativa

La matrice qualitativa utilizzata all'interno della tesi come strumento di analisi riassuntiva dei casi studio. Tale matrice è stata replicata nell'analisi comparativa finale tra le macroaree di nostro interesse.
Ogni criterio di valutazione viene qualificato rispetto a cinque sottolivelli, in una scala che può variare in *lower*, *medium* e *higher level*. Il simbolo grafico viene, quindi, posizionato nell'intersezione tra l'ascissa e l'ordinata di riferimento.



L'edificio è stato studiato sia come complesso sia tramite la suddivisione in 5 sottolivelli:

- Struttura portante;
- Sistema di fondazioni;
- Tamponamenti esterni;
- Rivestimenti;
- MEP System.

Ciò è stato utile a svolgere un'analisi trasversale sull'intero edificio, ma focalizzando l'attenzione su come i criteri valutati abbiano un diverso livello di applicazione nelle differenti componenti.
I criteri elencati in ordinata sono stati selezionati come principi di base utili all'applicazione del *Design for Deconstruction*. Questi sono stati suddivisi in 4 macrocategorie, al cui interno sono elencati dei criteri afferenti allo specifico campo, la cui selezione è stata determinata da una lettura trasversale di tutti i casi studio:

- Strategie di progettazione (*decostruibilità; accessibilità per la manutenzione*);
- Strategie costruttive (*utilizzo di connessioni meccaniche; prefabbricazione; modularità; struttura leggera*);
- Materiali e componenti (*utilizzo di MPS; riutilizzo o affitto di componenti esistenti*);
- Destinazione a fine vita (*demolizione; riciclo; riutilizzo*).

La valutazione dell'applicazione di tali principi sui casi studio ha permesso un'analisi sulle condizioni nelle quali il DfD è stato applicato. La selezione degli specifici criteri è stata, infatti, tratta dallo studio dei principi base del DfD, trattati nel capitolo 4.
Altri criteri tenuti in considerazione, in quanto importanti nella riflessione svolta, sono stati valutati in relazione al complesso dell'edificio: *edificio pubblico*; *certificazioni ambientali*; *flessibilità funzionale*; *temporaneità*; *vicinanza alle sedi di fabbrica*.

© Federico di Dio

6.1 | CASI STUDIO IN EUROPA MEDITERRANEA

Europa. L'Economia Circolare nel Continente

Con l'adozione del *Green Deal* europeo[81], l'UE ha presentato una chiara tabella di marcia con l'ambizione di diventare il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050. Il *Green Deal* rappresenta, ora, una nuova strategia di crescita per l'Europa: si tratta di un pacchetto di iniziative strategiche, che mira ad avviare l'UE sulla strada di una transizione verde.
Il *Green Deal* europeo è stato avviato dalla Commissione nel dicembre 2019 e il Consiglio Europeo ne ha preso atto nella riunione di dicembre dello stesso anno.

81 Green Deal europeo: insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione europea con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050.

"La transizione verso la neutralità climatica offrirà opportunità significative, ad esempio un potenziale di crescita economica, di nuovi modelli di business e mercati, di nuovi posti di lavoro e sviluppo tecnologico"[82].

Conclusioni del Consiglio europeo, 12 dicembre 2019

82 Consiglio dell'Unione Europea, *L'obiettivo dell'UE: raggiungere la neutralità climatica entro il 2050,* 2022

I meccanismi di sostegno e le risorse finanziarie per l'ecoinnovazione non sono mai stati così massicci, come con *NextGenerationEU* 2021-2027:

- *Horizon Europe* è un programma di finanziamenti per la ricerca e l'innovazione che prevede fondi pari a 95,5 miliardi di Euro, erogati tra il 2021 e il 2027.

Supporta ricercatori, innovatori e cittadini nello sviluppo della conoscenza e di soluzioni innovative per un futuro sostenibile, sano e prosperoso;

- *LIFE* è l'unico programma di finanziamenti europeo dedicato completamente agli obiettivi relativi all'energia pulita, all'ambiente e al clima. Con un budget intorno ai 5,4 miliardi di Euro per il periodo 2021-2027, *LIFE* supporta le azioni nelle aree: natura e biodiversità; economia circolare e qualità della vita; mitigazione e adattamento al cambiamento climatico; transizione verso l'energia pulita;
- *Innovation Fund* (IF), finanziato dalle entrate provenienti dall'*EU Emissions Trading System*, è un fondo che potrebbe ammontare a 10 miliardi di Euro, per un periodo da qui fino al 2030. Contribuisce alla riduzione delle emissioni di gas effetto serra (GHG).

Gli *Importanti Progetti di Comune Interesse Europeo* (IPCEI) , così come le alleanze industriali e le partnership europee, vedranno una maggiore partecipazione di Piccole e Medie Imprese (PMI) e start-up.
Qualsiasi azienda può essere certificata *Eco-Management and Audit Scheme* (EMAS), ottenere il marchio *Ecolabel UE* per i propri prodotti e assicurarsi una verifica della tecnologia ambientale ETV per le proprie innovazioni rivoluzionarie.
I casi studio da noi analizzati nella sezione seguente si concentrano principalmente in quattro Paesi europei, vale a dire: Italia, Spagna, Francia e Gran Bretagna. Per semplicità di analisi, vengono riportate di seguito delle indicazioni relative a normative vigenti e incentivi economici rispetto all'Italia e alla Spagna, presi come casi di riferimento.

Italia. L'Economia Circolare nel Paese

La *Strategia Nazionale Italiana per lo Sviluppo Sostenibile* è stata approvata a dicembre 2017. La Strategia è il risultato di una collaborazione tra il Ministero dell'Ambiente, il Consiglio di Presidenza dei Ministri, il Ministero degli Affari Esteri e Cooperazione Internazionale e il Ministero dell'Economia.
Come viene spiegato dall'*Eco-innovation Observatory*, nell'ultimo report italiano del 2019, tale strategia fornisce uno strumento per definire la direzione delle politiche ambientali, economiche e sociali in linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030.
Costruito sulla base dell'aggiornamento della *Strategia sull'Azione Ambientale per lo Sviluppo Sostenibile*, questo documento fornisce una prospettiva più ampia delle politiche settoriali e territoriali strategiche e sottolinea il ruolo chiave delle Istituzioni e della società civile.
Una parte importante dell'attuazione della Strategia è il documento che definisce il posizionamento strategico dell'Italia sull'economia circolare. Quest'ultimo

rappresenta un punto di partenza per la futura realizzazione di un *Piano di Azione Nazionale sull'Economia Circolare*.
La strategia nazionale per l'innovazione tecnologica e la digitalizzazione del Paese è stata sviluppata dal Ministero italiano per l'innovazione tecnologica e la digitalizzazione.
Si concentra su tre sfide chiave: la digitalizzazione della società; l'innovazione del Paese; lo sviluppo sostenibile ed etico della società. Definisce, in sostanza, un processo di trasformazione strutturale del Paese. Ha lo scopo di introdurre e applicare la tecnologia e l'innovazione nelle città e nei piccoli centri per migliorare la qualità della vita.
Sviluppando infrastrutture digitali e *data center*, promuove l'uso di fonti alternative per la produzione di energia e contribuisce a ridurre i consumi energetici. Inoltre, la strategia mira a garantire e mantenere la sostenibilità economica, sociale e ambientale di tutte le innovazioni.
Il *Piano Transizione 4.0* è il nuovo *Piano Nazionale di Politica Industriale* sviluppato per gli anni 2020-2022, a seguito del *Piano Industria 4.0*. L'attuale piano pone maggiore enfasi su investimenti verdi, economia circolare e innovazione e include l'allocazione di fondi economici per progetti di ricerca e sviluppo in *Agenda Digitale* e *Industria Sostenibile*.

Barriere nell'applicazione della circolarità in Italia

Quadro normativo e politico. Uno dei principali ostacoli all'economia circolare in Italia è il quadro legislativo incompleto, che incoraggia scarsamente il riutilizzo, il riciclaggio e la sostituzione con materie prime seconde: in Italia manca ancora una strategia di applicazione dei principi dell'economia circolare.
Le politiche sui rifiuti sono attuate a livello regionale, a livello provinciale e comunale, sotto un controllo nazionale.
La necessità di semplificazione delle procedure di autorizzazione del riciclaggio e la non armonizzazione delle diverse legislazioni rappresentano un ostacolo alla transizione dell'Italia verso un'economia circolare.
Inoltre, le politiche ambientali attuate a livello regionale o comunale si traducono in diversi e confusi approcci di gestione dei rifiuti, nonché in notevoli divergenze nella performance di gestione dei rifiuti stessi da una regione all'altra (soprattutto Nord-Sud).
Ciò si riflette anche in una distribuzione eterogenea dei centri di riciclaggio nelle varie regioni. Più recentemente, l'economia circolare ha iniziato a figurare sempre più nei documenti legislativi, come nella recente legge di bilancio, generando opportunità di miglioramento del quadro legislativo esistente.

Barriere economiche. Un ostacolo importante all'ecoinnovazione in Italia è il

basso tasso di investimenti. Nel campo dell'economia circolare, le industrie italiane sono al terzo posto tra le cinque maggiori economie dell'UE (UE-28) a dover fare affidamento sull'autofinanziamento. Nel complesso, l'Italia ha il livello più basso, dopo la Francia, di accesso a finanziamenti esterni (11%), soprattutto nell'ambito dei fondi per le iniziative circolari, con il 20% delle PMI italiane che denuncia significative difficoltà di accesso ai finanziamenti.
Mentre gli impatti ambientali e sociali rappresentano gli elementi maggiormente considerati dalle industrie, solo il 13,4% delle imprese ha mostrato investimenti economici nel campo della circolarità nel 2017. Nel complesso, il rischio ambientale non è ancora sufficientemente considerato come uno dei rischi più rilevanti per l'economia finanziaria (*Circular Economy Network*, 2019).

Risorse umane e capitale di conoscenza. Il crescente interesse e l'integrazione dei principi di sostenibilità in Italia richiede sempre più profili professionali nuovi con specifiche competenze, in particolare nel campo dell'economia circolare e dell'efficienza delle risorse.
Negli ultimi anni, il sistema educativo italiano ha investito nella divulgazione di nuovi temi strategici che rispecchiano il contesto nazionale e gli obiettivi europei di sostenibilità. Ciò ha portato all'introduzione di nuovi corsi di studi nel settore dell'ambiente e della sostenibilità, finalizzati allo sviluppo e al rafforzamento di nuove competenze professionali nel settore.
Inoltre, lo sviluppo delle competenze digitali è sempre più diffuso e considerato un prezioso contributo agli obiettivi di sostenibilità. Tuttavia, più della metà degli italiani non ha competenze digitali di base e solo l'11,3% delle PMI ha un livello avanzato di digitalizzazione.
Queste competenze saranno sempre più richieste nell'ambito dell'Industria 4.0 così come nell'ambito del modello di economia circolare (*Mybes*, 2017).

Capitale sociale, culturale e organizzativo. La consapevolezza sociale sulle questioni ambientali è cresciuta in Italia e ha riscontrato interesse tra cittadini e industrie. Nel 2019, il 32% degli italiani ha mostrato una buona conoscenza del tema, il 10% in più rispetto all'anno precedente. Tuttavia, il governo italiano e gli enti locali normalmente risultano essere carenti dal punto di vista dell'introduzione di procedure per coinvolgere la popolazione locale.
C'è ancora mancanza di consapevolezza verso le strategie di prevenzione della produzione di rifiuti, da parte di entrambe le parti: produttori e consumatori. Inoltre, si possono osservare grandi differenze nell'adozione delle pratiche relative al riciclaggio e alla raccolta differenziata, principalmente tra il Nord e il Sud del Paese.

Spagna. L'Economia Circolare nel Paese

La Spagna ha implementato diverse strategie a livello nazionale, oltre a piani di azione nell'area dell'ecoinnovazione e dell'economia circolare.
Nonostante sia stato svolto un buon lavoro in questo ambito, la principale sfida per il prossimo futuro era quella di completare la *National Strategy for Circular Economy* (finalmente completata nel 2020), che fa da *ombrello* sotto il quale si riuniscono tutte le politiche ambientali sviluppate nel Paese.
Le principali aree di azione, di nostro interesse, che vengono trattate all'interno di questo documento sono:

- Produzione e *design*: aggiornamenti dal punto di vista dell'innovazione e delle poliche potranno dare un contributo nella produzione tramite l'uso di materiali e risorse energetiche più efficienti. Inoltre, una progettazione più consapevole dei prodotti può aiutare una più semplice separazione delle componenti e, ancora, può spingere alla riparazione delle parti danneggiate, da preferire all'acquisto di nuovi prodotti.
- Mercati di materia prima seconda: il ministero spagnolo per la transizione ecologica e la sfida demografica ha intenzione di promuovere la circolazione libera delle materie prime seconde, nonostante ci sia una mancanza di fiducia da parte degli operatori, che verrà, però, incrementata dalla definizione di decisioni ministeriali per la gestione delle stesse in sicurezza.

Barriere nell'applicazione della circolarità in Spagna

Quadro normativo e politico. Ci sono diverse barriere politiche e normative nel Paese che ostacolano lo sviluppo dell'ecoinnovazione.
Da un lato, il Governo Nazionale spagnolo non sta provvedendo in maniera adeguata al sostegno per la piena adozione dell'ecoinnovazione da parte delle imprese. Inoltre, sarebbe fondamentale che tutte le sottocategorie industriali avessero degli standard e un indirizzo di applicazione comune. In altre parole, l'armonizzazione è obbligatoria.
Va tenuto presente che il Paese ha attraversato periodi turbolenti in termini politici: una mozione di sfiducia ha cambiato il governo nel 2018 e nel 2019 si sono svolte le elezioni generali, seguite da lunghe trattative per formare un nuovo governo. Tutto ciò ha posticipato o annullato l'approvazione di molte legislazioni rilevanti riguardo questi temi.
Inoltre, l'alto livello di decentramento e l'autonomia di molte regioni spagnole ha determinato che ognuno abbia attuato la propria strategia in termini di economia circolare.
Avere così tante politiche che affrontano l'argomento in maniera differente non

fornisce alle aziende del Paese un quadro comune.

Risorse umane e capitale di conoscenza. C'è, inoltre, una mancanza di consapevolezza ambientale, principalmente tra fornitori e clienti, ma anche tra le piccole e medie imprese.
Applicando misure di ecoinnovazione, le PMI possono trarne diversi vantaggi: risparmi sui costi e nuove opportunità di mercato.

Capitale sociale, culturale e organizzativo. Per quanto riguarda la riduzione dei rifiuti, il Paese ha recentemente pubblicato il *National Strategy on Circular Economy* e molte comunità autonome stanno seguendo lo stesso processo o l'hanno già fatto.
Nel 2017 è stato firmato un patto nazionale per l'economia circolare da un'ampia gamma di autorità, società e altri attori rilevanti. Nonostante gli sforzi, secondo l'*Early Warning Report 2018* della CE, il Paese è ancora lontano dal raggiungere l'obiettivo dell'UE di riciclare il 50% dei rifiuti urbani entro il 2020.
Sono necessari ulteriori sforzi per far migliorare il sistema di gestione dei rifiuti.
Per quanto riguarda il tema delle tassazioni, il governo spagnolo si sta attivando per aumentare la tassazione ambientale e per ridurre i sussidi dannosi per l'ambiente. Nonostante i suoi sforzi, la Spagna è uno degli Stati membri con l'aliquota più bassa di tasse ambientali.

Photographs: Giovanni de Sandre
Iperceramica Headquarters
"La nuova sede di Iperceramica è un esempio di come l'imprenditoria italiana stia prendendo consapevolezza dell'importanza dello spazio nella qualità della vita"
Mario Cucinella Architetti

6.1.1 | Iperceramica Headquarters, 2020 (IT)

Floor Area: 1700 m^2

Year: 2020

City: Fiorano Modenese (IT)

Building Type: Offices

Client: Iperceramica

Design Team

Architects: Mario Cucinella Architetti

Structure: Maffeis Engineering Spa

MEP: STEP Engineering Srl

Project Team: Mario Cucinella, Enrico Iascone, Michele Roveri, Francesca Fabiana Fochi, Giovanni Sanna, Silivia Conversano

Visual: Nicola Magri, Francesco Naimoli

Fire Engineering: IDF Ingegneria

Photographs: Giovanni De Sandre

Masterplan progettuale © Mario Cucinella Architetti

Descrizione fornita dagli architetti.
Il progetto della nuova palazzina uffici di Bayker-Iperceramica nasce per essere un involucro semplice e funzionale, caratterizzato da un'immagine fortemente contemporanea. La nuova sede si svilupperà su due livelli fuori terra per un totale di circa 1.700 m^2.
Le strutture portanti sono state progettate con elementi prefabbricati in legno a vista (pilastri in legno lamellare, tramezzi portanti e solai in X-Lam), garantendo così l'utilizzo delle più recenti tecnologie costruttive in termini di materiali, sostenibilità e sistemi di prefabbricazione.
Il progetto ha posto notevole attenzione al comfort degli ambienti interni, al conseguente benessere del personale e alla permeabilità della luce naturale; a tal proposito, il nuovo edificio prevede un tamponamento esterno completamente vetrato, garantendo così grande trasparenza verso l'esterno e affacciandosi su una corte interna arricchita da essenze arboree e arbustive.
Per meglio enfatizzare gli elementi lignei, le parti sottostanti dei solai del piano terra e primo piano sono caratterizzate da un susseguirsi di listelli di circa 12x12 cm, per creare una scansione ripetuta ad abbellire gli ambienti ufficio.
Le separazioni interne tra i vari uffici sono previste in elementi vetrati serigrafati, per consentire contemporaneamente privacy, permeabilità visiva e il passaggio della luce naturale dalle tende. Grazie a questa disposizione, non solo gli uffici e gli ambienti di lavoro, ma anche i corridoi e gli spazi di distribuzione, non necessitano di illuminazione artificiale per le ore diurne, con conseguente notevole risparmio energetico.

(Immagine) © Giovanni de Sandre

Pianta piano terra © Mario Cucinella Architetti

Pianta piano primo © Mario Cucinella Architetti

MC A si impegna attivamente nel rispettare i punti chiave dell'Accordo di Parigi della COP 21 e la nuova sede di Iperceramica ne è un esempio.
L'edificio è stato realizzato prediligendo materiali meno impattanti dal punto di vista ambientale e ha previsto soluzioni a secco e disassemblabili.
Il *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) ha portato notevoli benefici in termini di riduzione dei tempi di cantiere e dell'inquinamento che ne deriva.
"Un percorso iniziato due anni fa e che ha visto realizzarsi un'architettura contemporanea al servizio e per le persone che ci lavorano", racconta l'Architetto Mario Cucinella, intervistato in occasione della conclusione dei lavori. Continua "in un periodo in cui è necessario ripensare agli spazi, in ottica di benessere, la nuova sede di Iperceramica è un esempio di come l'imprenditoria italiana stia prendendo consapevolezza dell'importanza che la costruzione dello spazio lavoro determina anche nella qualità della vita di chi lo vive. Ma non solo, progettare edifici flessibili pensati per essere montati semplicemente ed in grado di garantire il comfort attraverso le risorse naturali, permette di ridurre le emissioni di CO_2 così come richiesto dall'Accordo di Parigi. [...] Dopo questi anni di forte crescita avevamo bisogno di una nuova sede", dice Corrado Neri, Presidente di BayKer Italia S.p.a. Continua "volevamo un luogo in cui si lavori bene e volentieri: un luogo che faciliti la comunicazione fra le persone, luminoso e con una elevata qualità della vita. Volevamo un edificio a basso impatto e che utilizzi le più moderne tecnologie. Volevamo poi un segno tangibile dell'importanza che per noi hanno *design* ed estetica. Siamo molto soddisfatti, sotto tutti questi punti di vista"[83].

83 Archiportale, *Mario Cucinella Architects firma il nuovo Headquarter Iperceramica*, 2020

Sezione A-A' © Mario Cucinella Architetti

Sezione B-B' © Mario Cucinella Architetti

La costruzione

Per quanto riguarda la costruzione, questa ha richiesto, come tempistiche:

- 2 mesi per la struttura portante;
- 9 mesi totali per l'aggiunta delle finiture.

La scelta è ricaduta su una pianta quadrata, di dimensioni 30x30 m, suddivisa a sua volta, negli spazi interni, tramite una maglia di dimensioni 10x10 m: si ha, pertanto, un alto livello di flessibilità progettuale. L'edificio è caratterizzato, infatti, da sottomoduli, che possono essere accorpati o distinti a seconda delle esigenze del committente. Svuotando il quadrato centrale è stato possibile realizzare, all'interno, un cortile alberato. L'edificio è organizzato in alzato su due livelli e arriva a coprire un'altezza totale di 8,5 m. Al piano terra sono dislocati uffici e aree di servizio; nella parte più visibile dagli accessi pedonali e carrabili, invece, si trova l'area ricettiva. Al piano primo viene definito un corridoio di distribuzione che corre lungo la linea del cortile sottostante; rispetto a questo, andando verso l'esterno della pianta, vengono collocate tutte le varie postazioni di lavoro. L'area di ricezione del pubblico si trova a ridosso della corte interna, sia al piano terra che al piano primo. Il progetto nasce con lo scopo di realizzare una struttura portate prefabbricata in legno, con un tamponamento esterno in vetro, realizzato tramite delle facciate strutturali del tipo *Schuco*.

La struttura portante, in elevazione, si compone di 16 pilastri in legno lamellare di

(Immagine) © Giovanni de Sandre

dimensioni 60x60 cm, ancorate alla fondazione in cemento armato tramite delle piastre con tirafondi.
Si può osservare una particolare attenzione anche all'aspetto estetico di questi elementi lignei, che, infatti, sono a vista. Per questi elementi non è stato previsto alcun tipo di rivestimento. Sono presenti, inoltre, dei setti in legno lamellare X-LAM. Questi hanno la funzione di controventi e sono posizionati in corrispondenza dei blocchi tecnici (ad es., i servizi igienici o il vano scala).
La tecnologia utilizzata è quella del telaio pesante, detta anche trave-pilastro. Quest'ultima si presta molto bene alla realizzazione di edifici, la cui distribuzione in pianta può variare. I sedici pilastri della maglia quadrata rimangono fissi, mentre il resto delle divisioni interne è interamente modulabile.

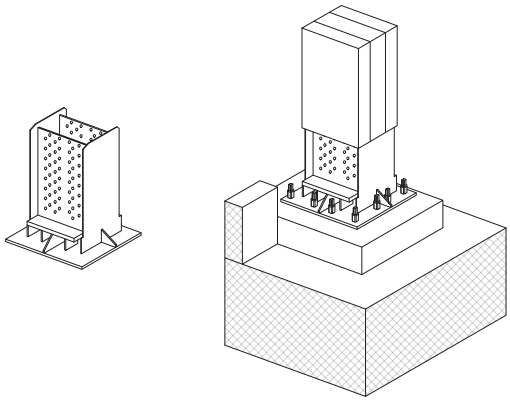
(Immagine) Lavorazioni di cantiere

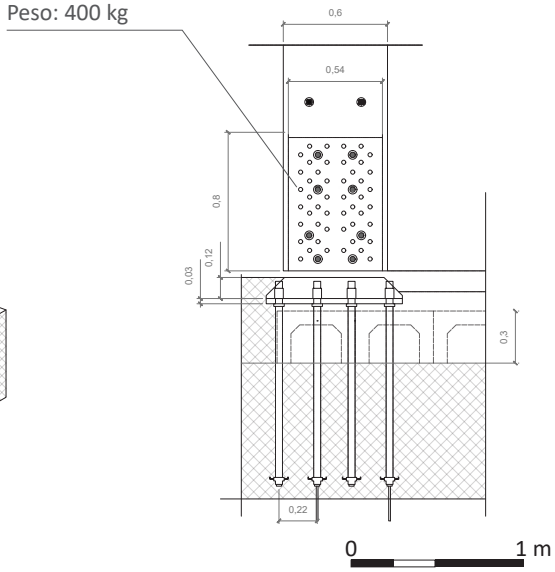
(Immagine) Lavorazioni di cantiere

(Immagine) © Giovanni de Sandre

Nodo pilastro - fondazione
Iperceramica Headquarters. Rielaborazione a cura delle autrici

M = 22.737 daNm (SLV)
N = 92.868 daNm (SLU)





Il sistema costruttivo descritto precedentemente, a differenza di altri nei quali si possono avere dei sistemi di controventatura, attribuisce tutta la dissipazione dei carichi ai due nodi:

- Trave-pilastro;
- Pilastro-fondazione.

Questi nodi, di conseguenza, sono molto importanti dal punto di vista strategico e dimensionale.

I portapilastri sono composti da quattro lame metalliche preforate, connesse al legno con 48 spinotti e 8 bulloni M16.

Lato calcestruzzo, invece, la connessione avviene tramite l'uso di 10 tirafondi, affondati nella fondazione.

Il pilastro non è una sezione piena 60x60 cm, ma una sezione combinata, ottenuta tramite l'utilizzo di 3 elementi (due di dimensioni 18x60 cm e una, quella centrale, di dimensioni 24x60 cm).

Nel sistema di connessione tra travatura e pilastratura, la parte verticale ha priorità rispetto alla parte orizzontale.

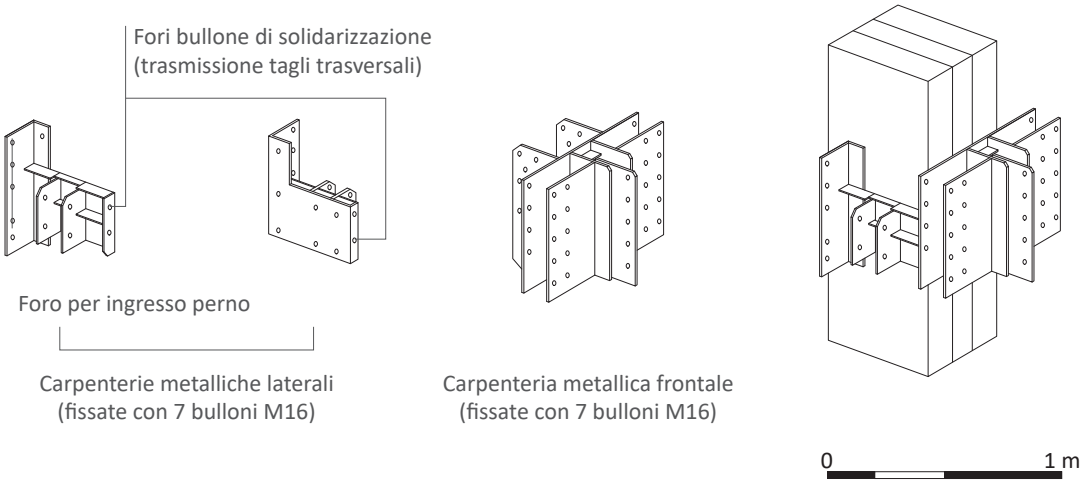
I pilastri hanno al loro interno un sistema di lame a scomparsa, che permette la connessione delle travi.

Lo studio della carpenteria è stato particolarmente accurato, in quanto si è reso necessario analizzare ogni dettaglio perchè il sistema prefabbricato potesse funzionare, in termini di assemblaggio, una volta giunto in cantiere.

La sequenza di assemblaggio, valutata sia dal produttore che dal team di montaggio, è stata ricontrollata più e più volte prima di renderla definitiva e validarla, apportando, in alcuni casi, modifiche al progetto.

(Immagine)
Nodo pilastro-fondazione.
© Mario Cucinella Architetti

Nodo trave - pilastro
Iperceramica Headquarters. Rielaborazione a cura delle autrici



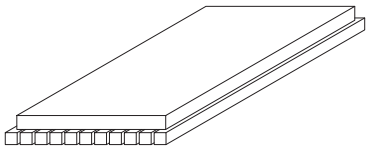
L'obiettivo perseguito è stato quello di minimizzare le lavorazioni in cantiere, predisponendo la maggior parte dei lavori in stabilimento.
Ciò ha significato approfondire al massimo il lavoro in fase di progettazione, studiando i sistemi di preassemblaggio. Un'attenzione di questo livello ha permesso di ridurre a zero i rischi di posa e di garantire un'ottima riuscita della messa in opera.

Le travi perimetrali, che sono travi accoppiate, sono quelle che corrono in asse ai pilastri (12+12+24x40 cm).
Sull'esterno c'è una veletta (12x42 cm) sempre in legno lamellare; ci sono, poi, le travi di bordo interno a cui si attacca l'orditura secondaria (travi 20x80 cm).
Sul perimetro, in corrispondenza delle travi di bordo, si forma un canale, che diventerà un'area per l'alloggiamento dei sistemi per il condizionamento dell'aria.

Il solaio è composto da pannelli X-LAM da 14 cm, al cui intradosso sono applicati dei travetti 12x12 cm di legno lamellare, distanziati tra loro di 12 cm.
Questi travetti non hanno funzione portante: sono semplicemente estetici e vanno a creare una controsoffittatura con caratteristiche fonoassorbenti.
I pannelli del solaio sono stati montati dal basso verso l'alto. Il pannello rimane nell'intradosso delle travi. Così facendo, viene appeso alle travi di impalcato, attraverso un sistema di piastre.
La tecnologia dell'impalcato prevede la presenza di una sorta di *scatole aperte*, all'interno delle quali far girare tutta l'impiantistica.
Il vuoto nel quale alloggiano gli impianti viene poi chiuso da un sistema di pavimento galleggiante in gres porcellanato, il quale dà la massima flessibilità all'organizzazione degli ambienti.
Negli appoggi delle travi secondarie sono state realizzate delle scantonature, grazie alle quali è possibile far girare l'impiantistica da un quadrato all'altro della maglia del solaio.

Solaio interpiano - Pannello prefabbricato di tipo P1
Iperceramica Headquarters

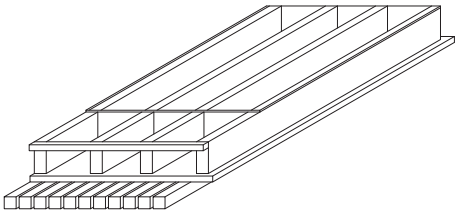
- X-LAM spessore 14 cm: 5 strati (4+2+2+2+4)
- Travetti 12x12/24 cm avvitati al pannello X-LAM di solaio in stabilmento
- Montaggio con sollevamento da sotto



In copertura è presente, ancora una volta, un sistema di pannelli prefabbricati, ma di tipologia differente, in relazione ai diversi carichi.
I pannelli XLAM da 6 cm non hanno funzione portante, ma di controventatura a livello di impalcato. La struttura portante è costituita dalle travi 16x40 cm, con 70 cm di interasse, che vanno a comporre una sorte di pannello preassemblato, posto in opera dal basso verso l'alto. La parte superiore è stata chiusa da uno strato OSB da 1,8 mm.
Il pannello preassemblato è cavo all'interno; a chiudere il pacchetto c'è una doppia guaina.
Il rivestimento di facciata è completamente vetrato, realizzato con un sistema semistrutturale, con profili tipo *Schuco* in alluminio con montanti e traversi di profondità circa 200 mm.
Il modulo della facciata continua è di 1 m di larghezza e 4 m di altezza. Questo è interrotto dal solaio.

Copertura - Pannello prefabbricato di tipo P2
Iperceramica Headquarters

- Travi centrali 16x40 cm
- Travi di bordo 10x40 cm
- Pannello x-lam 6 cm
- OSB 18 mm
- Travetti 12x12 cm all'intradosso



Tutte le facciate e i serramenti esterni garantiscono un valore di trasmittanza inferiore a 1,2 W/m^{2}K.
In corrispondenza dei blocchi tecnici (vano scale, ascensore e w.c.) le vetrate sono state fatte realizzate con l'utilizzo di vetri satinati opachi, in modo da occultare le pareti retrostanti, ma garantire, comunque, continuità della facciata.

© Giovanni de Sandre

La copertura aggettante

Per ridurre l'irraggiamento delle facciate continue in vetro, il progetto prevede la realizzazione di un elemento dal forte impatto estetico: una grande vela di copertura sul bordo esterno delle facciate, in grado di ridurre l'ingresso di luce diretta e, al tempo stesso, la luce naturale uniforme nel tempo diffusa all'interno degli uffici; questa ampia copertura è caratterizzata da diversi sbalzi legati all'orientamento e all'analisi solare, per gestire l'adeguato apporto dell'irraggiamento in funzione dell'esposizione solare e delle esigenze dei singoli fronti.

La pensilina aggettante di copertura sborda, rispetto al filo esterno della facciata, con sbalzi differenti:
- 9 m sul fronte Sud;
- 2,5 m sui fronti Est e Nord;
- 6 m sul fronte Ovest.

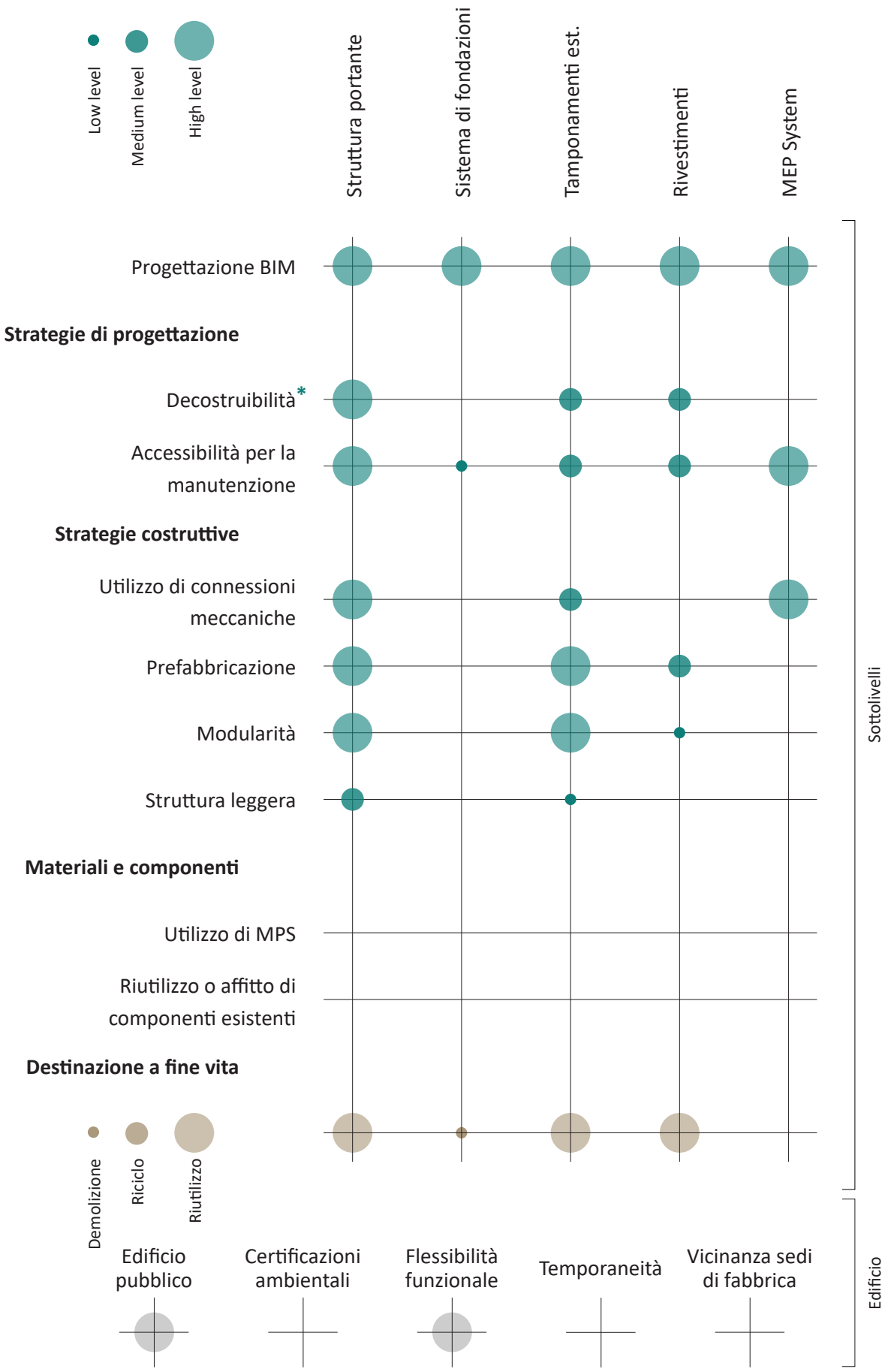
Il fronte Est si trova quasi completamente in ombra, grazie alla presenza di un capannone; il fronte Sud e, soprattutto, il fronte Ovest sono i due prospetti che sono stati più curati e protetti dall'irraggiamento solare.

La pensilina è stata progettata e realizzata con un tessuto plastico microforato, tenuto in tensione da elementi tensori che si collegano alla struttura in acciaio.

La reticolare è fatta da profili HEA 180-120, accordate da coppie di profili OPM.
Si è prevista la realizzazione di un anello reticolare di 2,5 m (pari al perimetro della struttura sottostante) al quale vengono collegate tutte le travi che vanno a creare la pensilina in aggetto.

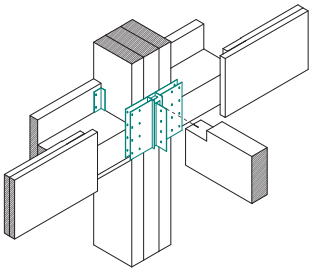
La geometria della pensilina, oltre ad avere aggetti importanti, ha una leggera svasatura verso l'interno, che richiama l'estetica del tronco di piramide rovesciato.
La pensilina rimane parzialmente scollegata dalla struttura e poggia semplicemente su 16 connessioni.
Particolare cura è stata riposta nell'andare a sigillare e impermeabilizzare queste connessioni: il telo della pensilina, tecnico e microforato, dà protezione dall'irraggiamento, ma non garantisce la tenuta ermetica: questa è affidata alle guaine e alla copertura.[84]

84 Intervento di Pierpaolo Casini (Sistem Costruzioni) dal titolo *Spazi in legno per il nuovo headquarter di Iperceramica*, tenutosi durante il Timber Talk *Costruzioni in legno ed architettura* di Assolegno.


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

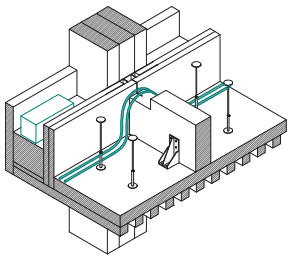
Iperceramica Headquarters
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato il nodo tecnologico trave - pilastro relativo al caso studio Iperceramica Headquarters, dello studio di architettura Mario Cucinella Architetti, localizzato a Fiorano Modenese, in Italia.
L'unicità di questo nodo è data dal complesso sistema di connessioni che lega tutte le componenti, privilegiando i flussi di materia della parte impiantistica, che rimangono nascosti alla vista. Questi sono posizionati internamente nella pavimentazione e nelle travi di bordo.



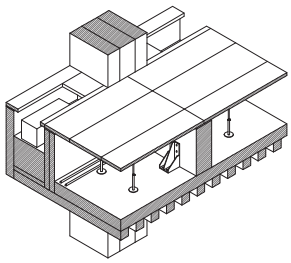
Step 1

Il sistema di ancoraggio a scomparsa costituisce il nodo rigido della struttura, facendo dialogare gli elementi verticali con quelli orizzontali.



Step 2

Le travi di bordo, realizzate mantenendo una parte cava al loro interno, costituiscono un vano per gli elementi degli impianti di condizionamento (fancoil). Le travi interne della struttura sono caratterizzate da delle scanalature che consentono il passaggo del sistema impiantistico da una parte all'altra dei quadrati strutturali.



Step 3

Il pavimento viene sorretto da dei piedini che consentono un accesso diretto alla struttura sottostante, facilitando le operazioni di manutenzione e garantendo la disassemblabilità.

* Tutti gli elementi fuoriterra sono stati progettati per essere smontabili, fattore che ha facilitato la fase di montaggio e favorisce preventivamente il futuro fine vita: infatti, la disassemblabilità è stata progettata, tra le altre cose, per garantire il futuro riutilizzo degli elementi costruttivi.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photographs: Marcel Kultscher

Rigot Collective Dwelling Center

"Un intervento dolce rispetto al contesto"

Darius Golchan, architetto ad Acau

6.1.2 | Rigot Collective Dwelling Center, 2019 (CH)

Floor Area: 7070 m^2

Year: 2019

City: Geneva (CH)

Building Type: Residential

Proprietario: General Hospice

Design Team

Architectural and interior design: acau

Partner: Framework-concept, Bois Initial SA

Project managers: Antoine Dellenbach, Darius Golchan, Enric Rovira

Collaborators: Liliana Teixeira

Landscape: Siteworks

Engineering: Staengl Engineering

Masterplan © acau

Descrizione testuale fornita dagli architetti.

Il progetto si trova nel parco Rigot a Ginevra, lungo l'Avenue de France, vicino alla scuola Sismondi. La scelta dell'ubicazione nel parco è stata spinta da un provvedimento urgente e provvisorio, volto ad accogliere 370 migranti. Il progetto consiste in due edifici simmetrici di 5 livelli, realizzati con 230 moduli prefabbricati in legno. Le due unità si trovano una di fronte all'altra nel parco Rigot, lungo l'avenue de France, in linea con l'Opéra des Nations. Nel parco c'è anche l'importante monumento a Nelson Mandela, di Leonardo Muralt.

L'impronta di ogni edificio è di 781 m^2 e l'intero progetto ricopre una superficie di 7070 m^2. Nel 2015, quando la Svizzera ha dovuto rispondere all'aumento della domanda di accoglienza dei profughi, il Consiglio di Stato di Ginevra ha avviato misure urgenti per realizzare diversi rifugi.

Il progetto è stato realizzato nell'ambito di una misura di emergenza. L'utilizzo degli edifici è previsto per dieci anni in questo sito, alla fine dei quali saranno smantellati e ricostruiti altrove.

10-11 février 2018

Un foyer pour migrants dans la Genève internationale

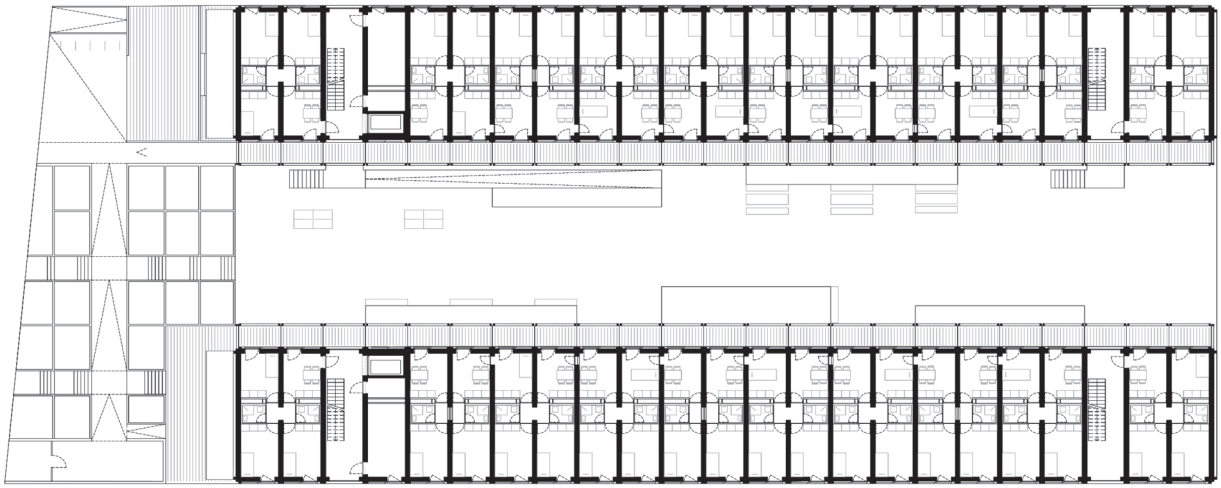
Les travaux du futur centre d'hébergement collectif pour requérants d'asile aux Nations ont débuté vendredi

Article de Céline Garcin, entretien avec Michael Moeller, Directeur général de l'ONU à Genève.

Les travaux du nouveau centre d'hébergement collectif pour migrants ont démarré à la campagne Rigot, dans le quartier des Nations. Le premier pieu de fondation a été battu vendredi matin. Il s'agit de la première réalisation concrète de la task force mise sur pied par le Canton en juin 2015 pour trouver des solutions décentes où loger les requérants d'asile et éviter le recours aux abris PC.
L'emplacement du futur foyer est hautement symbolique. Situé à la fois à deux pas de l'ONU, devant le mémorial en hommage à Nelson Mandela, à côté de la Maison de la paix et en face du Haut-Commissariat pour les réfugiés, le centre se trouvera au cœur de la Genève internationale. Le directeur général de l'ONU à Genève, Michael Moeller, et Pascale Moreau, du Haut-Commissariat pour les réfugiés, sont ainsi venus en personne «souhaiter la bienvenue» à leurs nouveaux voisins. «Ce chantier comble un manque, a souligné Michael Moeller. Jusqu'à présent, les victimes soutenues par les organisations internationales du quartier étaient loin de la Genève internationale.» Lors de leurs diverses allocutions, les représentants des autorités genevoises ont rappelé la tradition d'accueil de Genève. Mauro Poggia, conseiller d'État chargé des Affaires sociales, n'a toutefois pas caché la difficulté de mettre sur pied le projet qui démarre aujourd'hui. «L'État a dû composer avec des avis de tempête et des vents contraires», a-t-il diplomatiquement formulé.

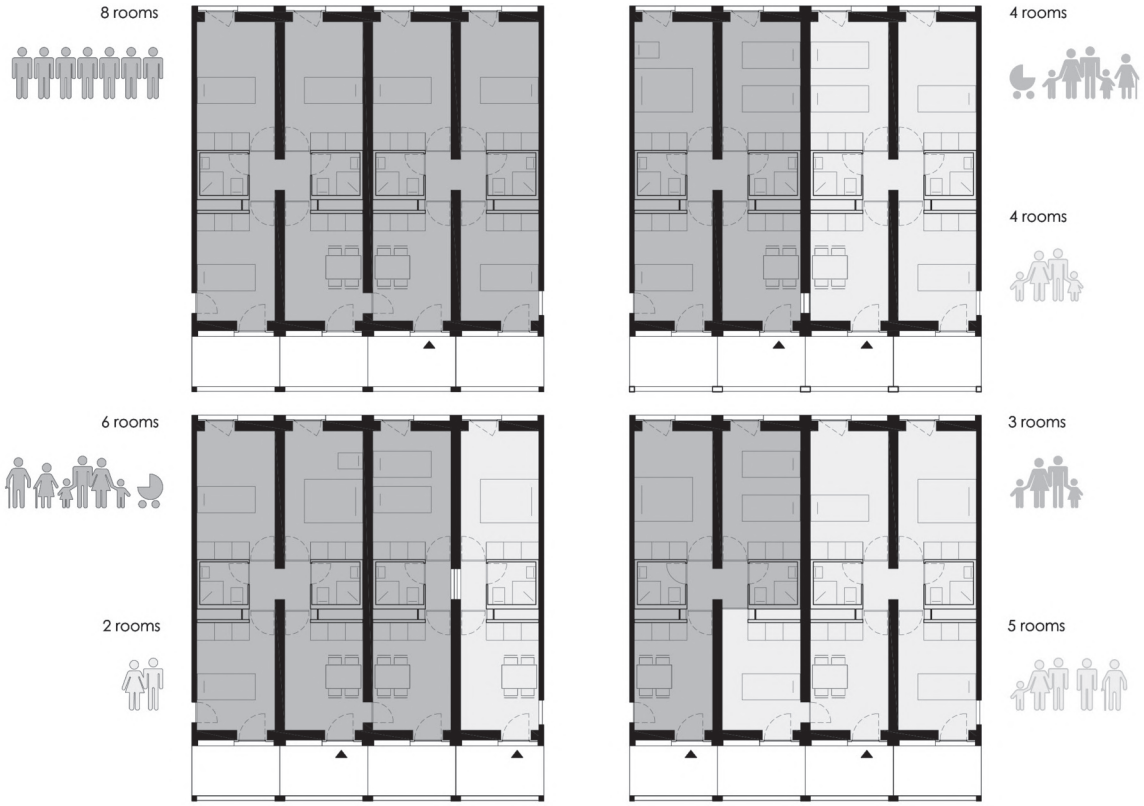
Futur centre d'hébergement collectif et modulable pour migrants

Genève X Le chantier du centre d'hébergement collectif pour migrants de Rigot a officiellement démarré vendredi. Issu de la task force du Conseil d'Etat, ce projet novateur accueillera 370 personnes, des familles ou des personnes seules. Les espaces seront modulables.
«Ce projet est la première réalisation concrète de la task force. Il traduit la volonté du Conseil d'Etat de loger décemment les migrants», a salué le directeur général de l'Hospice général Christophe Girod. La task force avait été constituée en juin 2015, quand le nombre d'arri- vants connaissait une hausse soudaine. Le canton devait les loger en urgence dans des abris de protection civile.
Proche des Nations unies et en face de l'office du Haut Commissaire pour les ré- fugiés, le foyer de Rigot se situe dans un lieu emblématique, a aussi relevé M. Girod. Un avis partagé par Pascale Moreau, directrice du bureau pour l'Europe de cet office, par Michael Møller, directeur gé- néral de l'ONU à Genève, et par le maire de la Ville de Genève Rémy Pagani, qui ont salué les efforts du canton. Le dernier abri a été fermé le 23 janvier. «Les abris PCi ne sont pas une solution sur la durée», a répété le conseiller d'Etat Mauro Poggia, magistrat de tutelle de l'Hospice général. Le canton, qui a cherché des solutions de logement pé- renne pour les personnes relevant du domaine de l'asile, ne veut pas être obligé d'agir dans la précipitation a-t-il relevé. Les projets d'hébergement de Rigot, du chemin du Bac à Lancy (90 places) et de BelleIdée à Thônex (370) remplaceront les foyers d'Appia, des Tilleuls et de Franck-Thomas, qui fermeront prochainement. Selon M. Poggia, ils doivent permettre de répondre à la problématique de l'accueil des réfugiés pour une dizaine d'années.
Vendredi, le premier pieu de fondation du centre de Rigot a été planté. Les deux bâtiments de quatre étages sur rez-de- chaussée seront constitués d'éléments préfabriqués. Modulables, les appartements, de la taille d'un studio à celle d'un quatrepièces, varieront en fonction des besoins. La structure en bois, démontable et réutilisable, pourra être assemblée selon les sites disponibles.
Autre spécificité de ce centre: l'accent mis sur la dimension sociale. Des locaux communs accueilleront des activités de formation et de service pour migrants. L'objectif est aussi de poursuivre et d'améliorer l'implication des associations et des bénévoles du foyer d'Appia, dans le même quartier. Des potagers urbains pourraient être exploités avec le voisinage.



Pianta piano tipo © acau

L'alloggio tipo è distribuito da passaggi che si aprono su una corte che dà accesso al parco e agli orti. I piani terra sono dedicati ad alloggi adatti alle persone a mobilità ridotta e a locali comuni che ospitano attività di formazione e servizi sociali.
La modularità degli appartamenti e delle loro suddivisioni permette anche di ricreare differenti scenari abitativi a seconda delle necessità delle famiglie che li abitano.



Concept moduli abitativi © acau

Il progetto

Il progetto è composto da due edifici simmetrici che si sviluppano su 5 piani fuori terra. Questi sono composti da moduli prefabbricati, sovrapposti a formare la maglia di alloggi. Alle abitazioni si accede da un ballatoio esterno aperto su un cortile pubblico, che collega la fermata del tram Sismondi al parco del Rigot.
La struttura dei due edifici è stata ideata per esprimere un'estetica razionale, essenza del progetto.
I lavori per la costruzione del Rigot Collective Dwelling Center sono iniziati nel gennaio del 2018 e si sono conclusi nella primavera del 2019, per un totale di 18 mesi di cantiere[85].

Gli edifici sono stati progettati in vista di una permanenza di 10 anni nel lotto, dopo i quali verranno trasferiti e il sito tornerà al suo stato originale. Anticipando il ripristino del sito e il riciclo dei materiali al momento della rimozione, le fondazioni sono in legno e possono essere riutilizzate nel successivo cantiere.
Come viene descritto da UrbanNext, nell'articolo dedicato al Rigot Center di Acau, attraverso la sua modalità costruttiva, il progetto mira a limitare il proprio impatto ambientale a varie scale.

85 Viene riportato il link per accedere al video che presenta l'intero lavoro di cantiere del centro di accoglienza Rigot, in 90 secondi: https://youtu.be/DTXKznD4u24

Scala globale.
Il progetto risponde alla necessità corrente ospitando persone provenienti da popolazioni vulnerabili, sfollate a causa della migrazione forzata.

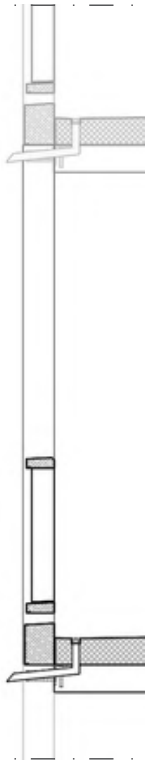
Scala sociale.
L'obiettivo dell'Hospice Générale e del Conseil d'Etat di elaborare un progetto esemplare, rafforza il suo credo di facilitare l'integrazione attraverso alloggi di qualità. Il carattere dell'edificio, determinato dall'uso del legno naturale, trasmette un'immagine positiva con cui i residenti possono identificarsi.

Scala umana.
Il progetto anticipa la specificità di una popolazione che non sempre rispecchia la tipica coppia con due figli. Per rispondere all'aumento e alla diminuzione della domanda, il progetto propone tipologie di appartamenti in evoluzione.

"Il progetto è stato facilitato dalla generosità del popolo".

Darius Golchan, architetto ad Acau

La struttura



Il sistema costruttivo adottato per la costruzione dei due edifici permette di modificare le tipologie degli appartamenti in maniera funzionale e modulare.
UrbanNext, nell'articolo dedicato al Rigot Center di Acau, prosegue spiegando l'aspetto statico e strutturale dell'edificio in analisi.
La struttura è stata costruita su fondazioni in legno, senza anime verticali rigide in calcestruzzo.
La statica dell'edificio è assicurata da due principi fondamentali:

- Il recupero dei carichi verticali garantito dalla sovrapposizione delle pareti GLC dei moduli;
- Il recupero delle forze orizzontali garantite dall'assemblaggio di telai rigidi, in massello di larice sulle facciate.

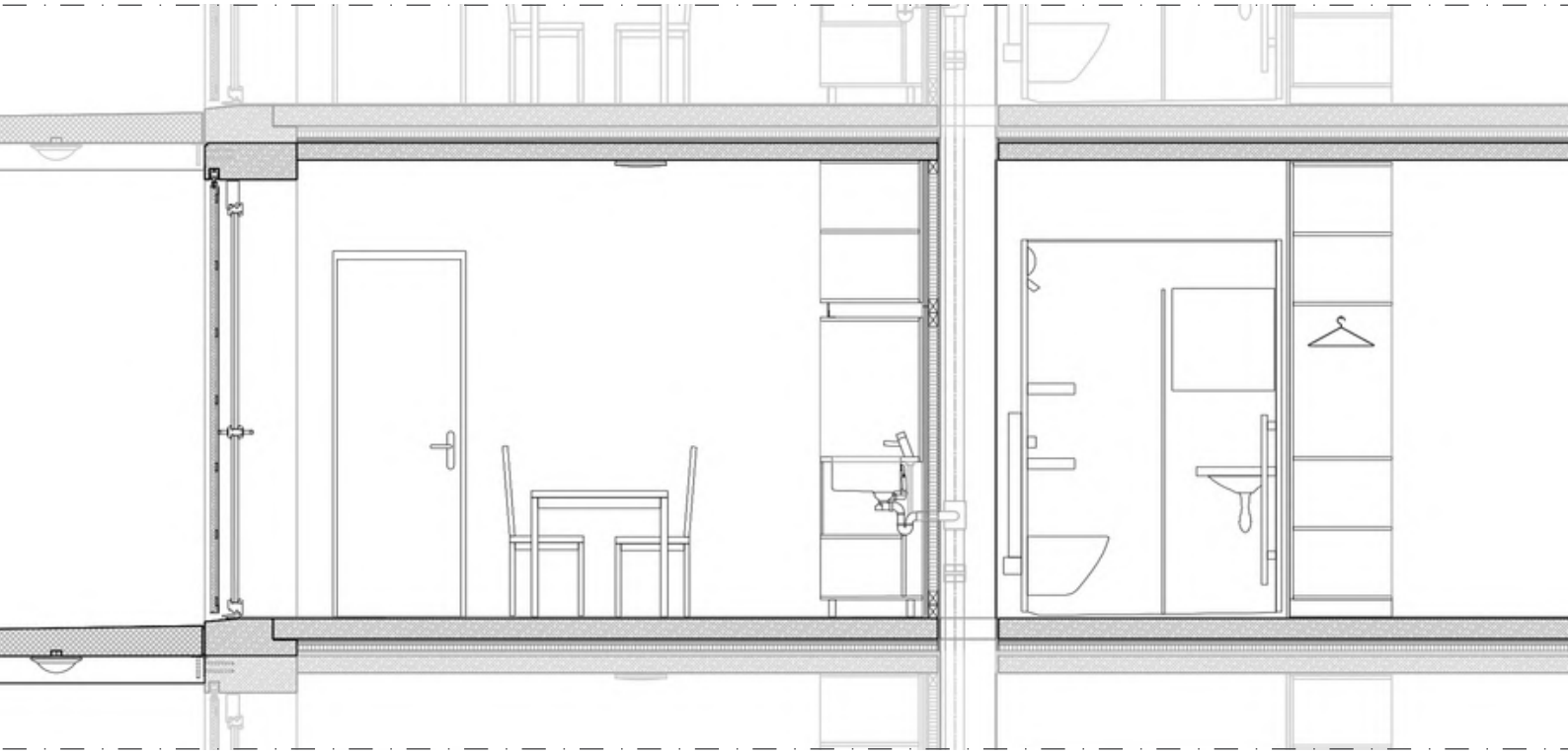
La robustezza dei moduli, composti da pannelli GLC, contribuisce alla resistenza al fuoco e garantisce un'elevata efficienza in fase di smontaggio e rimontaggio. L'assemblaggio dei moduli avviene mediante perni bullonati, cosa che esclude qualsiasi intervento di alterazione delle finiture interne o esterne durante lo smontaggio.
La prefabbricazione e la consegna dei moduli finiti è stato un punto chiave e determinante per la pianificazione del cantiere.

Economia

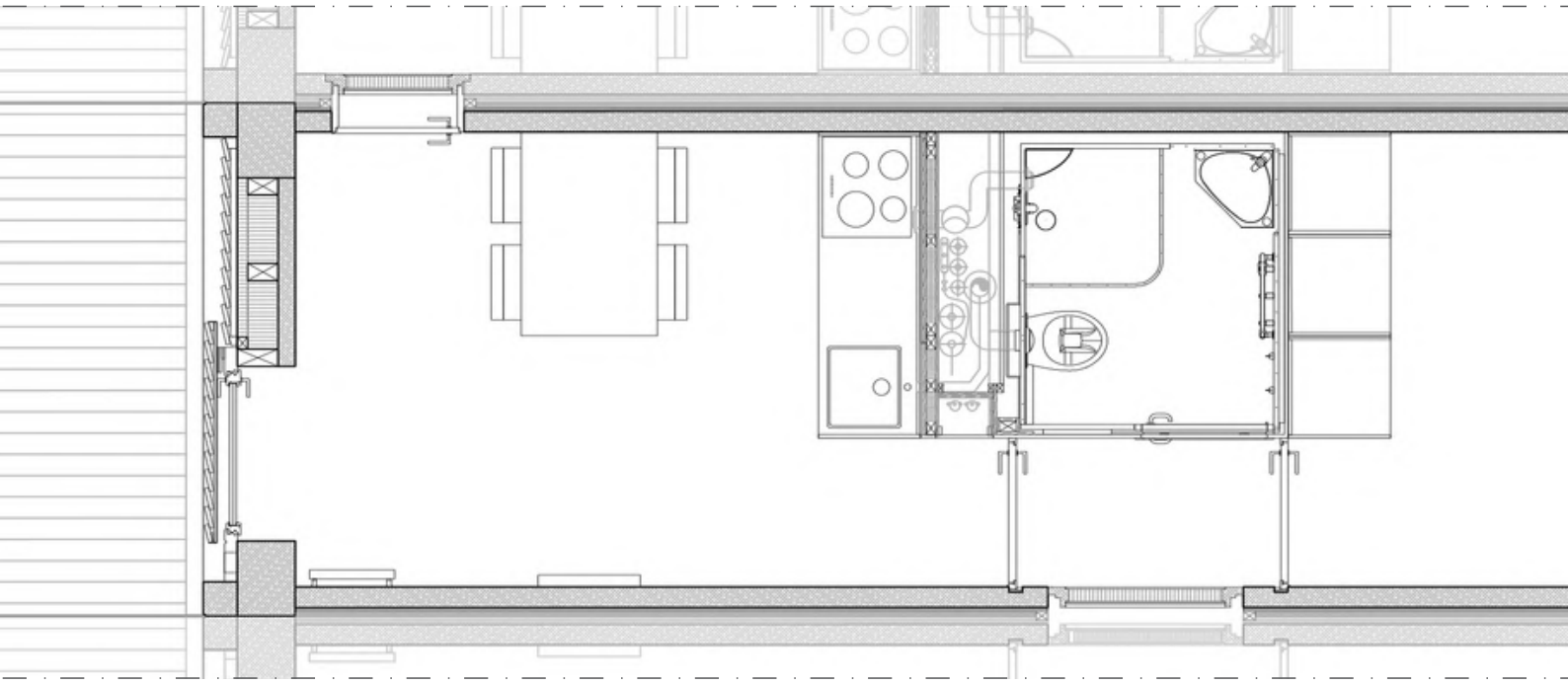
L'organizzazione portata avanti, che ha previsto tre cantieri in parallelo, quali quello delle fondazioni, della prefabbricazione dei moduli e quello del montaggio e finitura, ha permesso di realizzare il progetto in tempi brevi.
L'uso del legno delle foreste ginevrine per la struttura del progetto è stato un altro aspetto importante nell'economia del lavoro, che ha ridotto drasticamente gli impatti ambientali derivanti dal trasporto dei materiali da fabbriche o locali di vendita più lontani. Un altro impatto positivo che ha portato l'utilizzo del legno delle foreste ginevrine è stato quello di smuovere l'economia locale per tutti gli attori del settore, dall'abbattimento degli alberi alla posa delle strutture, includendoli nel fitto tessuto delle imprese regionali.
Questo approccio ha un alto valore aggiunto poiché 1 m^3 di legno autoctono può creare 40 ore di lavoro, ovvero dal 35 al 40% in più rispetto ai materiali concorrenti, quali cemento e acciaio.

"think global / act local".

La filosofia dello sviluppo sostenibile



Sezione modulo abitativo © acau



Pianta modulo abitativo © acau

© Marcel Kultscher e Enric Rovira

Valorizzazione del legno di Ginevra

L'utilizzo del legno delle foreste ginevrine per la struttura dell'edificio è una scelta che permane fin dalle prime fasi progettuali. Utilizzare il legno locale ha portato al coinvolgimento dei produttori locali del legname, con conseguente riduzione dell'*energia grigia*.
L'intero progetto integra gli obiettivi di risparmio energetico incorporati. La modalità di costruzione degli edifici fa parte di un programma di valorizzazione delle risorse forestali locali.
Le fondazioni sono costituite da pali di larice della foresta di Ginevra; i solai di abete rosso dei boschi del Giura; ogni modulo prefabbricato è stato realizzato con pannelli di legno tipo BLC da foreste svizzere; il rivestimento dell'involucro degli edifici e l'arredo urbano sono realizzati in rovere.

Per la fornitura dei volumi di legname è stata avviata una stretta collaborazione con gli attori dell'industria locale del legno: forestali, segatori, falegnami e falegnami BLC, tutti sono stati coinvolti in un processo di promozione delle risorse locali.
Il progetto ha richiesto una elevata domanda di legno da utilizzare per la costruzione, la cui quantità è stata stimata intorno ai 3200 m³ di legno etichettato *Swiss Wood Label (ex COBS)*, fatta eccezione per le cornici in larice che irrigidiscono la facciata.
Per conservare un aspetto razionale della struttura è stato scelto di percorrere una strategia di lavorazione precisa, partendo dalla fornitura di un'unica dimensione di tavole segate grezze. Pertanto, la composizione della facciata e l'esecuzione di una parte degli impianti esterni si basano su questo approccio.
La scelta di fare riferimento alle risorse forestali svizzere è nata anche dalle alte prestazioni di legno tenero e legno duro, materiali da costruzione ricavati dalle foreste locali.

La scelta progettuale del legno viene descritta come ***"un modo per promuovere il bosco di Ginevra e per avere interlocutori diretti. Questi hanno permesso di controllare effettivamente la qualità dei materiali utilizzati e l'intero progetto"[86].***

86 HAWORTH, *Case Study HITT Contracting CO|Lab*

Darius Golchan, architetto ad Acau

© Marcel Kultscher e Enric Rovira

(Immagine) © Marcel Kultscher

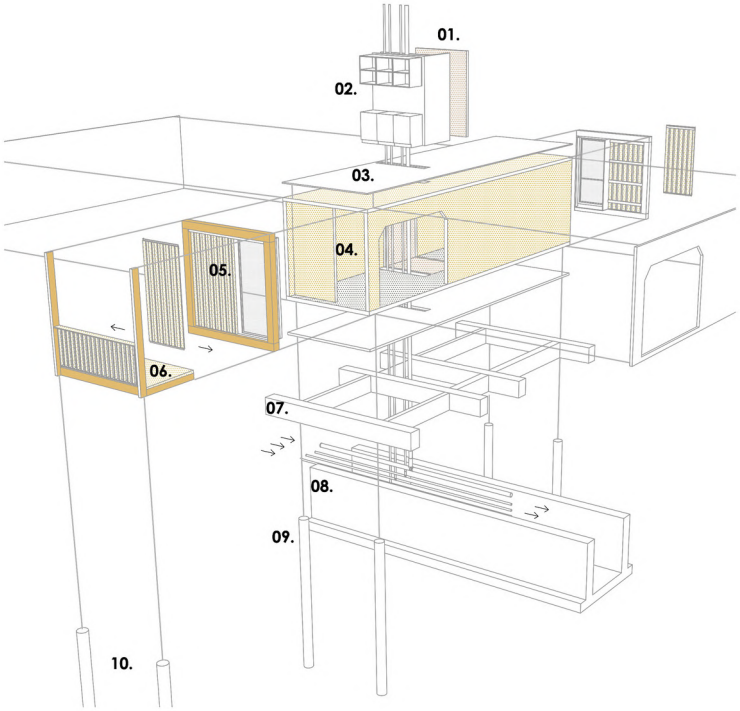
Sezione trasversale © acau

La fondazione del Rigot Center è costituita da una rete di pali e basi in legno che penetrano nel terreno, conferendo rigidità all'intera struttura di elevazione. Come mostra la sezione soprastante, la struttura è costituita da pali di notevole lunghezza, circa 5 m di altezza e 25-30 cm di diametro.
La struttura della fondazione è completamente a secco, di conseguenza evita qualsiasi contaminazione della rete idrica superficiale durante la costruzione e libera il processo dall'onere del riciclaggio del calcestruzzo nella fase di smantellamento.

Terminati i 10 anni di attività della struttura sul lotto, le fondazioni in legno rappresentano un ulteriore punto di forza: anticipano il risanamento del sito e possono essere riutilizzate nel successivo cantiere, riducendo l'impatto del progetto sul terreno e sul sistema economico dei materiali.

© Marcel Kultscher e Enric Rovira

1. module salle de bain préfabriqué
2. module cuisine mobile
3. isolant acoustique et couche coupe-feu
4. module préfabriqué
5. faÇade module préfabriqué
6. coursive préfabriqué
7. grille de répartition
8. galerie technique
9. pieux de fondation module
10. pieux de fondation coursive



Esploso strutturale del modulo abitativo verso la fondazione © acau

Il progetto anticipa lo stato di una popolazione che è in continuo cambiamento, sia culturale, sia demografico. In previsione di una risposta efficace al crescere e al calare della domanda, i progettisti hanno ideato un sistema modulare in grado di adattarsi a tutte le necessità.
La modularità è intrinseca nei moduli abitativi destinati ad accogliere le famiglie. Il sistema modulare permette di variare le unità abitative da 2 a 8 stanze attraverso un gioco di porte tagliafuoco o la riconversione degli spazi cucina in camera da letto.
La modularità degli appartamenti e la loro distribuzione interna portano la struttura ad essere flessibile rispetto ad altre destinazioni d'uso, come l'industria alberghiera o la residenza per studenti. L'insieme della composizione dei moduli prefabbricati consentirà la creazione di edifici con volumetria diversa per le sue future ricostruzioni.
Per la costruzione dei moduli sono state usate delle staffe in legno massello, incrementando la circolarità della costruzione.

(Immagine) Rimozione pavimentazione

(Immagine) Montaggio struttura

(Immagine) Prototipo del modulo

(Immagine) Montaggio pannelli

(Immagine) Moduli

(Immagine) Interni

(Immagine) Dislocamento serramenti

(Immagine) Operazioni di montaggio

(Immagini) Intervista a Jean-Marc Ducret, direttore di JPF-Ducret SA , nel sito di assemblaggio di Yverdon, 2018

"Alla fine del progetto ci siamo resi conto che l'aspetto più critico della costruzione è determinato dalla produzione dei moduli, piuttosto che dal loro assemblaggio. Il tempo necessario per la posa delle fondazioni, in un terreno umido e con condizioni climatiche difficili, ha pesato sul programma complessivo dei lavori."[87]

87 VIDEO Intervista a Jean-Marc Ducret, direttore di JPF-Ducret SA , nel sito di assemblaggio di Yverdon

La prefabbricazione dei moduli abitativi, rappresentanti una grande quantità della struttura del Rigot Center, ha garantito un'accurata gestione del cantiere e delle tempistiche di costruzione.
Come descritto precedentemente, avere tre cantieri avviati in parallelo, ha consentito di completare il progetto in tempi brevi, rispetto agli standard per edifici di tali dimensioni.
Ci sono voluti all'incirca 2-3 mesi per il montaggio *in loco* dei moduli con le finiture, simbolo di un'ottima organizzazione tempistica di cantiere e industriale.

Ogni modulo abitativo ha una superficie abitabile di circa 30 m^2 di superficie. Ogni abitazione è autonoma: è dotata di una cucina e di un blocco sanitario privato.
I moduli sono arrivati al parco Rigot, a Ginevra, già rifiniti di tutte le componenti necessarie, come servizi sanitari, rivestimenti interni, elettricità esterna, etc.
Per questo motivo è stato essenziale coordinare il corpo dei lavoratori in modo tale che, una volta completato il posizionamento dei singoli moduli uno sull'altro, questi fossero collegati uno all'altro per quanto riguarda la corrente e gli altri servizi.

(Immagine) Interni

(Immagine) Stanze modulari

(Immagini) ShareYourGreenDesign, *Rigot Collective Dwelling Centre*

La riciclabilità

L'ottimizzazione del prodotto offerto dalla prefabbricazione riduce il volume delle materie prime coinvolte. Il riciclaggio diviene l'essenza del progetto.
Basandosi sul presupposto positivo che l'alloggio dei rifugiati dovrebbe essere temporaneo, l'esecuzione del progetto integra i principi del riciclaggio a tutte le scale. Una volta smontati, i moduli prefabbricati sono riutilizzabili in siti che non forniscono la stessa superficie al suolo di Rigot. È probabile che, nel lungo periodo, la risorsa offerta dai 230 moduli che compongono il progetto sarà utilizzata per realizzare progetti con volumi e vocazioni differenti.

88 ivi ***"Un intervento dolce rispetto al contesto"[88].***

Darius Golchan, architetto ad Acau

Durante l'intervista sul sito di Rigot, prosegue l'architetto, "abbiamo proposto di fare un cantiere *zero-concrete*, per intervenire solo con i materiali durevoli, riciclabili e che possano essere portati via e spostati per un nuovo progetto costruito altrove;
89 ivi quindi, abbiamo scelto di utilizzare il legno".[89]

(Immagine) © Marcel Kultscher e Enric Rovira

Constuction foundations
Wooden foundations

1. larch piles
2. technical gallery
3. grid of distribution

Building assemblage
Prefabrcated module

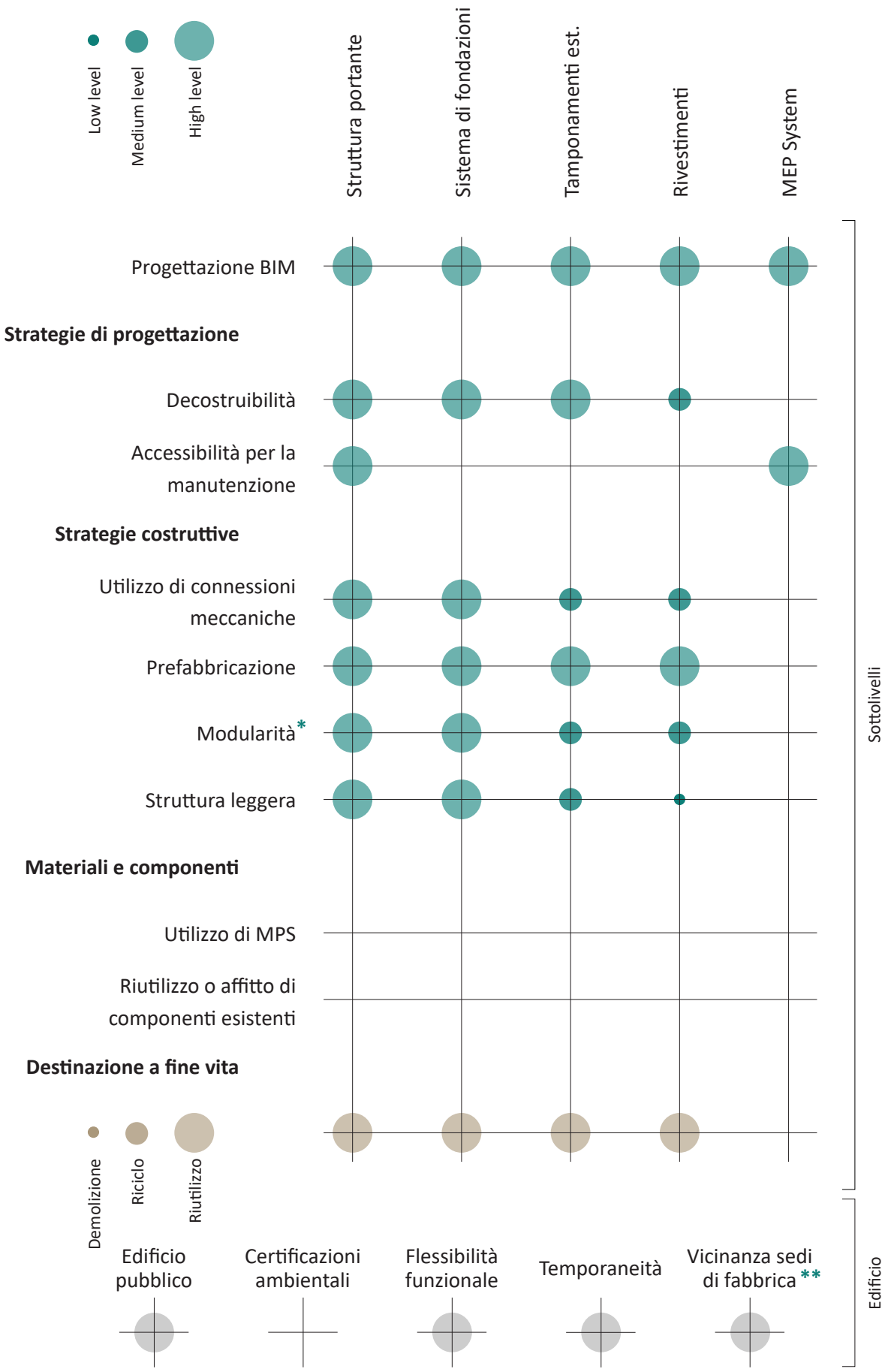
1. wall & celing in GLC wood
2. slab in CLT wood
3. facade in swiss oak
4. Prefabricated gallery module

Disassembly & back to original site

1. Disassembly of gallery modules
2. Disassembly of technical gallery
3. Leaving of larch piles to original site

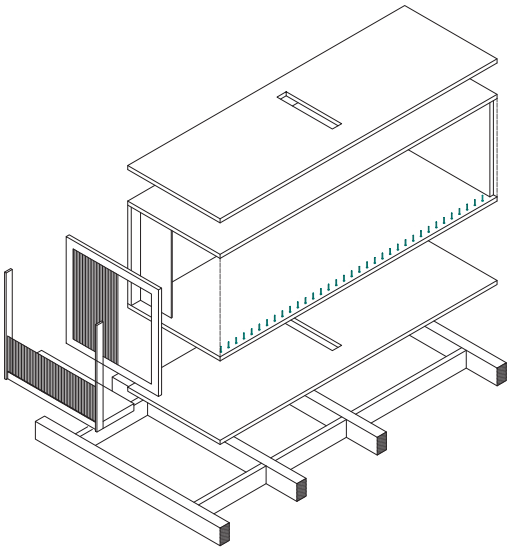
Schema concettuale del principio strutturale © acau

(Immagine) © Marcel Kultscher e Enric Rovira


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità*
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica**
Edificio

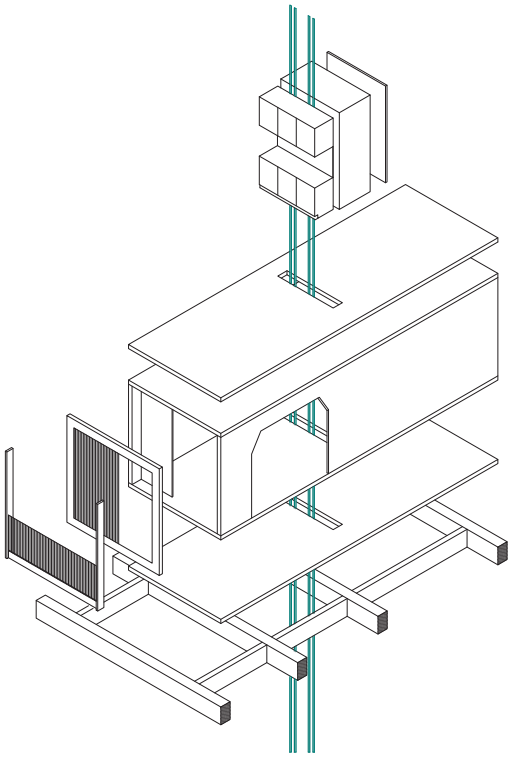
Rigot Collective Dwelling Center
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato uno schema riassuntivo relativo al caso studio Rigot Collective Dwelling Center, dello studio di architettura acau, localizzato a Ginevra, in Svizzera.
Tale schematizzazione ha lo scopo di mettere in evidenza alcuni elementi chiave che dimostrano la disassemblabilità dell'edificio, in questo caso la chiodatura delle pareti sui solai e l'inserimento degli impianti nelle fessure lasciate appositamente nelle componenti prefabbricate.



Step 1

Nel primo step si possono osservare, in un esploso assonometrico, le componenti di involucro del modulo abitativo.
Un elemento di interesse sono i chiodi presenti nel solaio, che garantiranno il montaggio delle pareti.



Step 2

Nello step 2 si può, invece, osservare un focus sulla parte impiantistica. Contemporaneamente al montaggio delle componenti di involucro, grazie ad apposite fessure, si portano in ambiente anche le componenti impiantistiche, insieme ai relativi arredi (cucina/bagno).

* La modularità è un criterio che viene seguito in fase progettuale sia per la velocità di realizzazione, sia per facilitare lo smontaggio delle componenti.

** L'utilizzo del legno delle foreste ginevrine per la struttura dell'edificio è stato determinante nell'accorciare le distanze al sito di fornitura dei materiali costruttivi; di conseguenza, si è avuta una riduzione dell'energia grigia derivante dai processi.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photograph: Clément Guillame
Wooden Nursery
"Modulare e nomade, l'edificio è progettato per essere smontato, spostato e rimontato".
Djuric Tardio Architects

6.1.3 | Wooden Nursery, 2020 (FR)

Floor Area: 525 m^2

Year: 2020

City: Paris (FR)

Building Type: Elementary & middle school

Client: DFPE

Design Team

Architects: Djuric Tardio Architectes

Project Team: Clara Hernande, Pauline Mariez, Henri Delion and Léa Morel

Mechanical & Electrical Engineer : FACEA

Acoustics: Avel Acoustique

Structural Engineering: Bollinger + Grohmann

Construction: Henri Delion, Léa Morel

Economist: VPEAS

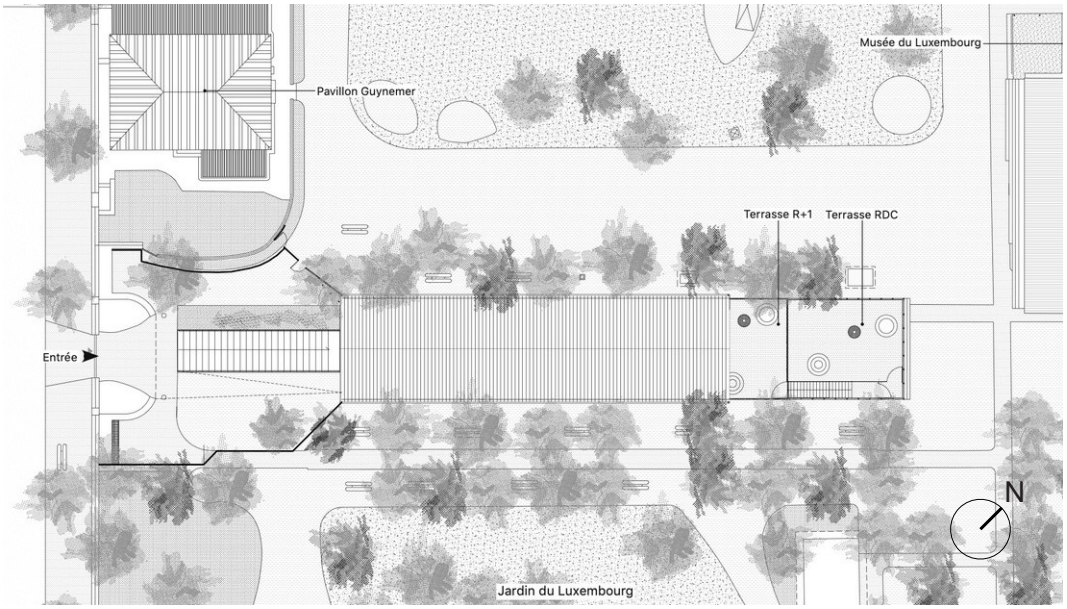
M&E Engineer: FACEA

Budget: 1,880,000 dollars (excl. VAT)

Dates: Competition- 2017.

Construction- 5 months.

Delivery- August 2019.



Masterplan di progetto © Djuric Tardio Architectes

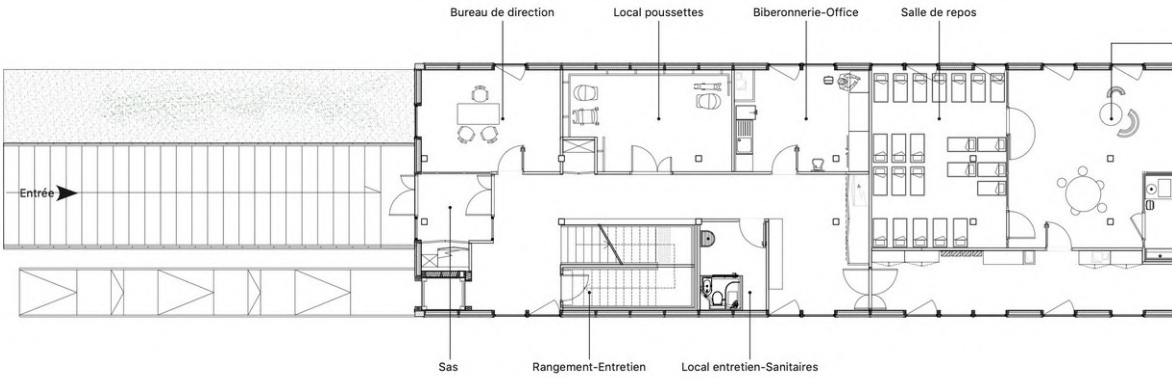
Descrizione fornita dagli architetti.
Djuric Tardio Architectes ha completato il progetto per l'asilo nido removibile e ricostruibile, completamente in legno, che era stato ideato per essere collocato all'interno dei Luxembourg Gardens: uno dei luoghi più popolari di Parigi, sia per i parigini che per i turisti.

La costruzione è temporanea, in quanto l'edificio verrà smontato e riassemblato in un'altra area, sempre a Parigi, ma con un'altra configurazione: questa rimane, infatti, libera, grazie al fatto che i moduli sono intercambiabili e identici fra loro.
Il sito nel quale si trova attualmente l'edificio modulare tornerà alle sue condizioni iniziali entro due anni.

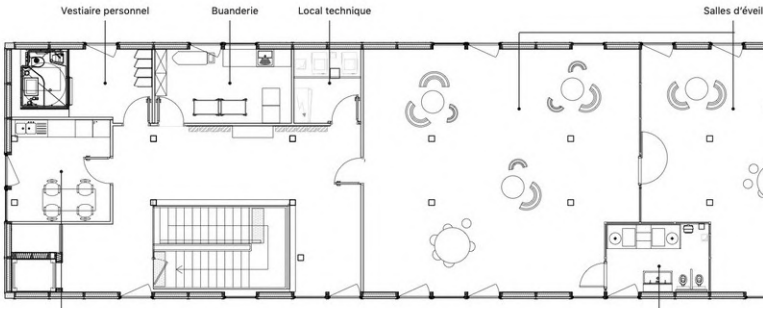
La proposta costruttiva offre una soluzione tecnica che mette in discussione i processi produttivi dell'industria del legno: in questo caso, la scelta del legno diventa primaria perchè si possa effettivamente applicare l'idea di modularità e decostruibilità che gli architetti ricercavano.

Il concept progettuale applicato dagli Djuric Tardio Architectes, in questo edificio di 525 m^2, ha come obiettivo finale quello di esplorare le possibilità offerte dalla prefabbricazione nell'ambito della costruzione in legno, insieme alla volontà di dimostrare la facilità di assemblaggio (e disassemblaggio) e la qualità derivante da ciò. Questo, in ragione della volontà degli architetti di diffondere i vantaggi derivanti dalla realizzazione di edifici rapidi da assemblare, reversibili e con alte prestazioni termiche.

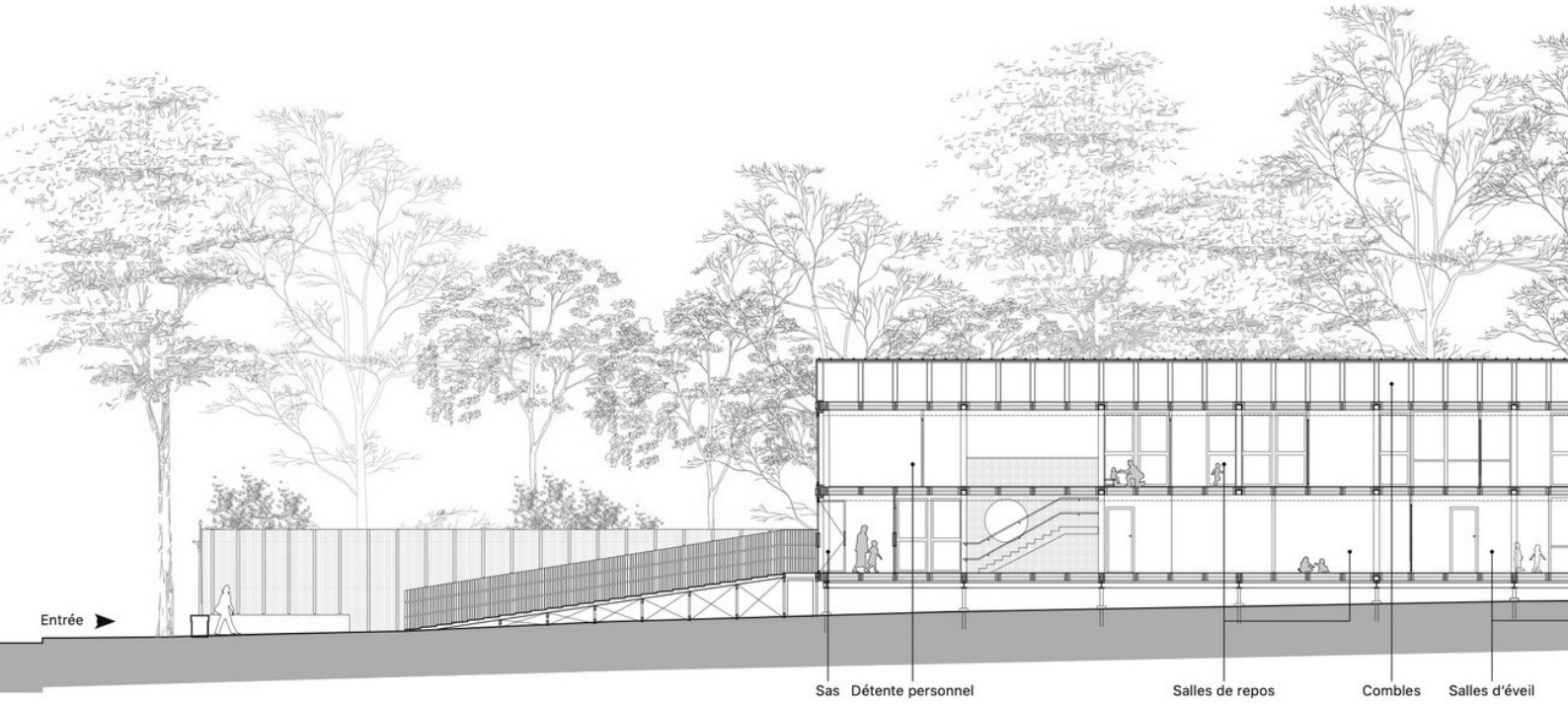
Le Jardin du
LUXEMBOUR



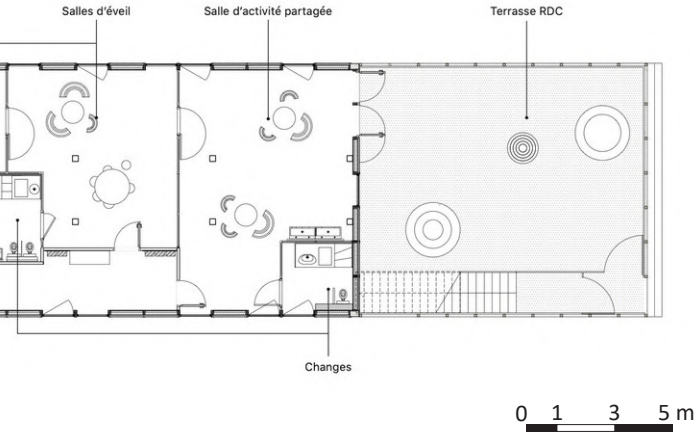
Pianta piano terra © Djuric Tardio Architectes

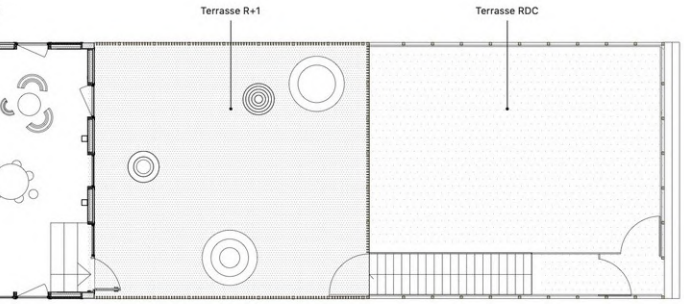


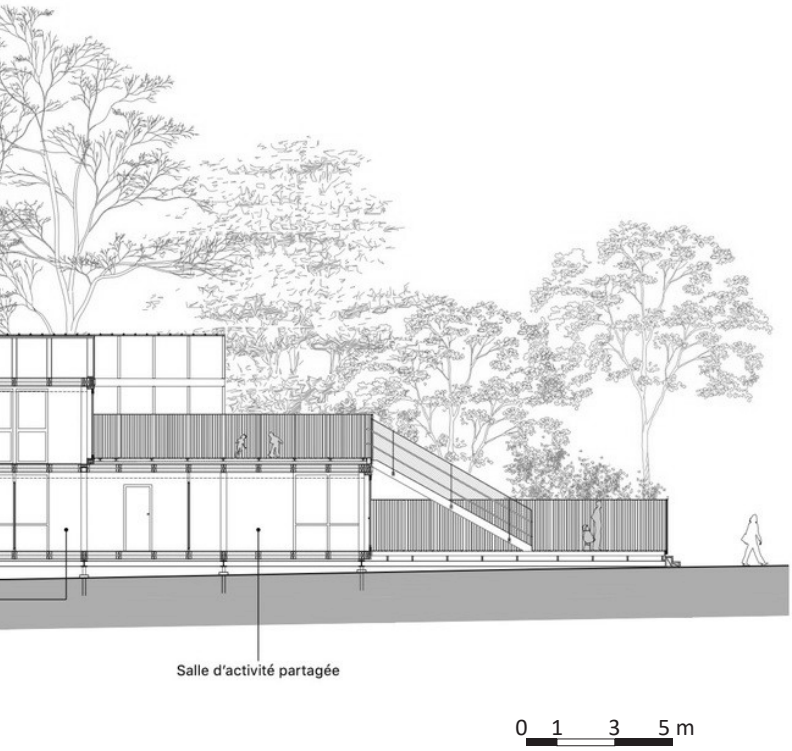
Pianta piano primo © Djuric Tardio Architectes



Sezione longitudinale © Djuric Tardio Architectes







La struttura portante metallica è ispirata ai portici di Jean Prouvé[91]; lo studio di questa stessa struttura permette un velocissimo montaggio dei moduli autoportanti, utilizzando metodi di assemblaggio presi in prestito dalla tradizione giapponese.

Le istituzioni francesi hanno reso disponibile alla città di Parigi un'area dei Jardin du Luxembourg, non distante dal Rue Guynemer.

ato e in pendenza, nel quale i alberi non potevano essere do intaccate dalle attività di si trova al di sopra di cave a profondità di circa 15 m. izione minacciava la stabilità e degli alberi stessi.

costruzione temporanea dell'asilo lo ha fornito agli organi istituzionali la ssibilità di riempire queste pericolose vità sottostanti.

ito verrà riportato allo stato iniziale in tempo massimo di due anni, grazie a costruzione delle fondazioni con sistema a micropali (come si può servare in sezione).

91 Gli alloggi progettati da J. Prouvé seguivano il principio dei *portici* brevettato nel 1939 e utilizzato in numerosi progetti post-bellici. Un esempio è la a Maison Métropole, risalente al 1948. Adattabile a diversi siti, fu concepita in due dimensioni: 8x8 m e 8x12 m.
La sua struttura, interamente d'acciaio, comprendeva due ingressi portanti che definivano lo spazio interno, pur lasciando totale libertà nella disposizione degli elementi.

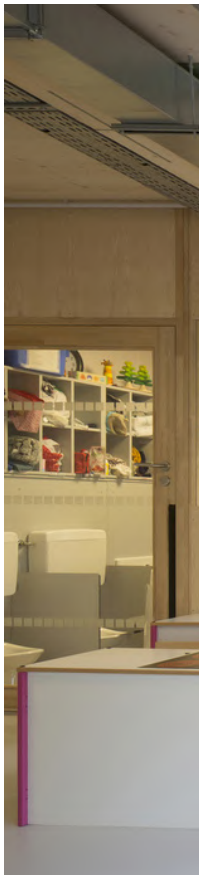
(Immagini) Domusweb, *"The Finest Metalsmith": Jean Prouvé in Turin*, 2013

Programma

Il concept progettuale è derivato da una fase di ricerca e sviluppo tecnologico da parte dei progettisti.
La richiesta di proposte di edifici modulari e removibili avanzata dal governo municipale di Parigi è stata l'occasione per implementare questo sistema per realizzare un asilo nido che conta in tutto quarantotto culle.
Modulare e nomade, l'edificio è progettato per essere smontato, spostato e rimontato.
Inaugurato nel *VI arrondissment*, dove si è prevista la sua permanenza per due anni, la ricollocazione è prevista all'interno del *XIII arrondissement*.

Approccio architettonico

Il Jardin du Luxembourg è un luogo eccezionale. Pertanto, l'edificio ha dovuto tener conto del vincolo di un'esistenza a breve termine e dell'esigenza di un inserimento armonico all'interno del contesto.
Questo edificio ad alte prestazioni e di natura prevalentemente biologica è

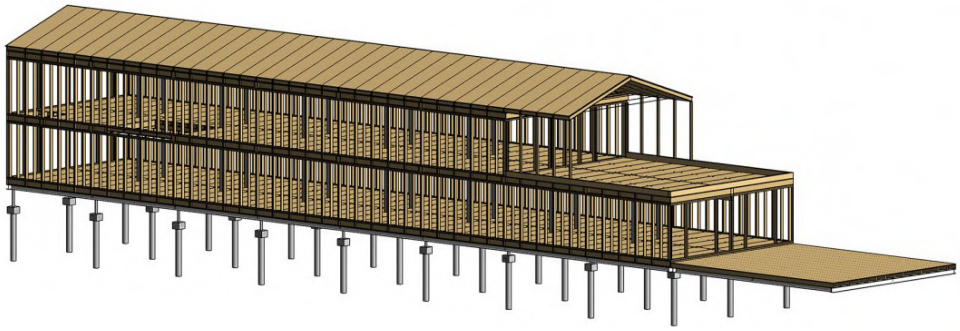


(Immagine) © Clément Guillame

stato progettato, anche per questo motivo, essendo guidato dal principio della reversibilità.
Può essere completamente riconfigurato per essere utilizzato con questo scopo o con altri (alloggi di emergenza, uffici, etc.), al fine di soddisfare nuove esigenze e usi futuri.
Le componenti strutturali sono completamente prefabbricate nel sito di produzione e, ugualmente, gli elementi divisori interni e le *utilities* sono modulari.
Il *design* interno è pensato per essere funzionale, in termini di smontabilità, ma questo non comporta la perdita di qualità dal punto di vista estetico o del comfort. Pur lasciando a vista componenti impiantistiche, strutturali o acustiche, la struttura mantiene un aspetto piacevole e un'organizzazione interna adatta alla frequentazione dei bambini.
Un aspetto interessante da osservare, che passa in primo piano in un'osservazione critica degli ambienti interni, è il fatto che le parti di giunzione tra una componente e l'altra vengano lasciate completamente a vista.
Non viene utilizzato alcun tipo di rivestimento a nascondere la struttura dei pannelli lignei: questo contribuisce alla velocità di montaggio e smontaggio dell'intera struttura.

(Immagine) © Clément Guillame

© Clément Guillaume

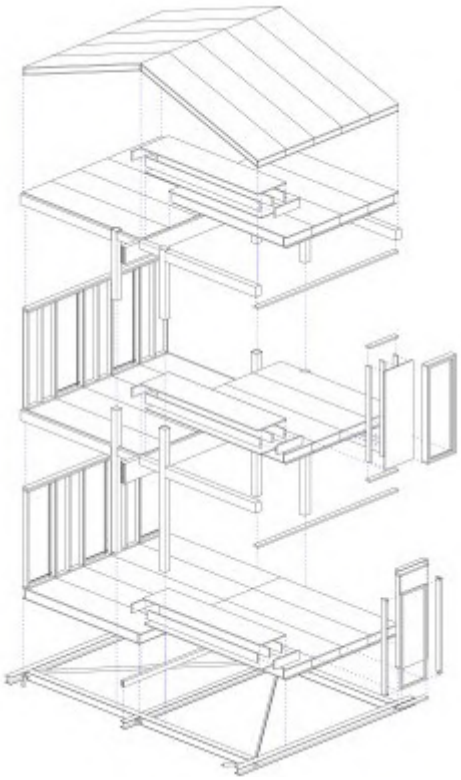


3D strutturale © bollinger-grohmann

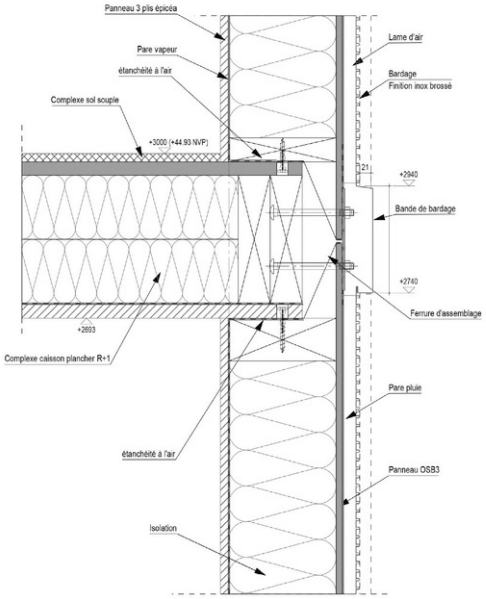
La struttura segue uno schema costruttivo sul modello del telaio, dove la struttura intelaiata dei pilastri viene tamponata da pareti e solai in legno lamellare: si crea una condizione scatolare, nella quale le pareti garantiscono una funzione portante.

Sull'asse centrale dell'edificio e su ogni piano sono presenti dei controventi metallici a intervalli regolari.

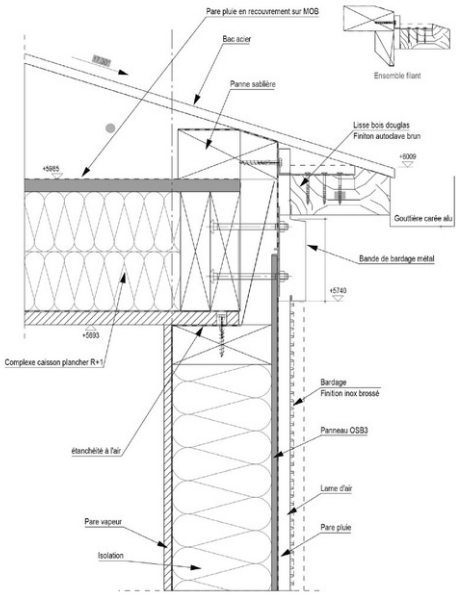
Le fondazioni sono realizzate in micropali, mentre in facciata si può osservare un'alternanza di moduli, larghi un metro, in vetro o in metallo.



Esploso strutturale © bollinger-grohmann



Dettaglio © Djuric Tardio Architectes
Giunzione solaio interpiano - pannello di facciata



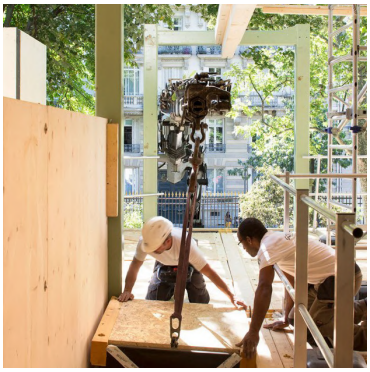
Dettaglio © Djuric Tardio Architectes
Giunzione tetto - pannello di facciata

Nei dettagli riportati in alto si può osservare l'attenzione prestata in fase progettuale alla necessità di semplice disassemblaggio, nel momento in cui si decida di spostare questa struttura nomade.

Il materiale isolante viene impacchettato all'interno di pannelli OSB; la finitura esterna viene realizzata con dei pannelli modulari in acciaio INOX.

Non è presente alcun tipo di connessione chimica, in quanto questa non garantirebbe la disassemblabilità delle componenti.

(Immagine) © Clément Guillame



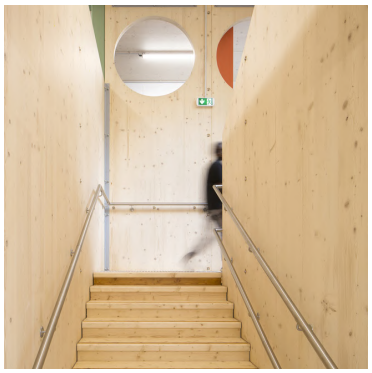
(Immagine) © Clément Guillame

(Immagine) © Clément Guillame

(Immagine) © Clément Guillame

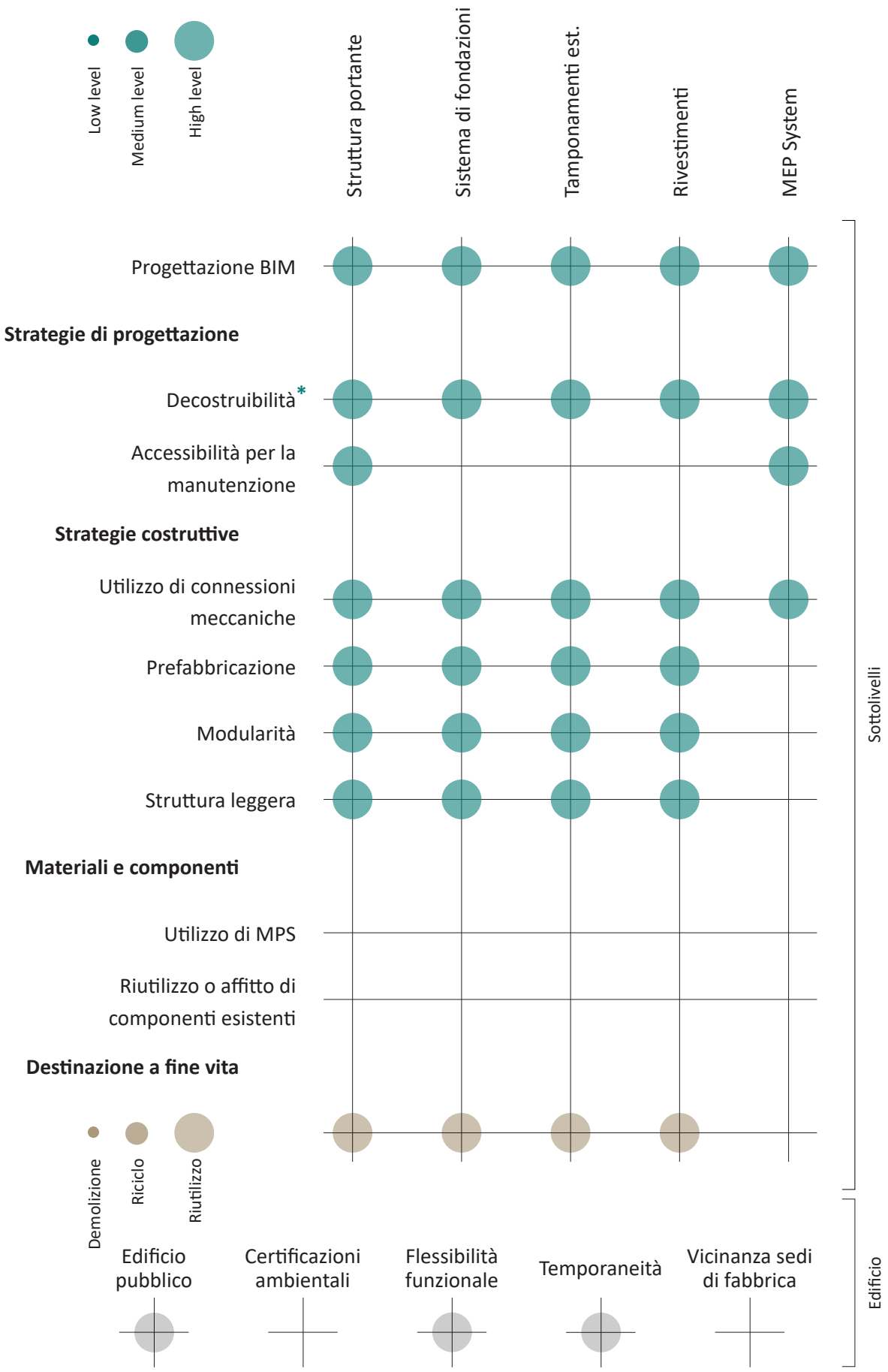
(Immagine) © Clément Guillame

(Immagine) © Clément Guillame



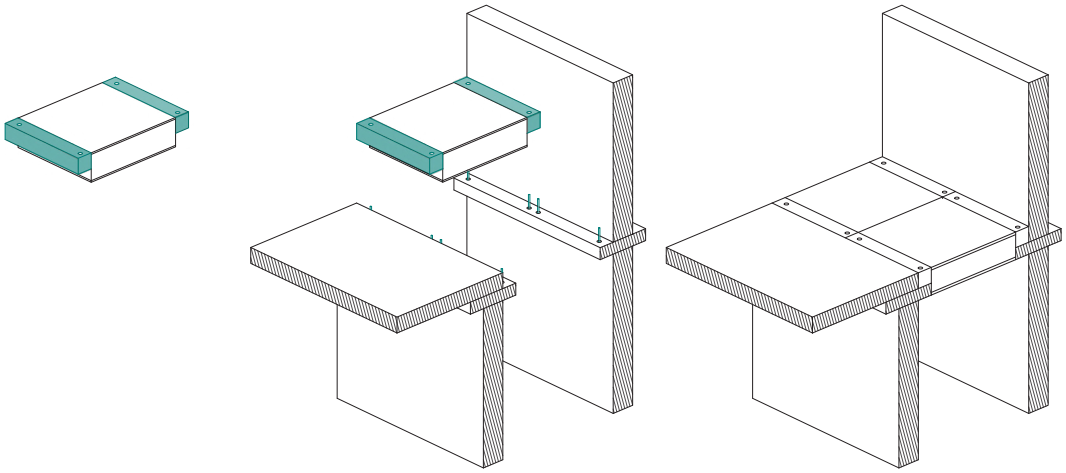
(Immagine) © Clément Guillame

(Immagine) © Clément Guillame


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

Wooden Nursery
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo tecnologico significativo relativo al caso studio Wooden Nursery, dello studio di architettura Djuric Tardio Architects, localizzato a Parigi, in Europa.
Tale schematizzazione ha lo scopo di mettere in evidenza un elemento costruttivo che dimostra la disassemblabilità dell'edificio: in questo caso il nodo di inserimento del solaio di interpiano, che viene incastrato negli spazi di risulta delle travi tramite un sistema di chiodatura reversibile.



Step 1

Nel primo step si può osservare il pacchetto del solaio di interpiano, costituito da uno strato di materiale isolante centrale, chiuso da due pannelli di OSB.

Step 2

Grazie ai due elementi di legno che chiudono lateralmente il pacchetto del solaio, questo si può incastrare nello spazio risultante tra le due travi.

Step 3

Le travi laterali sono provviste di forature chiodate, grazie alle quali il pannello può essere fissato in maniera totalmente reversibile.

* La struttura è pensata, dalle fondazioni alle chiusure, per essere completamente riutilizzabile nella stessa forma o in altre: non viene utilizzato alcun tipo di rivestimento a nascondere i pannelli lignei ed è tutto a vista. In questo caso, i progettisti non parlano di possibilità di riciclo, ma di riuso.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photograph: Martin Kunze
Woocube
Architekturargentur
"Il progetto WOODCUBE è il primo caso di complesso di appartamenti il cui studio garantisce l'assenza di emissioni di gas serra durante l'intero ciclo di vita".
WOOD CUBE
Rau-Service Ltd.
CARL HEITMANN

6.1.4 | Woodcube, 2013 (D)

Floor Area: 1480 m^2

Year: 2013

City: Hamburg (D)

Building Type: Residential

Design Team

Architects: Architekturargentur

Project development / initiation: DeepGreen Development, Hamburg

Developer: WOODCUBE Hamburg GmbH

Design: architekturagentur, Stuttgart

Structural planning: Isenmann Ingenieure, Haslach

Building biology: Baubiologische Beratung Wilfried Schmidt

Fire safety planning: Tichelmann & Barillas TIB Ingenieurgesellschaft

Timber elements: Thoma Holz100 GmbH

Ecological assessment: Ina Planungsgesellschaft mbH

Photograph: Martin Kunze

Construction time: September 2012 to May 2013

Project costs: € 3.8 million

Awards

2013 TOP3 Deutscher Nachhaltigkeitspreis

2012 Land der Ideen

2012 IBA Exzellenz

Masterplan progettuale © Architekturargentur

WOODCUBE è un edificio residenziale di cinque piani, con un numero flessibile di appartamenti.
Il progetto dimostra le ampie possibilità costruttive che può offrire un materiale come il legno massiccio: questo edificio limita in gran parte l'uso di materie prime non rinnovabili, sia nella sua costruzione che nel suo funzionamento.
L'energia termica utilizzata per il riscaldamento è *carbon neutral* e deriva da fonti rinnovabili.
Il progetto WOODCUBE è il primo caso di complesso di appartamenti il cui studio garantisce l'assenza di emissioni di gas serra durante l'intero ciclo di vita; inoltre, è quasi interamente riciclabile.
I materiali da costruzione sono stati verificati rispetto alle loro potenziali emissioni di CO_2 e rispetto alla loro compatibilità all'interno del complesso edilizio.
Comparato con altri edifici convenzionali, si è risparmiato approssimativamente un totale di 8500 tonnellate di carbonio, nella sola fase di costruzione.

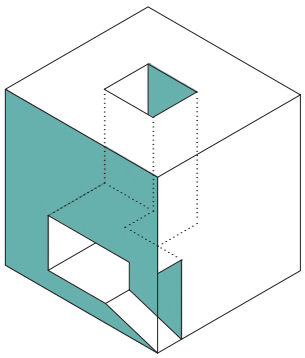
© Martin Kunze

Concept architettonico

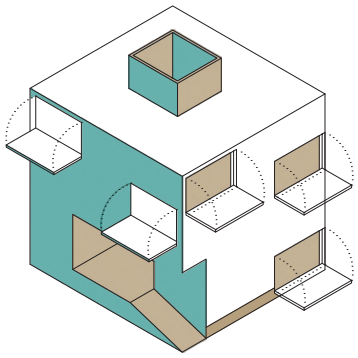
L'edificio presenta un piano basamentale con una fondazione a pali, sormontato da cinque piani organizzati su una pianta quadrata, con una lunghezza per lato pari a 15,10 metri.
L'accesso è posto a Nord. Il tetto, coperto da pannelli fotovoltaici, non è accessibile. Larghe finestre che corrono per la lunghezza dei balconi e finestre più piccole di forma quadrata o rettangolare, che sembrano impostate nello spazio senza alcun legame le une con le altre, rompono la monotonia della facciata.
Oltre al basamento, che è una platea in calcestruzzo, quasi tutti i componenti strutturali dell'edificio sono realizzati in legno, fatta eccezione per il vano scala.

Possibilità di conversione

Grazie all'ampiezza dei piani, si ha una grande libertà di sperimentazione nella disposizione degli spazi interni all'edificio. Ogni piano, infatti, ospita una diversa tipologia di appartamenti.
Le planimetrie dei WOODCUBES si sviluppano liberamente attorno al nucleo centrale, secondo le esigenze degli utenti. Le dimensioni e la disposizione degli appartamenti sono variabili. Ogni appartamento può occupare solo una parte del piano o essere interconnesso su due piani per formare villette. In questo



1. Volume dell'ascensore
© Architekturargentur

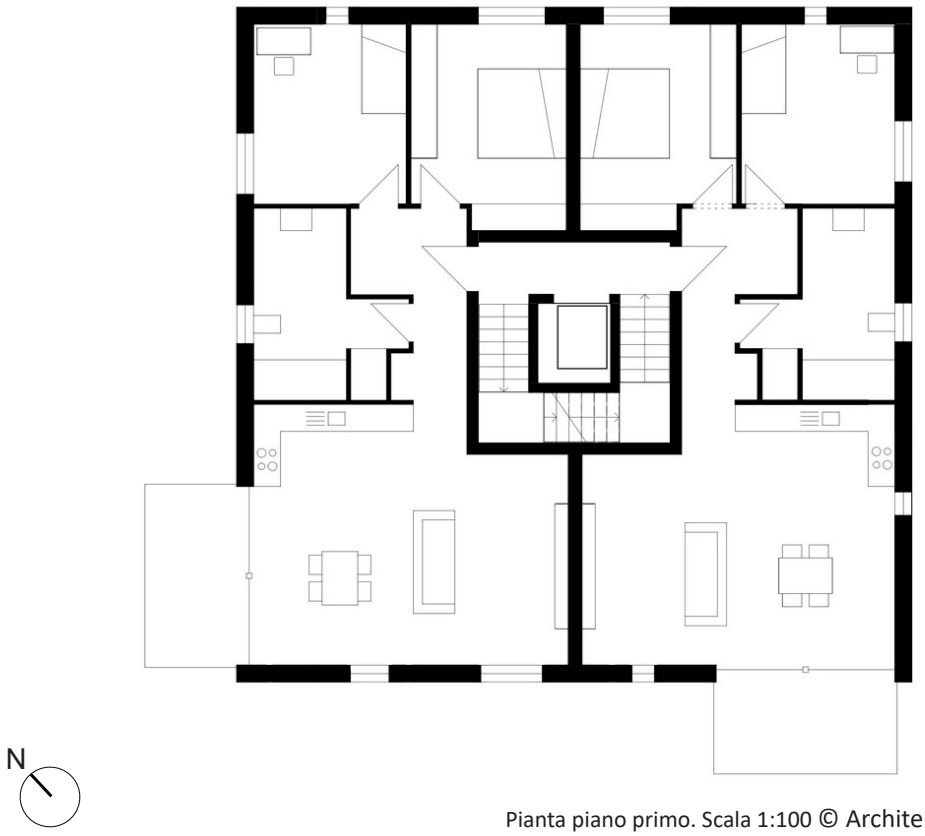


1. Apertura balconi
© Architekturargentur

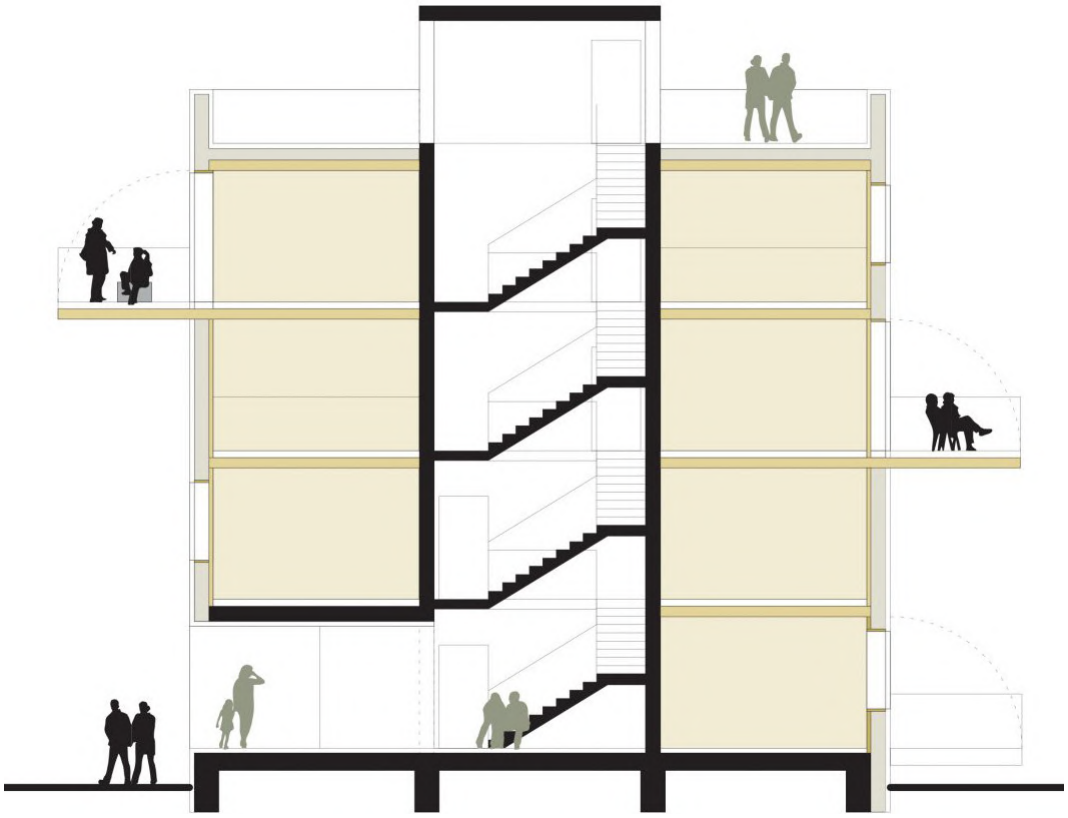
modo, la casa può riunire sotto lo stesso tetto gruppi di utenti molto diversi con le loro specifiche esigenze abitative e di spazio. In questo modo, il WOODCUBE offre spazio abitativo per famiglie da una a sei persone. In connessione con le planimetrie, le facciate reagiscono in modo flessibile agli usi della casa: le finestre panoramiche raffigurano gli ampi spazi abitativi, dietro di loro, nella struttura della casa e garantiscono un'illuminazione ottimale. I balconi con posti a sedere all'aperto privati sporgono davanti alle finestre panoramiche.
Non essendoci divisori con funzione portante, la struttura delle stanze può essere cambiata quando si vuole. Essendo parte del progetto IBA Hamburg[92], WOODCUBE è stato progettato perchè avesse una struttura semplice e pulita, che agisse da

92 IBA (da *Internationale Bauausstellung*): è una sorta di laboratorio a cielo aperto, di sperimentazione attiva su una porzione della città, che si propone come innovativa rispetto al significato tradizionale attribuito al termine "esposizione".

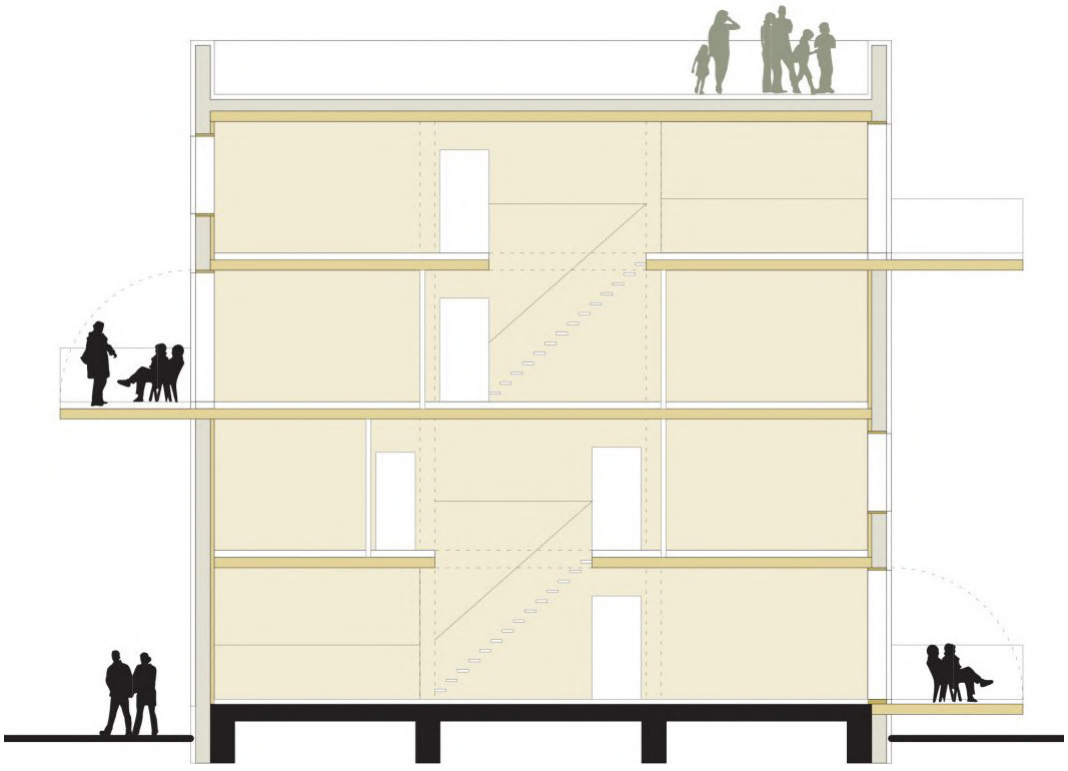
Pianta piano terra. Scala 1:100 © Architekturargentur



Pianta piano primo. Scala 1:100 © Architekturargentur



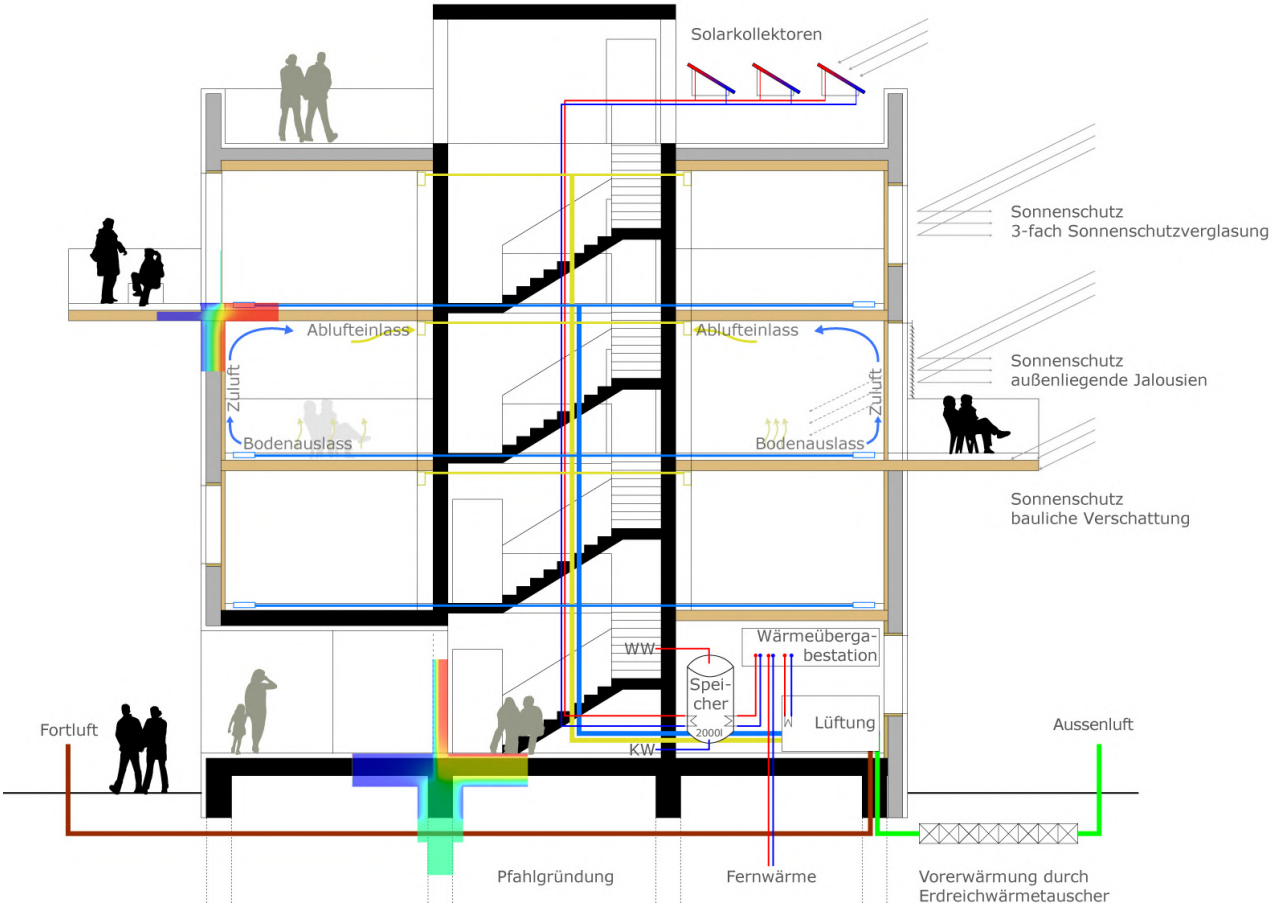
Sezione A-A’. Scala 1: 100 © Architekturargentur



Sezione B-B’. Scala 1: 100 © Architekturargentur

prototipo. Molti elementi di *design* di contrasto sono stati implementati per rompere la figura severa dell'edificio, data dalla sua volumetria cubica.
Una geometria semplificata è importante per la visibilità dell'edificio da una certa distanza, mentre da vicino possiamo osservare un dettagliato allineamento orizzontale delle venature del legno. La facciata è stata realizzata in legno di larice e bordata con delle modanature in legno, al fine di enfatizzare l'utilizzo di un solo materiale per l'intera struttura delle pareti esterne.

La gestione impiantistica



Sezione A-A' impiantistica. Scala 1: 100 © Architekturargentur

La parte impiantistica è stata progettata per avere una distribuzione verticale all'interno dell'elemento in cemento armato, così da non intaccare le parti in legno. Ad esempio, l'aria fresca necessaria viene fornita all'edificio tramite un sistema di mandata e scarico dell'aria con recupero di calore (> 90%). Inoltre, l'aria esterna fornita all'edificio viene preriscaldata in inverno tramite uno scambiatore di calore a terra e preraffreddata in estate. L'aria condizionata viene distribuita nelle stanze dei singoli appartamenti tramite condotti a pavimento. L'aria viene estratta nella cucina e nei sanitari sotto i soffitti.

© Martin Kunze

La struttura

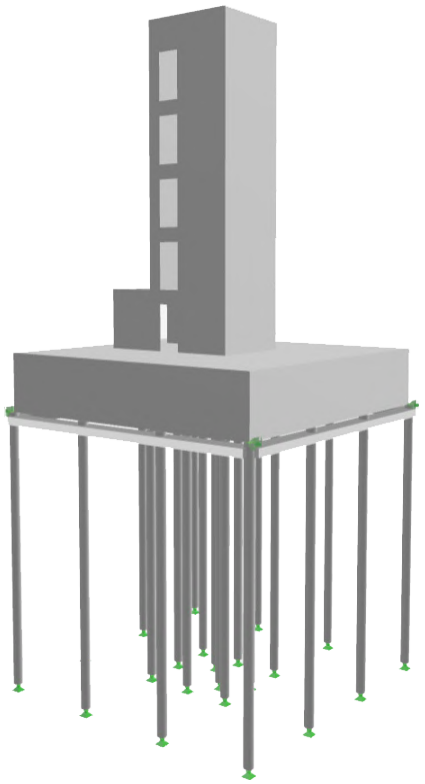
Le fondazioni in cemento armato.

L'edificio residenziale di 5 piani, con un eccezionale equilibrio ecologico, ha avuto la possibilità di essere presentato all'*International Building Exhibition* (IBA) di Amburgo, in Germania. Essendo *CO_2- neutro*, sia nella sua produzione che nel suo funzionamento, il livello di energia del WOODCUBE corrisponde approssimativamente a quello di una casa passiva. Tutti i materiali utilizzati nel cubo di legno sono completamente riciclabili e biodegradabili.
Il progetto di costruzione in legno con la struttura centrale e fondazioni in cemento armato è stato sviluppato con il software di analisi strutturale RFEM[93].

93 RFEM: base di un sistema software modulare. Viene utilizzato per definire strutture, materiali e carichi per sistemi strutturali planari e spaziali costituiti da piastre, pareti, gusci e aste.

Legno e struttura in cemento armato.

Ciò che è veramente rivoluzionario è il fatto che il nucleo di legno dell'edificio, compresi soffitti e solai, è costituito da legno completamente non trattato che rimane visibile sia all'esterno che all'interno. Il WOODCUBE è composto da elementi prefabbricati di pareti, solai e coperture costituiti da legno. A causa dell'elevato grado di prefabbricazione, il guscio in legno è stato completato in quattro settimane. Questo è stato costruito attorno al nucleo di accesso centrale con la scala e l'ascensore, entrambi in cemento armato. Il piano seminterrato poggia su un totale di 22 pali trivellati di diametro Ø 51 cm, che sono inseriti a 13 m di profondità nel terreno. Il carico applicato su ciascun palo arriva fino a 1.000 kN. I carichi sono trasferiti dalle pareti esterne e dalle pareti del nucleo di accesso centrale. Non sono necessari ulteriori pilastri o pareti interne portanti. Questo a sua volta consente una libera disposizione delle singole stanze.



Lunghezza: ~ 16 m | Larghezza: ~ 16 m | Altezza: ~ 32 m
Nodi: 232 | Pilastri: 39 | Superfici: 51 | Elementi finiti: 5033

Struttura fondazioni e vano ascensore in cemento armato.
© Isenmann Ingenieure, Haslach, Germania

© Martin Kunze

I muri esterni.

Le pareti esterne sono in legno massiccio con elementi in legno lamellare.
Gli elementi di bordo sono stati fissati e uniti meccanicamente a tasselli in legno di faggio mediante un sistema specifico (DeepGreen / Holz100)[94].

I tasselli sono posizionati perpendicolarmente agli strati, a intervalli frequenti: lo schema di spaziatura è di 30 cm longitudinalmente e 24 cm trasversalmente, per cui le file di tasselli sono sfalsate in senso longitudinale, a 15 cm l'una dall'altra.
Il giunto meccanico funziona sfruttando l'attrito tra i tasselli in legno di faggio e le superfici del legno lamellare.

I tasselli in legno di faggio sono essiccati in forno e incorporati durante la fabbricazione degli elementi e si gonfiano fino a raggiungere l'umidità relativa dell'edificio (ca. 15% ± 3%), in modo che si adattino alla pressione sugli intradossi dei fori.
L'unione delle componenti (tasselli e pannelli), già durante la fase di fabbricazione, è necessaria per garantire l'ermeticità.

Dall'interno verso l'esterno, gli elementi componenti i muri esterni hanno uno spessore totale di 32,4 cm (con una trasmittanza termica pari a 0,19 W/m^{2}K), e sono disposti come segue:

- Elementi di legno lamellare (abete) tassellati: sp. 25,1 cm
- Pannello in fibra di legno tenero: sp. 4,4 cm
- Strato di legno di abete: sp. 2,9 cm

L'elemento in legno massiccio è formato da uno strato portante avente spessore 80 mm, più degli strati più sottili che hanno spessori che vanno dai 29 mm ai 26 mm: questi sono applicati sulla parte portante come *strati sacrificali* che fungono da protezione al fuoco.
Il legname utilizzato è 95 % legno di abete e 5 % abete rosso, mentre l'anima portante in legno massiccio è di classe S 10 (classe di resistenza C 24), secondo le indicazioni DIN 4074-1.

Sul lato esterno, la facciata in legno massiccio presenta dei pannelli dello spessore di 29 mm, tassellati con i due pannelli di fibra di legno (Gutex Multiplex-top), ciascuno avente spessore 22 mm. La prestazione al fuoco del legno tenero, secondo le indicazioni DIN EN 13501-1 corrisponde alla classe E.

94 Thoma Holz100: sistema brevettato costituito da tavole di legno stratificate che sono laminate a croce orizzontalmente, verticalmente e diagonalmente collegate a un'anima con tasselli in legno di faggio.

(Immagine) Sezione della struttura di pareti e solai

ROGGATZ × KOCH

La facciata.

Il rivestimento esterno in legno ha uno spessore di 26 mm: è composto di lastre asolate e ventilate in legno di larice non trattato.

Le pareti interne, comprese le pareti divisorie all'interno degli appartamenti, sono costruzioni a secco, realizzate senza malte: non sono portanti né irrigidenti.

Tutti i giunti sono puramente meccanici. Le connessioni sono tutte atossiche e soddisfano i requisiti per una maggiore protezione dal rumore e controllo del fumo.

In fase di produzione, le pareti esterne vengono rivestite di uno strato di tenuta al vento, posizionato tra i due strati esterni.

I tasselli in legno duro, compressi meccanicamente ed essiccati, assorbono umidità dall'ambiente circostante e, gonfiandosi, si legano definitivamente al legno che li circonda.

Non è presente alcun tipo di incollaggio o utilizzo di vernici: ciò determina la realizzazione di un muro particolarmente solido (di dimensioni 3x8 m, con uno spessore di 40 cm), il cui unico materiale costruttivo è il legno.

Le pareti DeepGreen/Holz100, utilizzate durante il processo di costruzione, sono state sviluppate appositamente per il WOODCUBE.

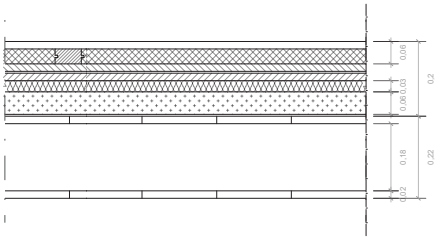
Differiscono da elementi standard in quanto presentano in stratigrafia dei pannelli in fibra di legno, che forniscono isolamento termico, e delle scanalature nei singoli strati di bordo (un sistema di isolamento integrato nella struttura), che comportano la formazione di cuscini d'aria in cui non sono presenti moti convettivi e migliorano notevolmente il livello di isolamento.

I solai e la copertura.

La struttura dei solai e degli elementi di copertura consiste, anche stavolta, in pannelli di legno lamellare privi di colla.

Gli elementi del soffitto si estendono dalle pareti esterne al vano scala in cemento armato, a cui sono collegati tramite un quadro a T.

Floor structure
- 6 cm insulating board, including battens and solid wood floor
- 2 cm dry screed elements (glued to the front end) Smoke-proof
- Kraft paper as a dividing layer
- 2 cm dry screed elements (placed in the gaps)
- 3 cm footfall sound insulation – Isover Akustic EP1
- 6 cm Fermacell honeycomb paper infill
- Kraft paper as trickle protection
- 23.5 cm Holz100 ceiling



Stratigrafia del solaio © Architekturargentur. Rielaborazione a cura delle autrici

La fase di costruzione

(Immagine) © Martin Kunze

(Immagine) © Martin Kunze

L'obiettivo della realizzazione di questo progetto era realizzare una costruzione monomaterica in legno, in gran parte priva di sostanze chimiche, con semplici processi di produzione e manutenzione. Lo studio Architekturagentur, con sede a Stoccarda, è stato incaricato della realizzazione; la società Holz100 è stata coinvolta nella parte manifatturiera, avendo già realizzato una serie di progetti innovativi in legno massiccio, in particolare in Austria. DeepGreen, che si è occupata dell'ideazione e delle questioni tecnologiche, ha sviluppato dei suoi elementi in legno massello in collaborazione con specialisti del settore e ha ideato un sistema costruttivo che potrebbe essere replicato altrove.
Se da una parte il progetto rispettava i sette i criteri *IBA Excellence*, la scelta dei materiali da costruzione è stata modificata, per ragioni di sostenibilità.
Grazie alle modifiche apportate, nella costruzione del WOODCUBE è stata utilizzata una quantità di energia di circa 70 volte inferiore rispetto alla media utilizzata nella costruzione di una struttura convenzionale.

(Immagine) Render per competizione © Architekturargentur

(Immagine) Render della fase dopo le modifiche © Architekturargentur

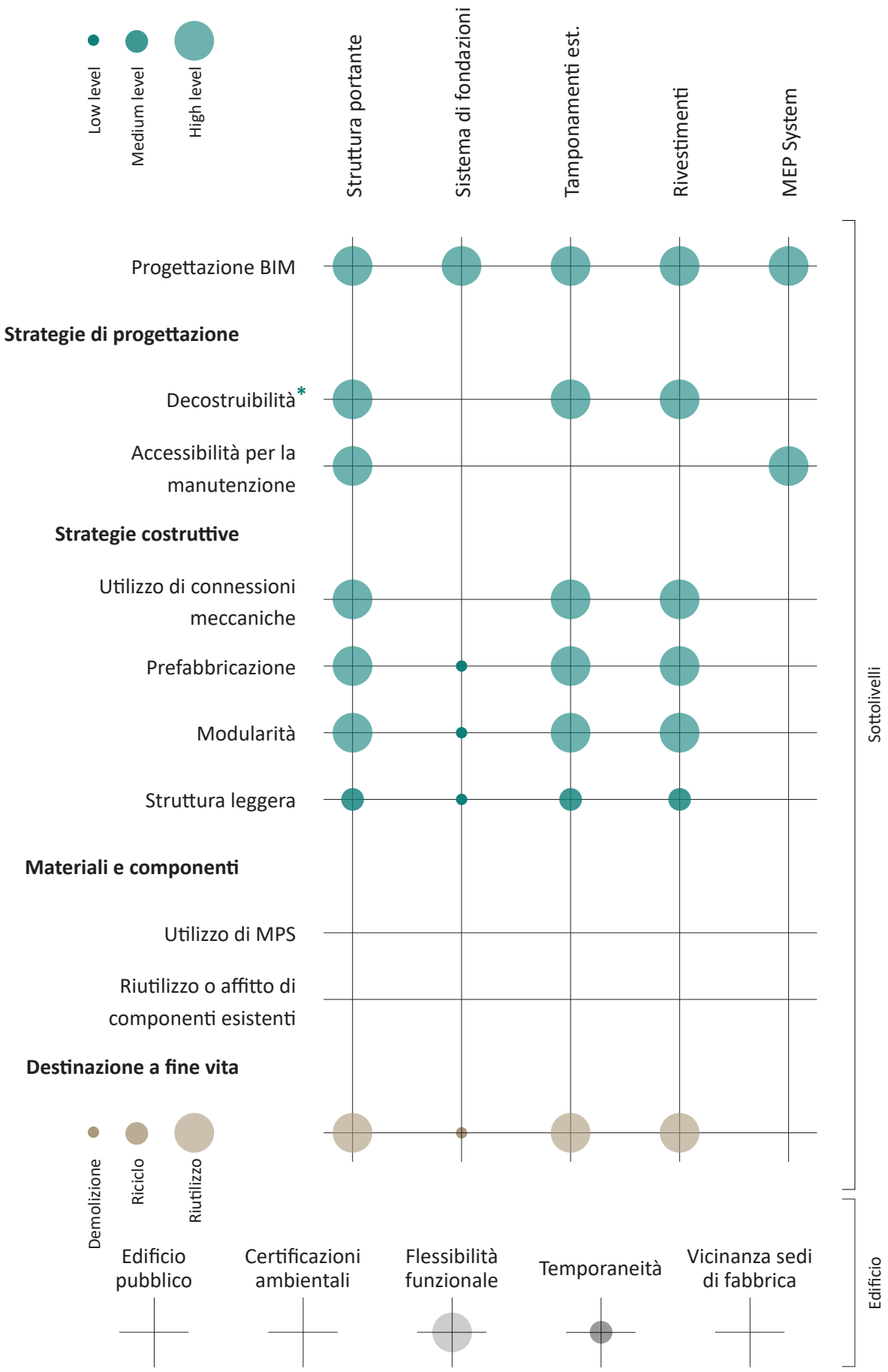
Decostruzione

Tutti gli elementi di sostegno verticale, come le pareti portanti esterne, e orizzontale, come i solai, sono semplicemente avvitati insieme e possono essere smontati senza sprechi di materiale.
Tutti gli elementi possono essere separati l'uno dall'altro in fabbrica utilizzando una macchina da falegnameria CNC. In teoria, quindi, i singoli strati degli elementi, come i pannelli, possono essere riutilizzati per la realizzazione di nuovi elementi.

Allo stesso modo, grazie al metodo di costruzione a secco e senza l'utilizzo di malte, interi livelli possono essere suddivisi nei rispettivi componenti e riutilizzati senza ulteriori lavorazioni successive.

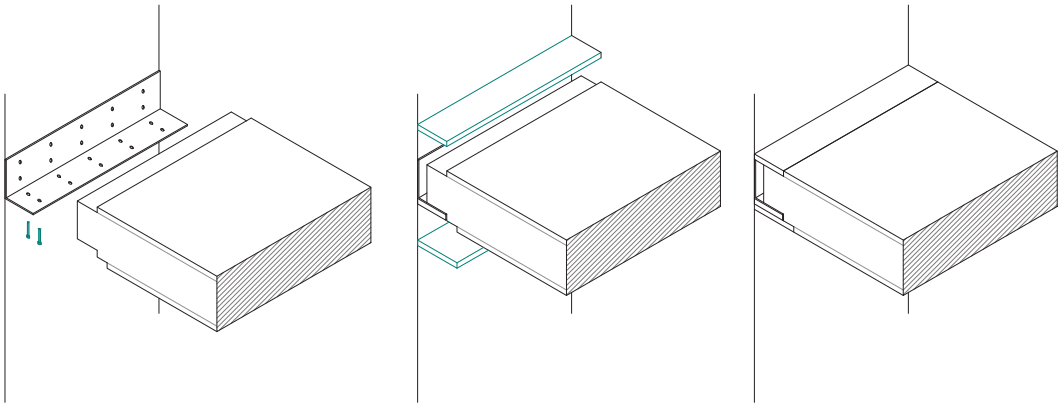
In generale, i materiali sono stati selezionati per la loro durabilità. Il produttore del legname garantisce una durata di 50 anni per quanto riguarda la formazione di condense e muffe.
Grazie alla permeabilità della struttura e al livello di isolamento, questi problemi vengono essenzialmente eliminati alla radice. In particolare, la facciata è stata studiata tramite una serie di simulazioni che ne hanno verificato la durabilità.

Materiali di alta qualità, come le tavole di legno massiccio, possono anche essere reintegrati durante i lavori di conversione. Condotti vuoti e flessibili opzioni di connessione garantiscono, inoltre, la massima flessibilità per i servizi dell'edificio in caso di ristrutturazione.


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

Woodcube
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo tecnologico significativo relativo al caso studio WOODCUBE, progettato da Architekturargentur.
Viene mostrato come la struttura orizzontale dei solai di interpiano viene ancorata all'anima in cemento armato dell'edificio. È stato scelto questo dettaglio in quanto, a differenza degli altri sistemi, che sono principalmente ad incastro e bullonatura, è interessante come i progettisti abbiano ottenuto un sistema a scomparsa.



Step 1

Il pacchetto del solaio viene ancorato alla muratura portante in cemento armato tramite un sistema a mensola a secco.

Step 2

Una volta fissata la soletta, vengono applicati due elementi di chiusura, sia nell'intradosso che nell'estradosso del solaio.

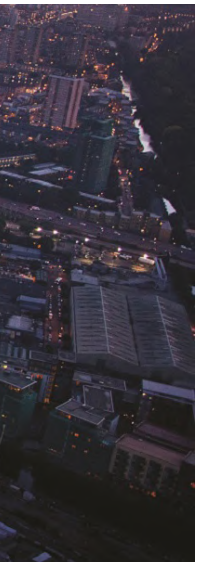
Così facendo si ottiene un solaio, il cui sistema di connessione rimane completamente nascosto alla vista.
É stato scelto di non rifinire le superfici, sia in legno che in cemento. Tale scelta facilita la futura decostruzione della struttura.

* Tutti gli elementi di sostegno, progettati per essere durevoli, possono essere smontati senza sprechi di materiale. Questi possono essere separati l'uno dall'altro in fabbrica, utilizzando una macchina da falegnameria CNC. In teoria, quindi, i singoli strati degli elementi possono essere riutilizzati per la realizzazione di nuovi elementi.
Inoltre, la parte impiantistica è stata progettata per avere una distribuzione verticale all'interno dell'elemento in cemento armato, così da non intaccare le parti in legno.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

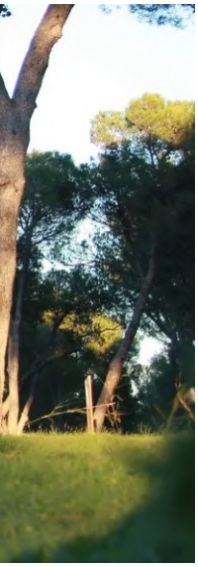
6.1.5 | Altri

Di seguito viene riportata una selezione di altri casi studio europei, inseriti in quanto esempi di un approccio circolare alla progettazione, ma pubblicati online con scarso materiale tecnico di riferimento, utile per svolgere un'analisi più approfondita.



Nell’Olympic Stadium di Londra, Populous ha colto l'opportunità di sviluppare il linguaggio architettonico del *design*, esplorando forme, materiali, strutture e sistemi operativi. Si sviluppano forme semplici e leggibili, riducendo al minimo il peso fisico, il tempo di fabbricazione e l'energia incorporata di ogni componente, definendo una struttura compatta formata da connessioni smontabili. Ciò, non solo consente di svolgere spettacoli che ospitino 80.000 spettatori, ma dà anche la possibilità di trasformazione della destinazione d’uso dopo i giochi olimpici.
I criteri chiave di sostenibilità, riduzione, riutilizzo e riciclo sono stati adottati per creare un *design* compatto, flessibile e leggero. La struttura principale dello stadio è leggera ed elegante, chiaramente espressa dall'articolazione diagonale esterna del tubolare d'acciaio bianco della copertura e dall'esile acciaio nero interno.[95]

95 Archdaily, *Populous, Olympic Stadium*, 2011

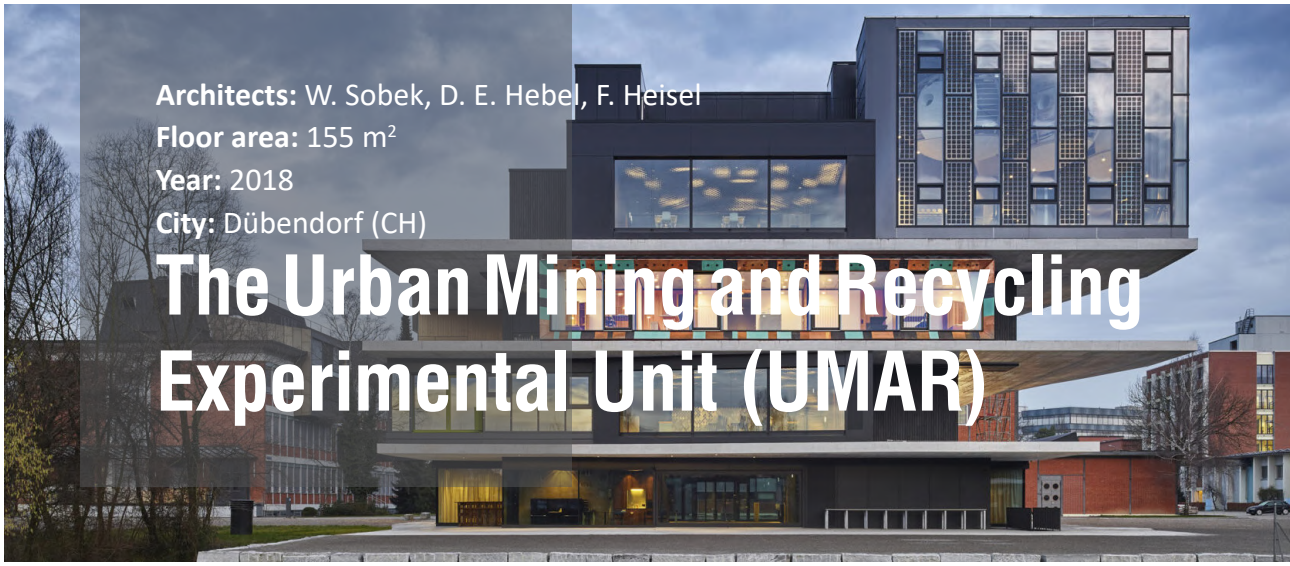


Il primo prototipo di casa passiva, sperimentato nel Sud della Francia, è un prefabbricato costituito da elementi modulari, studiati per essere assemblati in modo rapido ed economico, quasi come se si dovessero mettere insieme i famosi mattoncini LEGO.
L'edificio è costituito da una struttura portante in legno: ogni blocco è separato dall'altro da assi del medesimo materiale. Il tutto è ricoperto da pannelli isolanti, che coibentano, in modo soddisfacente, l'intera casa. Dunque, la Pop-up House risulta perfettamente ermetica e in grado di raccogliere il massimo dell'energia solare.
L'alto livello di isolamento classifica, di fatto, la Pop-up House come una vera e propria PASSIVHAUSE. La qualità della coibentazione, inoltre, azzera negli occupanti la necessità di ricorrere al riscaldamento in inverno e all'aria condizionata in estate. È un prefabbricato totalmente *fai-da-te*. Per assemblarlo non sono richiesti strumenti e competenze specifiche. Basterà armarsi di un cacciavite elettrico e di quattro giorni di tempo. I moduli, infatti, sono prodotti in misure precise.[96]

96 Archdaily, *Multipod Studio, Pop-Up House*, 2013

Architects: Eduard Barcells, Daniel Tigges
Floor area: 155 m²
Year: 2018
City: Cerdanyola del Vallès (SP)

El Til-Ler School



Architects: W. Sobek, D. E. Hebel, F. Heisel
Floor area: 155 m²
Year: 2018
City: Dübendorf (CH)

The Urban Mining and Recycling Experimental Unit (UMAR)

Architects: ARUP
Floor area: -
Year: 2016
City: London (GB)

The Circular Building

La scuola El Til - Ler è inserita con cura in un grande giardino privato, vicino a Barcellona. Il complesso si articola lungo il percorso principale di accesso esistente. Cinque dei sei edifici che compongono la scuola sono padiglioni modulari esistenti in legno e acciaio, che provengono da altri due siti precedentemente occupati dalla scuola. Questi edifici vengono smontati, trasportati e riconfigurati con precisione nel nuovo sito. Il sesto edificio ospita l'asilo e gli spazi comuni. Le facciate sono interamente in legno e sono formate da elementi prefabbricati di grande formato (3,00x6,90/7,40 m), composti da due lastre con interposta una camera d'aria ventilata. Il legno termicamente modificato viene riscaldato ad una temperatura elevata, di circa 200 °C, in modo che venga mineralizzato al massimo, eliminando i composti che alimentano gli insetti xilofagi, e fornendo così protezione al legno, che non necessiterà più di successive manutenzione, né pittura né verniciatura, né ulteriore trattamento[97].

97 Divisare, *E. Barcells, D. Tigges, El Til-Ler School*, 2018

Il progetto dell'edificio creato da Werner Sobek dimostra come un approccio responsabile alla gestione delle risorse naturali possa andare di pari passo con una forma architettonica accattivante. Il progetto è sostenuto dalla proposta che tutte le risorse necessarie per costruire un edificio devono essere completamente riutilizzabili, riciclabili o compostabili. Questo pone lo studio del ciclo di vita in primo piano nella progettazione: invece di limitarsi a utilizzare e successivamente smaltire le risorse, vengono prese in prestito dai loro cicli tecnici e biologici per un certo periodo di tempo, prima di essere rimesse in circolazione ancora una volta. UMAR funziona come deposito di materiali temporaneo. L'edificio, realizzato sulla base di un concetto di costruzione modulare, è completamente prefabbricato e testato in fabbrica. La struttura portante e gran parte della facciata sono costituite da legno grezzo; la facciata comprende anche alluminio e rame, due tipi di metallo che possono essere separati in modo pulito, fusi e riciclati.[98]

98 W. Sobek, D. E. Hebel,F. Heisel, portfolio *UMAR*, 2018

In un prototipo sviluppato per il *London Design Festival* del 2016, Arup Associates ha progettato The Circular Building , uno dei primi edifici nel Regno Unito costruito per soddisfare i principi dell'economia circolare, in cui, dicono gli architetti, "tutti i componenti devono essere implementati e utilizzati al massimo delle loro potenzialità, aumentando la durata del loro ciclo di vita, creando, al contempo, un ambiente confortevole ed esteticamente piacevole per l'utente."
Durante il processo di progettazione, sono state necessarie ricerche e test approfonditi sui materiali, per garantirne la circolarità. Queste informazioni sono così diventate una banca dati di materiali, "raccogliendo per la prima volta informazioni sulla produzione, la sostanza materica e il successivo utilizzo di ciascuna risorsa". L'intero progetto è stato creato in una fase di progettazione della durata di otto settimane e in un tempo di costruzione di due settimane, in un sito vincolato nel centro di Londra.[99]

99 Archello, *The Circular Building*, 2016

Architects: Studio Jan Vermeulen, Tom Thys Architecten
Floor area: -
Year: 2022
City: Prinsenparl (BE)

Nuovo centro per visitatori a Prinsenpark

Architects: PICHARARCHITECTS, 2BMFG
Floor area: 9700 m^2
Year: 2019
City: Barcellona (SP)

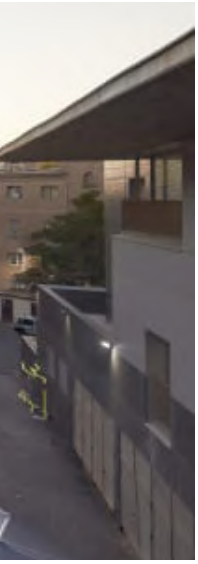
Istituto di ricerca dell'ospedale Sant Pau

Architects: Carlos Martinez Architekten
Floor Area: 4100 m^2
Year: 2017
City: Vaz/Obervaz (CH)

Hotel Revier

Lo Studio J. Vermeulen e T. Thys Architecten ha completato un nuovo centro visitatori sostenibile per Prinsenpark. IL progetto riunisce gli uffici amministrativi del parco, il deposito, le officine forestali e le strutture per i visitatori in un nuovo insediamento di due raffinati edifici in legno. L'ampia sporgenza del tetto del centro visitatori non solo crea uno spazio sociale, ma funge anche da protezione solare passiva per gli ampi spazi lungo la facciata principale. I metodi di assemblaggio di vari elementi edilizi consentono un facile smontaggio, riutilizzo o riciclaggio. In questo senso, l'edificio funge da banca di materiali sostenibili per il futuro. Il centro visitatori soddisfa anche lo standard della casa passiva.
L'edificio contribuisce ai valori e alla visione del Prinsenpark, come un'area in cui natura, cultura e attività ricreative si intrecciano in un ecosistema speciale ed equilibrato.[100]

100 Divisare, *Studio J. Vermeulen, T. Thys Architecten, Nuovo centro per visitatori a Prinsenpark*, 2022



Il nuovo Istituto di ricerca di Sant Pau è un edificio in cui la ricerca e la tecnologia costruttiva sono una componente di tutti i processi di progettazione architettonica. Questo serve per ottenere i massimi benefici possibili con il minimo costo ambientale, materiale ed economico. L'edificio ha due seminterrati, un piano terra e 3 piani. È un edificio removibile, composto di elementi realizzati in officina e assemblati *in loco*, al posto dei tradizionali sistemi costruttivi. Ciò consente il controllo della qualità, riduce al minimo gli sprechi, aumenta la sicurezza costruttiva e permette di smontare i componenti quando necessario, con una successiva fase di riciclo che può restituire valore ai materiali, seguendo le dinamiche dell'economia circolare. È un edificio convertibile: la flessibilità nell'adattamento alle future modifiche funzionali è totale. Ogni livello dell'edificio ha spazi di 80x11 m senza pilastri, in modo da potersi adattare a qualsiasi cambio di destinazione d'uso, solo modificando la distribuzione di tramezzi e schermature.[101]

101 Divisare, *PICHARARCHITECTS, 2BMFG, Istituto di ricerca dell'ospedale Sant Pau*, 2019

L'Hotel sportivo Revier, situato in Svizzera, è ridotto all'essenziale: si crea una sensazione di libertà nei confronti della vita e un concetto architettonico non convenzionale.
L'edificio, lungo e stretto, si appoggia sul bordo di un terreno ripido con l'ampia foresta di montagna sullo sfondo. Altri quattro piani, con un totale di 96 stanze, sono sostenuti sopra una massiccia fondazione al piano terra.
L'edificio ha una struttura in legno di larice grezzo e non trattato, rivestito da elementi metallici sporgenti.
Le stanze, ottimizzate in soli 15 m² e concepite come un modulo-ambiente, sono state progettate attraverso un approccio modulare, ispirate all'immagine di un autobus VW. I moduli della stanza, completamente attrezzati, sono stati prefabbricati consentendo una lavorazione precisa, nonché una costruzione e un montaggio brevi *in loco*. Il bagno è stato installato in una scatola multifunzionale.[102]

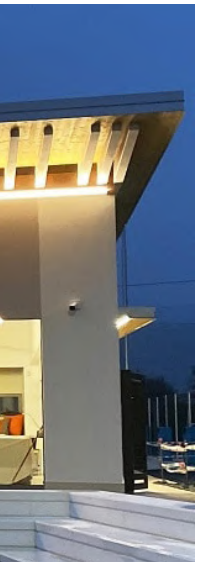
102 Archdaily, *C. Martinez Architekten, Hotel Revier*, 2017

Architects: Frigerio Design Group
Floor area: 8450 m²
Year: 2020
City: Carasco (IT)
Sede uffici ARCAPLANET

Architects: M. Aceti, L. Barcella
Floor area: 240 m²
Year: 2019
City: Carobbio (IT)
Oratorio in legno a Carobbio

La nuove sede di uffici Arcaplanet, catena di *pet-store* leader in Italia, è un headquarter aperto e trasparente, caratterizzato da un'ampia corte centrale che si trasforma in uno spazio verde protetto e in un luogo di scambio ed integrazione. I nuovi uffici della catena di *pet-store* si integrano con il terrotorio locale.
La nuova facciata è stata realizzata con un sistema di facciata ventilata, consentendo un netto miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio.
"Il cantiere stesso è stato impostato sul concetto di sostenibilità, attraverso l'utilizzo di una struttura metallica prefabbricata, che ha permesso di ridurre tempi e costi anche in previsione della gestione futura dell'edificio", spiega l'architetto del Frigerio Design Group[104].

104
Frigeriodesign, Sede Uffici Arcaplanet, Carasco, 2020



L'Oratorio San Giuseppe Custode e Educatore di Carobbio è caratterizzato da una volumetria tripartita in base alle funzioni e leggibile già dall'esterno: il grande salone polifunzionale da 200 m^2, concepito senza pilastri per essere adattato anche alle celebrazioni eucaristiche; una sala più piccola da 40 m^2; uno spazio sul retro dedicato ai servizi quali cucina, bar e ambienti accessori e tecnici.
L'impianto non è quello del classico oratorio: è più uno spazio ricreativo polivalente e molto flessibile, con una stretta relazione con gli spazi da gioco dell'esterno. La flessibilità funzionale è connaturata: l'edificio è stato pensato come un centro aggregativo che, per requisiti di protezione antincendio, è equiparabile a un edificio scolastico. Può essere omologato a spazi ricettivi come quelli di un cinema, con una capienza di 400 posti.
"La scelta di costruire con un sistema prefabbricato evoluto ha dato la possibilità di realizzare un vero e proprio intervento di riqualificazione urbana"[103].

103
Marlegno, *M. Aceti, L. Barcella, Oratorio in legno a Carobbio*, 2019

Fonti:

Europa

1. (Sito WEB) European Commission, *Environment Eco-innovation Action Plan*, 2022 https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-action-plan/union-funding-programmes
2. (Report) Eco-innovation Observatory, *Report italiano*, 2019 https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/field/field-country-files/eio_country_profile_2018-2019_italy.pdf
3. (Report) Eco-innovation Observatory, *Report spagnolo*, 2019 https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/field/field-country-files/eio_country_profile_2018-2019_spain.pdf
4. (Youtube Video) https://www.youtube.com/watch?v=TIAOpp81plY
5. (Documento) ISSUU, *Bulletin bois 132/2019, Constructions Modulares*, 2019 https://issuu.com/lignum/docs/bbu132
6. (Articolo online) Archdaily, *Iperceramica Headquarters, Mario Cucinella Architects* https://www.archdaily.com/960169/iperceramica-headquarters-mario-cucinella-architects
7. (Youtube Video) Video. Intervista a Jean-Marc Ducret, direttore di JPF-Ducret SA , nel sito di assemblaggio di Yverdon, 2018 https://www.youtube.com/embed/Y9G4cpudLfQ?rel=0&autoplay=1
8. (Articolo online) ShareYourGreenDesign, Acau architecture sa, *Rigot Collective Dwelling Centre*, 2022 https://www.shareyourgreendesign.com/case/rigot-collective-dwelling-centre/
9. (Magazine online) Architizer, *Co|lab*, *Washington, DC, United States*, 2019 https://architizer.com/projects/colab-1/
10. (Magazine online) Domusweb, *"The Finest Metalsmith": Jean Prouvé in Turin,* 2013 https://www.domusweb.it/en/architecture/2013/04/23/jean_prouva_in_turin.html
11. (Magazine online) Archdaily, *Wooden Nursery / Djuric Tardio Architectes,* 2020 https://www.archdaily.com/935476/wooden-nursery-djuric-tardio-architectes
12. (Sito WEB) BOLLINGER+GROHMANN, *MODULAR MOBILE NURSERY. Paris, France*, 2017 https://www.bollinger-grohmann.com/en.projects.modular-mobile-nursery.html
13. (Articolo online) Atelier PK Architekten, *Preis – Urbaner Holzbau Woodcube – Hamburg*, 2010 https://atelier-pk.com/projekte/1-preis-urbaner-holzbau-woodcube-hamburg/
14. (Sito WEB) DLUBAL, *Woodcube – Un edificio residenziale ad Amburgo, Germania*, 2021 https://www.dlubal.com/it/download-e-info/referenze/progetti-clienti/000775#
15. (Sito WEB) IBA Hamburg, *Smart Material House WOODCUBE,* 2014 https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/story/iba-hamburg.html
16. (Articolo online) MARLEGNO, *Oratorio in legno a Carobbio*, 2019 https://www.marlegno.it/archivio-realizzazioni/oratorio-carobbio-degli-angeli
17. (Magazine online) Archdaily, *Populous Architects, London Olympic Stadium*, 2011 https://www.archdaily.com/247935/london-olympic-stadium-populous
18. (Magazine online) Archdaily, *Multipod Studio, Pop-Up House*, 2014 https://www.archdaily.com/486587/pop-up-house-multipod-studio
19. (Articolo online) *ABOUT UMAR, Urban Mining and Recycling*, 2018 http://nest-umar.net/portfolio/umar/
20. (Magazine online) ARCHELLO, *The Circular Economy Building*, 2022 https://archello.com/project/the-circular-economy-building
21. (Magazine online) DIVISARE, *Eduard Balcells, Daniel Tigges, El Til Ler School*, 2018 https://divisare.com/projects/410262
22. (Magazine online) DIVISARE, *Studio Jan Vermeulen Tom Thys Architecten, New visitor centre for Prinsenpark*, 2022 https://divisare.com/projects/457586-studio-jan-vermeulen-tom-thys-architecten-jeroen-verrecht-new-visitor-centre-for-prinsenpark
23. (Magazine online) DIVISARE, *Istituto di ricerca dell'ospedale Sant Pau,* 2019 https://divisare.com/projects/416377-picharchitects-2bmfg-aldo-amoretti-sant-pau-hospital-s-research-institute
24. (Magazine online) Archdaily, *Hotel Revier / Carlos Martinez Architekten*, 2017 https://www.archdaily.com/891200/hotel-revier-carlos-martinez-architekten?ad_medium=gallery

© Melanie Viola

6.2 | CASI STUDIO IN NORD EUROPA

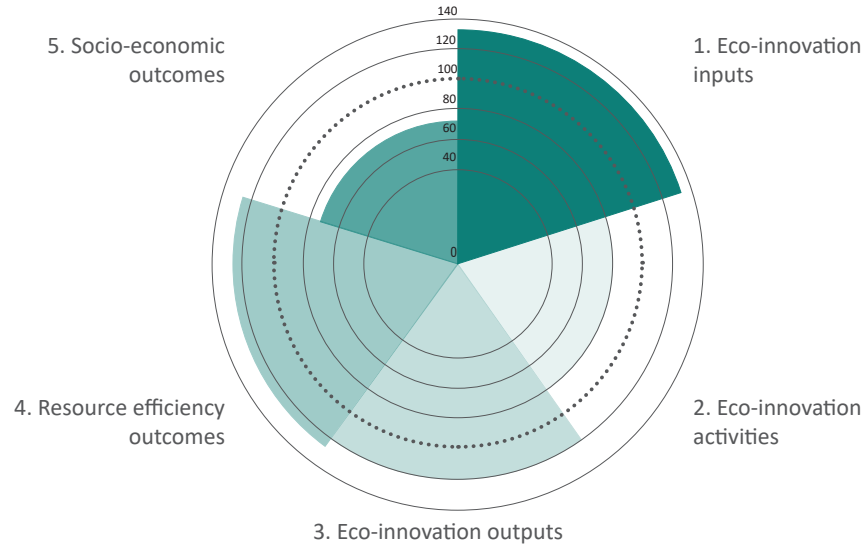
I Paesi Bassi sono migliorati dalla quattordicesima posizione nel 2017 alla nona posizione nel 2019 nell'indice di ecoinnovazione, superando Francia, Irlanda, Regno Unito, Portogallo e Spagna. Ha aumentato, infatti, il suo punteggio a 110, collocandosi al di sopra della media dell'UE.

Nel 2017 hanno ottenuto punteggi superiori alla media dell'UE per quanto riguarda i risultati in termini di efficienza delle risorse, che nel 2019 sono stati seguiti da punteggi superiori alla media dell'UE in termini di input e output dell'ecoinnovazione. Inoltre, lo stesso punteggio è notevolmente migliorato, sebbene ancora leggermente al di sotto della media europea. Il punteggio sui risultati socioeconomici rimane allo stesso livello relativo, appena al di sotto della media europea.

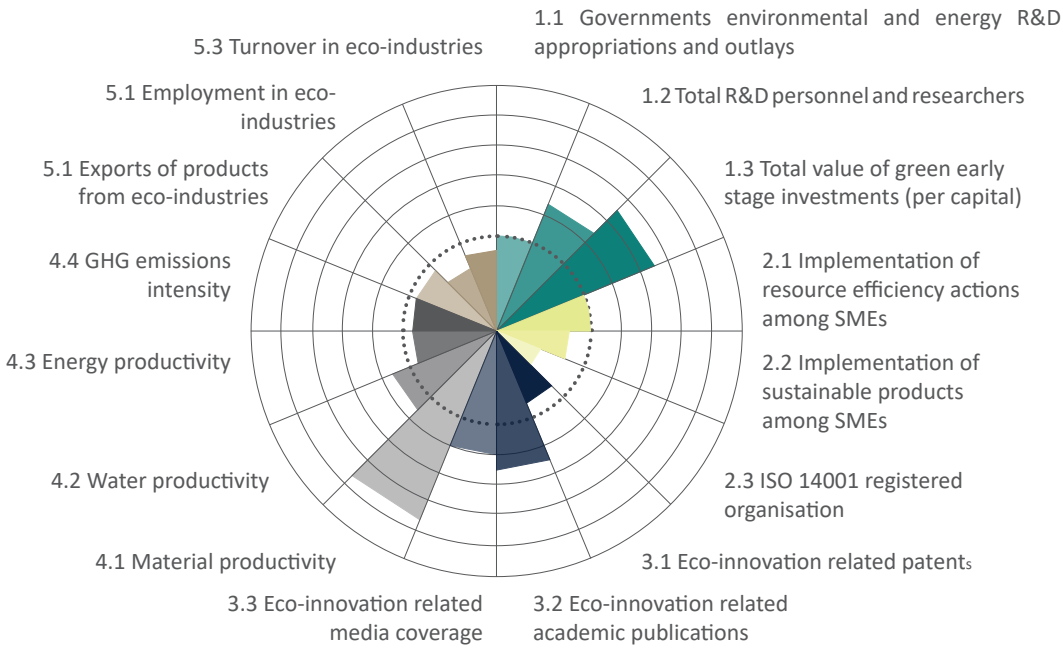
L'economia circolare offre soluzioni ad alcune delle più grandi sfide della società, dalla lotta alle emissioni di carbonio, ai cambiamenti climatici e alle pratiche edilizie non sostenibili, fino al soddisfare le aspettative sulla qualità della vita, man mano che le popolazioni crescono.

Come molti Paesi in Europa, i Paesi Bassi hanno puntato su un'economia completamente circolare entro il 2050 e stanno lavorando per una riduzione del 50% dell'uso di materie prime vergini entro la metà del 2030. Questa politica ha un grande impatto sugli sforzi per raggiungere una maggiore sostenibilità, anche nel settore edile e delle costruzioni. Le innovazioni nei metodi e nei materiali costruttivi, ma anche nelle politiche e nelle pratiche che governano questo settore,

sono fondamentali per raggiungere gli obiettivi nazionali ed europei dell'economia circolare. In pratica, ciò significa che le materie prime devono essere utilizzate e riutilizzate in modo più efficiente. Se le nuove materie prime sono inevitabili, dovrebbero essere ottenute in modo sostenibile.
Questi principi sono sostenuti da città olandesi come Amsterdam, che ha svolto un esercizio di mappatura (*City Circle Scan*) con l'obiettivo di essere la prima città veramente circolare. I risultati mostrano come le catene del valore della città possono essere adattate per stimolare l'innovazione, le opportunità commerciali e la creazione di posti di lavoro in settori consolidati e nuovi.



Five sub-components of Eco-innovation index for The Netherlands, 2019. Rielaborazione a cura delle autrici



All indicators of the Eco-innovation index for The Netherlands, 2019. Rielaborazione a cura delle autrici

Olanda. L'Economia Circolare nel Paese

"Amsterdam è la prima di molte città in tutto il mondo che implementano il *City Circle Scan* e sviluppano mappe stradali per una transizione verso un'economia circolare"[105], osserva Andy Ridley, CEO di *Circle Economy*, un'impresa sociale specializzata in transizioni di circolarità.

Tra le altre iniziative, il suo gruppo gestisce *Circle Lab*, una piattaforma online per città, imprese e cittadini, per esplorare e implementare modelli e strategie di business circolari per affrontare le sfide globali e locali.

Sono in corso progressi in tutta Europa, che mostrano questi principi di costruzione circolare in azione.

In Olanda, costruire sostenibile significa ridurre gli impatti negativi causati dal processo di costruzione, dagli edifici e dall'ambiente edificato.

Un progetto pilota, il *Green Transformable Building Lab* (GTB Lab) nella città di Barendrecht, sta portando avanti una nuova filosofia in cui i rifiuti sono considerati un errore di progettazione. Sta rivoluzionando la costruzione tradizionale con nuovi moduli *plug-and-build* che possono essere riconfigurati in base alle mutevoli esigenze o circostanze degli utenti. Questo può essere fatto con perdite o sprechi di materiale minimi o nulli e offre enormi risparmi di tempo e costi.

105 European Commission, *The Netherlands adds a circular building touch*, 2019

"La partecipazione del settore edile al GTB Lab ha consentito l'analisi di nuovi modelli aziendali e operativi che rendono fattibile un progetto circolare"[106], osserva il team di *Building as Material Banks*, un'iniziativa finanziata dall'UE che gestisce progetti pilota di economia circolare.

106 ivi

Sono diverse le piattaforme, i progetti o fondazioni che sono nati negli ultimi tre anni nel Paese, allo scopo di facilitare una transizione dall'attuale modello economico lineare ad uno più circolare e che hanno aggregato soggetti istituzionali, privati, università, centri di ricerca e ONG.

L'esempio europeo al quale i Paesi Bassi si sono ispirati, e che ha fatto scuola a livello internazionale, è il programma *Circular Economy 100*, della Ellen MacArthur Foundation.

Si tratta di una piattaforma globale che riunisce 100 aziende *market leader,* ma anche istituzioni accademiche, governi centrali, città, soggetti innovatori, PMI e altri affiliati. Non per nulla, il gruppo olandese di aderenti ufficiali al programma è il più folto.

Degli otto *global partners* della fondazione, due sono multinazionali, in parte, come Unilever, o totalmente olandesi, come il gruppo Philips.

Tra le città olandesi che ambiscono a diventare città circolari, non può non esserci Amsterdam, ma anche Haarlemmermeer che, insieme ad altri 13 comuni formano il distretto *City Region of Amsterdam*. Amsterdam ha affidato alla cooperativa *Circle Economy* nel 2014 uno studio, in fase di sviluppo, per identificare le potenziali aree

di sviluppo di modelli economici circolari, le opportunità economiche locali che ne possono conseguire e quali strategie adottare per arrivarci concretamente.
Il programma di sostenibilità che la città di Amsterdam ha reso noto nel marzo del 2015, già prevedeva come obiettivi al 2020 un aumento del 20% della quota di energia rinnovabile utilizzata e una diminuzione del 20% delle emissioni, attraverso un piano che interessa sia il trasporto privato che pubblico.
Ora, l'economia circolare entra a far parte integrante del programma di sostenibilità a lungo termine con il coinvolgimento dei suoi abitanti.
I cittadini sono stati informati sullo studio e caldamente invitati ad esprimersi in merito con suggerimenti, proposte, ma anche pareri su eventuali ostacoli che possono impedire la realizzazione di progetti circolari, tramite una consultazione aperta sul sito del comune di Amsterdam.
Tra le piattaforme e iniziative più interessanti c'è il programma *Netherlands as a circular hotspot*, un'iniziativa che ha il compito di promuovere i Paesi Bassi a livello internazionale come paese pioniere per un'economia circolare. Il programma è organizzato dalla cooperativa *Circle Economy,* con il sostegno del governo olandese. Il responsabile del programma è Guido Braam, di cui viene riportato uno stralcio di intervista, che si trova sul sito della commissione Europea alla sezione *Ambiente/ Interviste agli esperti: Una nuova gestione per l'economia circolare.*

Sarebbe a favore di una sorta di ministero per l'economia circolare?
"[...] Aiuta molto avere un obiettivo comune. Per questo abbiamo pensato di lanciare *Netherlands as a circular hotspot*, un'iniziativa alla quale tutti possono contribuire. Abbiamo avuto incontri dedicati all'innovazione aperta tra comuni, le regioni e il governo olandese, per identificare quale nuovo tipo di *governance* sia necessaria, ma non siamo ancora arrivati a definire una soluzione standard. Oltretutto, il cambiamento verso un'economia circolare non può semplicemente arrivare dal governo. Proverrà più facilmente dalla società stessa, come insieme di soggetti che chiederanno al governo di svolgere un nuovo ruolo. Un esempio è la coalizione *Realisation of Acceleration towards a Circular Economy* (RACE), formata da rappresentanti di imprese, governo e ONG. Questo è un esempio di ciò che sta attualmente funzionando bene".

Se si riuscisse a realizzare in Olanda un modello di governance efficace per l'economia circolare, potrebbe trattarsi di un modello trasferibile ad altri Paesi?
"[...] Dipende molto dai modelli culturali dei Paesi e da quanto è prassi comune che le persone vengano trattate in modo paritario. Nei Paesi Bassi, è abbastanza comune che rappresentanti del mondo scientifico, aziendale e del governo possano lavorare insieme su un piano di parità. Nel caso della coalizione RACE, alla quale il governo partecipa e destina dei finanziamenti pubblici, tutti i partecipanti godono dello stesso peso.
[...] Abbiamo la fortuna di essere una delle società più ricche del mondo e, quindi,

anche l'obbligo di fare passi in avanti e scoprire soluzioni da offrire ad altre parti del mondo"[107].

107 Commissione Europea, sezione Ambiente/Interviste agli esperti: Una nuova gestione per l'economia circolare. Intervista a Guido Braam, responsabile di *Circle Economy*.

Quadro politico strategico

La strategia olandese per l'Economia Circolare è stata stilata nel 2016 all'interno del programma governativo *A Circular Economy in the Netherlands by 2050* (*Nederland Circulair in 2050*). Il programma ha l'obiettivo finale di raggiungere un'economia completamente circolare entro il 2050, anno per il quale si punta ad avere zero rifiuti e un'economia basata sull'uso di materiali riciclati o riciclabili; per il 2030 si è prefissato, invece, un obiettivo intermedio: ridurre del 50% l'utilizzo di materie prime.

Tre obiettivi strategici sono stati formulati all'interno di questo programma:

- Che le materie prime nelle catene di approvvigionamento esistenti vengano utilizzate come prodotti di alta qualità, incrementando l'efficienza e, di conseguenza, diminuendo la domanda;
- Che, nel caso in cui materie prime di origine fossile siano necessarie, queste vengano sostituite da materie prodotte in maniera sostenibile, rinnovabili e disponibili localmente;
- Che vengano sviluppati nuovi metodi di produzione, diffondendo un nuovo metodo di consumo.

Nel *National Agreement on the Circular Economy* (*Grondstoffenakkoord*) nel gennaio 2017, compagnie, governi, organizzazioni ambientaliste, istituti universitari, economici ed altre organizzazioni hanno appoggiato l'ambizione di avere un'economia completamente circolare nel 2050.

Un'importante parte di questo accordo è stata sviluppare un'agenda di impegni per questa transizione, individuando cinque settori prioritari: biomassa e cibo; plastiche; industria manifatturiera; settore delle costruzioni; benessere dei consumatori. All'inizio del 2018, quest'agenda è stata stilata e presentata.

Nel 2019, il programma *Circular Innovation Implementation* (*Uitvoerings programma Circulaire Economie*) è stato lanciato. Questo programma traduce i cinque obiettivi in agenda in azioni concrete, da intraprendere nel periodo 2019-2023. Questo verrà aggiornato regolarmente, con la pubblicazione di un *report* biennale da parte della *Netherlands Environmental Assessment Agency* (PBL).

Per quanto riguarda l'economia circolare, la *Netherlands Environmental Assessment Agency* (PBL) ha portato avanti nel 2019 un'analisi su tutte le attività circolari nei Paesi Bassi. Nel *report* si dice che "non c'è, ancora, alcuna prospettiva di una transizione accelerata verso una vera e propria economia circolare, come previsto dal Consiglio dei Ministri"[108].

È stato anche scoperto che la maggior parte delle azioni delle aziende sulla

108 *Netherlands Environmental Assessment Agency* (PBL), analisi 2019

riduzione dell'utilizzo delle materie prime non sono innovative (solo 1.500 delle 85.000 attività mappate sono state dichiarate come innovative).
La maggior parte delle azioni governative si concentra sul riciclaggio. Dei 22,5 milioni di euro che il governo ha messo a disposizione per l'economia circolare, 10 milioni sono destinati al riciclaggio della plastica e dei beni di consumo e 5 milioni al riciclaggio dei materiali edilizi.
La prima raccomandazione di PBL è di prestare attenzione a tutte le possibilità per l'applicazione dell'economia circolare, rispettando tutte e nove le "R" (rifiutare, ripensare, ridurre, riutilizzare, riparare, rinnovare, ricostruire, riutilizzare, riciclare, recuperare). Le prime strategie "R" menzionate hanno l'impatto più alto e le ultime menzionate il più basso.

Danimarca. L'Economia Circolare nel Paese

La Danimarca è al secondo posto con un punteggio di 146 nell'*Eco-Innovation Index 2019*, dietro al Lussemburgo. Si tratta di un graduale miglioramento rispetto agli anni precedenti, in cui si collocava al quinto posto nel 2017 e al quarto nel 2015. La performance in materia di ecoinnovazione della Danimarca mostra che in quattro componenti su cinque è migliorata complessivamente nella classifica rispetto agli anni precedenti. I risultati dell'ecoinnovazione continuano a essere la componente con le migliori prestazioni, seguita da vicino da un significativo miglioramento dei risultati socioeconomici. Gli input dell'ecoinnovazione sono rimasti al di sopra della media dell'UE, pur mostrando punteggi inferiori rispetto agli anni precedenti. Le attività di ecoinnovazione hanno prestazioni inferiori, ma comunque leggermente migliori rispetto agli anni precedenti e più vicine alla media dell'UE.
La Danimarca non è mai stata classificata al di sotto del quinto posto dal primo quadro di valutazione dell'innovazione ecologica del 2010. La loro vasta conoscenza in materia di transizione verde ed energia ha una solida reputazione e contribuisce ai progressi significativi del paese.
Il panorama politico danese ha introdotto l'attuazione della *Strategia per l'economia circolare* da parte del governo danese. Tuttavia, l'economia circolare selezionata, le aree di ecoinnovazione e le nuove tendenze non hanno registrato cambiamenti significativi negli ultimi due anni.
Considerando che la Danimarca ha grandi ambizioni nell'economia circolare, molto dovrà essere fatto a livello intersettoriale. Alcuni settori sembrano tuttavia degni di essere menzionati. Il settore edile è responsabile di un terzo di tutti i rifiuti in Danimarca, mentre il settore agricolo è responsabile, fino al 20%, delle sue emissioni di gas a effetto serra. Anche la spedizione e la gestione dei rifiuti sono aree di interesse. Nel frattempo, il principale motore in Danimarca è la continuazione della sua esperienza a lungo termine, in termini di sviluppo politico

e sostegno tra i partiti. Ciò è supportato da stimoli finanziari e dall'istituzione di un quadro giuridico e normativo a sostegno della transizione verde. Gli ostacoli includono: sfide nel sostenere il suo ambizioso portafoglio di politiche, mantenere lo slancio e raggiungere gli obiettivi prefissati.
La Danimarca dovrà sostenere una parte sostanziale della forza lavoro con le giuste competenze per sostenere il Paese nel suo ambizioso percorso di transizione. Ciò potrebbe essere messo in discussione da altri eventi sociali imprevisti (come la pandemia di COVID-19), ma può anche essere un'opportunità per trasformare l'economia.

Si sta osservando un'evoluzione di alcuni nuovi settori, in termini di ecoinnovazione ed economia circolare, che mostrano importanti sviluppi.
The Grøn Projektbank (*Banca dati Green Project*) comprende oltre 1000 progetti finanziati nell'area ambientale, alimentare e delle bio-risorse che hanno ricevuto sostegno pubblico dall'*Innovation Fund Denmark*, MUDP o GUDP in 34 aree di interesse e 13 settori.
La *Danish Strategy for Circular Economy*, dal 2018, individua 6 aree di interesse per l'economia circolare:

- Rafforzare le imprese come volano per la transizione circolare;
- Supporto allo sviluppo dell'economia circolare attraverso dati e digitalizzazione;
- Promuovere l'economia circolare attraverso il progetto;
- Cambiare i modelli di consumo;
- Creare un proprio mercato funzionante dei rifiuti e delle materie prime riciclate;
- Ottenere più valore da edifici e biomassa[109].

109 Ministero dell'Ambiente e dell'Alimentazione della Danimarca, 2018

Per l'ultima area di interesse, la strategia menziona che il settore edile e delle costruzioni e l'industria alimentare hanno alcuni dei maggiori potenziali economici e ambientali, per implementare l'economia circolare in Danimarca.
Nel novembre 2019 il parlamento danese ha concordato l'assegnazione della riserva economica di ricerca per il 2020 di 1.925 milioni di corone danesi. Si è convenuto che la riserva di ricerca deve contribuire alla trasformazione verde e all'obiettivo di una riduzione del 70% delle emissioni di gas serra in Danimarca entro il 2030, il che richiede un ampio sforzo di ricerca interdisciplinare.
I partiti politici hanno deciso di stanziare più di 1,5 miliardi di corone danesi per la ricerca verde, in aree come come ristrutturazione del settore agricolo, trasporti rispettosi dell'ambiente e città sostenibili[110].

110 Ministero danese dell'istruzione superiore e della scienza, 2019

Quadro politico strategico

Il Paese ha ormai sviluppato un record di *politiche verdi* progressiste sostenute da un quadro politico ambizioso, e un approccio a più soluzioni supportato dai

finanziamenti necessari. Il governo danese sostiene che la Danimarca debba rimanere un *leader globale* in termini di politiche ambientali e iniziative ecologiche e che debba influenzare lo sviluppo verso soluzioni ecologiche in Europa e nel mondo[111].

111 Ministero danese del clima, dell'energia e dei servizi pubblici, 2018

Il governo danese ha approvato una serie di importanti legislazioni, strategie, accordi e programmi di finanziamento, che hanno l'obiettivo di rafforzare il quadro nazionale rispetto all'ecologia. Tra questi:

1. Strategie per l'economia circolare (2018);
2. Nuovo accordo politico per garantire un settore dei rifiuti danese verde entro il 2030 (2020);
3. Strategie per la crescita digitale della Danimarca (2018);
4. Sostenere i programmi di sviluppo nel futuro;
5. Tecnologie *verdi* (MUDP, GUDP e EUDP);
6. La legge danese sul clima (2019);
7. Partnership per il clima;
8. Accordo sull'energia (2018);
9. Proposta *Insieme per un futuro più verde* (2018);
10. Il Consiglio economico danese di economia ambientale – Nuovo rapporto (2019);
11. Il comitato esecutivo danese per lo sviluppo e la crescita delle imprese (2019).

Vengono citati alcuni punti chiave per i fini di questa ricerca.

1 | Strategia per l'economia circolare (2018)

Nel settembre 2018 il governo danese ha lanciato la *Strategia per l'economia circolare*. La strategia è un seguito delle 27 raccomandazioni che l'*Advisory Board for Circular Economy* ha presentato nel giugno 2017 e copre il periodo 2018-2022. È anche strettamente correlato alla *Utilities Strategy* che il governo danese ha lanciato a settembre 2016 promuovendo, tra le altre cose, un migliore utilizzo dei rifiuti[112].

112 Ministero danese del clima, dell'energia e dei servizi pubblici, 2016

La strategia sta anche contribuendo a realizzare il piano d'azione del governo danese per i 17 obiettivi globali delle Nazioni Unite.

Per sostenere la transizione verso un'economia più circolare, il governo danese ha stanziato 116 milioni di DKK che saranno spesi in 15 iniziative, suddivise in 6 aree tematiche[113]:

113 Ministero dell'Ambiente e Cibo della Danimarca, 2018

- Rafforzare le imprese come forza trainante per la transizione circolare;
- Sostenere l'economia circolare attraverso i dati e la digitalizzazione;
- Promuovere l'economia circolare attraverso la progettazione;
- Cambiare i modelli di consumo attraverso l'economia circolare;

- Creare un mercato funzionante per i rifiuti e le materie prime riciclate;
- Ottenere più valore dagli edifici e dalla biomassa.

3 | Strategie per la crescita digitale della Danimarca (2018)

Nel gennaio 2018 il governo danese ha presentato la nuova *Strategia di crescita digitale*. Tale strategia è composta da 38 iniziative; sono stati stanziati 134 milioni di euro, per il periodo che va dal 2018 al 2025, e 10 milioni di euro annui, dal 2025 in poi[114].

114 Ministero degli affari esteri della Danimarca, 2018

4 | Supportare i programmi per lo sviluppo di un futuro verde attraverso le tecnologie MUDP, GUDP e EUDP.

Il piano d'azione danese per promuovere la tecnologia ecoefficiente risale al 2007 e nel 2015 il parlamento danese ha adottato una nuova legge che definisce il quadro per MUDP.
La strategia *Miljøteknologisk Udviklings - og Demonstrationsprojekt* (MUDP) per il 2020-23 si basa sugli SDG delle Nazioni Unite. L'obiettivo del MUDP è aiutare a fermare il declino della biodiversità, frenare il riscaldamento globale e proteggere l'ambiente e la salute umana; assicura attività ambientali basate sulla conoscenza e sull'innovazione in Danimarca. In conformità con l'accordo sull'assegnazione di ulteriori finanziamenti alla ricerca nel 2020, denaro extra è stato assegnato al MUDP.
Il *Grønt Udviklingsog Demonstrations Program* (GUDP) è stato istituito nel 2010 ed è un regime di sostegno alle imprese, con l'obiettivo di creare una migliore sostenibilità verde nel settore alimentare danese.
Il *Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram* (EUDP) è stato istituito nel 2007 ed è un regime di sovvenzioni pubbliche a sostegno delle nuove tecnologie nel campo dell'energia, che può aiutare a raggiungere gli obiettivi energetici e climatici della Danimarca, in particolare nel renderla indipendente dai combustibili fossili entro il 2050. GUDP investe nella sostenibilità e nella collaborazione tra industria e ricerca.

Photographs: Lucas van der Wee
Building D(emountable)
"La costruzione dell'edificio ha avuto luogo in un periodo di tempo estremamente breve: circa 6 mesi"
Architectenbureau Cepezed

6.2.1 | Building D(emountable), 2019 (NL)

Floor Area: 968 m^2

Year: 2019

City: Delft (NL)

Building Type: Offices

Client: Jan Pesman

Design Team

Architects: Architectenbureau Cepezed

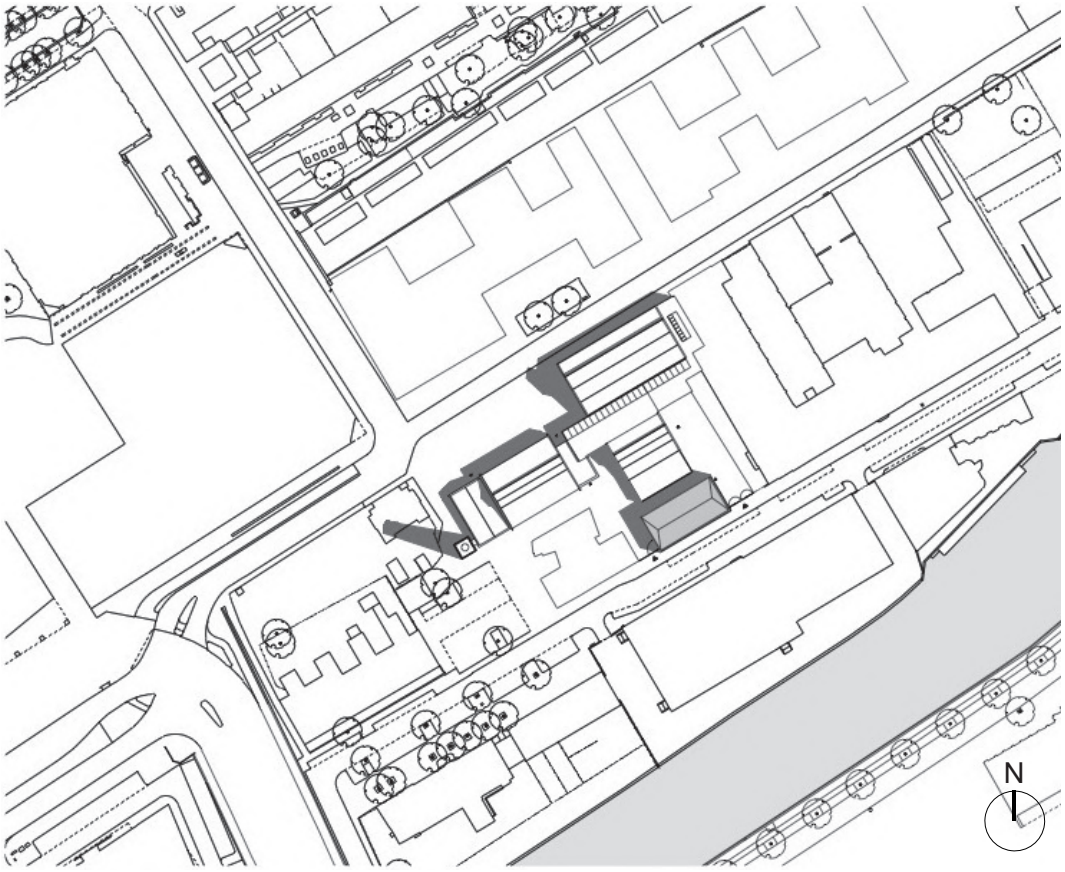
Contractor Glass Façade: Waddinxveen, IFS Building Systems

Structural Engineering: IMd Raadgevend Ingenieurs

Consultant Mechanical & Electrical Engineering, Consultant Building Physics, Sustainability, Acoustics And Fire Safety: Nelissen Ingenieursbureau

Contractor Steel Construction: Voortman Steel Construction, Rijssen

Contractor Electrical And Mechanical Installations: Kuijpers Utiliteit Midden-Noord B.V, De Meern



Masterplan © Architectenbureau Cepezed

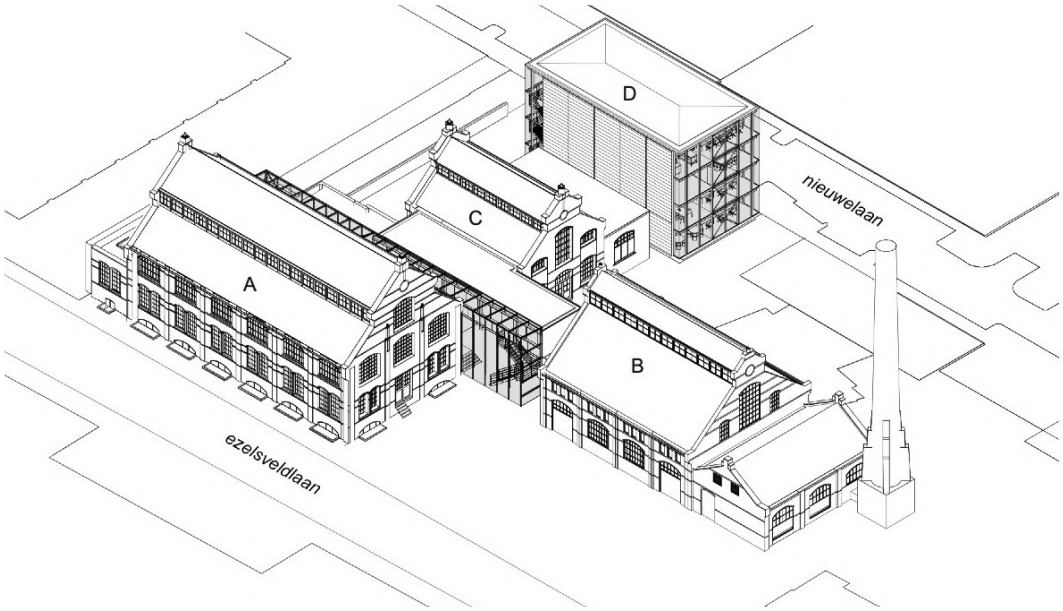
Building D(emountable) è un edificio moderno, sostenibile e completamente smontabile realizzato nel sito di un edificio storico, nel centro della città di Delft.
Il sito è stato acquistato dalla società Cepezed, che ha poi trasformato l'edificio in un grande ufficio: oggi ospita le sedi di varie compagnie creative.
L'edificio ha esattamente la stessa impronta di quello preesistente, che è stato demolito in quanto versava in condizioni di degrado.
Misura 11x21,5 m, ed è composto da quattro piani aventi un'area di circa 200 m^2.
La struttura è estremamente leggera: l'uso dei materiali è limitato al massimo. L'edificio risulta essere, inoltre, completamente flessibile nella sua organizzazione interna; a livello impiantistico non è previsto l'utilizzo di gas ed è presente un sistema di recupero del calore.
Il piano terra è realizzato con un getto di cemento, ma, viceversa, tutte le componenti dell'edificio sono modulari e montate a secco.
Il principio di base che ha guidato la progettazione è stato la semplicità.
Lo studio di architettura Cepezed è conosciuto per la progettazione di edifici modulari e decostruibili.
Building D(emountable) è stato preso come edificio di riferimento in questo campo, portando i Paesi Bassi più vicini all'obiettivo di sviluppare un'economia completamente circolare entro il 2050.

Come dichiara Doris Harding, responsabile della fase di progettazione tecnologica, nel seminario *Reinventing the Building Sector III: Design for disassembly*, organizzato da ReBAU, "oltre ad essere uno studio di architettura, Cepezed ha anche dalla sua parte un team di gestione della costruzione, un team di coordinamento e un team di *interior design*. Avere tutte queste discipline *in casa*, ci ha veramente aiutato nel controllare la qualità del progetto durante tutte le sue fasi". Continua dicendo che "dobbiamo creare edifici che siano fatti di materiali prefabbricati e assemblati tramite connessioni a secco. Fortunatamente, oltre ai benefici ambientali ed economici, progettare in questo modo garantisce anche che gli edifici siano belli da vedere e da abitare".
Nove anni fa, Cepezed ha acquistato il sito degli edifici monumentali, costruiti nel 1907. Qui, ha deciso di realizzare dei nuovi uffici.
Possiamo osservare l'edificio prefabbricato (Building D) e il nuovo collegamento vetrato posizionato in mezzo ai due volumi principali in laterizio.

Come racconta D. Harding, uno degli obiettivi principali era proprio quello di creare una struttura estremamente leggera, che, tramite la facciata continua, contrastasse con gli edifici introversi del contesto.
Il continuo flusso di lavoratori all'interno degli uffici avrebbe portato maggiore

1030 Building D(emountable)
3D Situation

Building A = cepezed / cepezedinterieur
Building B = Connekt
Building C = Cepezedprojects / cepezedbouwteams
Building D(emountable) = 9to5 software / Triumph Studios



Vista da Sud © Architectenbureau Cepezed

vitalità in questa zona, precedentemente poco frequentata.
L'edificio è stato progettato nel modello *open floor*. Ogni piano ha un suo blocco di servizio, dove sono localizzati gli ascensori e i servizi igienici. Ognuno di essi ha un'organizzazione dello spazio differente.
La struttura portante è realizzata in acciaio; solai e tetti sono realizzati con pannelli leggeri in legno LVL (*Laminated Veneer Lumber*), anche questi prefabbricati.
Inoltre, nelle aperture vetrate, non sono presenti telai, ma il doppio vetro è montato direttamente sulla struttura in acciaio. Per questo motivo, la struttura è dotata di profili a vite.
Il processo di costruzione è stato completato in un periodo di circa 6 mesi. La struttura completa dello scheletro in acciaio e dei pavimenti in legno è stata assemblata in 3 settimane.
L'edificio è stato completato nel 2019, ed è un tipico esempio della tradizione costruttiva di Cepezed.
Come specifica D. Harding, ogni piano pesa circa 500 kg. Se si paragona questo peso con quello di una struttura tradizionale tedesca, che pesa intorno ai 1000-1500 kg, si può affermare che questa sia una struttura relativamente leggera.

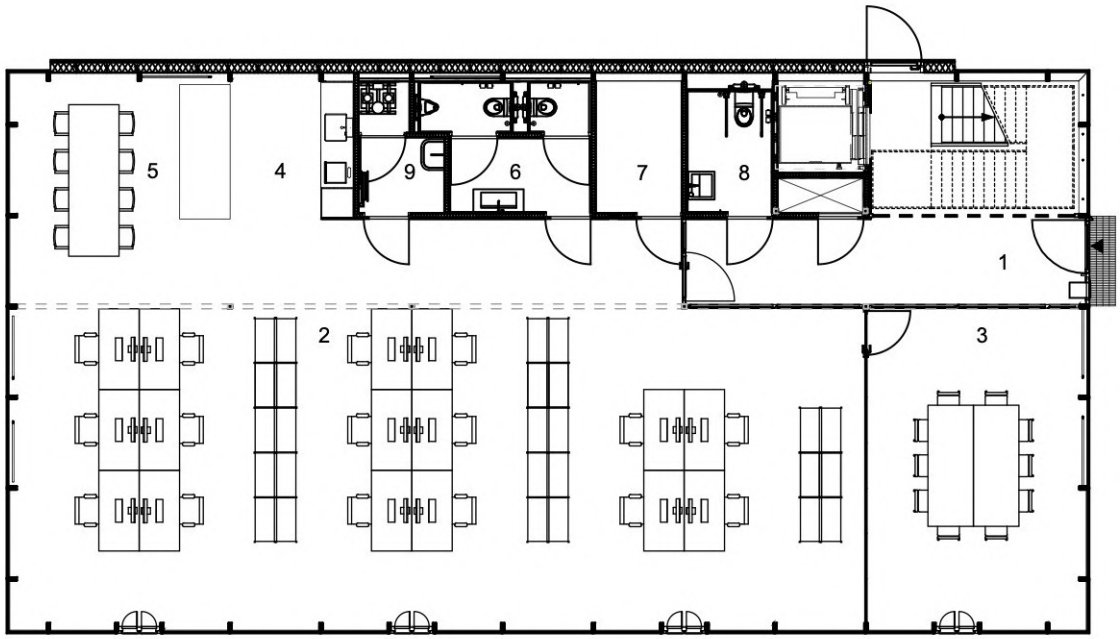
(Immagine) Sollevamento vano ascensore © Architectenbureau Cepezed

Le persone pensano alle strutture smontabili come temporanee.
Cepezed, al contrario, dichiara di aver seguito come proposito quello di rendere il Building D un edificio a lunga durata, che potrà essere facilmente smontato quando arriverà il momento. L'obiettivo era quello di realizzare un edificio di alta qualità, i cui materiali potessero essere riutilizzati in maniera appropriata nella fase di fine vita.

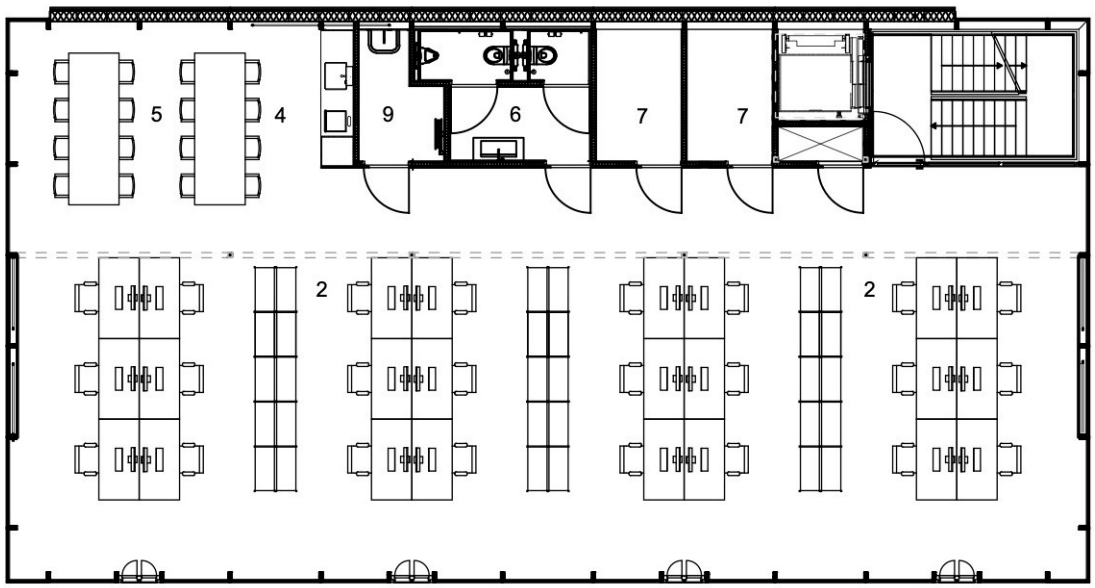
(Immagine) Avanzamento dei lavori a un giorno dall'inizio © Architectenbureau Cepezed

1030 Building D(emountable)
Floor plans
1:150

1. entrance hall
2. office space
3. meeting room
4. pantry
5. lunch space
6. toilets
7. storage space
8. accessible toilet
9. utility room



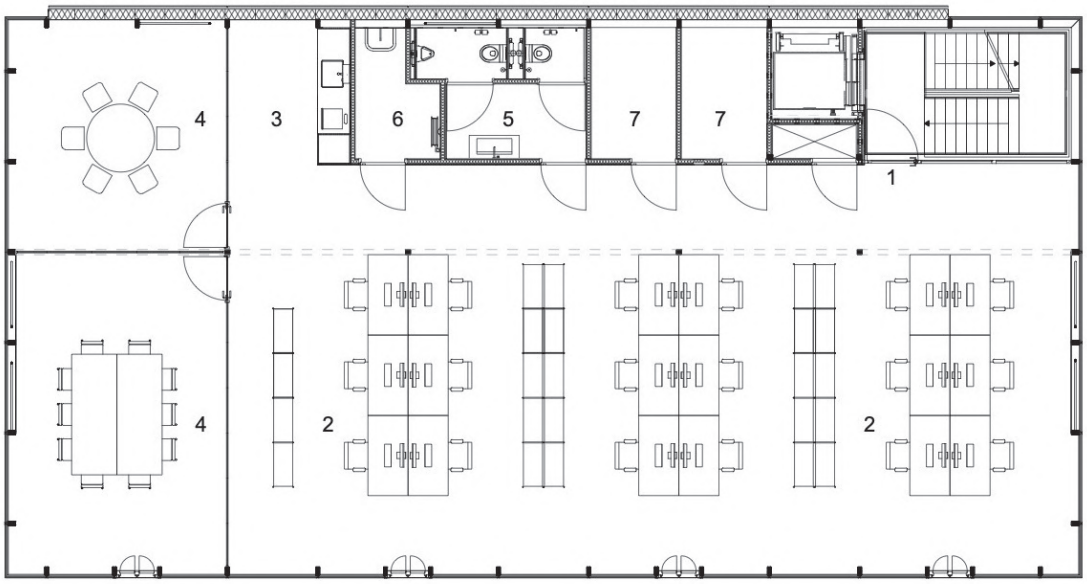
Pianta piano terra © Architectenbureau Cepezed



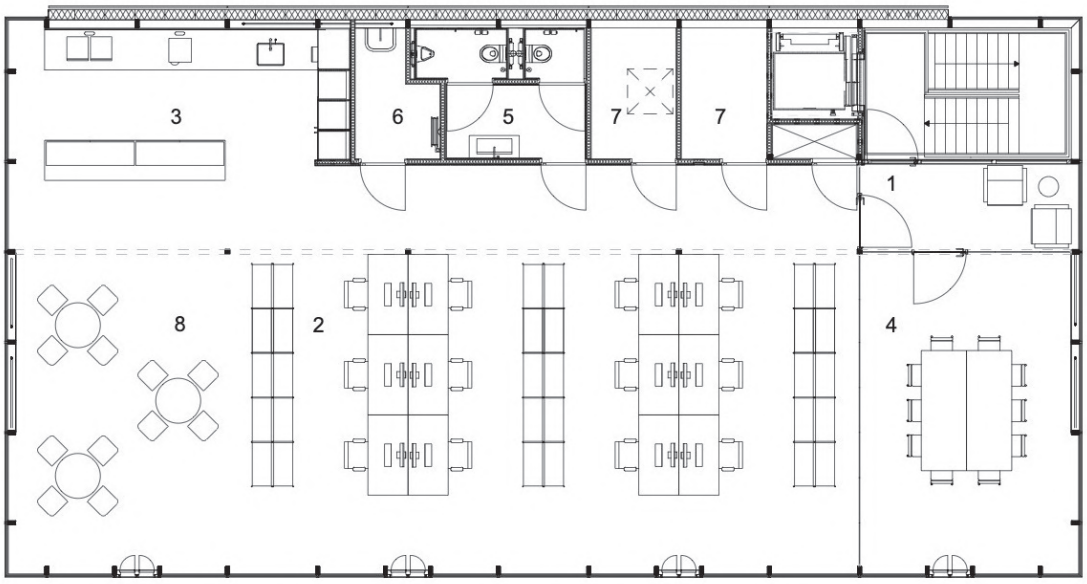
Pianta piano primo © Architectenbureau Cepezed

1030 Building D(emountable)
Floor plans
1:150

1. entrance
2. office space
3. pantry
4. meeting room
5. toilets
6. utility room
7. broom cupboard
8. lunch room



Pianta piano secondo © Architectenbureau Cepezed

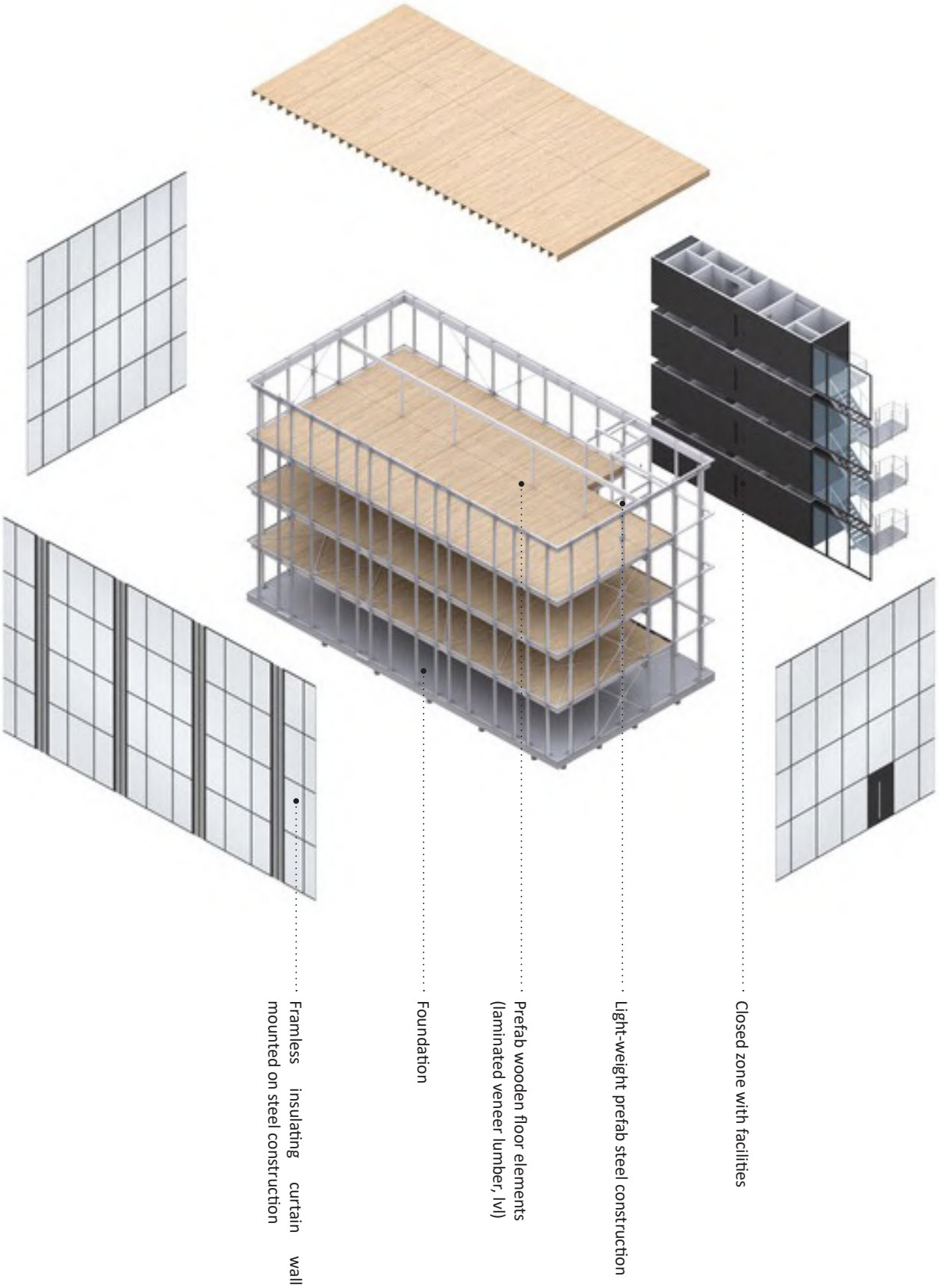


Pianta piano terzo © Architectenbureau Cepezed

L'intero edificio funziona come un unico grande vano antincendio; di conseguenza, è stata necessaria una piccola quantità di materiale per le misure di contenimento del fuoco. Solo il vano scala presenta una partizione ignifuga.
Ad ogni piano sono integrati a soffitto dei condizionatori che si occupano anche del riscaldamento. Inoltre, l'immobile è dotato di scambiatore di calore.
Sono presenti delle tende scorrevoli che proteggono gli utenti dalla radiazione solare.

Processo integrato

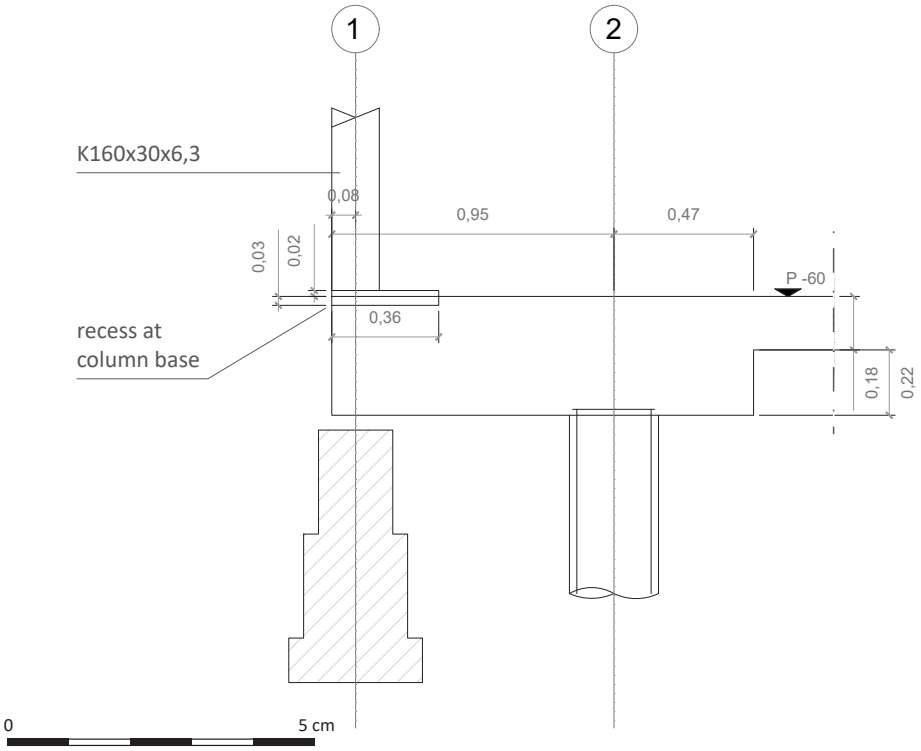
La costruzione dell'edificio ha avuto luogo in un periodo di tempo estremamente breve: circa 6 mesi.
Con il posizionamento del vano ascensore, l'edificio è stato addirittura completato in un'ora dall'inizio dei lavori. La struttura completa di scheletro in acciaio e pavimenti in legno è stata messa insieme in 3 settimane.
Ciò è stato possibile, tra l'altro, grazie a un processo integrato con una preparazione ponderata e una cooperazione stretta e integrata tra le varie discipline Cepezed: dagli sviluppatori del progetto di architettura agli *interior designer*.
Tutti i professionisti *convivono* sotto lo stesso tetto: ciò permette che la comunicazione sia immediata. Questo, non solo ha migliorato l'efficienza del processo, ma anche il livello di coordinamento e, quindi, la qualità.
Cepezedprojects ha sviluppato l'idea progettuale, Cepezed e Cepezed Interior hanno progettato l'architettonico e Cepezedbouwteam ha coordinato la costruzione. C'è stata una stretta collaborazione tra i progettisti e il coordinatore della costruzione durante l'intero processo.
Degna di nota è anche la collaborazione con i *partner* esterni. Con molti di questi, Cepezed collabora spesso anche ad altri progetti. Di conseguenza, tutte le parti erano già ben in sintonia tra loro.
Ad esempio, la consulenza strutturale è stata fornita da IMd e la consulenza rispetto al settore delle installazioni, della fisica tecnica degli edifici e della sicurezza antincendio è stata fornita da Nelissen. La realizzazione è stata appaltata a vari soggetti come Voortman, Metsä Wood, iFS, Kuijpers e Qbiq + Schelp Bouw & Interieur rispettivamente per la costruzione in acciaio, i pavimenti, le facciate, MEP/HAVAC e gli interni.
Questo approccio ha determinato il fatto che le parti esecutive dovessero concentrarsi solamente sulla propria area di competenza. In termini di tempo, utilizzo dei materiali e finanziari, ciò si è tradotto in un alto grado di efficienza.



(Grafico) Kit of parts building D(emountable) © Architectenbureau Cepezed

1030 Building D(emountable), Architectenbureau Cepezed. Rielaborazione a cura delle autrici
Foundation, efficient replacement

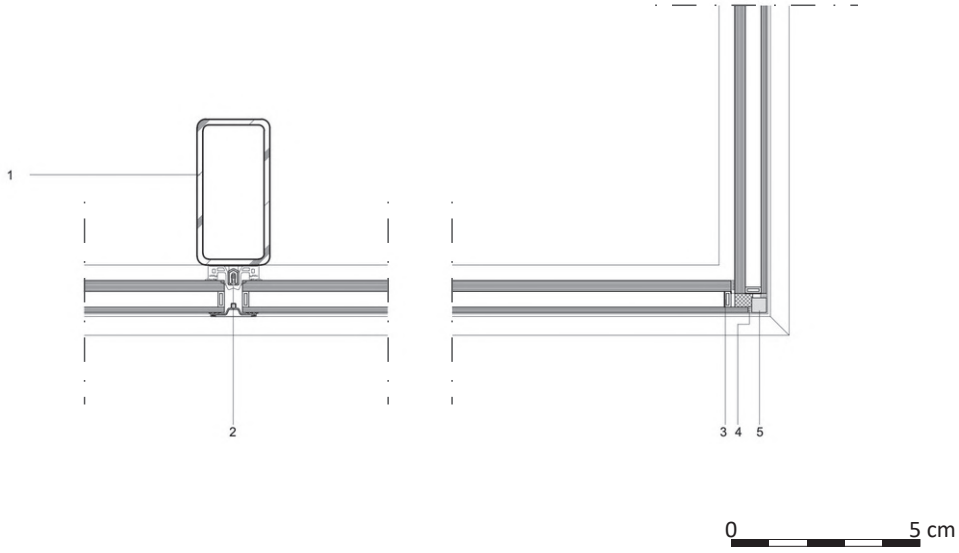
Phases:
- cantilevering table structure
- minimizing soil agitation (archeology)
- weighs approx. half of the total building



Le fondazioni preesistenti, del precedente cantiere, non si sono potute utilizzare; di conseguenza, si è dovuta scegliere una soluzione più adatta: per limitare al minimo gli sprechi e l'agitazione del suolo, si è optato per una fondazione a sbalzo, che è posizionata all'interno dell'impronta della fondazione preesistente.
In questo modo, non è stato necessario scavare molto. La lastra di cemento riportata nel dettaglio è relativamente spessa, perché la trave di fondazione è integrata nel pavimento.
Sopra questa lastra, è stata posizionata la struttura in acciaio leggero.
I pilastri corrono per l'intera altezza dell'edificio. Sono arrivati in cantiere in un unico pezzo, lunghi 12,5 m; sono posizionati relativamente vicini l'uno all'altro, rendendo possibile avere le travi che li collegano molto leggere.
Queste travi di facciata sono state realizzate appositamente su misura, e collegano fino a 8 pilastri. Ogni piano ha solo 6 di queste travi, quindi è davvero veloce assemblare questo edificio.
Poiché vengono usati anche molti elementi prefabbricati, il sollevamento del vano dell'ascensore ha permesso il raggiungimento del punto più alto dell'edificio entro due ore dall'arrivo dell'acciaio in loco.

1030 Building D(emountable) © Architectenbureau Cepezed
Horizontal façade detail
1:5

1. rectangular hollow section, 160x80 mm
2. courtain wall system, welded to steel structure
3. black spacers
4. black silicon joint
5. stainless steel square bar corner protection



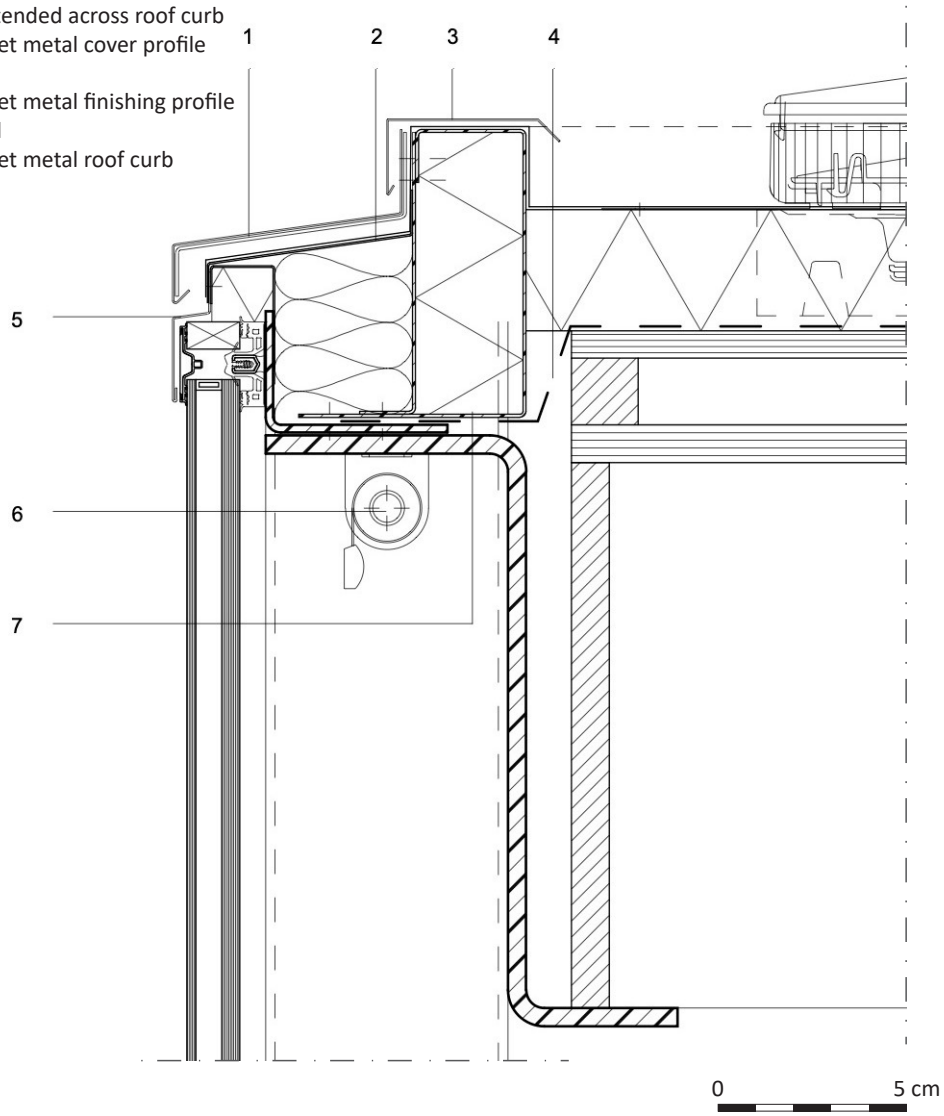
Riprendendo le parole di D. Harding, nel seminario *Reinventing the Building Sector III: Design for disassembly*, organizzato da ReBAU, "il sistema di facciata prevede che gli elementi della stessa siano saldati alla struttura portante. Così facendo, abbiamo risparmiato molto materiale, perché, in questo modo, non si rende necessaria la realizzazione di un telaio per l'inserimento delle finestre.
L'operazione di inserimento dei vetri senza un telaio è complessa per un edificio di quattro piani, in quanto le tolleranze per le facciate continue sono molto più stringenti rispetto a quelle riguardanti una semplice struttura portante in acciaio. [...] C'è voluta molta dedizione da parte dell'appaltatore della struttura.
Fortunatamente, abbiamo trovato un professionista disposto a farlo".
A lato è possibile osservare una foto realizzata in fabbrica durante la realizzazione della struttura.

(Immagini)
Elemento prefabbricato; fabbricazione acciaio e facciata continua
Video REBAU, *Reinventing the Building Sector III: Design for disassembly*

© Lucas van der Wee

1030 Building D(emountable) © Architectenbureau Cepezed
Vertical roof edge detail
1:5

1. folded sheet metal cover profile
2. roofing extended across roof curb
3. folded sheet metal cover profile
4. vapor seal
5. folded sheet metal finishing profile
6. roller blind
7. folded sheet metal roof curb

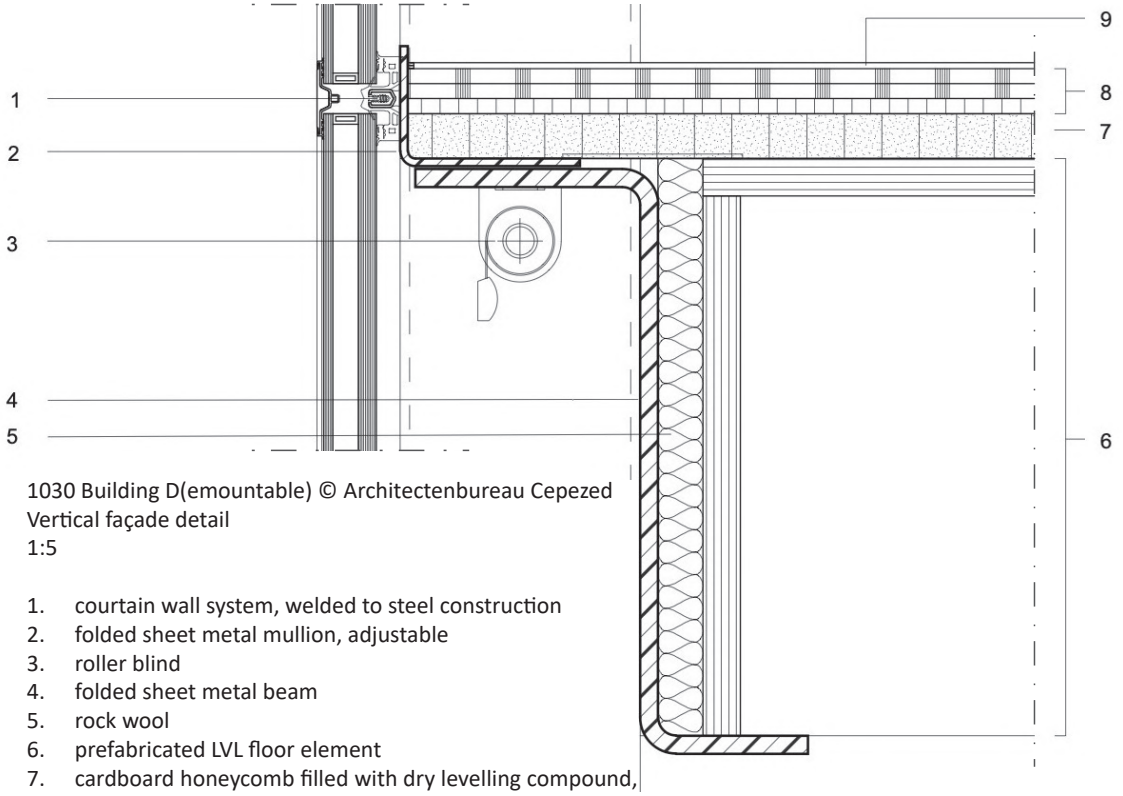


“Questi dettagli mostrano le sezioni tipiche del tetto e del pavimento. Qui è dove si può davvero vedere l’integrazione degli elementi: abbiamo questa trave, che è davvero la chiave di questo dettaglio.

Fondamentalmente è una lastra d’acciaio piegata; oltre a collegare i pilastri, regge anche il pavimento; di conseguenza, la trave è costruita con una tolleranza molto stretta. Risulta, inoltre, abbastanza bella da guardare da diventare anche elemento di finitura: non c’è stato bisogno di inserire materiale aggiuntivo.

Anche il piccolo angolo d’acciaio sopra il profilo a Z è stato integrato nel sistema di facciata: si tratta di un montante regolabile; lo spazio che è stato creato, posizionando la trave all’interno del pilastro, crea un vano nel quale nascondere le tende scorrevoli.

© Lucas van der Wee



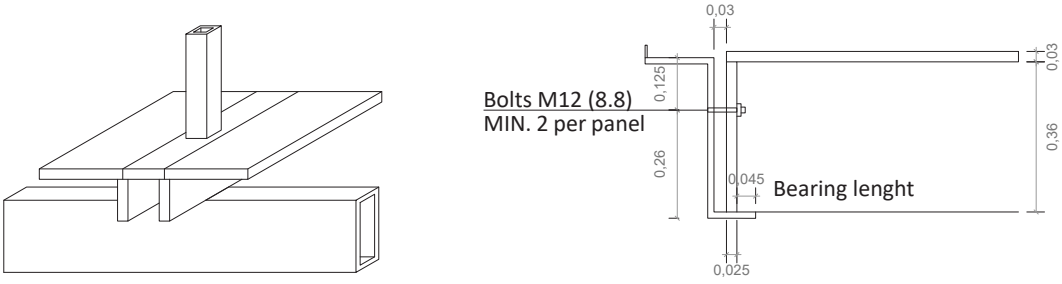
1030 Building D(emountable) © Architectenbureau Cepezed
Vertical façade detail
1:5

1. courtain wall system, welded to steel construction
2. folded sheet metal mullion, adjustable
3. roller blind
4. folded sheet metal beam
5. rock wool
6. prefabricated LVL floor element
7. cardboard honeycomb filled with dry levelling compound, 30 mm
8. gypsum fiber composite floor element, 30 mm
9. pvc floor finishing

Altri elementi importanti sono i pannelli LVL del pavimento, che sono stati prefabbricati secondo le nostre specifiche. Si estendono per 11 metri: l'intera profondità dell'edificio. Questo è un contributo importante per poter costruire la struttura così velocemente.

[...] Sulla sinistra si può osservare (in foto) come sono stati fissati gli elementi del pavimento a questa trave, utilizzando bulloni a testa svasata.

Nell'immagine in basso si può osservare la soluzione adottata per risolvere una *hard clash* a metà della luce del pannello di pavimento: abbiamo semplicemente spostato leggermente i piani e riempito lo spazio vuoto con un piccolo pannello di legno, che non solo ha evitato la *clash* che vedete a sinistra, ma ha anche permesso di incorporare diverse installazioni, principalmente elettriche in questo caso".

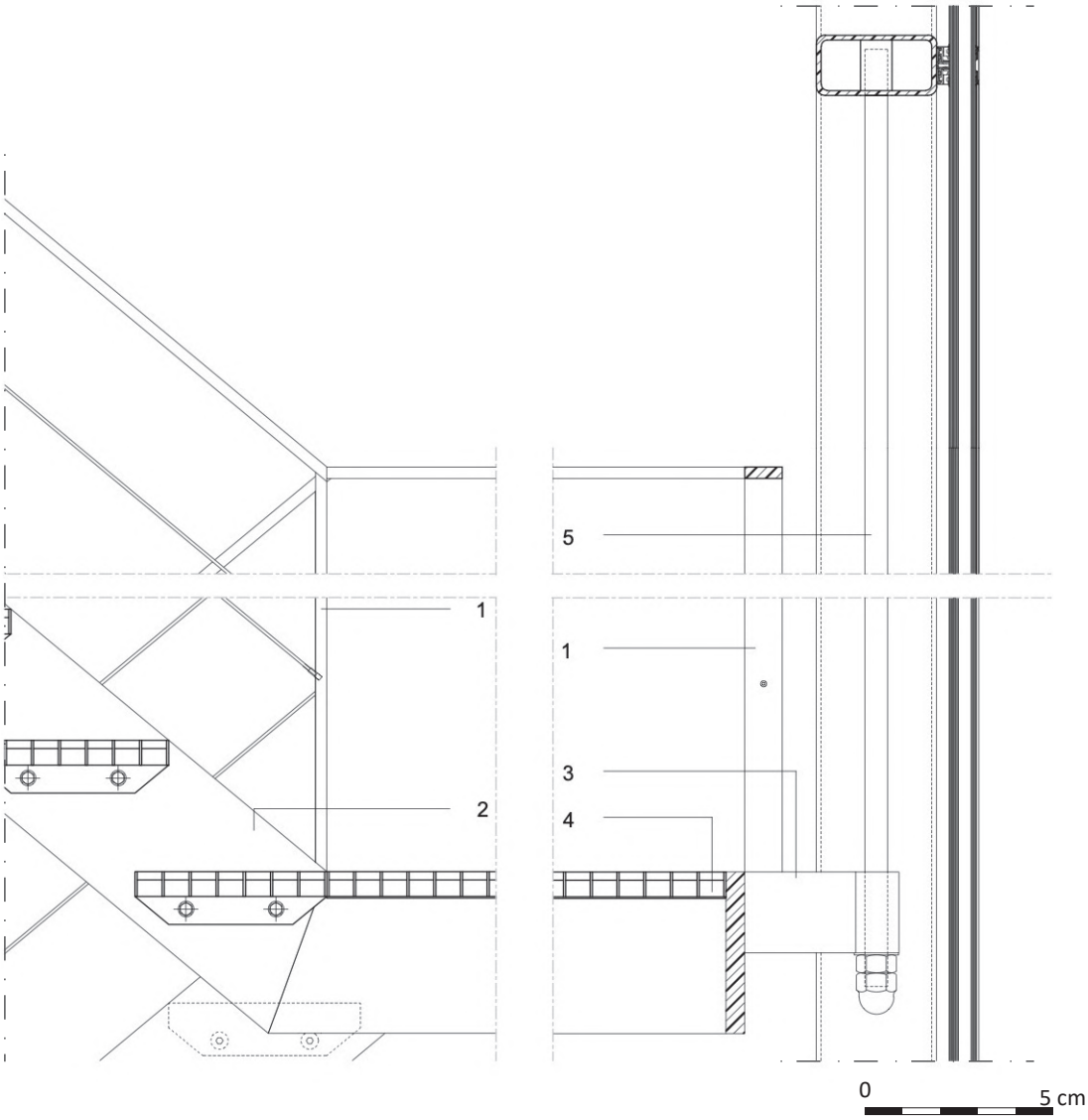


(Immagini) Video REBAU, *Reinventing the Building Sector III: Design for disassembly.* Rielaborazione a cura delle autrici

© Lucas van der Wee

1030 Building D(emountable) © Architectenbureau Cepezed
Stairs and balustrade
1:10

1. steel flat bar balustrade with stainless steel tension wires
2. solid steel stringer
3. stringer console
4. galvanised steel grating (landind)
5. suspension rod



"Abbiamo progettato una scala metallica con una struttura veramente leggera, che è, di nuovo, completamente smontabile. Si tratta di una struttura composta da semplici lastre in acciaio, con dei pannelli ondulati prefabbricati in mezzo.
Nel dettaglio della scala possiamo osservare da vicino che questa è effettivamente supportata dalle travi del sistema di facciata.
Viene assemblata con la stessa gru con la quale è stata sollevata la struttura in acciaio; l'intera scala è stata montata in un solo giorno"[115].

115 ivi

© Lucas van der Wee

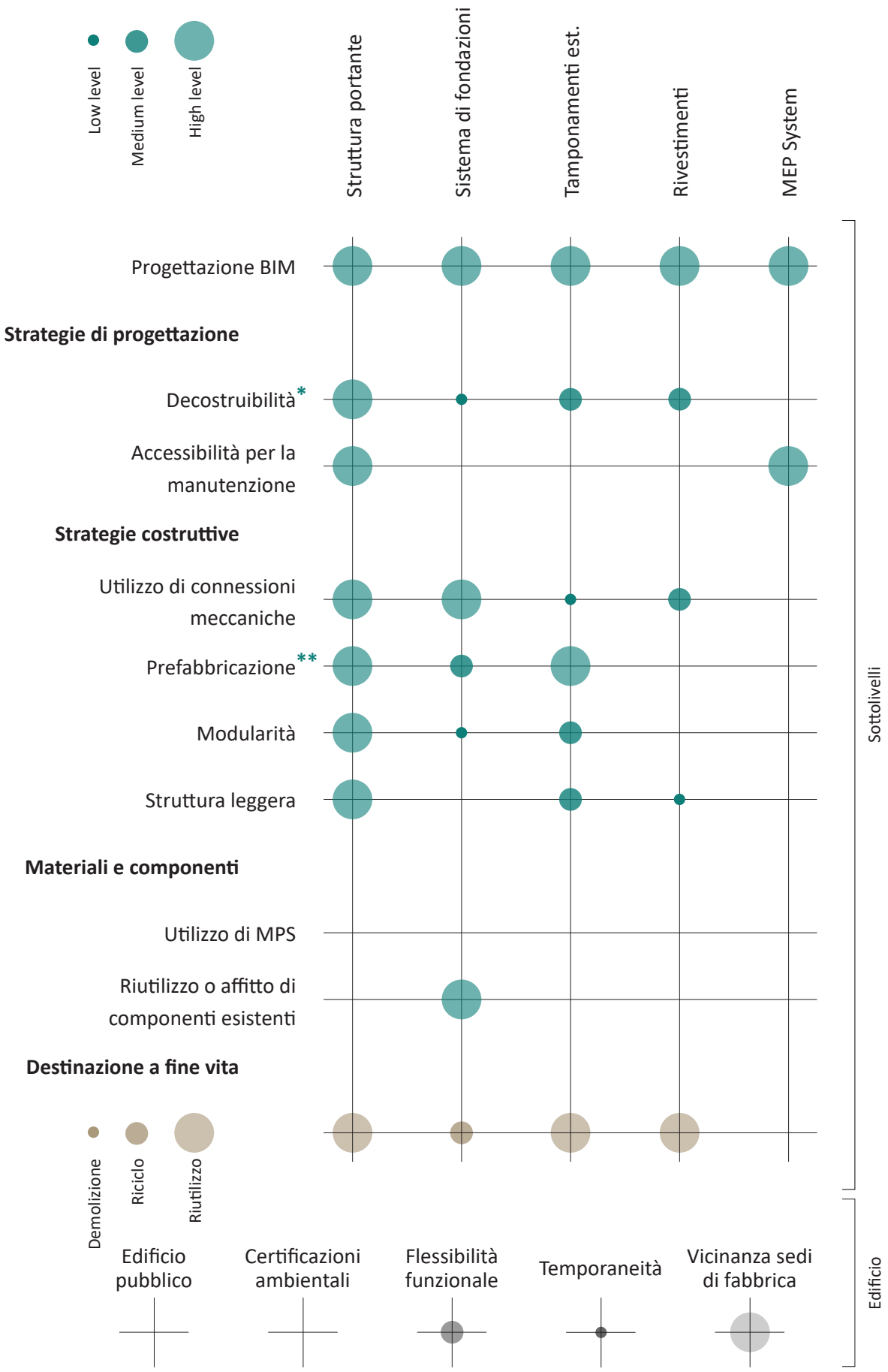
Rispetto alle installazioni impiantistiche, sotto il pavimento è stato posizionato un albero di installazione dei sensori.
La parte inferiore dei pavimenti lignei è stata lasciata aperta, quindi, tutta l'aria, l'acqua, l'elettricità, etc. trasportate attraverso l'intercapedine vengono portate sopra la trave e distribuite.
Le ventole sono collegate all'albero principale e sono state integrate delle luci. Si può osservare l'apparecchiatura elettrica raggiungere questa posizione sul pavimento. Queste colonne si possono semplicemente staccare; quindi, è possibile spostare i tavoli con le apparecchiature: è un sistema abbastanza flessibile in questo senso.
Viene integrato, inoltre, un piccolo pannello elettronico con tutti i componenti necessari, come i campanelli, il termostato di riscaldamento, etc.

(Immagine) Struttura portante in acciaio © Lucas van der Wee

(Immagine) Inserimento pannelli LVL © Lucas van der Wee

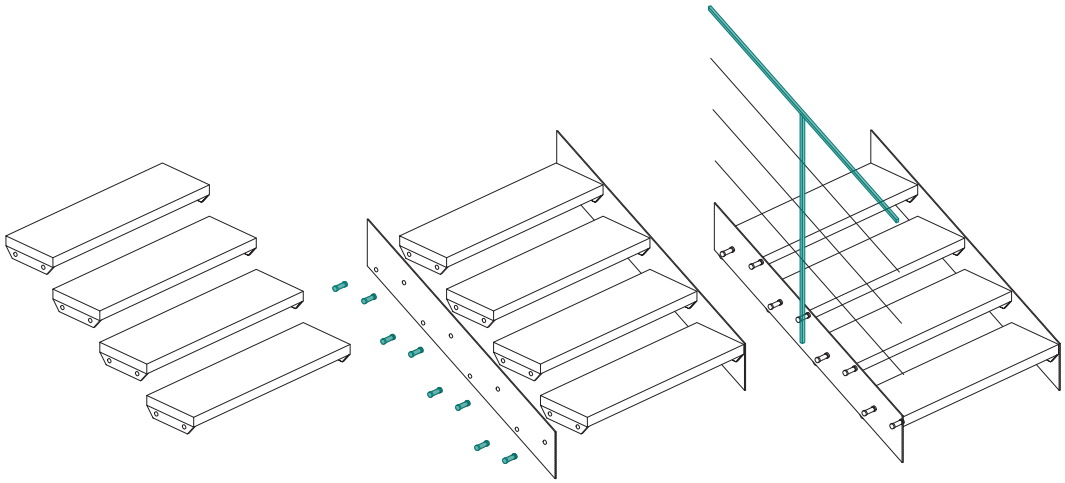
(Immagine) Installazione facciata continua © Lucas van der Wee

(Immagine) Risultato finale © Lucas van der Wee


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione**
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

Building D(emountable)
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo tecnologico significativo relativo al caso studio Building D(emountable), dello studio di architettura Architectenbureau Cepezed, localizzato a Delft, nei Paesi Bassi.
Tale schematizzazione ha lo scopo di mettere in evidenza un elemento costruttivo che dimostra la disassemblabilità dell'edificio, in questo caso la scala, completamente disassemblabile, fatta eccezione per il parapetto.



Step 1

Il primo step è costituito dai singoli gradini, che sono elementi metallici dalla sezione cava, modellati per essere imbullonati alla placca laterale con il minor dispendio di materiale possibile.

Step 2

Nello step successivo si può osservare l'imbullonatura della placca laterale ai singoli gradini.

Step 3

Nel terzo step si può invece osservare l'unico elemento non disassemblabile della scala, ovvero il parapetto. Si può infatti notare la saldatura nella parte inferiore, in corrispondenza della placca laterale.

* L'edificio è stato progettato con l'utilizzo di elementi durevoli. L'obiettivo era quello di realizzare un edificio di alta qualità, i cui materiali potessero essere riutilizzati in maniera appropriata nella fase di fine vita.

** La struttura è stata progettata seguendo il principio della prefabbricazione: ad esempio, elementi importanti come i pannelli LVL del pavimento, sono stati prefabbricati secondo le specifiche esigenze. Questo è un contributo importante per poter costruire la struttura così velocemente.

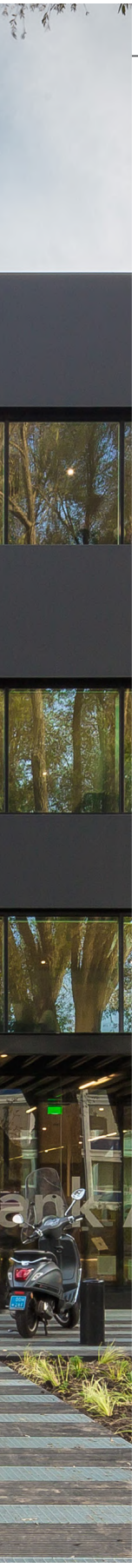
(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photographs: Léon van Woerkom

Temporary Courthouse

"Questo in realtà non è un edificio temporaneo, è un edificio permanente con una funzione temporanea e una posizione mutevole".

Architectenbureau Cepezed



6.2.2 | Temporary Courthouse, 2016 (NL)

Floor Area: 5400 m^2

Year: 2016

City: Amsterdam (NL)

Building Type: Courthouse

Client: Dutch Central Government Real Estate Agency

User: Court of Amsterdam

Design Team

Developing consortium: dpcp (Du Prie bouw & ontwikkeling + cepezed projects)

Architectural and interior design: architectenbureau cepezed, Delft

Consultant stability: IMd Raadgevende Ingenieurs, Rotterdam

Consultant mechanical & electrical installations: Ingenieursbureau Linssen, Amsterdam

Consultant construction physics, sustainability, acoustics and fire safety: LBP|SIGHT, Nieuwegein

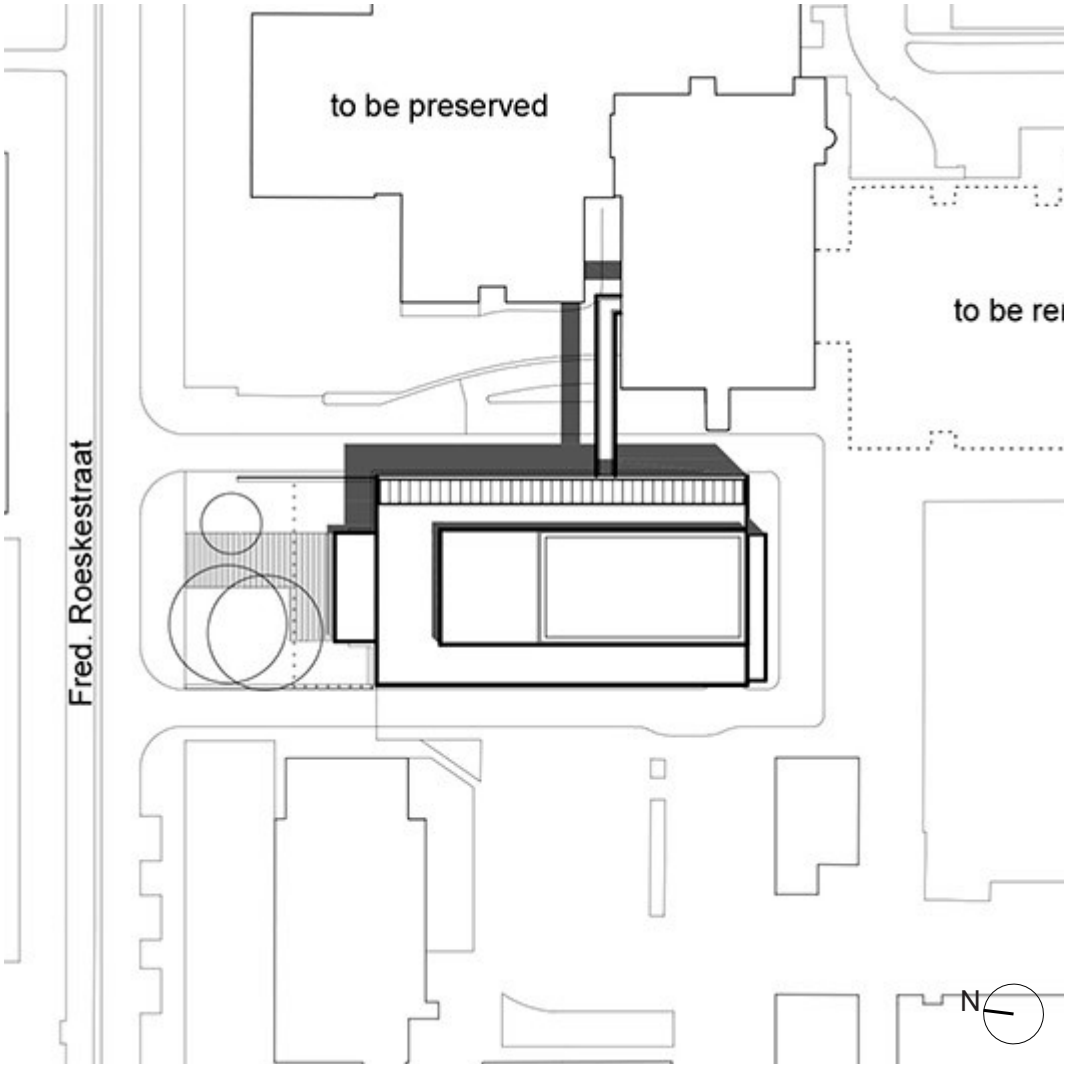
Main contractor: Du Prie bouw & ontwikkeling, Leiden

Contractor mechanical installations: Putman Installaties, Noordwijk

Contractor electrical installations: Schoonderbeek installatietechniek, Hillegom

Steel construction: Dijkstaal, Maassluis

Facade: Buitink Technology, Duiven



Masterplan © Architectenbureau Cepezed

La costruzione del tribunale Temporary Courthouse, progettata da Cepezed & Cepezedinterior all'interno del consorzio DPCP, è stata realizzata nello stesso lotto nel quale è stato successivamente realizzato l'edificio definitivo, sul terreno dell'attuale Parnascomplex, lungo il Parnassusweg. L'idea progettuale è nata dalla neccessità di realizzare un edificio provvisiorio, in grado di fornire continuità alla Magistratura di Amsterdam per 5 anni, fino alla realizzazione dell'edificio permanente. Inoltre, si aveva anche la volontà di costruire minimizzando gli sprechi dei materiali e attuando il concetto di economia circolare della struttura nel suo insieme.

Nell'ottobre 2016 il Temporary Courthouse è stato completato e messo in uso. Insieme alle preesistenti torri E ed F, costituisce il tribunale provvisorio nel suo complesso.

Per i 5 anni successivi alla costruzione, la maggior parte della giurisdizione si è svolta nel nuovo edificio, periodo durante il quale è diventato anche l'ingresso principale del complesso della Corte.

Di seguito viene riportata una linea del tempo all'interno della quale sono state segnate le date significative per il Temporary Courthouse di Amsterdam.

- **2016:** Costruzione del Temporary Courthouse da parte di Cepezed & Cepezedinterior e utilizzo.

- **2021:** Conclusi i 5 anni, necessari per il completamento della struttura permanente, è iniziata la decostruzione della struttura provvisoria, nel novembre dello stesso anno.

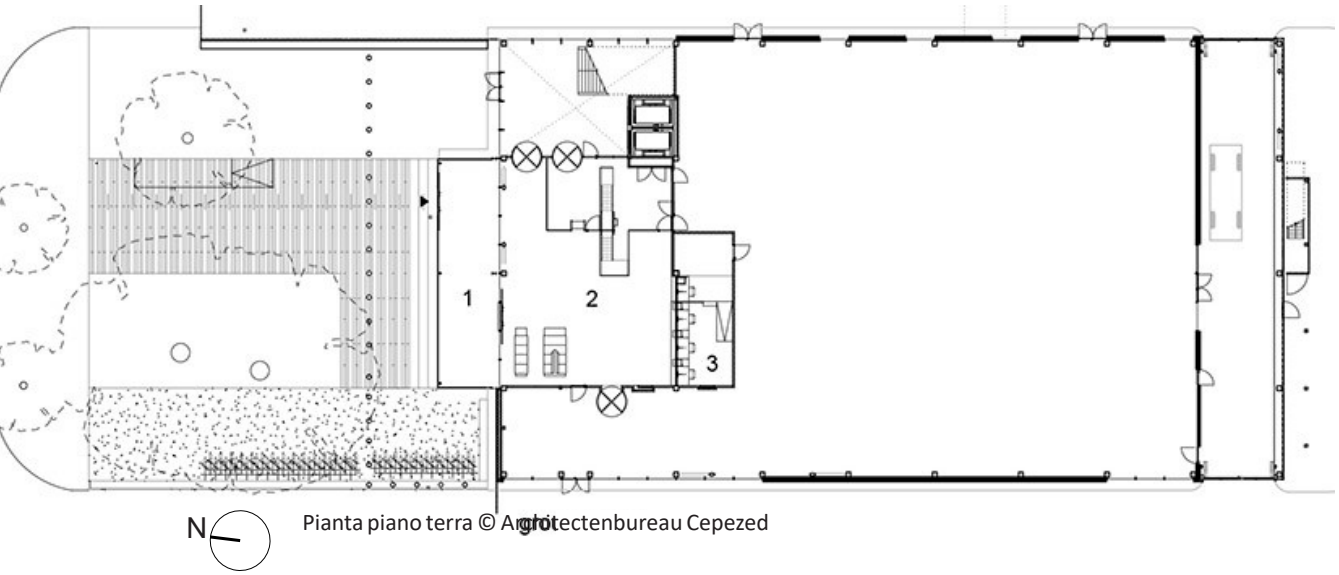
- **2022/23:** Anni in cui è prevista la ricostruzione della struttura provvisoria da parte dalla Overijssel Restructuring Compan. Il tribunale verrà completamente rimontato nel Kennispark Twent' (l'area del Business & Science Park/Campus UT) a Enschede.

- **2023:** È previsto l'avvio delle attività nel nuovo complesso di uffici e laboratori di ricerca.

La circolarità, che sta alla base della progettazione di questo tribunale provvisorio, ha riscosso grande successo. Il progetto, grazie alla sua natura circolare e all'efficiente sistema di smontaggio progettato, è stato pluripremiato negli anni.
Nel 2016 ha vinto il premio per *Best Collaboration Project Rijksvastgoedbedrijf*.
Nel 2017 ha vinto il premio della giuria *Amsterdam Architecture Prize* (*Gouden A.A.P.*).
Durante lo *Steel Construction Day* del 3 ottobre del 2018, ha vinto il *National Sustainability Prize Steel 2018*.
Inoltre, nel rapporto E*difici circolari - un metodo di misurazione per la decostruibilità* ha ottenuto il punteggio più alto di tutti i progetti testati nel settore. Tra i progetti in gara c'era anche la Green House di Utrecht, progettata dallo stesso studio Cepezed. Il rapporto presenta un nuovo metodo di misurazione per la determinazione e il confronto della smontabilità. È un'iniziativa del *Dutch Green Building Council* (DGBC), *RVO, W/E Adviseurs e Alba Concepts*.

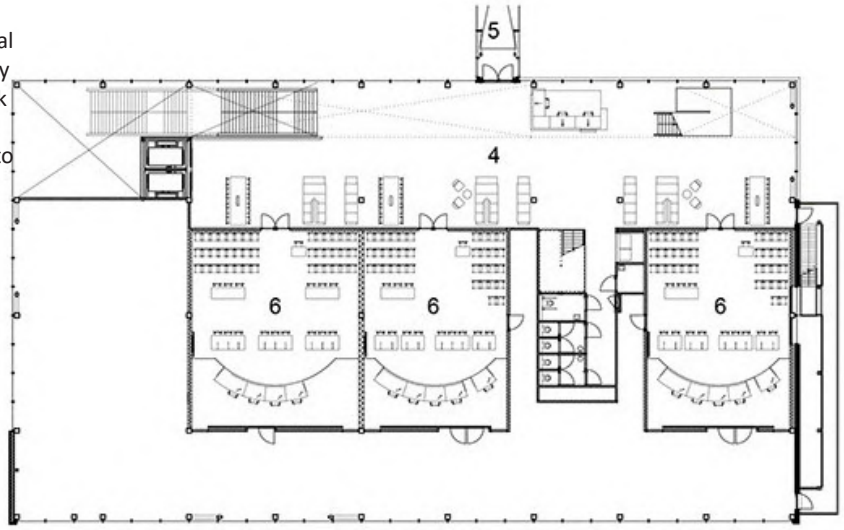
Dal rapporto della giuria per il *National Sustainability Prize Steel 2018*, il lavoro per il Tribunale è stato descritto come "l'attuazione intelligente e il pieno dispiegamento del concetto circolare, assicurato in un proposta commerciale. [...] Questo modello di economia circolare all'interno del settore delle costruzioni rende giustizia a IFD[116], lo aggiorna di nuovo, ma soprattutto stimola l'intera filiera delle costruzioni a seguirlo, ed è quindi il vincitore all'unanimità del *National Sustainability Prize Steel 2018*", continua la giuria.

116 Il programma IFD è stato avviato da vari ministeri olandesi. I sta per *Industrial*; F sta per *Flexible*; D sta per *Demountable*. I componenti dell'edificio sono uniti in modo da poter essere smontati senza danni e riutilizzati altrove.

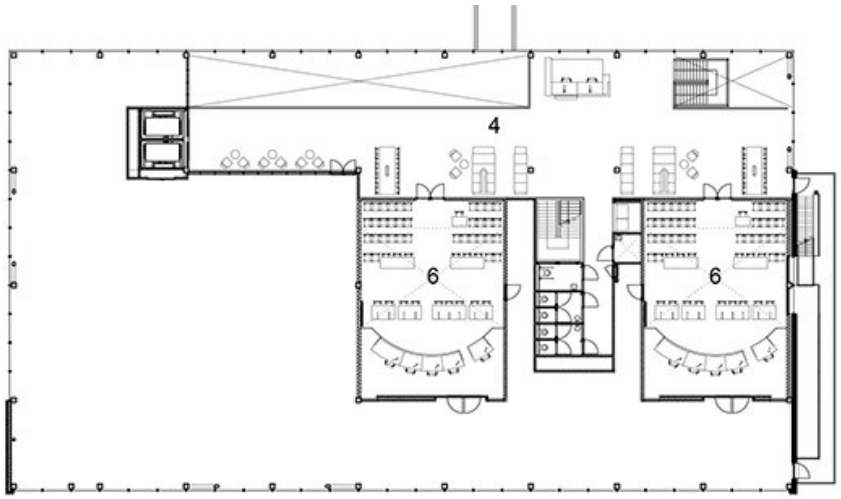


Pianta piano terra © Architectenbureau Cepezed

1. entrance portal
2. entrance lobby
3. reception desk
4. waiting area
5. footbridge to existing court
6. courtroom



Pianta piano primo © Architectenbureau Cepezed



Pianta piano secondo © Architectenbureau Cepezed

Il progetto

L'edificio è stato realizzato per ospitare provvisoriamente le mansioni giuridiche del tribunale di Amsterdam. Nonostante la struttura sia stata progettata per un utilizzo temporaneo, il carattere provvisorio dell'edificio non ne denigra la qualità, la funzionalità o la rappresentatività. Questioni come l'attrezzatura, la logistica complessa, l'acustica, il comfort, la sicurezza e l'aspetto dell'edificio hanno tutti gli stessi *standard* elevati di un edificio permanente.
Il Temporary Courthouse mostra un *design* semplice. Le facciate hanno un aspetto austero, attraverso un'articolazione orizzontale di finestre a listelli e parapetti in tinta scura, con rivestimento in tessuto sintetico.
L'edificio, che si sviluppa su 3 piani fuori terra, si presenta con un aspetto aperto e accogliente, ma anche autorevole.
La sua posizione arretrata rispetto alla strada pubblica ne valorizza l'inserimento nel contesto verde della piazza limitrofa.
L'edificio si sviluppa attorno ad una logica e ad un'organizzazione semplice e rigorosa, rendendo facilmente leggibili i flussi interni per il pubblico, il personale giudiziario e gli imputati, che risultano essere rigorosamente separati.
Il portale di ingresso al piano terra consente l'accesso alla *hall* principale e ai banconi della *reception*, mentre, attraverso l'ampia scalinata lungo la facciata Est, sormontata da un lucernario, si accede alle aree di attesa, con annessi locali di Corte al secondo e al terzo piano. Le sale d'attesa hanno una struttura funzionale e chiara, risultando essere aperte e accoglienti. Le aule del tribunale sono caratterizzate da un alto livello di serenità e luminosità interna durante il giorno.
Infine, le aule del terzo piano hanno una doppia altezza sfruttata con un'ampia tribuna pubblica.
Lo sfondo è decorato con foto artistiche di Marjan Teeuwen, che ha disposto i detriti degli edifici demoliti in composizioni astratte.

La circolarità

I progettisti hanno lavorato sul Temporary Courthouse con il fine di realizzare una struttura smontabile. Inoltre, si è voluto progettare in vista di prevenire gli sprechi e massimizzare il valore residuo dell'edificio, dopo il suo periodo iniziale di utilizzo. L'edificio è stato, quindi, progettato con una configurazione interna ed esterna flessibile, facilitando così la sua adattabilità ai cambiamenti futuri, come la destinazione d'uso e la categoria degli utenti.
La *Central Government Real Estate Agency* ha voluto rincorrere l'obiettivo di ridurre al minimo la dissipazione della materia e dell'energia. Pertanto, un importante criterio tenuto in considerazione durante la progettazione è stato la circolarità delle risorse e del sistema costruttivo impiegato.

La circolarità intrinseca della proposta DPCP ha ottenuto molto apprezzamento. Di conseguenza, DPCP ha ricercato, su ogni scala, compresa la struttura nel suo insieme, la possibilità di riduzione, riutilizzo e riciclaggio.
Grazie ad una progettazione consapevole e all'utilizzo di sistemi informatici di supporto, è stato possibile elaborare delle strategie di decostruzione, capaci di semplificare le azioni durante la fase di smontaggio e non perdere elementi progettuali dell'edificio.
Un esempio sono le celle del tribunale: queste sono state ideate come scatole prefabbricate in cemento armato. Di conseguenza, essendo unità distinte le une dalle altre e dalla stessa struttura, possono essere *salvate* e riutilizzate; un altro esempio è la passerella, costituita da una struttura unitaria che ne consente il facile trasferimento o utilizzo per nuovi progetti strutturali.
Pertanto, la struttura, concluso l'utilizzo da parte del Tribunale di Amsterdam, può essere completamente riutilizzata in un'altra sede e per altri scopi.

(Video) *Demontage Tijdelijke Rechtbank Amsterdam*, 2022

"Questo in realtà non è un edificio temporaneo, è un edificio permanente con una funzione temporanea e una posizione mutevole. Quasi tutte le parti verranno spostate, ad eccezione delle celle o delle aree di detenzione. Non c'è bisogno di queste nella nuova destinazione d'uso. Quindi, se qualcuno è alla ricerca di una casetta da giardino robusta, può contattarci"[32]

Menno Rubbens, architetto presso Cepezed projects

La stuttura

Mossi dalla volontà di rendere la struttura più flessibile e più circolare possibile, quest'ultima è stata progettata come un kit di parti che possono essere facilmente assemblate, smontate e rimontate. Queste azioni sono previste non solo per i singoli componenti, ma anche per l'intero edificio.
La struttura è stata smontata allo stesso modo al Kennispark Twente di Enschede.
La struttura portante principale è completamente smontabile, con solai e facciate in tamburato. Il progetto è stato implementato attraverso la marcatura delle parti costruttive per la ricostruzione.
Menno Rubbens, *Circular Hero 2022* (cepezedprojects / DPCP), ha dichiarato che il Temporary Courthouse "è un edificio che può essere smontato da più parti. In questo modo, garantisci anche che possa essere rimontato in futuro"[117].

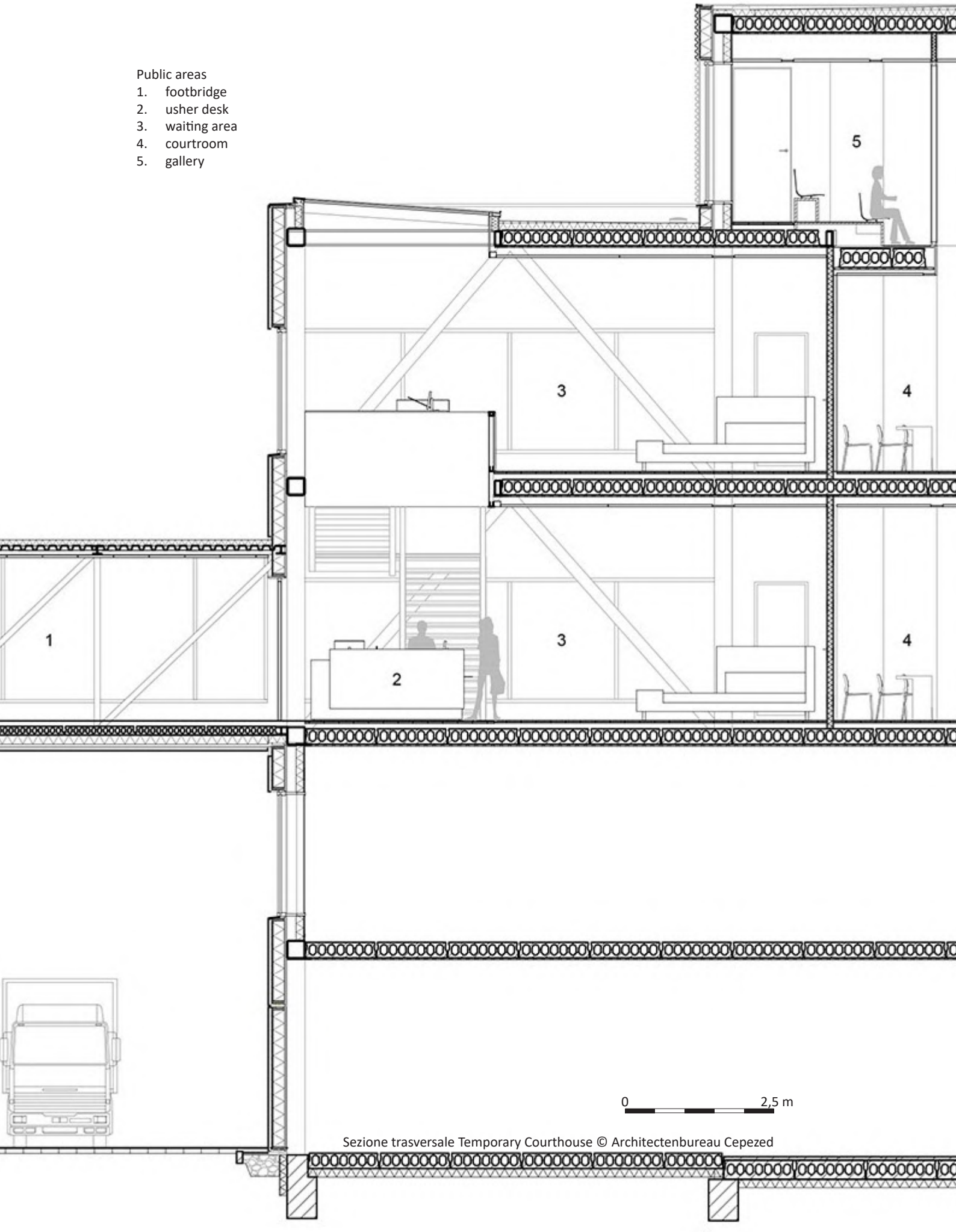
"Abbiamo ricevuto un edificio di buona qualità a un prezzo accettabile. Si può osservare la circolarità, in un modo che era molto speciale allora ed è speciale ancora oggi"[118]

Louise Attema, Agenzia per gli edifici governativi

117 Cepezed, *Temporary courthouse wins national sustainability prize steel,* 2018

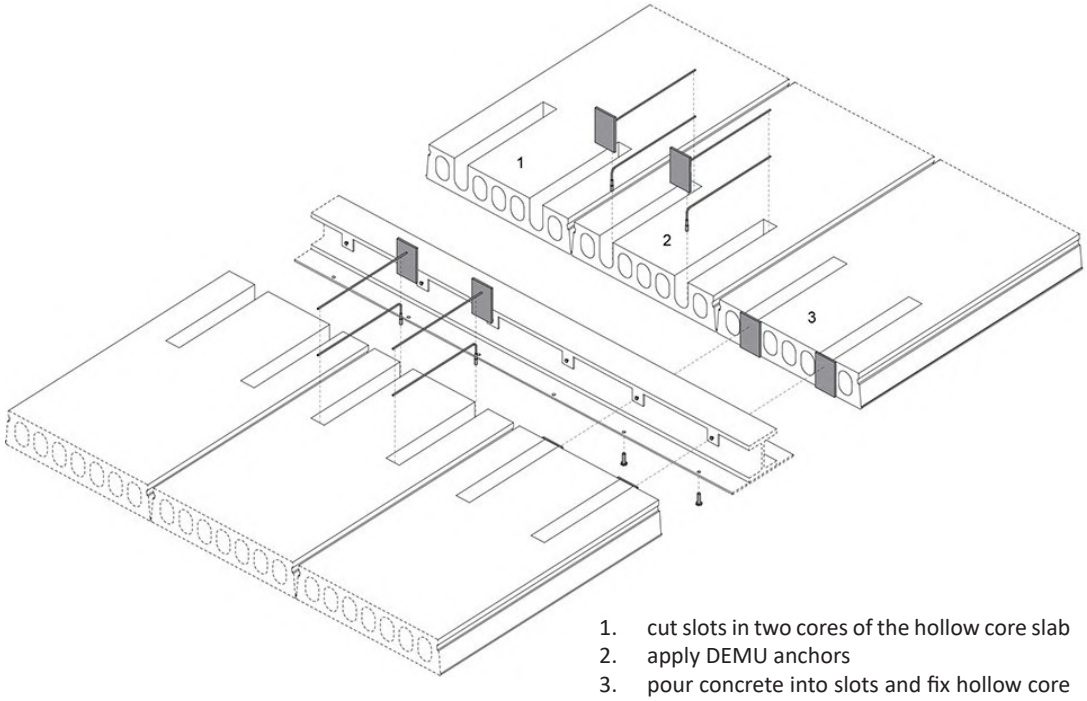
118 ibidem

Public areas
1. footbridge
2. usher desk
3. waiting area
4. courtroom
5. gallery



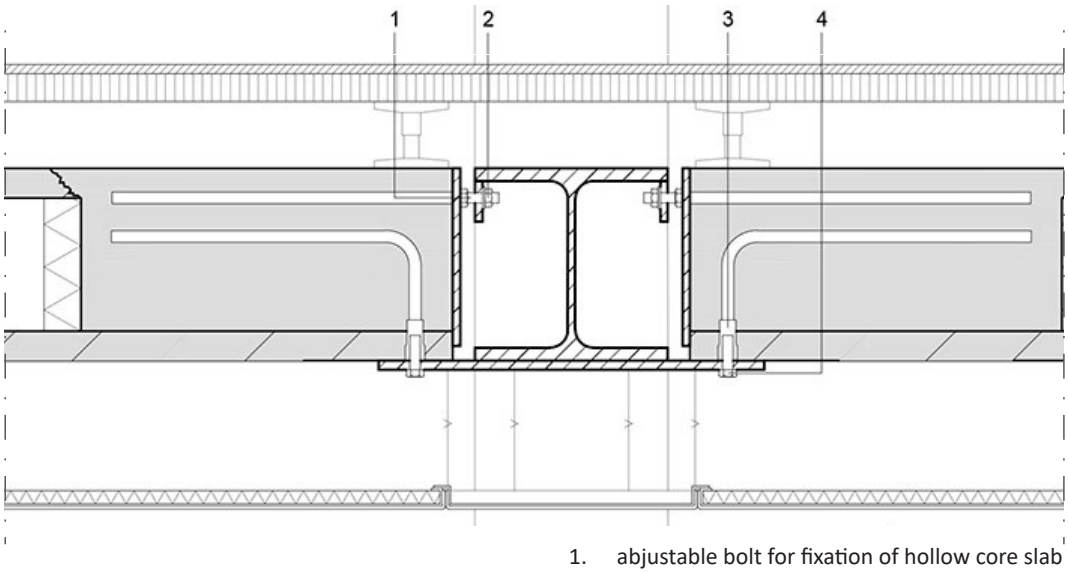
Sezione trasversale Temporary Courthouse © Architectenbureau Cepezed

© Léon Van Woerkom



1. cut slots in two cores of the hollow core slab
2. apply DEMU anchors
3. pour concrete into slots and fix hollow core slab to SFB beam using (abjustable) bolts

Schema giunzione solaio alveolare e trave © Architectenbureau Cepezed



1. abjustable bolt for fixation of hollow core slab
2. nut welded on mounting tab
3. DEMU sleeve anchor
4. bolt for fixation of hollow core slab

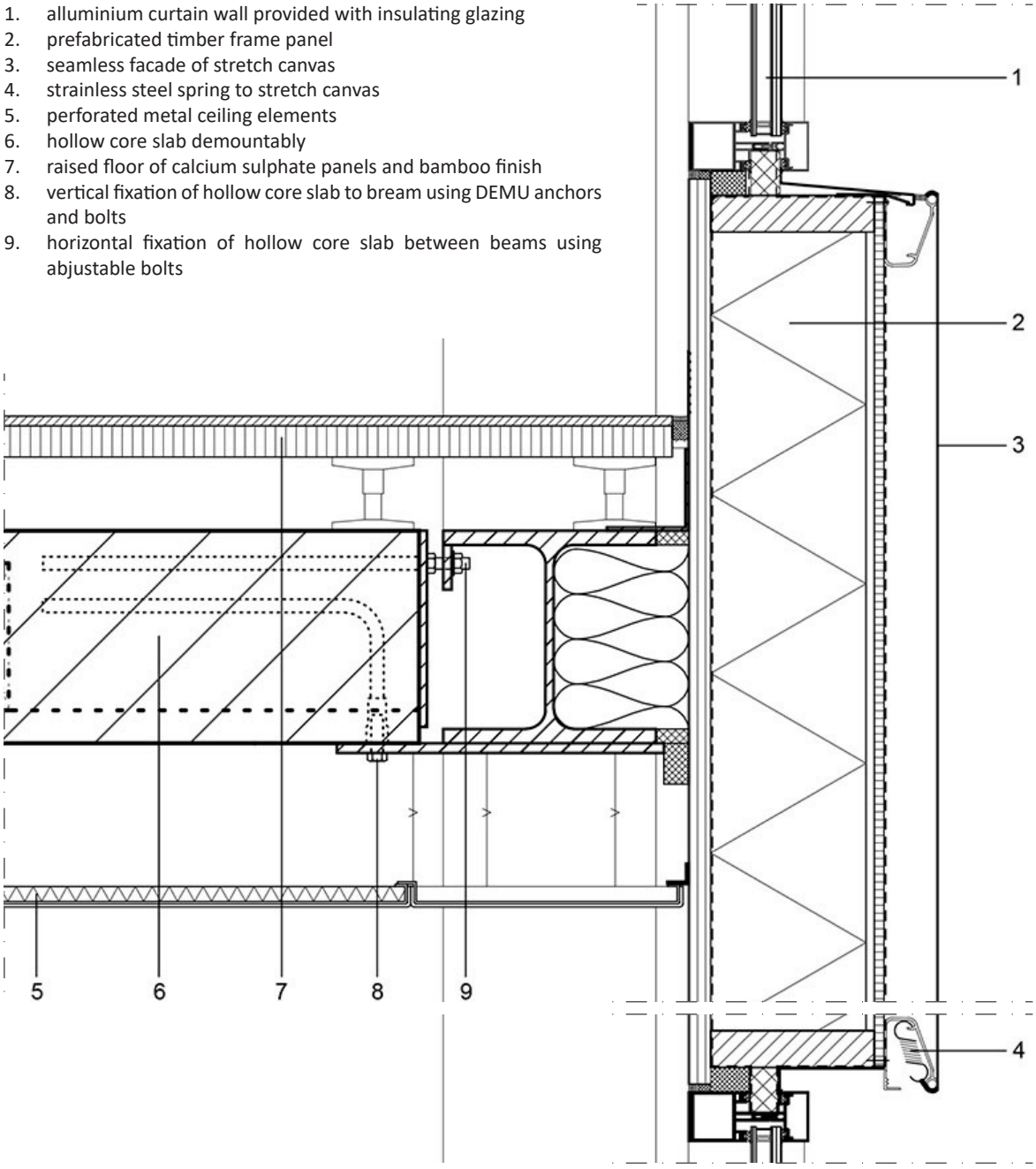
0 5 cm

Dettaglio solaio alveolare a giunzione trave (sezione) © Architectenbureau Cepezed

Grazie alla collaborazione con lo studio di ingegneria IMd, è stato sviluppato un sistema speciale di fissaggio per i solai alveolari, capace di semplificare il più possibile il distacco e il riutilizzo delle lastre del solaio. Il collegamento a secco della struttura in cemento armato - solaio è smontabile. La genialità nella semplicità del componente e del materiale diviene una strategia chiave nelle azioni di montaggio, smontaggio e rimontaggio.

© Léon Van Woerkom

1. alluminium curtain wall provided with insulating glazing
2. prefabricated timber frame panel
3. seamless facade of stretch canvas
4. strainless steel spring to stretch canvas
5. perforated metal ceiling elements
6. hollow core slab demountably
7. raised floor of calcium sulphate panels and bamboo finish
8. vertical fixation of hollow core slab to bream using DEMU anchors and bolts
9. horizontal fixation of hollow core slab between beams using abjustable bolts

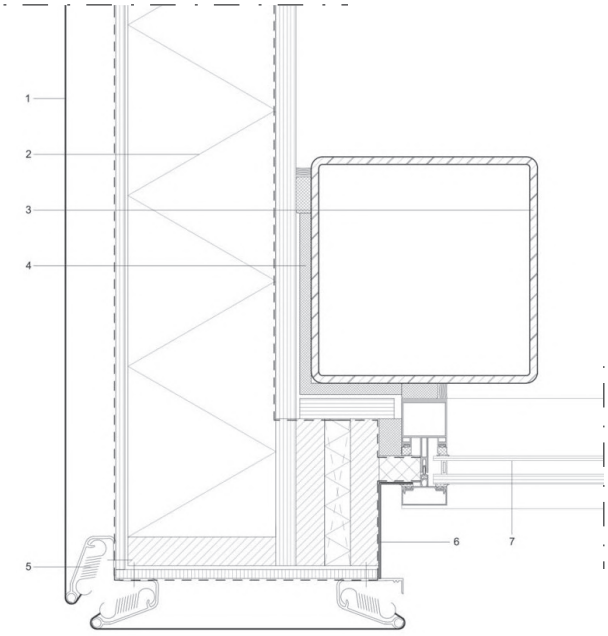


Schema giunzione solaio solaio e facciata © Architectenbureau Cepezed

La struttura è stata ideata per essere decostruita nella sua interezza.
Le lastre alveolari del solaio interpiano sono ancorate alle travi in acciaio, tramite tasselli regolabili posti orizzontalmente e verticalmente.
La pavimentazione è costituita da pannelli di solfato di calcio e finitura in bambù, sopraelevati grazie ad un sistema di supporto a secco, che consente una rapida rimozione del rivestimento orizzontale.
Come mostra la figura a sinistra la struttura è volutamente lasciata a vista, tranne in alcuni locali nei quali l'intradosso dei solai è rivestito da un controsoffitto in lamiera forata.

© Léon Van Woerkom

1. seamless facede of stretched
2. prefabricated timber frame panel
3. fireproof and colour coated steel column
4. fireproof board
5. stainless steel spring to stretch canvas
6. colour coated folded sheet metal
7. aluminium curtain wall provided with insulating glazing



0 5 cm

Dettaglio nodo parete - parete (pianta) © Architectenbureau Cepezed

La struttura portante, come mostra il dettaglio sopra, è caratterizzata da un'armatura metallica in acciaio ignifugo e inossidabile, tamponato tramite dei pannelli in legno prefabbricato. Questi due sistemi consentono di avere una struttura facilmente disassemblabile.

Le facciate di ingresso dell'edificio sono caratterizzate da una facciata continua in alluminio con vetrocamera. Le altre sono disegnate orizzontalmente da finestre a nastro e da parapetti in tinta scura, con un rivestimento in tessuto sistetico teso.

Il sistema adottato per il rivestimento delle facciate è costituito da un telo elasticizzato senza cuciture.
Questo rimane in tensione grazie agli ancoraggi posti negli angoli strutturali. L'ancoraggio consiste in un sistema a molla in acciaio inossidabile, come viene mostrato nel punto 5 in figura e nella foto laterale.
Questo consente di ottenere una superficie ben fissa e tesa. Così facendo, la facciata è completamente smontabile e rimontabile, senza l'uso di fissaggi chimici.

(Immagine) Dettaglio aggancio telo di rivestimento facciata. (Video) *Demontage Tijdelijke Rechtbank Amsterdam*, 2022

(Immagine) Rimozione lastre pavimentazione

(Immagine) Rimozione lastre pavimentazione

(Immagine) Rimozione pannelli facciata continua

(Immagine) Rimozione pannelli facciata continua

(Immagine) Software BIM impiegato per la progettazione interattiva

(Immagine) Rifiuti residui in seguito alle attività di decostruzione

(Immagine) Dislocamento serramenti

(Immagine) Pezze di rivestimento

La decostruzione

Come anticipato, la decostruzione dell'edifico è stata progettata nei minimi dettagli ed è tutt'oggi in atto.

Nella pagina precedente vengono riportate le foto della decostruzione del Temporary Courthouse, dal quale emergono le precise operazioni di smontaggio che sono state eseguite per ogni singolo componente: dai rivestimenti della pavimentazione, ai pannelli vetrati della facciata continua.
Le tendenze tecnologiche hanno avuto un ruolo chiave nella progettazione dell'edificio, consentento agli operatori, sia durante la fase di montaggio che in quella di smontaggio, di conoscere precisamente la collocazione dei componenti strutturali. Infatti, il modello 3D e la scansione 3D realizzati dai progettisti, hanno permesso di ottenere un'organizzazione e una gestione del cantiere unica.
Per il trasferimento della struttura, DPCP si è appoggiato alla competenza dell'azienda Lagemaat di Heerde, che ha molteplici esperienze nel campo dello smontaggio e del rimontaggio degli edifici.
Anche la gestione del trasporto è stata facilitata dall'innovazione tecnologica impiegata. Infatti, gli elementi più piccoli vengono trasportati in container e quelli più grandi, come la passerella d'ingresso, vengono caricati come blocco unico sui camion.

(Immagine)
Consegna delle chiavi
© Lucas van der wee

"Questo edificio è unico, perché è stato progettato per essere smantellato. Tra 30 e 40 anni dovremo lavorare in questo modo ogni giorno nel settore delle demolizioni"[119]

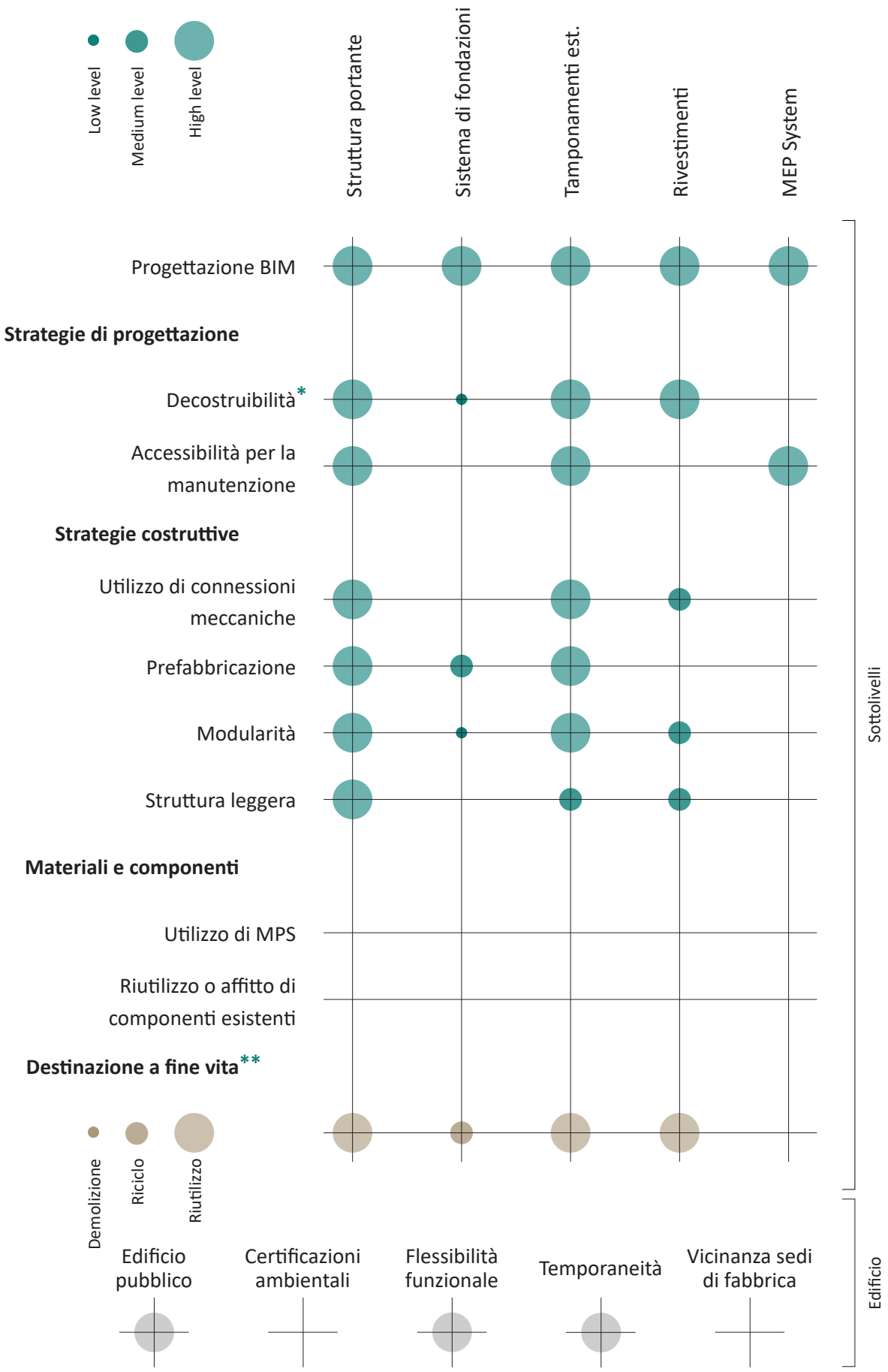
Arend van de Beek (Lagemaat)

119 Cepezed, *si trasferisce il tribunale provvisorio!*, 2021

"In realtà, ogni edificio dovrebbe essere smontabile e non demolibile"[120]

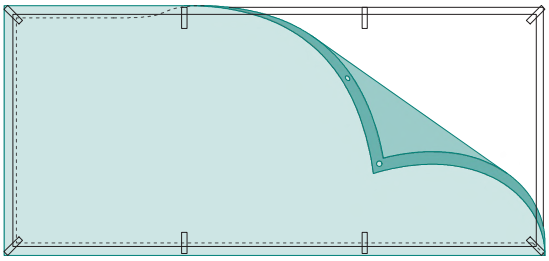
Irma Thijssen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland)

120 ibidem

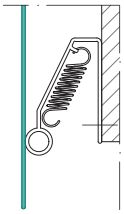

Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita**
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

Temporary Courthouse
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo significativo relativo al caso studio Temporary Courthouse, dello studio di Architectenbureau Cepezed, localizzato ad Amsterdam, in Olanda. Tale nodo rappresenta un caso isolato: la particolarità consiste nell'adozione di un sistema di tiranti a molle, in grado di conferire al rivestimento di facciata una grande resistenza e un alto livello di disassemblabilità.

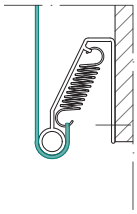


Il rivestimento di facciata è caratterizzato da una serie di tessuti tecnici, i quali vengono ancorati alla rispettiva struttura metallica. Questa, correndo lungo il perimetro della riquadro da schermare, mantiene l'intero telo teso. Questo quasi diventa un pannello rigido, mantenendo nascosto il sistema che lo regge.



Step 1

Il perimetro del tessuto di rivestimento viene tirato, fino alla congiunzione con gli elementi di ancoraggio.



Step 2

Tramite una serie di asole, il tessuto viene agganciato alla molla. Questa, oltre a garantire la tensione del rivestimento, ha anche la caratteristica di essere facilmente removibile.

* La struttura è pensata per essere quasi completamente smontabile (fatta eccezione per le fondazioni): ad esempio, è stato sviluppato un sistema speciale di fissaggio per i solai alveolari, capace di semplificare il più possibile il distacco e il riutilizzo delle lastre del solaio. Il collegamento a secco della struttura in cemento armato - solaio è smontabile.

** Alcune componenti dell'edificio, in un'ottica circolare, sono state progettate per essere riutilizzate con scopi diversi: è il caso delle aree detentive, che sono unità distinte le une dalle altre e dalla stessa struttura e possono essere salvate e riutilizzate.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photographs: Lucas van der Wee
The Green House
"L'idea circolare ha guidato tutte le scelte all'interno di questo progetto: la costruzione completa è smontabile ed è composta da elementi standard".
Architectenbureau Cepezed
THE GREEN HOUSE

6.2.3 | The Green House, 2018 (NL)

Floor Area: 680 m^2

Year: 2018

City: Utrecht (NL)

Building Type: Restaurant

Client: R Creators, Maarssen

Design Team

Architects: Architectenbureau Cepezed

Interior design: Coster design

Stability: Pieters bouwtechniek

Building services: Strukton worksphere

Circular construction consultant: Cepezedprojects

Building physics & sustainability: Dgmr

Main contractor: Ballast nedam

Contractor building services: Strukton worksphere

Contractor steel construction: Kampstaal

Façades: De groot & visser

Awards & nominations

Dutch sustainable construction awards | 2019 | public choice award

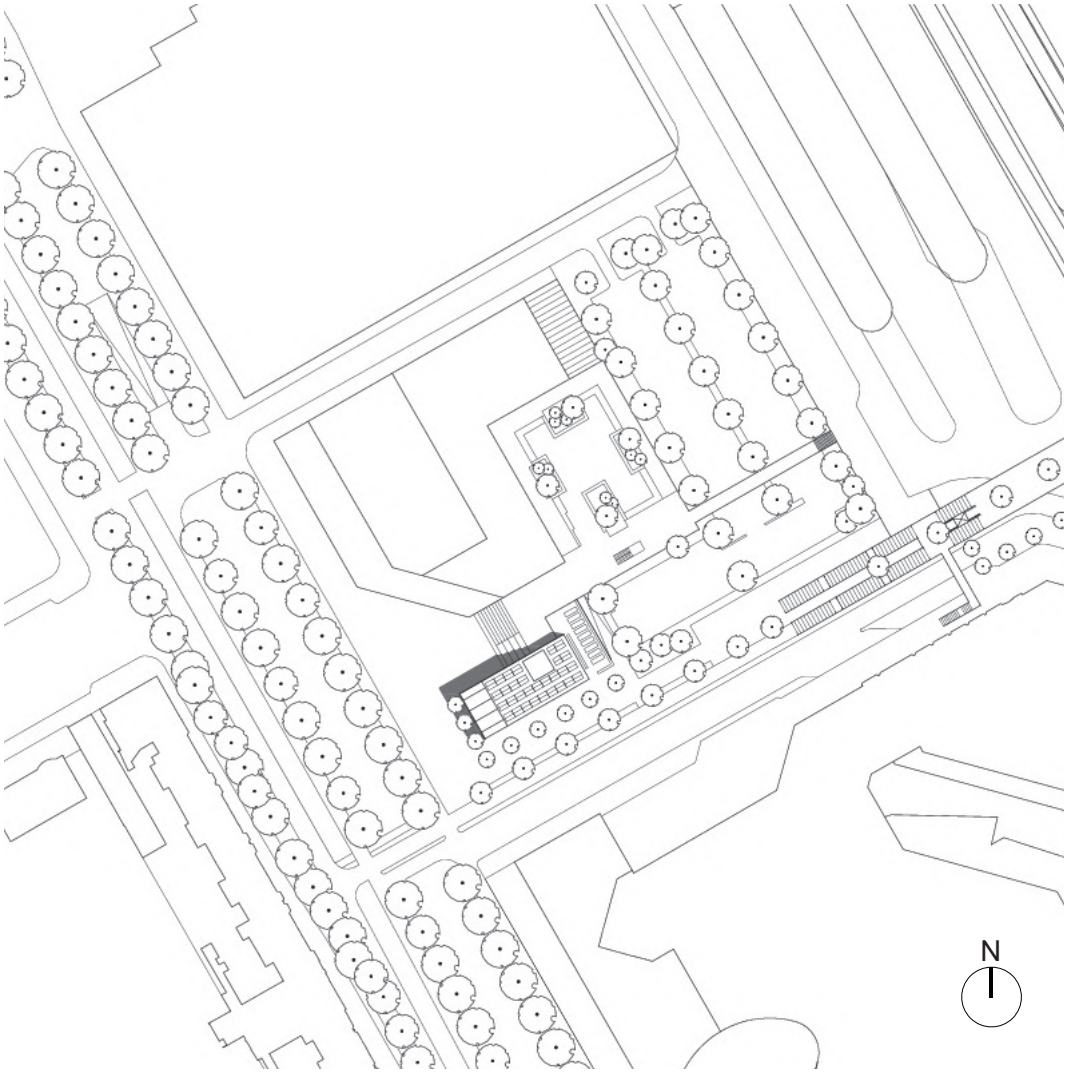
Dutch sustainable construction awards | 2019

Architecture & circular economy juryprize | 2018 | gg-awards

Dutch building award | 2018

Entree awards | 2018 | category best hospitality concept

Sustainability prize utrecht | 2017



Masterplan © Architectenbureau Cepezed

Descrizione fornita dagli architetti.

Cepezed è stato incaricato di realizzare un moderno ufficio governativo dall'ex Knoopkazerne sul Croeselaan a Utrecht . La società immobiliare del governo centrale ha anche richiesto una soluzione per lo spazio tra il Knoopkazerne e l'adiacente sede centrale di Rabobank. Poiché in 15 anni si deciderà una destinazione definitiva per questa località, si è cercata un'interpretazione provvisoria che potesse rendere più viva l'area, che altrimenti rimarrebbe vacante.

Cepezed ha sviluppato un piano in cui sia la funzione che l'architettura sono basate sulla circolarità.

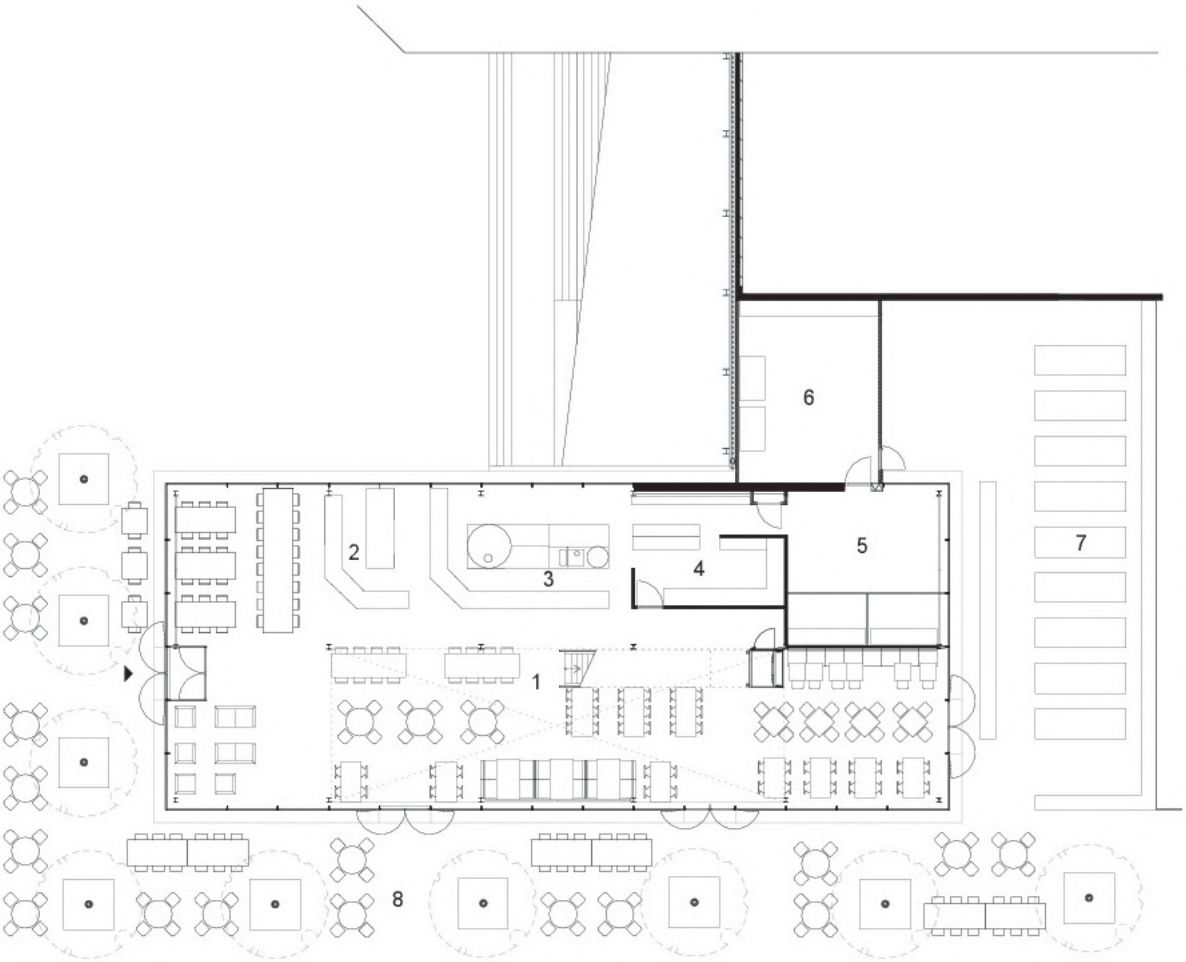
La Green House ospita un concetto di ristorante circolare, oltre a strutture per riunioni. Secondo i principi della circolarità, l'edificio (compresa la fondazione in blocchi prefabbricati in calcestruzzo) è completamente smontabile. In 15 anni può essere costruito altrove. L'obiettivo era anche quello di implementare il più possibile materiali riutilizzabili.

Il padiglione a due piani è concepito come un generico kit edilizio con un telaio amovibile in acciaio, realizzato con profili zincati. Le dimensioni sono derivate da quelle dei pannelli di facciata in vetro fumé dell'ex Knoopkazerne; questi sono stati riutilizzati per la seconda pelle e la serra del padiglione. La circolarità dell'edificio sta anche nella scelta del giusto piano al posto giusto. I clinker stradali di una vecchia banchina di Tiel sostituiscono il classico piano terra che è stato colato.
Si trovano su un letto di sabbia compattato con riscaldamento a pavimento.

(Immagine) © Lucas van der Wee

1015-p The Green House © Architectenbureau Cepezed
Floor plans
1:300

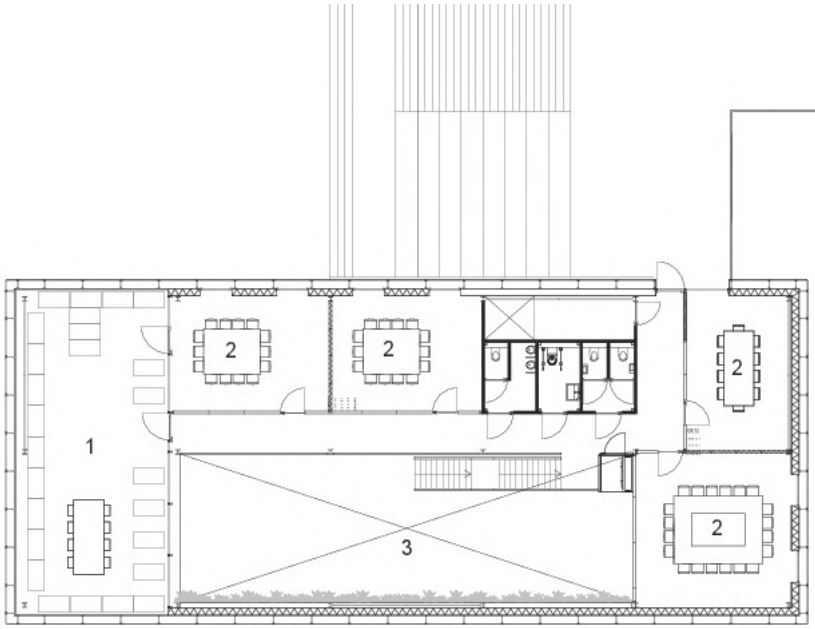
1. restaurant
2. bar
3. kitchen
4. dishwashing area
5. storage and walk-in fridge
6. waste container storage
7. kitchen garden with rainwater storage
8. terrace



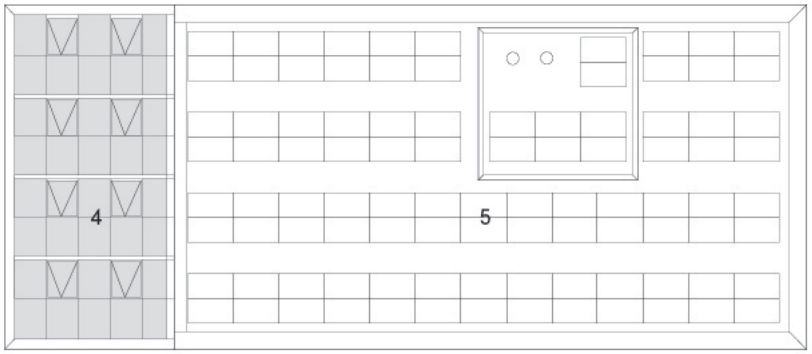
Pianta piano terra © Architectenbureau Cepezed

1015-p The Green House © Architectenbureau Cepezed
Floor plans
1:300

1. greenhouse
2. meeting room
3. void restaurant
4. greenhouse roof
5. solar panels



Pianta piano primo © Architectenbureau Cepezed

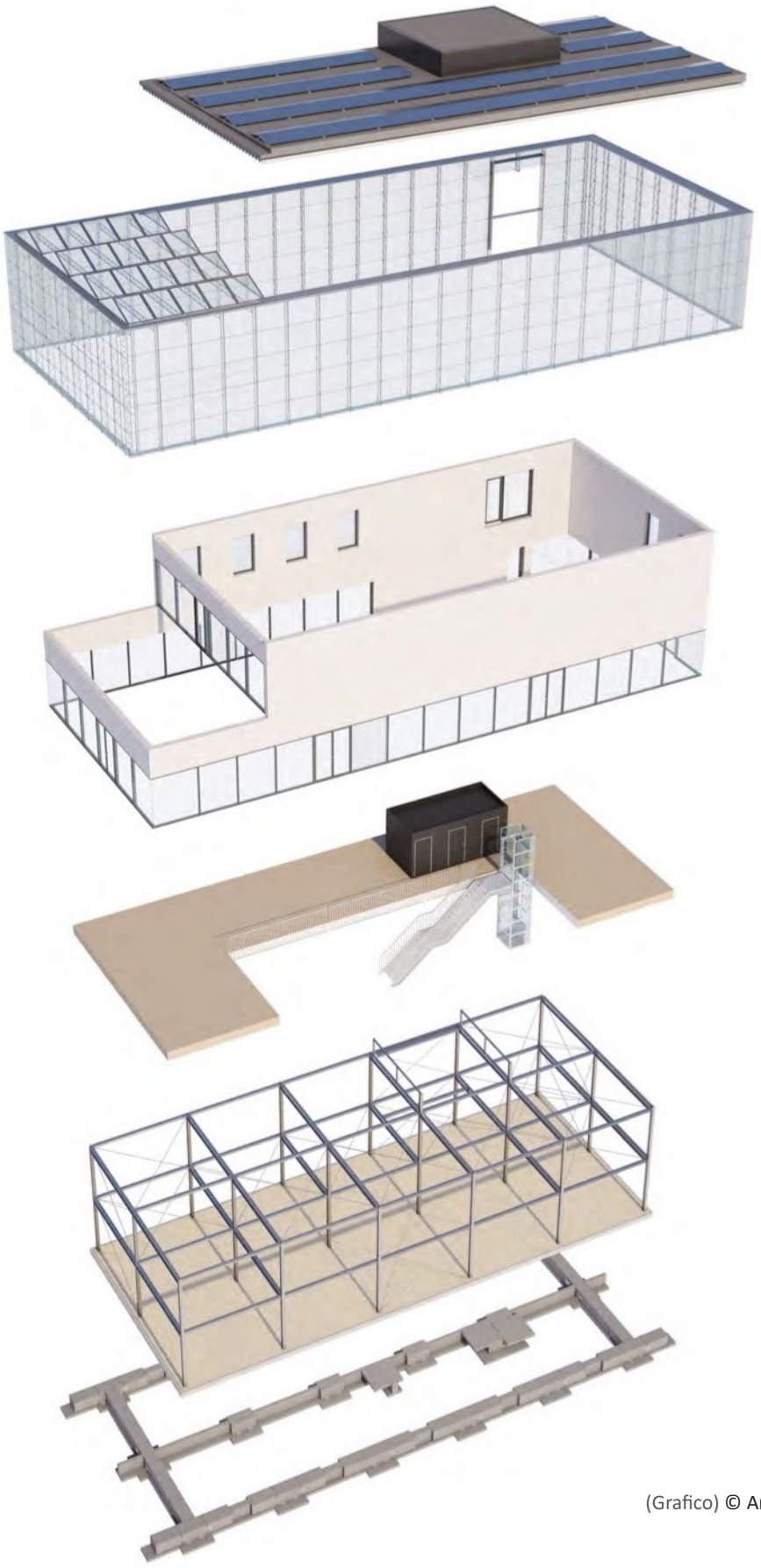


Pianta delle coperture © Architectenbureau Cepezed

Il primo piano è costituito da elementi prefabbricati in legno.
Per migliorare l’acustica del ristorante, gli elementi di rivestimento sono perforati e sono riempiti con isolamento.
Per il tetto, la scelta è ricaduta su una lamiera d'acciaio leggera, anch'essa forata e imbottita con isolante.
Con una facciata continua in vetro, il basamento del padiglione è completamente trasparente. Per le parti chiuse della facciata del primo piano sono stati utilizzati pannelli prefabbricati a telaio in legno. Questi sono riciclabili al 100% e privi di H-CFC.
La serra verticale di 80 m^2 si trova al piano adiacente alle sale riunioni. Qui vengono coltivate verdure ed erbe aromatiche per la cucina del ristorante.
Anche il grande muro verde contribuisce in modo significativo all’esperienza di The Green House. Il tetto del padiglione è riempito di pannelli solari.
La Green House è la prima ad avere una cucina senza corrente, in cui il cibo viene preparato senza elettricità, ma con forni a basso consumo alimentati con combustibili rinnovabili.
Gran parte degli interni e i nuovi mobili utilizzati sono realizzati con materiali riciclati.
L’idea circolare ha guidato tutte le scelte all’interno di questo progetto: la costruzione completa è smontabile ed è composta da elementi standard.

(Immagine) © Lucas van der Wee

L’idea della circolarità nel progetto



PV panels provide the pavilion with a large share of the energy requirement

Glass plates from the old Knoopkazerne from the façade cladding

Biobased materials also in the timber frame construction façade elements

Biobased wooden floor for the 1st floor, the toilet block and the lift are separate units that are lifted out for new use

Steel skeleton consists of a square grid and is completely remontable

Floor consists of beautiful recycled brick

The green house stands on standard concrete blocks that are reused

(Grafico) © Architectenbureau Cepezed

I materiali sono resistenti e riutilizzabili ed è stata impiegata la minor quantità possibile di materiale. La fondazione è costituita da piastre *Stelcon standard*, sopra le quali sono posizionati blocchi di cemento prefabbricati, che distribuiscono i carichi dai pilastri in acciaio fino a terra. La struttura in acciaio è dotata di connessioni bullonate e può essere completamente smontata, per essere riutilizzata in un altro momento e in un altro luogo.

I solai sono realizzati con travi in legno, il tetto con lastre in acciaio e le facciate sono in vetro. La struttura è modulare, in modo che parte dell'edificio possa essere facilmente rimossa o ampliata in una nuova situazione. Sostenibilità e circolarità sono state implementate anche nella gestione operativa del padiglione.

I pannelli di vetro sono stati riutilizzati come rivestimento di facciata.

La dimensione di 1150×1500 mm diventa determinante per la griglia e le dimensioni complessive dell'edificio. Applicando i pannelli orizzontalmente, la griglia ha un passo di 6 m, dimensione che è anche favorevole per le campate, sia in legno che in acciaio. Anche la struttura portante a grana abbastanza fine contribuisce a creare un edificio quasi privo di fondazioni.

La Green House è stata sviluppata da Strukton, Ballast Nedam e Facilicom insieme all'operatore Albron. Cepezed è l'architetto e Pieters Bouwtechniek il costruttore di questo progetto a prova di futuro.

(Immagine) Fondazione modulare © BOUW WERELD

(Immagine) Costruzione modulare © BOUW WERELD

(Immagine) Cantiere. © BOUWWERELD

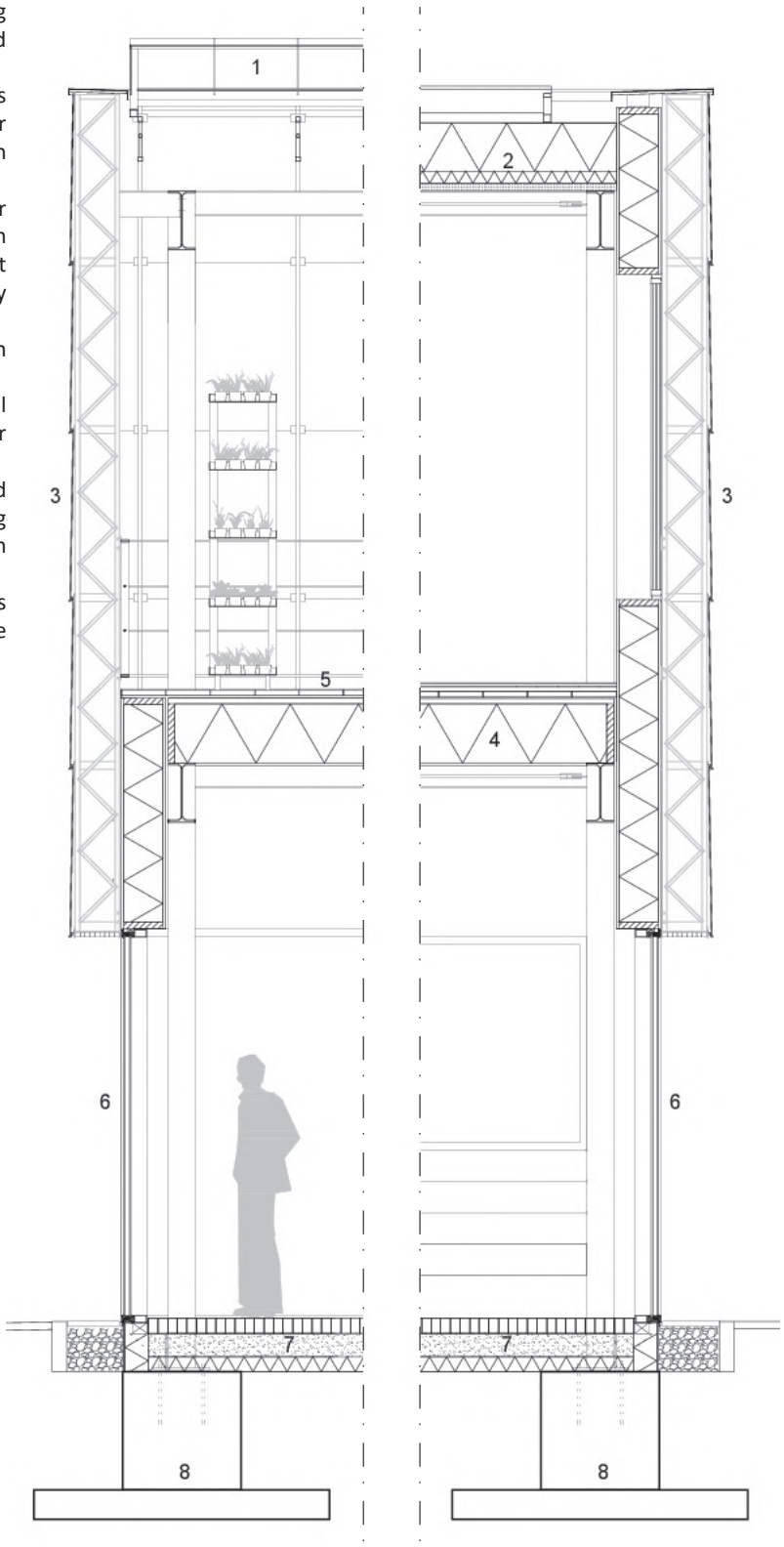
(Immagine) Cantiere. © BOUW WERELD

(Immagine) Serra. © BOUW WERELD

(Immagine) Fine. © BOUW WERELD

1015-p The Green House © Architectenbureau Cepezed
Fragments facade

1. reused greenhouse roof with skylights, mounted on falvanized lattice girders
2. galvanized steel roofing sheets, perforated and filled with acoustic insulation
3. reused smoke glass panels from the former knoopkazerne mounted on galvanized lattice girders
4. prefabricated wooden floor elements covered with reused sidewalk tiles against solid-borne noise and a dry floor heating system
5. reused sidewalk tiles in greenhouse
6. aluminium curtain wall facade, without PUR or sealant joints
7. reused paving bricks on sand with floor heating and cooling system, compression resistan insulation
8. foundation of stelcon slabs and prefabricated concrete legioblocks



Sezione facciata continua. Scala 1: 50 © Architectenbureau Cepezed

Un'altra caratteristica interessante di questo padiglione è che il maggior numero possibile di prodotti viene noleggiato o consegnato a seconda delle necessità e rimane, quindi, in possesso del fornitore. Si crea, di conseguenza, un modello circolare di business.

Pay-per-use

La circolarità di The Green House regge o crolla anche a seconda della flessibilità dei fornitori e della misura in cui contribuiscono.
Il concetto di circolarità viene applicato, tra l'altro, non acquistando più prodotti da loro, ma passando al *pay-per-use*.
Inoltre, l'ambizione è quella di realizzare una cucina senza prese elettriche, che consumi meno energia negli anni.
Questo obiettivo viene perseguito anche nella preparazione di cibi e bevande: gli ingredienti di provenienza locale svolgono un ruolo importante in questo.

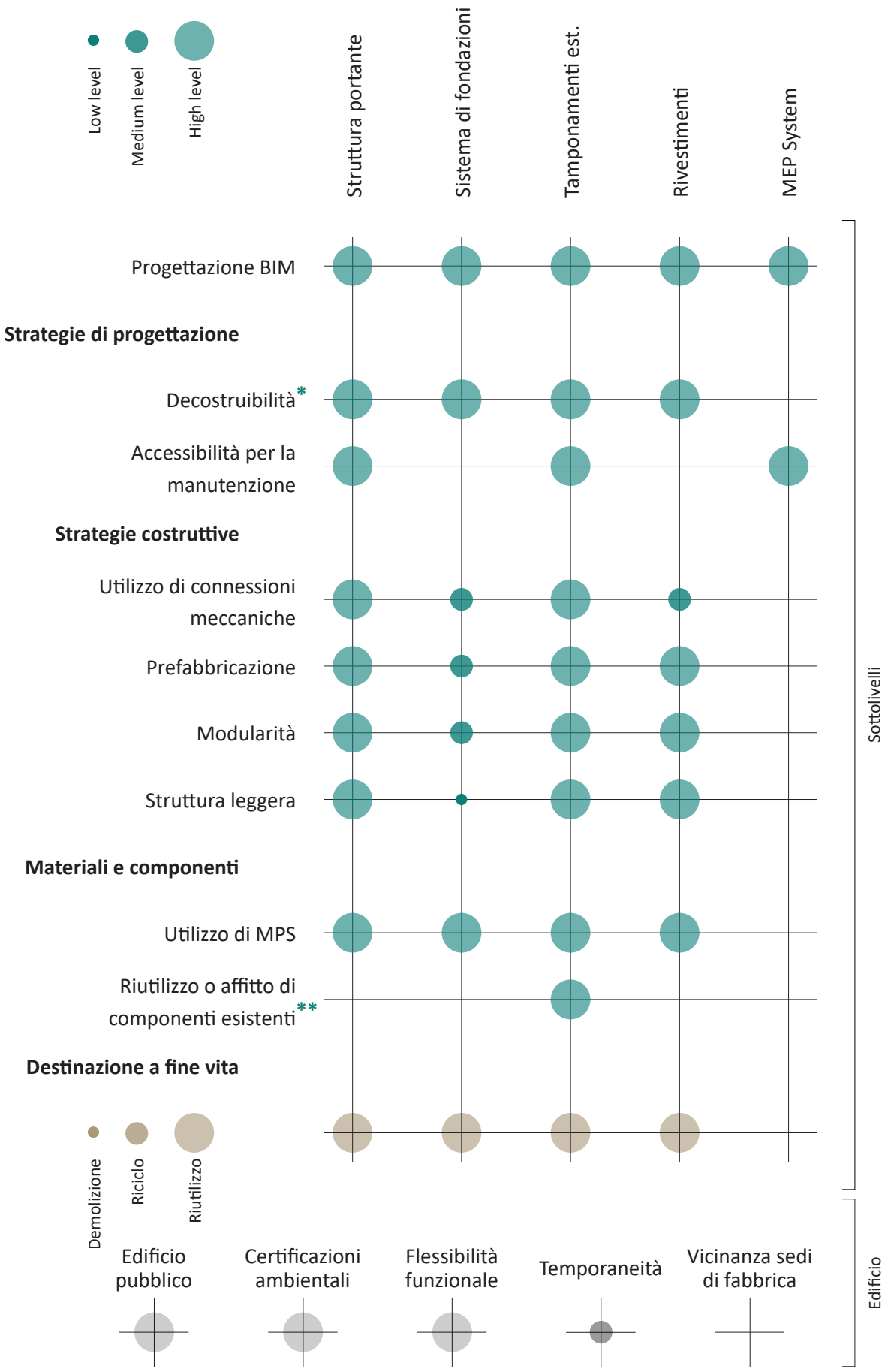
Il ristorante al piano terra può ospitare circa 175 persone, durante tutta la giornata (colazione, pranzo, bevande e cena). Ci sono quattro stanze (flessibili) al primo piano, che possono ospitare individualmente 25 ospiti o 2x50 ospiti, per un totale di 100 ospiti. Le sale sono adatte per riunioni, riunioni ed eventi.

I principi di The Green House

- Tutti gli ingredienti raccontano una storia e incoraggiano la condivisione;
- Le attività si basano su un approccio *riduci-riutilizza-ricicla;*
- Ogni operazione è guidata dalla trasparenza;

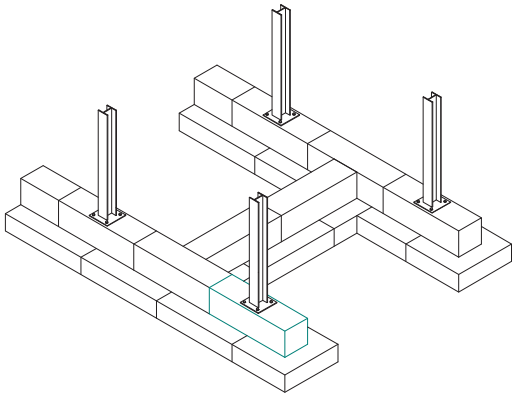
Gli ospiti della Green House possono effettuare le loro scelte sulla base di principi circolari (riduzione emissioni di CO_2, località dei prodotti), che sono indicati per ogni piatto.

© Lucas van de


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità*
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti**
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

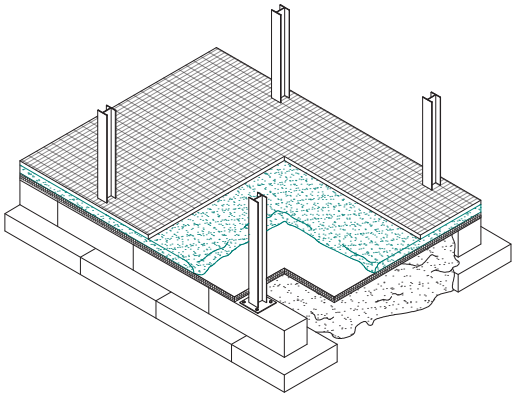
Greenhouse
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo significativo relativo al caso studio Green House, dello studio di Architectenbureau Cepezed, localizzato a Utrecht, nei Paesi Bassi. In questo caso studio, impiegare delle fondazioni prefabbricate e modulari è una delle chiavi per rendere circolare la struttura.



Step 1

I moduli prefabbricati della struttura di fondazione, assemblati in un sistema a travi rovesce, sono immersi nel terreno e ancorati ai pilastri in acciaio tramite giunzioni meccaniche.



Step 2

Sulla fondazione viene posato il solaio, composto da uno strato termoisolante e da una base in sabbia, sopra alla quale sono stati posizionati, per posa a secco, mattoni riutilizzati.

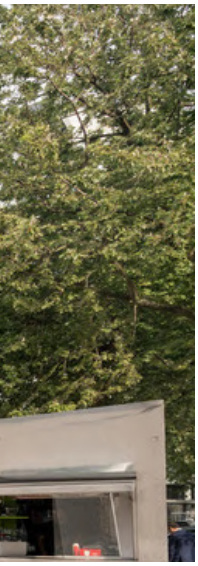
* L'edificio (compresa la fondazione in blocchi prefabbricati in calcestruzzo) è completamente smontabile. In 15 anni può essere costruito altrove. Il padiglione a due piani è concepito come un generico kit edilizio con un telaio amovibile in acciaio, realizzato con profili zincati.

** Buona parte degli elementi costruttivi deriva da operazioni di riciclo da altri edifici. Le dimensioni delle tamponature di facciata sono derivate da quelle dei pannelli in vetro fumé dell'ex Knoopkazerne; questi sono stati riutilizzati per la seconda pelle e la serra del padiglione; i clinker stradali di una vecchia banchina di Tiel sostituiscono il classico piano terra che è stato colato; all'interno, il principio della circolarità viene rispettato tramite il principio del *pay-per-use*: molti prodotti vengono noleggiati e rimangono in possesso al fornitore.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

6.2.4 | Altri

Di seguito viene riportata una selezione di altri casi studio nordeuropei, inseriti in quanto esempi di un approccio circolare alla progettazione, ma pubblicati online con scarso materiale tecnico di riferimento, utile per svolgere un'analisi più approfondita.



Il nuovo padiglione Circl è unico nei Paesi Bassi: si tratta del primo esempio di un edificio perfettamente sostenibile e basato su un progetto circolare. Il principale obiettivo che sta dietro questo progetto è quello di limitare al minimo il consumo di risorse. La copertura è realizzata come tetto giardino. Rispetto alla scelta dei materiali, si sono tenuti in considerazione i diversi cicli di vita delle differenti componenti utilizzate.
Si dà importanza alla scelta di componenti che possano essere riutilizzate e, soprattutto, che siano facili da smontare. Infatti, in una prospettiva circolare, riprendendo le parole dell'architetto, "il fornitore non è più semplicemente tale, ma è un co-creatore; di conseguenza, deve avere la possibilità di riutilizzare il legno dopo i trent'anni previsti per l'utilizzo". Come questo funzioni nel dettaglio è qualcosa che si sta ancora studiando. Hammink aggiunge che "anche questo è un aspetto circolare. Cerchi di guardare oltre, ma alcune soluzioni devono ancora emergere"[121].

121 Architizer, *Architekten CIE, Pavillion Circl*, 2016

Powerhouse Company ha svelato il progetto per la nuova sala conferenze dell'Università di Tilburg, che una volta completata, sarà il primo edificio accademico dei Paesi Bassi in legno lamellare. Immersa in un paesaggio boscoso, l'aula magna è un cenno all'architettura modernista del campus degli anni '60, che fa eco alla sua atmosfera monastica attraverso il ritmo delle finestre e delle facciate in pietra calcarea. Con un'impronta ridotta di soli 33x33 m, la massiccia struttura in legno ospita 14 aule, aree studio e un *foyer*.
Il progetto circolare energeticamente neutro è progettato per lo smontaggio, impiegando un sistema di costruzione a secco per i suoi 4,6 km di travi in legno e la facciata in pietra calcarea.
"I nostri dettagli sembrano semplici ed evidenti, ma aprire la strada alle giunzioni tecniche in collaborazione con diverse discipline è stata una sfida. Questa strada non percorsa è stata stimolante e ci ha insegnato molto", afferma Romano Van Den Dool, ingegnere BIM presso Powerhouse Company.[122]

122 Archdaily, *Powerhouse Company, Tilburg University Lecture Hall,* 2019

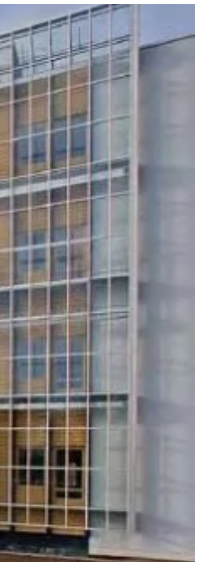
Architects: Thomas Rau
Floor area: 3000 m²
Year: 2013
City: Brummen (NL)
Gemeentehuis Brummen

Architects: Burger Grunstra architecten adviseurs
Gross floor area: 58000 m²
Year: 2007
City: Groningen (NL)
Martini Hospital

Architects: Architectuurmaken
Floor area: 58000 m²
Year: 2007
City: Groningen (NL)
Oostenburgereiland
Circulaire Hal

A Brummen era necessario un nuovo municipio, ma, per timore del possibile spostamento dei confini distrettuali, si è scelto di progettare una struttura con una vita utile fissata a 20 anni.
La struttura è stata concepita come i tasselli dei LEGO, in cui il 90% dei materiali possa essere smontato e riutilizzato. Per tal motivo, la costruzione è stata realizzata con elementi prefabbricati in legno di alta qualità e durevoli, con modifiche progettuali introdotte dal fornitore, che consentono la massimizzazione del riutilizzo futuro.
Sono stati valutati i benefici progettuali: la riduzione del 38% delle emissioni di carbonio; i materiali da costruzione avranno un valore residuo del 20% alla fine della vita; la modularità ha ridotto significativamente il periodo di costruzione.
Il municipio di Brummen ha ricevuto il primo passaporto dei materiali al mondo, che registra le informazioni relative ai materiali, ai componenti e ai prodotti dell'edificio, trasformando la struttura in un deposito di materiali.[123]

123
Architectenweb, *Thomas Rau, Gemeentehuis Brummen*, 2013



L'edificio progettato per il nuovo ospedale Martini, a Groningen, ha una forma allungata particolarmente compatta. Un blocco edilizio uniforme è risultato essere la scelta migliore, in quanto potrebbe essere totalmente intercambiabile in fase di progettazione così come successivamente, in fase di utilizzo: un reparto infermieristico può essere convertito in ambulatorio o uffici.
Gli unici elementi fissi sono le aree di servizio, che restano sempre nella parte centrale. I concetti del programma IFD tedesco hanno guidato la progettazione del nuovo Martini Hospital. Il programma IFD è stato avviato da vari ministeri olandesi, come iniziativa per incoraggiare l'innovazione nel settore edile.[124]

124
Architizer, *Burger Grunstra architecten adviseurs, Martini Hospital*, 2007

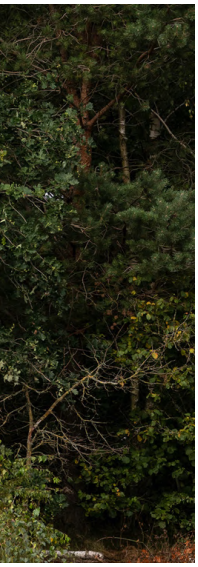
La Sala circolare di Oostenburgereiland è costruita con vecchi bracci girevoli che sono stati recuperati nell'officina preesistente e in altri edifici del quartiere. La funzione dell'edificio avvalla l'idea di una nuova economia che passi dalla proprietà all'uso sostenibile.
Nella proposta, questa sala diventa un luogo di deposito e condivisione delle biciclette.
Questa sorta di capannone è costruito, più o meno, come una bicicletta: con pezzi di seconda mano. I materiali provengono da fabbricati demoliti nelle vicinanze. Questo crea un concetto circolare, pur preservando il carattere originale dell'area.[125]

125
Sito ufficiale Architectuurmaken, *Oostenburgereiland Circulaire Hal*, 2007

Architects: Caspar Schols
Floor area: 54 m²
Year: 2020
Cabin ANNA

Architects: RAU
Floor area: 21852 m²
Year: 2015
City: Duiven (NL)
Nuova sede della società di reti energetiche Alliander

Architects: KRAAIJVANGER
Floor area: 21852 m²
Year: 2016
City: Venlo (NL)
Ufficio comunale Venlo



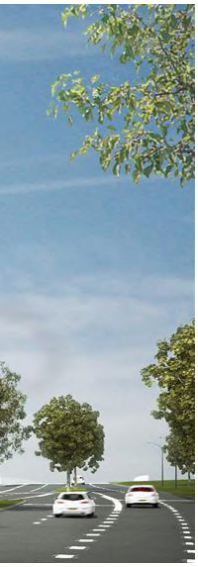
Cabin ANNA si presenta come una mini-casa in legno dal *design* abbastanza tradizionale. La particolarità sta nel fatto che la cabina è concepita come l'insieme di due parti che, una volta unite, formano una struttura chiusa e standard, ma quando vengono allontanate danno vita a un'abitazione fuori dal normale. I due gusci sono appoggiati su una base in legno su cui possono scorrere e permettere alla casa di aprirsi. Lo spazio vuoto che si forma tra queste due parti può essere lasciato aperto, o può essere chiuso da un ulteriore guscio, questa volta vetrato.
La fondazione è costituita da 14 pilastri in acciaio di lunghezza 1,5 m, che sono facili da rimuovere. Questi pilastri verranno svitati dal terreno quando la Cabin ANNA verrà smontata e spostata altrove.
Con una mini gru elettrica si montano gli elementi in 5 giorni lavorativi con 3 persone (e si smontano in 3 giorni). Tutti gli elementi si adattano a un normale camion e possono essere trasportati via terra o via mare.[126]

126 Archdaily, *Caspar Schols, Cabin ANNA*, 2020

La nuova sede delle società energetiche Alliander è il primo progetto di rinnovo nei Paesi Bassi ad aver ottenuto la certificazione di sostenibilità BREEAM-NL.
L'edificio esistente, che era composto di diversi blocchi, viene rispettato e integrato nel nuovo progetto: più dell'83% della struttura esistente viene integrata nella nuova. La struttura portante in acciaio, fino al tetto, è stata realizzata in collaborazione con un progettista di montagne russe, riducendo l'uso di materiale superfluo e, di conseguenza, il peso complessivo.
La circolarità guida l'intero processo progettuale. Si è previsto, in fase di progetto:

- L'utilizzo di legno riciclato per le facciate;
- Il riuso di calcestruzzo derivante da parti precedentemente demolite;
- Il riuso delle strutture in acciaio per le estensioni degli edifici;
- Il riuso delle toilets esistenti;
- La conversione delle porte esistenti in mobilia, oltre ad altri oggetti.[127]

127 Archdaily, *RAU Architects, Nuova sede della società di reti energetiche Alliander*, 2015



Il progetto degli uffici municipali di Venlo è stato guidato dal principio *Cradle to Cradle*. Il risultato è un edificio che diventa un ambiente di lavoro salubre, con una forte componente di innovazione rispetto al tema della sostenibilità.
L'elemento caratterizzante è sicuramente la facciata, nella quale sono state posizionate più di 100 tipologie diverse di piante. Coprendo una superficie di 2000 m^2, è la più grande facciata vivente nel mondo.[128]

128 Archdaily, *KRAAIJVANGER, Ufficio comunale di Venlo*, 2016

Architects: Archency
Floor area: 660 m^2
Year: 2015
City: Copenhagen (DK)

Unionkul Stack I.

Architects: JAJA Architects, Bessard's Studio
Floor area: -
Year: 2016
City: Hjørring (DK)

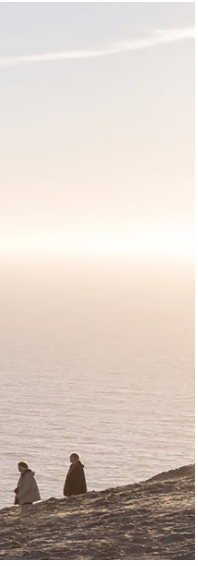
Rubjerg Knude Lighthouse

Architects: Arcgency
Floor area: -
Year: 2020
City: Ryslinge (DK)

Rebirth of Fabers Factories

Arcgency è un ufficio di Copenaghen dedicato alla *Resource Conscious Architecture*, che ha sviluppato un concept architettonico facilmente spostabile, pur offrendo le qualità di edifici permanenti. Inoltre, è un esperimento di architettura prefabbricata che sfida i problemi universali dei rifiuti e le tecniche di costruzione tradizionali.
I containers sono impilati su tre piani e poggiano su una serie di pilastri che hanno zero impatto sul suolo sottostante. Il singolo container è un prodotto altamente ottimizzato, ridefinito per essere *cost-effective,* resistente e durevole. Si adatta agli standard di trasporto e può essere spedito e installato ovunque.
La struttura del container grezzo viene allestita in soli due giorni. La serie di container impilati uno sopra l'altro è avvolta da pannelli sandwich coibentati ad alte prestazioni, che fungono anche da barriera al vapore e da rivestimento. Questi sono imbullonati direttamente al telaio del container, così come le finestre, gli elementi del tetto e le solette del pavimento interno.[129]

129 Divisare, *Archency, Unionkul Stack I.*, 2015



JAJA Architects e Bessard's Studio hanno progettato una scenografica scalinata che dà accesso alla torre del faro. È stato inserito un enorme caleidoscopio all'interno del faro, che cattura la luce naturale e crea dei riflessi, creando una continua cascata di colori e scorci del mare e del paesaggio circostante. Il caleidoscopio funge anche da elemento strutturale su cui la scala si avvolge. Il progetto offre diverse variazioni sulle proprietà di un materiale unico: l'acciaio.
Arrugginito, lucidato a specchio, piegato, forato, saldato e infine accuratamente assemblato in un monolito all'interno del faro. Esso reagisce alle caratteristiche meteorologiche estreme del sito, che determinano un processo di invecchiamento contemporaneo tra il caleidoscopio stesso e il faro. Secondo le indagini geologiche, il faro sarà preso dal mare entro i prossimi 2-15 anni. Nessuno sa esattamente quando la torre cadrà, ma quando accadrà, il progetto sarà completamente smontato e, grazie al suo sistema costruttivo, potrà essere rimontato o riciclato.[130]

130 Divisare, *JAJA Architects, Bessard's Studio, Rubjerg Knude Lighthouse*, 2016

Nel progetto pilota Fabers Factories, Arcgency mostra come sia possibile ripensare il concetto di abitazione. Sviluppando un metodo di costruzione modulare, sono stati creati alloggi a prezzi accessibili, attraenti e sostenibili, costruendo dei nuovi *gusci* interni alle ex fabbriche presenti nel sito.
I nuovi nuclei sono costruiti secondo una griglia modulare e sono mantenuti liberi dalle pareti esistenti. Sono costruiti con materiali e misure standard. In questo modo i nuclei possono essere costruiti senza doversi rapportare ad alcuna deformazione preesistente dell'edificio. Il singolo elemento è prodotto attraverso l'uso della scansione 3D e viene fabbricato dai robot CNC. Questo crea un incontro unico tra vecchio e nuovo. Il concetto si basa su una mentalità industriale: la maggior parte dei componenti dell'edificio è prefabbricata.[131]

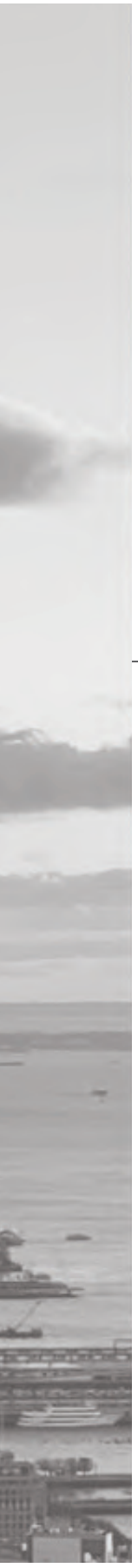
131 Divisare, *Arcgency, Rebirth of Fabers Factories*, 2020

Fonti:

Nord Europa

1. (WEBSITE) EUROPEAN COMMISSION, *ENVIRONMENTEco-innovation Action Plan, NETHERLANDS*, 2022 https://ec.europa.eu/environment/ecoap/netherlands_en
2. (WEBSITE) EUROPEAN COMMISSION, *ENVIRONMENTEco-innovation Action Plan, DENMARK*, 2022 https://ec.europa.eu/environment/ecoap/denmark_en
3. (Magazine online) Archdaily, *Building D(emountable) / architectenbureau cepezed*, 2019 https://www.archdaily.com/936389/building-d-emountable-architectenbureau-cepezed/5e7d3d67b357658bc300013d-building-d-emountable-architectenbureau-cepezed-axo?next_project=no
4. (Youtube Video) REBUILD, *Reinventing the Building Sector III: Design for disassembly*, 2021 https://www.youtube.com/watch?v=a4nnv-EwZJc
5. (Magazine online) ARCHELLO, *Temporary Courthouse Amsterdam*, 2019 https://archello.com/project/temporary-courthouse-amsterdam
6. (Video) *Demontage Tijdelijke Rechtbank Amsterdam*, 2022 https://www.cepezed.nl/en/project/tijdelijke-rechtbank-amstedam/30529/
7. (WEBSITE) Cepezed, *Temporary courthouse wins national sustainability prize steel*, 2018 https://www.cepezed.nl/en/news/tijdelijke-rechtbank-wint-nationale-duurzaamheidsprijs-staal/24268/
8. (WEBSITE) Cepezed, *si trasferisce il tribunale provvisorio!*, 2021 https://www.cepezed.nl/nl/nieuws/gebouw-tijdelijke-rechtbank-verhuist/74770/
9. (Magazine online) Archdaily, *The Green House / architectenbureau cepezed*, 2018 https://www.archdaily.com/896630/green-house-architectenbureau-cepezed
10. (Sito WEB) BOUW WERELD, *Il mondo dietro architettura e tecnologia delle costruzioni* https://www.bouwwereld.nl
11. (Magazine Online) ALBRON, *The Green House* https://www.albron.nl/cases/the-green-house
12. (Magazine Online) Archdaily, *Nuova sede della società di reti energetiche Alliander*, 2015 https://www.archdaily.com/777783/alliander-hq-rau-architects
13. (Magazine Online) Archdaily, *Ufficio comunale Venlo*, 2016 https://www.archdaily.com/872129/stadskantoor-venlo-kraaijvanger-architects
14. (Magazine Online) Archdaily, *Pavillion Circl*, 2016 https://architizer.com/projects/circl/
15. (Magazine Online) Architectenweb,*Gemeentehuis Brummen,* 2013 https://architectenweb.nl/nieuws/artikel.aspx?ID=32190
16. (Magazine Online) Architizer, *Martini Hospital*, 2007 https://architizer.com/projects/martini-hospital-2/
17. (WEBSITE) Architectuurmaken, *Oostenburgereiland Circulaire Hal*, 2007 https://architectuurmaken.nl/english/
18. (Magazine Online) Archdaily, *Tilburg University Lecture Hall*, 2019 https://www.archdaily.com/975412/powerhouse-company-reveals-designs-for-netherlands-first-mass-timber-university
19. (Magazine Online) Archdaily, *Cabin ANNA*, 2020 https://www.archdaily.com/952580/cabin-anna-caspar-schols
20. (Magazine Online) Divisare, *Unionkul Stack*, 2015 https://divisare.com/projects/314666-arcgency-rasmus-hjortshoj-coast-unionkul-stack-i-copenhagen-denmark
21. (Magazine Online) Divisare, *Rebirth of Fabers Factories*, 2020 https://divisare.com/projects/335106-jaja-architects-bessards-studio-rubjerg-knude-lighthouse

© Robert Bye



6.3 | CASI STUDIO IN AMERICA

L'edilizia sostenibile americana ha vissuto un periodo di crescita importante negli ultimi anni. Si è passati da un primo periodo, in cui adottare l'approccio dell'economia circolare nel settore edilizio era una tendenza (la moda del *go green)*, ad una maggiore consapevolezza, che ha reso tale approccio un *modus faciendi*.

Michael Deane, vice presidente e direttore della sostenibilità a Turner Construction[132]spiega che "ad andare sempre più *green* è il settore commerciale, quello dell'assistenza sanitaria e dell'istruzione superiore. Gran parte dell'interesse da parte del settore privato verso la sostenibilità deriva dalla crescente enfasi sulla riduzione dei costi di gestione". Prosegue Tracy Browne, vice presidente della società Balfour Beatty USA[133], ramo sostenibilità, dicendo "vediamo un aumento di interesse, in quanto sempre di più le persone assumono una prospettiva a lungo termine. I clienti stanno iniziando a guardare più da vicino i costi del ciclo di vita e i costi totali delle proprietà". Infine, come ultima area emergente del settore, gli esperti indicano la riqualificazione dello *stock* edilizio esistente.

Negli Stati Uniti, l'*US Green Building Council* è stato in gran parte responsabile della definizione delle norme che hanno dato un quadro di riferimento per il movimento dell'edilizia *green*, portando sempre più costruttori e appaltatori in questa direzione.[134]

Sul suolo americano, gli incentivi messi a disposizione per il settore edilizio variano a seconda dell'area di intervento.

Descrivendo un quadro generale, le costruzioni a secco sono soggette a numerose

132 Turner Construction: società di costruzioni americana presente in 20 paesi. È una filiale della società tedesca Hochtief.

133 Balfour Beatty plc: gruppo infrastrutturale multinazionale britannico con sede nel Regno Unito con capacità nei servizi di costruzione, servizi di supporto e investimenti infrastrutturali.

134 RISPOSTA Fabbrica Serramenti PVC, *Negli States calano i fatturati da progetti di edilizia green,* 2021

agevolazioni economiche in America, come in Australia e in Nord Europa. La propensione per la prefabbricazione è un elemento chiave nel settore delle costruzioni in tutto il suolo americano.[135]

Il legame culturale che lega il Paese alla costruzione a secco, in particolare in legno, deriva dall'elevata domanda, durante il periodo della colonizzazione, di costruzioni di veloce realizzazione e a basso costo.

Un altro aspetto che influisce sulla scelta del metodo costruttivo adottato in America è legato al concetto che gli americani hanno di casa: la casa non è *per sempre*. Infine, l'alto livello di sismicità di molte aree degli Stati Uniti ha determinato un grande impiego del legno come materiale strutturale, così come succede anche in Giappone. Viene citata di seguito una tecnica costruttiva che si basa sull'applicazione del sistema a telaio in legno, molto utilizzata in Nord America: la tecnica del *platform frame*[136]. Questa prevede la realizzazione di una struttura a telaio sulla quale vengono poi fissati a secco tutti gli altri componenti, come materiale isolante e pannelli di tamponamento (generalmente in legno o derivati).

Un altro fattore che influisce sulla scelta di un tipo di progettazione, piuttosto che di un altro, è il basso costo degli approvvigionamenti energetici, dato dall'utilizzo del nucleare e dall'intensiva estrazione di petrolio. Questo comporta limitati problemi energetici e, di conseguenza, interventi minimi di isolamento delle strutture. Pertanto, il consumo degli impianti di condizionamento interni è nettamente superiore rispetto al fabbisogno che si avrebbe se si intervenisse con la riqualificazione.

Per quanto riguarda la normativa edilizia, nel 1927 fu pubblicato l'UBC (*Uniform Building Code*) dalla *International Conference of Building Officials*, con sede a Whittier, in California. L'obiettivo era quello di promuovere la sicurezza pubblica e fornire requisiti standardizzati per una costruzione sicura che non variassero da città a città, come era avvenuto in precedenza.

L'area di analisi è molto vasta e la risposta delle comunità alla domanda dell'economia circolare nel settore delle costruzioni può variare notevolmente tra un'area e l'altra. Un esempio si può ritrovare nell'uso dei materiali: le costruzioni vengono realizzate con materie più facilmente reperibili nella zona in cui devono sorgere. Di seguito viene proposto un inquadramento generale sulle tendenze che si possono ritrovare in Canada, negli Stati Uniti e in America del Sud.

135 MANNI GROUP, *Quali incentivi per le nuove costruzioni a secco?*, 2016

136 INFO BUILD, Costruire a secco: vantaggi e tecnologie, 2021

Canada. L'Economia Circolare nel Paese

Grazie ad un approccio innovativo e creativo rispetto alle *green technologies*, la provincia canadese è leader mondiale nella *green economy*[137]. Un aspetto fondamentale è una diffusa attenzione all'ambiente naturale, determinata, tra gli altri fattori, anche dalla disponibilità di un vastissimo patrimonio naturale. In

137 Centro Studi Italia Canada, *Perché il settore Green Building canadese è un'opportunità per le imprese italiane*, 2022

questo contesto, l'industria del legname ha una grande importanza.
Il *Green Building* è un comparto in grande espansione che apre nuove frontiere economiche e offre l'opportunità di costruire un modello di sviluppo più sostenibile.
Il Canada può vantare un alto livello di innovazione in termini di sostenibilità: questo, sia da un punto vista istituzionale che di diffusione nella società civile.
Per raggiungere gli obiettivi posti per frenare il cambiamento climatico, cercando di rispondere, al contempo, a un aumento della domanda di prodotti in legno, il Governo canadese ha deciso di investire 887.000 dollari[138] per sostenere la sostituzione del ponte *Duchesnay Creek*. Il finanziamento di questo progetto proviene dal programma *Green Construction through Wood* (GCWood), promosso da *Natural Resources Canada*[139], che incoraggia l'uso del legno in progetti di costruzione non tradizionali, come edifici non residenziali. Il programma mira a posizionare il Canada come leader mondiale nei sistemi e nelle tecnologie innovative di costruzione in legno e nell'economia a bassa emissione di carbonio.
L'attenzione canadese nei confronti dello sviluppo sostenibile è stata concretizzata nella *Strategia Federale di Sviluppo Sostenibile* (FSDS)[140], creata tramite il *Federal Sustainable Development Act* del 2008, rinnovata e aggiornata ogni 3 anni. La strategia descrive le priorità in termini di sviluppo sostenibile del governo federale, stabilisce obiettivi e identifica azioni concrete per raggiungerli.
Il progressivo rinnovo della strategia ambientale, oltre all'iniziativa dei *policy maker*, è il risultato dell'attività di collaborazione con la società civile che, prima di ogni rinnovo, consente di raccogliere delle proposte e dei *feedback* da integrare nel progetto. La strategia, nella sua ultima uscita, raccoglie 13 obiettivi: dalla transizione ecologica del governo federale al sostegno al *cleantech*, all'energia rinnovabile, fino alla sicurezza e salute nelle comunità locali.
Oltre alla FSDS, nel 2017 il governo canadese ha emanato il *Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change* (PCFCGCC o PCF). Questo è un piano d'azione per creare un'economia più resistente al cambiamento climatico, a basse emissioni e sostenibile. Rispetto al FSDS, il PCF si concentra anche sull'ambiente costruito, ponendosi come obiettivo l'efficientamento energetico delle infrastrutture esistenti e l'aumento degli standard costruttivi in termini di emissioni per i nuovi progetti.
Il quarto PCF, emesso nel 2020, si basa su quattro pilastri:

- Pricing carbon pollution;
- Cmplementary actions to reduce emissions;
- Adaptation and climate resilience;
- Clean technology, innovation, and jobs.

Nel rapporto di sintesi del *Climate Science 2050* del Canada, anch'esso pubblicato nel 2020, viene identificato il ruolo critico della scienza e la conoscenza nel guidare l'azione rapida e ambiziosa necessaria per costruire un Canada resiliente e a emissioni zero.
"Oltre a ridurre le emissioni di gas a effetto serra e migliorare la resilienza del

138 PMI REBOOT, *Il Canada promuove costruzioni sostenibili e innovative attraverso il legno,* 2022

139 Natural Resources Canada: agenzia governativa fondata nel 1994

140 FSDS: strategia trasversale in cui sono formulate le linee guida per la politica federale e stabiliti gli obiettivi da raggiungere entro il 2030 nonché gli orientamenti strategici con i corrispondenti ambiti tematici politici prioritari.

Canada ai cambiamenti climatici, l'azione per il clima da parte dei governi federale, provinciale e territoriale sta producendo molti benefici economici, sociali e sanitari per i canadesi. Nuove opportunità economiche stanno emergendo per la *tecnologia pulita* canadese e la partecipazione al mercato globale di beni e servizi a basse emissioni di carbonio. I *retrofit* dell'efficienza energetica stanno aiutando i canadesi a rendere le loro case e gli edifici energeticamente più confortevoli e più convenienti. L'espansione del trasporto pubblico sta migliorando la vivibilità delle città in tutto il Paese. Azioni come l'eliminazione graduale della tradizionale generazione di elettricità a carbone entro il 2030 miglioreranno la qualità dell'aria, portando a migliori risultati sanitari per i canadesi"[141].

141 Government of Canada, Overview of Pan-Canadian Framework actions in 2020, 2022

Stati Uniti. L'Economia Circolare nel Paese

Nel mondo, ma soprattutto negli Stati Uniti, il consumo dei materiali è aumentato rapidamente nel corso del secolo. Da quanto è emerso dall'allegato della dichiarazione dei leader del G7 del 2015, l'uso globale di materie prime è aumentato con una velocità doppia rispetto al tasso di crescita della popolazione.
Gli Stati Uniti, in relazione al consumo di risorse, hanno tra le più basse percentuali di materiali riciclati ogni anno.
Con l'obiettivo di correggere questa tendenza, l'*Environmental Protection Agency* (EPA) ha finalizzato la prima strategia nazionale per il riciclo. Il documento, dal titolo *National Recycling Strategy: Part One of a Series on Building a Circular Economy for All*, mira a supportare lo sforzo dell'EPA di raggiungere, entro la fine del decennio corrente, un tasso del 50% di riciclo sul totale dei rifiuti prodotti dalle municipalità del Paese[142].
Oltre a questa strategia, gli Stati Uniti, in vista di una gestione sostenibile dei materiali, hanno pubblicato il *Sustainable Materials Management* (SMM, derivante dall'OCSE) che mira ad un uso più produttivo dei materiali in tutto il loro ciclo di vita. Esaminando come i materiali vengono utilizzati in tutto il loro ciclo di vita, l'approccio SMM mira a:

- Utilizzare materiali nel modo più produttivo, con un accento sulla riduzione dell'utilizzo stesso;
- Ridurre le sostanze chimiche tossiche e i loro impatti ambientali in tutto il ciclo di vita del materiale;
- Assicurare risorse sufficienti per soddisfare le esigenze di oggi e quelle del futuro.[143]

142 Economia Circolare, *La stategia nazionale degli USA per raggiungere il 50% di riciclo sul totale dei rifiuti,* 2021

143 Università Ca' Foscari Venezia, Tesi di laurea di Erica Fregonese,*Il sociale instillato nel modello di economia circolare: il caso Amorim Cork Italia S.p.A.*, 2019

Nel 2019, una cascata di iniziative ha alimentato lo sviluppo dell'energia sostenibile in Nord America, con azioni concrete che vanno dallo stanziamento di borse di studio nell'area della ricerca per le rinnovabili, alla promozione di nuove *partnership*

per perseguire la strada della decarbonizzazione, fino all'avvio di progetti che costituiscono vere e proprie pietre miliari nel campo delle rinnovabili[144].

144 ENEL, *Stati Uniti: un ventaglio di azioni concrete per lo sviluppo sostenibile,* 2020

Sud America. L'Economia Circolare nel Paese

Il Sud America è in una fase di crescita circolare, con nuovi incentivi in ambito di ricerca, collaborazioni con le autorità locali e la cittadinanza e progetti in atto.
Durante l'evento *Recycling and Recovery of solid waste: state of art and developments for fostering the circular economy* (COOPI, *Cooperazione Internazionale*) organizzato dall'Università dell'Insubria, si sono posti gli obiettivi per affrontare le problematiche dello sviluppo dell'economia circolare in Europa e in America Latina, attraverso tecnologie e metodi sostenibili, soffermandosi, in particolare, sul recupero e riciclo dei rifiuti solidi.
COOPI porta avanti numerosi progetti in Sud America. Un esempio si può ritrovare nella capitale boliviana, La Paz, in cui, grazie al supporto dell'*Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo* (AICS)[145], è in atto un progetto per migliorare la sostenibilità ambientale della città e la gestione dei rifiuti solidi, con particolare attenzione ai rifiuti inorganici e ai rifiuti da costruzione e demolizione.
Importante è stato il raggiungimento degli obiettivi riguardanti:

- La riduzione dell'impatto ambientale causato dall'abbandono dei rifiuti da costruzione a cielo aperto;
- Una maggiore efficienza ed efficacia del processo di selezione dei rifiuti urbani;
- L'attivazione di un meccanismo circolare riguardante il trattamento dei rifiuti;
- La diffusione di tecnologie innovative per lo sfruttamento di rifiuti[146].

145 AICS: agenzia pubblica che si occupa di promozione dello sviluppo internazionale, aiuto pubblico ed emergenze umanitarie.

146 COOPI, *Economia circolare: un'alternativa sostenibile in Italia e Sud America,* 2021

"Avere una comprensione comune di cosa sia un'economia circolare e come dovrebbe essere in America Latina e nei Caraibi, è essenziale per le imprese e per i governi per realizzare questa transizione. Questa visione ispiratrice aiuterà tutti gli attori a cooperare, a cogliere tutte le opportunità e a guidare una nuova ondata di sviluppo basata su un modello di economia circolare di cui beneficiano la società, le imprese e l'ambiente"[147]

Luísa Santiago, responsabile per l'America Latina, Fondazione Ellen MacArthur

147 ESGDATA, *Global Responsibility Network, Caraibi e America Latina: nuova strategia condivisa per un'economia circolare,* 2022

Photograps Courtesy of William McDonough + Partners
NASA Sustainability Base
"AECOM riconosce il ruolo del BIM nel determinare la produzione di progetti più sostenibili e che siano basati sulla collaborazione".
Brion Boucher, AIA, LEED AP Associate Vice President

6.3.1 | NASA Sustainability Base, 2012 (CA)

Floor Area: 4645,152 m^2

Year: 2012

City: Moffett Field (CA)

Building Type: Offices

Client: NASA Ames Research Center

Design Team

Architects: William McDonough + Partners, Design Architect

Architect of Record / Landscape Architect of Record / MEP / Structural / Civil Engineering: AECOM

Daylighting / Lighting / Energy Consultant: Loisos + Ubbelohde,

General Contractor: Swinerton Builders

Design Landscape Architect: Siteworks Studio

Materials Assessment TBD, Cost Estimator: McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC)

Awards & Certifications

LEED® Platinum Certification

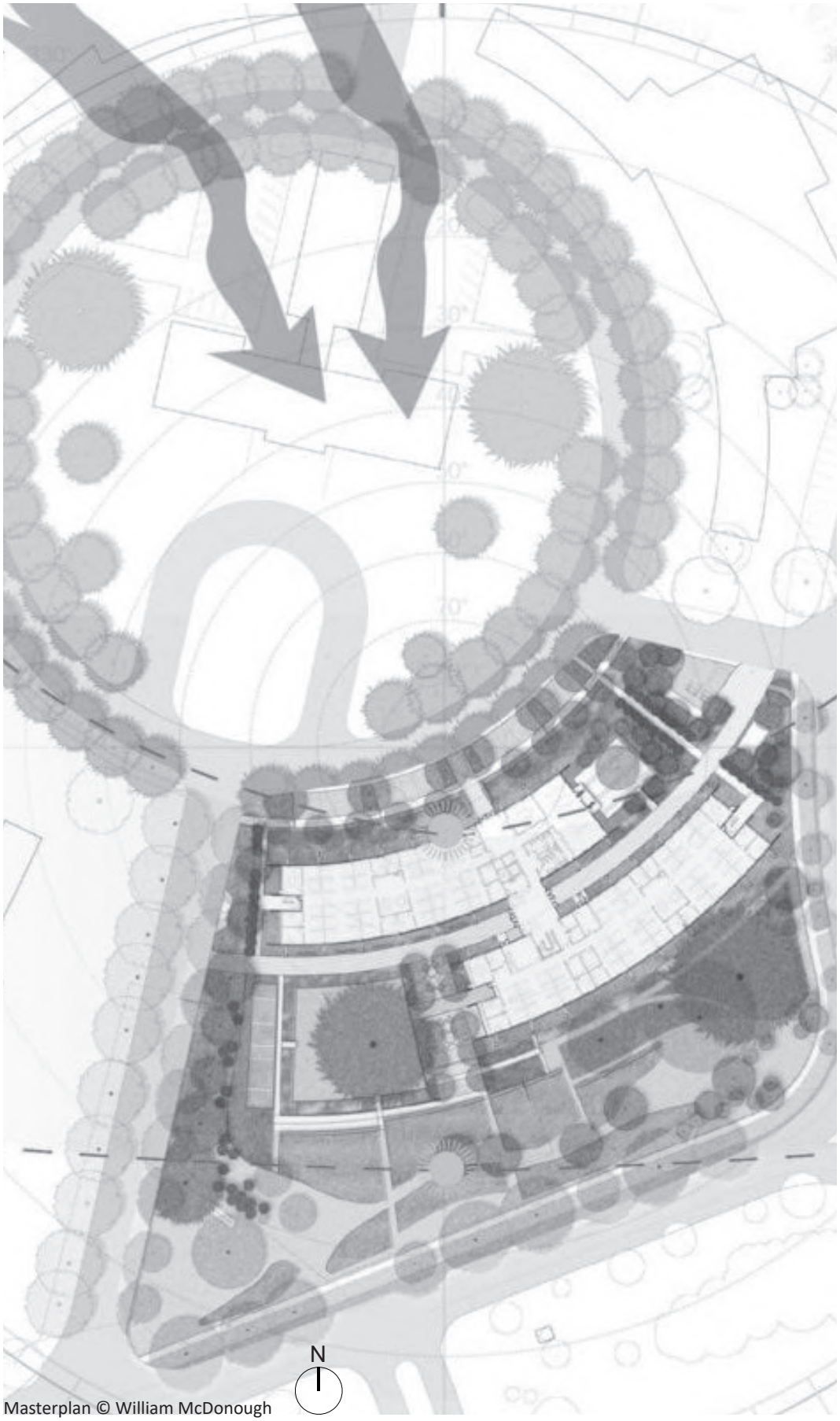
Center on Environmental Innovation & Leadership, 2011 Leadership in Innovation Award

White House GreenGov Award 2011, Lean Green and Mean

ENR California, Best Projects of 2011, Award of Merit - Green Building

Silicon Valley Business Times' Structures Awards 2010, Best Green Project

GSA Real Property 2010 Award for Green Innovation



Masterplan © William McDonough

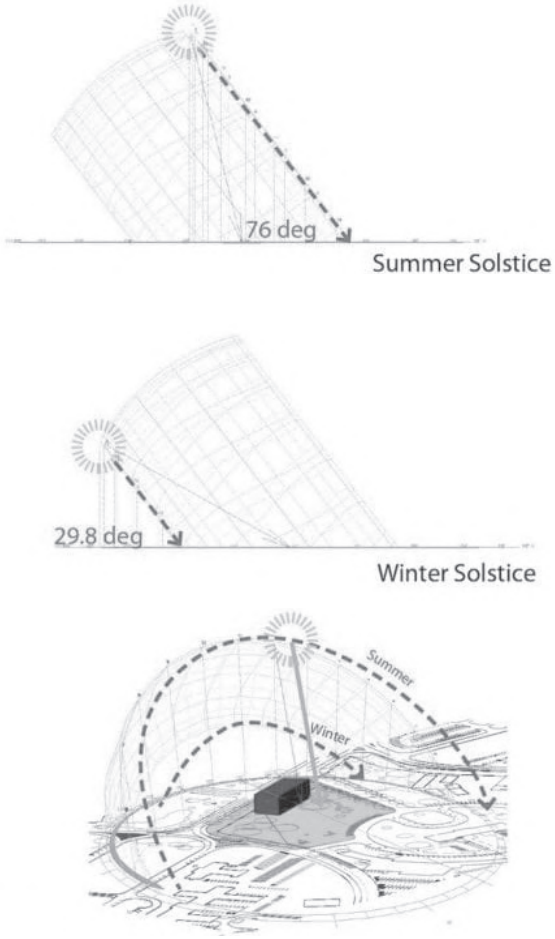
"A few years ago, I had the privilege of meeting with NASA leaders in Washington, Houston, and then at Ames Research Center in Mountain View, California. We talked about design, and space stations, and we got to talking about the next space station. I suggested that we think about the next space station as not one just for the red planet, but what about our blue planet first?

We all got excited about the concept… and things, well, took off.
NASA, it turns out, is a client and owner extraordinarily well positioned to embrace and support the idea I have been exploring for years—that design is the signal for human intention. Working with the amazing team at NASA, we have created a concept, now realized as a building, that is NASA's first space station on Earth.

I feel a coming together. I have been talking about "a building like a tree" for decades now, and this project represents a unique merger of that concept with technological advances and anticipatory design. It's a special happening, something a poet might call 'a beautiful,fierce commotion'."[148]

William McDonough, FAIA, Int. FRIBA

148
Sustainability Base, *NASA's First Space Station on Earth*, 2012



(Grafico) Studio solare © William McDonough

© William McDonough

La NASA Sustainability Base, a Moffett Field in California, prende il suo nome dalla relazione tra quest'ultima e il primo avamposto umano fuori dal pianeta sulla Luna, Tranquility Base.
L'edificio ha ottenuto la certificazione LEED® Platinum ed è stata tra le prime installazioni federali a raggiungere tale obiettivo.
La NASA sta applicando la sua esperienza derivata dall'aeronautica, dalla tecnologia dell'informazione e dall'esplorazione spaziale all'ambiente costruito, utilizzando la Sustainability Base come laboratorio vivente, per sviluppare metodi e strumenti per comprendere e controllare i sistemi energetici e idrici dinamici sulla Terra.

Sustainability Base combina efficacemente strategie di riscaldamento/raffrescamento e illuminazione diurna passiva (geotermica idronica) e attiva (scambiatori di calore, pannelli radianti per controsoffitti) per ottimizzare l'uso dell'energia.
In loco, un BloomBox® ES-5700 produce più elettricità del picco di domanda.
I pannelli SunPower® E-19 montati sul tetto possono produrre 87 kW, circa il 30% della domanda annuale.
La produzione in eccesso viene misurata sulla rete elettrica locale della sottostazione di Ames. All'interno, la tecnologia sviluppata per la Stazione Spaziale Internazionale ricicla le acque grigie del lavandino e della doccia per gli sciacquoni. All'esterno, l'irrigazione utilizza le acque sotterranee del sito Superfund bonificate localmente. Nel complesso, Sustainability Base consente di risparmiare il 90% di acqua potabile su strutture di dimensioni comparabili.

Durante la progettazione e la costruzione di Sustainability Base è stato implementato un rigoroso protocollo di selezione dei materiali.
In primo luogo, i prodotti *Cradle to Cradle Certified™* sono stati utilizzati quando disponibili, convenienti e realizzabili attraverso una procedura di gara competitiva. Quando non è stato possibile implementare prodotti certificati, MBDC ha valutato prodotti alternativi per il loro potenziale *Cradle to Cradle Certified™*.

"Lavorare a stretto contatto con Bill McDonough e il suo team è stata un'esperienza positiva e d'ispirazione. Il processo collaborativo ha determinato un progetto bello e sostenibile, in cui le performance dell'edificio sono ottimizzate e rappresentative dei nostri valori."[149]

Steven F. Zornetzer,
Ph.D, NASA Ames Research Center, Associate Center Director

149 William McDonough + Partners

Quadro progettuale eco-sostenibile

All'inizio della fase progettuale, NASA ha stabilito quattro principi che la Sustainability Base avrebbe dovuto rispettare. Sulla base di questi principi, i progettisti hanno individuato degli obiettivi da raggiungere e, di conseguenza, le strategie da attuare.

Principio 1. Approfondire l'aspetto aziendale.

Obiettivi aziendali:

- Ottimizzare l'efficacia nel luogo di lavoro;
- Ridurre i costi operativi.

Principio 2. Creare un modello di edificio di altà qualità.

Obiettivi energetici:

- Ottimizzare la domanda di energia dell'edificio;
- Rispondere alla domanda di energia tramite fonti rinnovabili.

Obiettivi rispetto alla gestione delle acque:

- Ridurre la domanda di acqua e lo spreco delle acque meteoriche.

Obiettivi rispetto alla scelta dei materiali:

- Massimizzare il valore dei materiali;
- Ridurre a zero il volume dei rifiuti conferiti in discarica.

Principio 3. Mostrare le tecnologie ed approcci NASA.

Obiettivi:

- Collaborare con NASA nel progetto dell'edificio;
- Evidenziare le tecnologie NASA;
- Sviluppare collaborazioni.

Principio 4. Rispettare tempistiche e costi previsti.

Obiettivi:

- Rispettare la *timeline* progettuale;
- Progettare nel rispetto del budget previsto.

Sustainability Base è un ambiente di lavoro, flessibile e collaborativo, nel quale si supportano la salute e il comfort degli occupanti e si crea un clima lavorativo positivo per gli impiegati NASA. Le strategie includono:

Uno studio dinamico della luce naturale. Ampie finestre e lucernari forniscono una profonda illuminazione naturale all'interno dell'edificio. La modellazione suggerisce che l'illuminazione elettrica sarà necessaria solo 42 giorni all'anno.

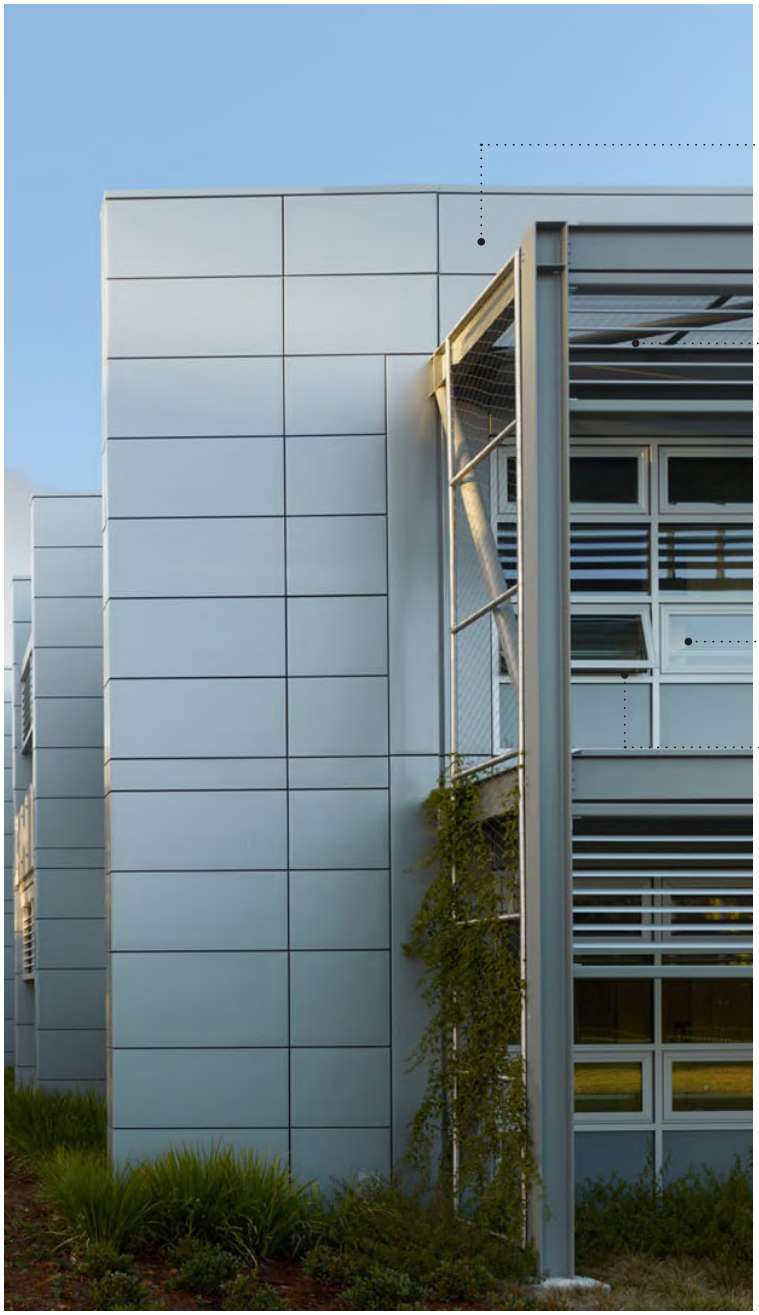
Comfort termico eccellente. I pannelli metallici esterni altamente isolati, con una smaltatura di alta qualità, conferiscono all'ambiente interno un elevato comfort termico. Riscaldamento e raffrescamento sono forniti da pannelli radianti.

La qualità dell'aria in ambiente è supportata dall'utilizzo di aree aperte sopraelevate, che garantiscono maggiore flessibilità di utilizzo degli spazi da parte dell'utenza.

I materiali Cradle to Cradle Certified[CM]

Nella progettazione della Sustainability Base è stato implementato un duplice approccio nella selezione dei materiali.
In primo luogo, sono stati utilizzati dei prodotti certificati *Cradle to Cradle*[150], quando disponibili, convenienti dal punto di vista economico e accessibili.
Qualora questi non potessero essere implementati, si sono valutati altri prodotti rispetto al loro potenziale di riutilizzo all'interno del programma *McDonough Braungart Design Chemistry* (MBDC).

150
Cradle to Cradle®: marchio registrato di McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC, LLC.). *Cradle to Cradle Certified*[CM] è un marchio di certificazione concesso in licenza dal *Cradle to Cradle Products Innovation Institute*.



(Grafico) © William McDonough + Partners, *Cradle to Cradle Certified*[CM] *Products*. Rielaborazione a cura delle autrici

Considerazioni sulla scelta dei materiali includevano l'utilizzo di un telaio rinforzato esterno per ridurre la quantità di acciaio, in termini di peso, utilizzata nell'edificio. Il sistema di rivestimento tramite pannelli in metallo leggero e coibentato ha ulteriormente ridotto la quantità di materiale necessaria per la costruzione.
Le considerazioni sulla salubrità dei materiali hanno portato a un processo di studio analitico, grazie al quale si sono preferiti i materiali più benefici per la salute umana e l'ecologia e che fossero progettati per cicli tecnici e/o biologici. Quando questi materiali non erano disponibili a causa di requisiti di prestazione, i materiali rimanenti sono stati valutati rispetto a fattori di rischio per la biosfera.
Le considerazioni sul contenuto dei materiali includevano la verifica di materiali riciclabili/riciclati, disponibili localmente e/o rapidamente rinnovabili e legno certificato.
I componenti principali (calcestruzzo, acciaio, vetro, alluminio) sono ad alto contenuto di riciclato e sono disponibili a livello regionale. Alcune aree interne riutilizzano i pavimenti in rovere provenienti da una galleria del vento transonica nell'Ames Campus della NASA.
Il *Design for Deconstruction* è stato facilitato dalla scelta di una struttura in acciaio (anziché calcestruzzo) che può essere facilmente smontata e riparata dopo un evento sismico.
Il rivestimento esterno è stato fornito in componenti unitari prefabbricati.

(Immagine) © William McDonough + Partners

Le scelte energetiche

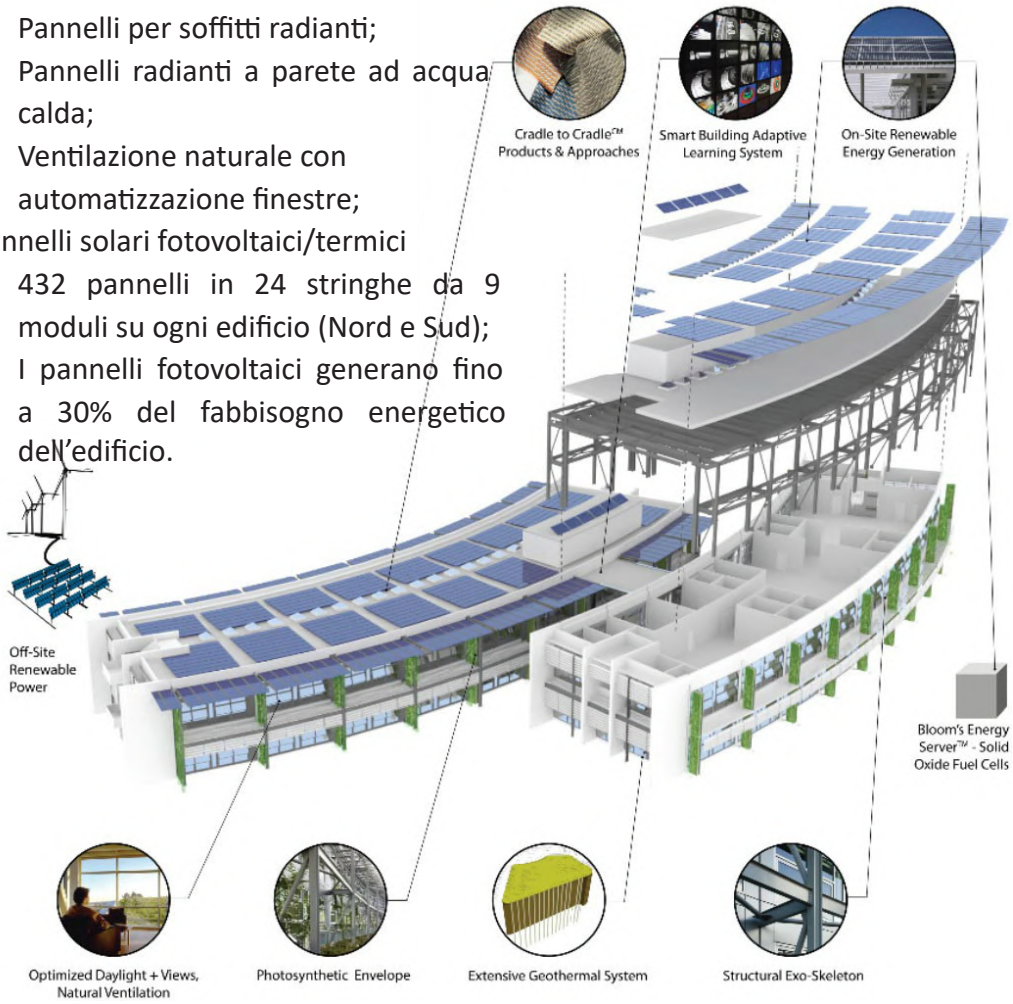
Il sito di progetto è ideato per essere *net energy positive* attraverso due strategie: ottimizzare la richiesta di energia e provvedere a ogni richiesta supplementare tramite risorse rinnovabili. L'obiettivo finale è quello di creare un sistema che sia completamente autosufficiente grazie all'uso di sole fonti rinnovabili.
Sebbene la luce e la ventilazione naturale siano altamente sfruttate, l'edificio dispone di un sistema di riscaldamento e raffrescamento, che garantisce il mantenimento delle condizioni di comfort.

Sistemi di illuminazione
- Apparecchi a LED;
- Sofisticato sistema di controllo dell'illuminazione, che attenua automaticamente le luci per la regolazione durante il giorno;

Pompa di calore geotermica
- 106 pozzi;
- 4 pompe di calore;

Riscaldamento/Raffreddamento radiante
- Pannelli per soffitti radianti;
- Pannelli radianti a parete ad acqua calda;
- Ventilazione naturale con automatizzazione finestre;

Pannelli solari fotovoltaici/termici
- 432 pannelli in 24 stringhe da 9 moduli su ogni edificio (Nord e Sud);
- I pannelli fotovoltaici generano fino a 30% del fabbisogno energetico dell'edificio.



(Grafico) © William McDonough + Partners, *A Model High Performance Building*.

Tecnologie NASA

Per contribuire al raggiungimento dell'obiettivo di avere un edificio ad alte prestazioni, nella Sustainability Base viene impiegato il software sviluppato dalla NASA per progetti come i Mars Rovers.
Il software della NASA è stato adattato per monitorare l'edificio attraverso una rete di sensori wireless, che fornirà dati in tempo reale al sistema di controllo.
Il sistema verrà utilizzato per registrare il funzionamento dell'edificio, consentendo analisi e ottimizzazione continue.
Tali dati vengono analizzati dalla NASA per prevedere la durata di vita dei macchinari e componenti: ciò rende possibile risparmiare sui costi di manutenzione.
La NASA eccelle nel *Data Mining*: tramite l'uso di questo software, set di dati complessi diventano facilmente comprensibili.
L'analisi della fluidodinamica computazionale viene utilizzata, ad esempio, per studiare i flussi d'aria, fuori e dentro l'edificio. Questo strumento consente alla NASA di perfezionare il design dei sistemi HVAC, per mantenere il comfort degli occupanti e ottimizzare il consumo di energia.

Certificazione LEED platinum

L'edificio ha ottenuto una certificazione LEED platinum, che rappresenta il più alto riconoscimento da parte del *Green Building Council* degli Stati Uniti nella progettazione e costruzione per la sostenibilità.
Sustainability Base è supportato da un esoscheletro: si tratta di supporti strutturali all'esterno dell'edificio, che consentono un flusso d'aria e di luce naturale senza ostacoli.

(Immagine) Courtyard scene © AECOM and W. McDonough + Partners.

Fattori umani

Gli studi hanno dimostrato che le persone sono più felici e più produttive quando il loro ambiente di lavoro è più connesso al mondo naturale. Questo concetto, la biofilia, è uno dei principi cardine attorno ai quali è stata progettata Sustainability Base. L'edificio e il suo sito sono progettati non solo per il benessere planetario, ma anche per la salute fisica ed emotiva umana. Gli elementi per il benessere umano includono abbondante aria fresca, luce diurna, spazi di lavoro all'aperto, viste sulla natura, ombreggiamento naturale, materiali da costruzione non tossici e una varietà di vegetazione.

Il ruolo del BIM nella progettazione integrata

"AECOM riconosce il valore del BIM e la sua capacità di migliorare la collaborazione per creare progetti migliori e più sostenibili. Autodesk è uno dei nostri principali partner strategici nel raggiungimento di questi obiettivi"[151].

Brion Boucher,
AIA, LEED AP Associate Vice President, Director of Design Technologies AECOM,
Planning Design + Development Group

151
AUTODESK, Communicate across barriers. William McDonough + Partners and AECOM deliver to NASA one of the federal system's greenest facilities, 2010

Le sfide progettuali dell'edificio includevano la realizzazione di una geometria radiale complessa, un innovativo esoscheletro con struttura in acciaio e numerose caratteristiche eco-compatibili, come pozzi geotermici, ventilazione naturale, etc.
"Il nostro obiettivo finale era creare un edificio autosufficiente [...]. In particolare, era fondamentale che gli ingegneri strutturali e gli architetti fossero in costante comunicazione", dice June Grant, project manager per AECOM.
In questo progetto, i membri del team AECOM avevano sede a San Francisco, Moffett Field e Orange County, in California; Albuquerque, in New Mexico; a Phoenix, Arizona. Per collegare i membri del team, AECOM si è affidata alle soluzioni BIM di Autodesk.
"Questi potenti strumenti hanno contribuito a fornire le risposte rapide di cui avevamo bisogno in questo complesso progetto", afferma Tom Horan, vicepresidente di AECOM e direttore del sito presso la NASA.

La soluzione

Per ottenere tutti i vantaggi dell'approccio BIM, il progettista WM+P ha utilizzato il software Revit Architecture per sviluppare il modello iniziale ed eseguire studi strutturali e meccanici preliminari, prima di trasmettere il modello all'AECOM.
"Ciò ha consentito agli ingegneri di andare avanti, mentre noi continuavamo il lavoro di progettazione sulla pelle esterna", afferma Alastair Reilly, direttore di WM+P. Continua dicendo "eravamo un team integrato che lavorava insieme in tempo reale."
Revit Architecture è stata una soluzione ideale per la complessa geometria radiale dell'edificio.
"Ogni potenziale modifica del design ha avuto numerose implicazioni", afferma Horan, che continua "il processo BIM, supportato da Revit Architecture, ci ha aiutato a comprendere tali implicazioni, a comunicarle agli altri membri del team e a prendere decisioni più rapide e informate".

Revit Architecture ha, inoltre, consentito ad AECOM di esaminare e valutare più rapidamente scenari di progettazione multipli. Ad esempio, a un certo punto durante il processo di progettazione, il rapido aumento dei prezzi dei materiali ha costretto il team a modificare il progetto per rispettare il budget.

Collegare le discipline

Uno degli aspetti più visibili della nuova struttura era il suo innovativo esoscheletro con struttura in acciaio, che richiedeva uno stretto coordinamento tra gli architetti e gli ingegneri strutturali, che utilizzavano il software Revit Structure.
"Una piattaforma BIM comune ha consentito agli architetti di evitare di duplicare il lavoro degli ingegneri", afferma Horan. "Potevano vedere più rapidamente come i cambiamenti strutturali hanno influenzato l'architettura".
Questo livello di connessione ha contribuito ad aumentare la precisione del *design*. Ad esempio, quando l'ingegnere strutturale ha modificato un pezzo di acciaio, Revit Architecture ha automaticamente contrassegnato la modifica, informando il *project manager* che le connessioni non funzionavano più.
Per una maggiore precisione di progettazione, il team ha condotto il rilevamento delle interferenze settimanali con Navisworks Manage.
L'esoscheletro era una componente essenziale di un altro obiettivo di progettazione: una pianta aperta, ma stretta, senza colonne che incoraggia la flessibilità e la collaborazione tra gli utenti finali dell'edificio.
"Mettendo il sistema di resistenza laterale all'esterno dell'edificio, siamo stati in grado di liberare l'intera pianta", afferma Horan.

Aumentare il coordinamento

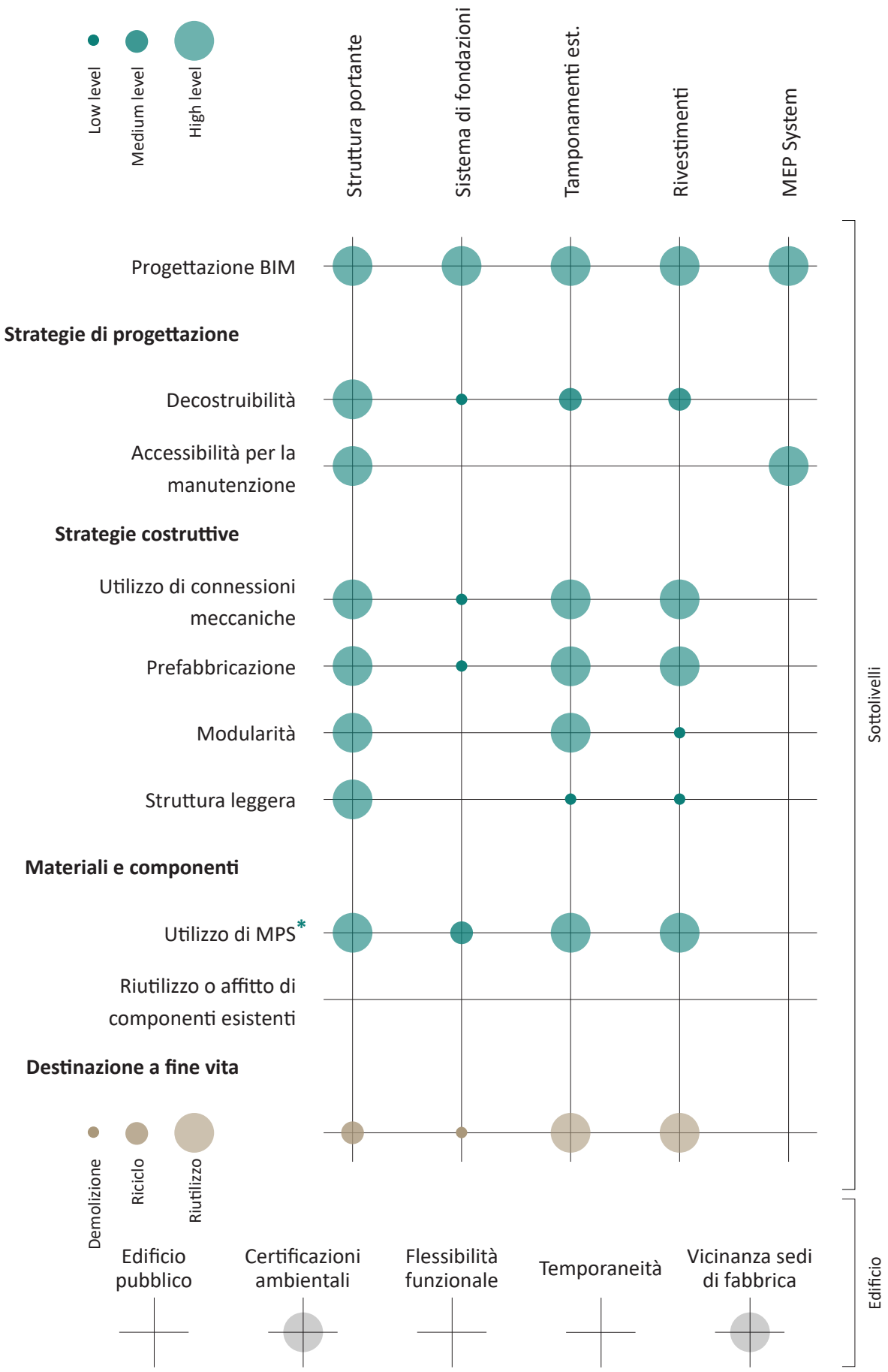
Durante la costruzione, iniziata nell'agosto 2009, l'appaltatore, Swinerton Builders, ha importato il modello Revit Architecture nel software Navisworks Manage, utilizzandolo come base per un ulteriore rilevamento delle interferenze.
"Due volte al mese, importavamo tutti questi modelli in Navisworks Manage ed eseguivamo il rilevamento delle interferenze, utilizzando il modello di Revit Architecture come sfondo", afferma Daniel Gonzales, LEED AP, responsabile aziendale della progettazione e costruzione virtuale presso Swinerton Builders.
Swinerton ha adottato pienamente il coordinamento basato su modelli. Nei progetti passati, queste riunioni bimestrali di coordinamento richiedevano ai membri del team appaltatore di riunirsi in una sala conferenze attorno a un tavolo luminoso. "Un singolo incontro può durare fino a cinque ore, escluso il tempo di viaggio", afferma Gonzales.
Con l'aiuto di Navisworks Manage, Swinerton e i subappaltatori sono stati in grado

di condurre riunioni di coordinamento online che in genere non duravano più di 90 minuti.
Le soluzioni BIM di Autodesk hanno aiutato il team di progettazione a completare il lavoro in metà del tempo originariamente programmato.
Durante lo sviluppo del progetto, AECOM ha esportato il modello Revit in un'applicazione di una terza parte per l'analisi energetica da parte degli ingegneri edili, che hanno fornito dei *feedback* sulle dimensioni e sulla posizione delle finestre, aiutando il team a convalidare la direzione del progetto.
"Siamo stati in grado di mettere a punto il *design* in un lasso di tempo molto breve", afferma Grant. "In genere, su un progetto come questo, non avresti la possibilità di fare così tanti test per assicurarti che il sistema funzioni come era stato previsto. Il software Revit Architecture e la sua capacità di comunicare con altre applicazioni hanno contribuito a rendere il processo relativamente semplice. [...] Utilizzando le soluzioni BIM di Autodesk, abbiamo completato i disegni e la progettazione in circa nove mesi, la metà del tempo originariamente previsto", afferma Grant.
"Il processo BIM ci aiuta a utilizzare le nostre migliori risorse e competenze da qualsiasi punto dell'azienda per fornire ai nostri clienti un prodotto coerente e di alta qualità. Il BIM è un'iniziativa molto importante per AECOM".

"Le soluzioni BIM di Autodesk consentono ai nostri clienti di utilizzare le informazioni acquisite durante il processo di progettazione molto più avanti nel ciclo di vita dell'edificio, facilitando la costruzione, la stima dei costi e la pianificazione e, potenzialmente, aiutando nelle operazioni di costruzione, nella gestione delle risorse e altro ancora"[152].

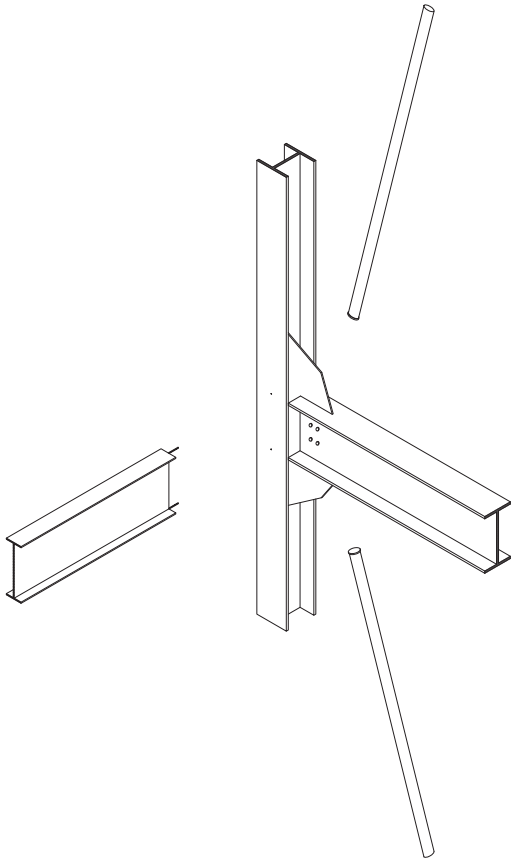
152 ibidem

Brion Boucher,
AIA, LEED AP Associate Vice President, Director of Design Technologies AECOM,
Planning Design + Development Group


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS*
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

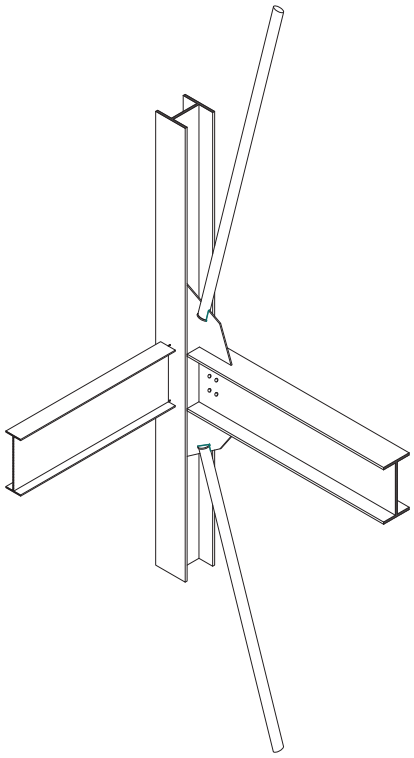
NASA Sustainability Base
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo significativo relativo al caso studio NASA Sustainability Base, localizzato a Moffett Field, in California, realizzato dallo studio di architettura William McDonough+Partners. In questo caso studio si è messo in evidenza il nodo pilastro-travi-tiranti, caratterizzante la struttura esterna dell'edificio.



Step 1

In una prima fase si possono osservare le varie componenti del nodo separatamente. La trave IPE principale viene collegata al pilastro tramite una grande piastra poligonale.



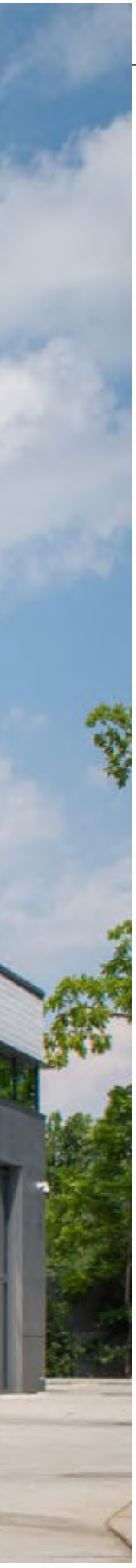
Step 2

Nel secondo step, dopo aver assemblato le altre componenti, si possono osservare alcuni nodi critici (segnati con il colore azzurro), nei quali ipotizziamo una giunzione saldata, che limita parzialmente la disassemblabilità.

* I componenti principali (calcestruzzo, acciaio, vetro, alluminio) sono ad alto contenuto di riciclato e sono disponibili a livello regionale. Alcune aree interne riutilizzano i pavimenti in rovere provenienti da una galleria del vento transonica nell'Ames Campus della NASA.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photograps John Cole Photography
CO | LAB
"Abbiamo la responsablità, collettivamente, di dare forma al futuro della nostra industria".
Katie Rothenberg, Vice President of Sustainability and Innovation presso HITT



6.3.2 | CO|LAB, 2019 (VA)

Floor Area: 803 m^2

Year: 2019

City: Falls Church (VA)

Building Type: Collaborative Workplace

Client: HITT Contracting Inc

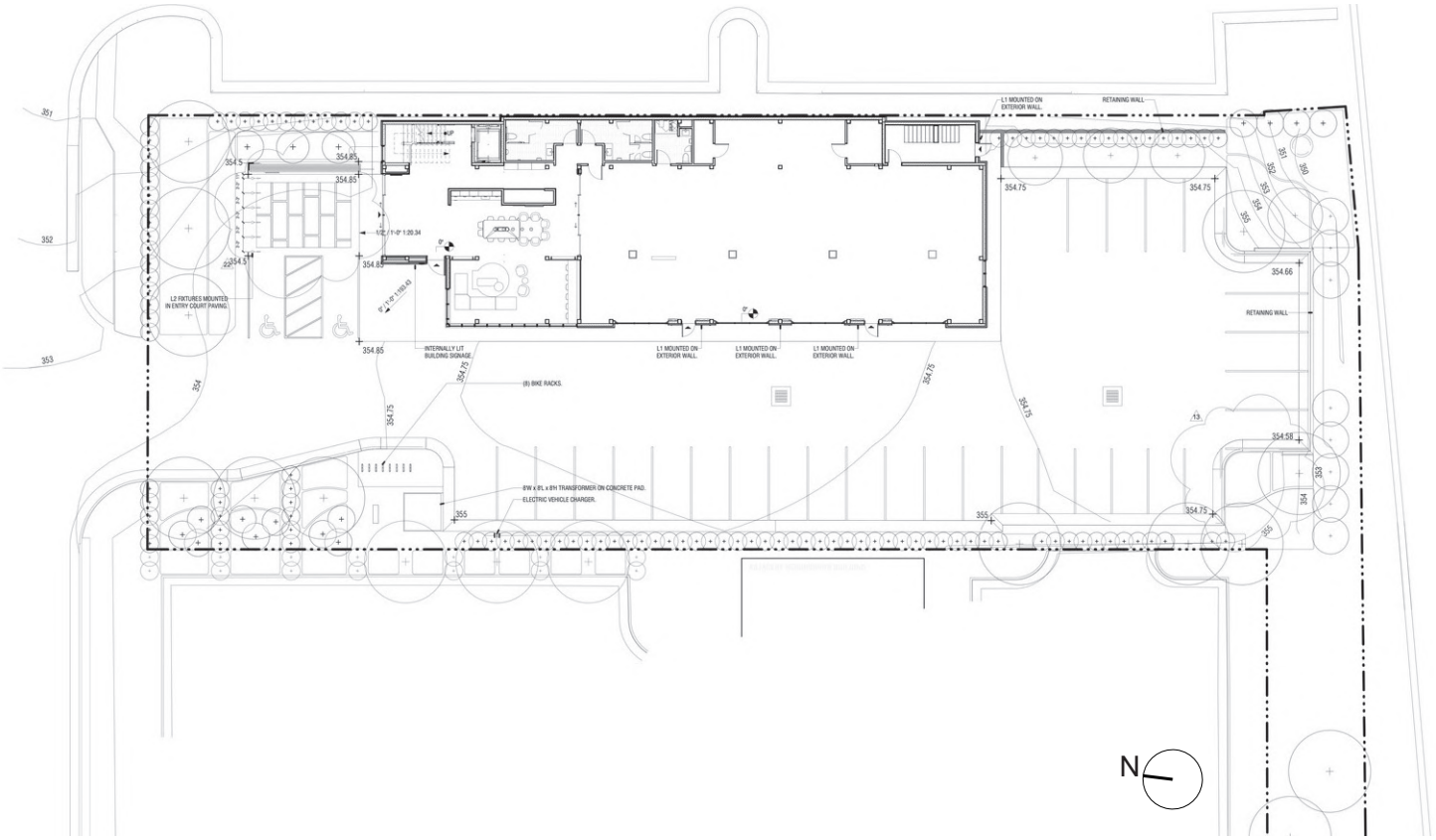
Design Team

Architectural and interior design: William McDonough + Partners

Collaborators: Simpson Gumpertz & Heger

Landscape: Siteworks

Engineering: Staengl Engineering



Pianta piano terra © William McDonough + Partners

Co|Lab è un edificio progettato da William McDonough + Partners all'interno di un quartiere semindustriale e commerciale localizzato vicino alla sede di HITT, nella Virginia del Nord. L'edificio è stato costruito nel 2019 e nasce come un edificio ad alte prestazioni, flessibile e adattabile realizzato per HITT, una delle principali società di costruzioni nazionali.

Co|Lab promuove il coinvolgimento con i clienti e i membri del team attraverso esperienze pratiche e osservazione diretta. L'edificio offre spazi designati per costruire modelli spaziali e edili su vasta scala, testare prodotti e approcci sperimentali e dimostrare tecnologie nuove e innovative.

William McDonough, il fondatore dello studio di progettazione, racconta "abbiamo progettato il Co|Lab di HITT sulla base del nostro concetto di costruire come un albero. Invece di parlare solo di impronta ambientale minima, parliamo di impronta ambientale benefica; parliamo non solo di ridurre al minimo le emissioni negative, ma di ottimizzazione delle emissioni positive.

Un albero emette ossigeno, distilla l'acqua, costituisce un habitat naturale per centinaia di specie. Applichiamo questa ambizione a tutti i nostri edifici e a tutti i tipi di costruzione. È particolarmente piacevole utilizzare le nuove forme di costruzione commerciale che utilizzano legno e legno lamellare incrociato, perché ci si collega direttamente a questa idea anche nei materiali di base di un edificio. Un edificio come un albero, fatto di alberi".

WM+P applica una filosofia di *design* positiva ispirata al *Cradle to Cradle Design™*, un approccio che prende spunto dai sistemi e dai processi viventi e cerca di espandere gli standard duraturi di qualità del *design*.
Per progettare edifici come alberi, utilizziamo tre principi fondamentali di *Cradle a Cradle Design™*:

- Waste equals food;
- Use current solar income;
- Celebrate diversity[153].

153 William McDonough + Partners for HITT Contracting, Falls Church, Virginia, *CO|LAB, A Building Like a Tree*

Il Co|Lab è concepito come una vetrina per l'innovazione edilizia del 21° secolo, che riunisce la comunità dell'architettura, dell'ingegneria e dell'edilizia per trovare soluzioni innovative alle complesse sfide edilizie di oggi.
Quello di avere un edificio *net-positive energy* è l'obiettivo che ci si è posti, utilizzando come strumenti materiali *sani* e tecnologie costruttive intelligenti, in ogni fase del progetto. L'obiettivo finale è tendere alla certificazione *Zero Energy*.

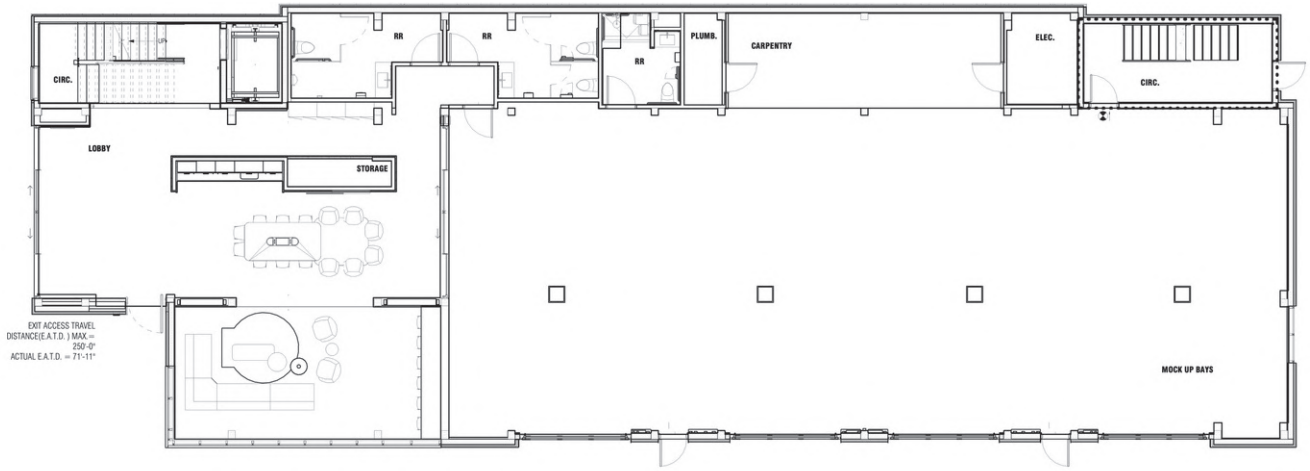
Il progetto, grazie ai suoi principi circolari, è stato pluripremiato nel 2020:

- Al Fall Design Fête 2020, il progetto Co|Lab ha vinto il Premio *Partnership for the Planet*;
- Ha vinto il premio *Virginia Honor Award,* per l'eccellenza nella progettazione architettonica;
- Ha ottenuto il premio *AIA DC Honor Award for Architecture and Citation for Sustainable Design;*
- Nel 2020, ha ricevuto il premio per l'eccellenza regionale *WoodWorks*.

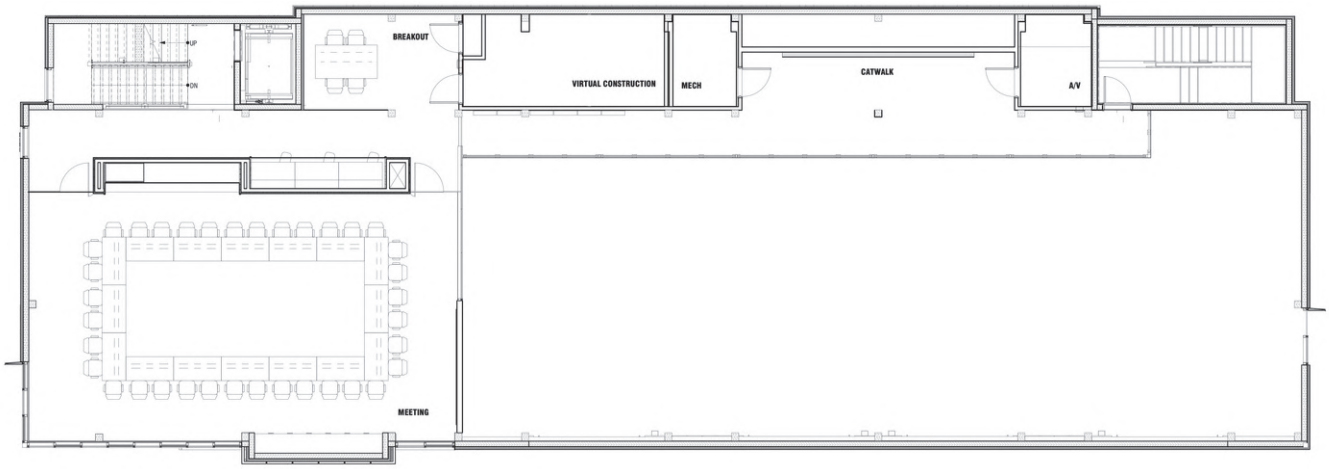
"We have a responsibility to collectively shape the future of our industry. By investigating new ideas, we can create efficiencies, improve health outcomes, lessen costs, and reduce our environmental footprint."[154]

Katie Rothenberg,
Vice President of Sustainability and Innovation presso HITT

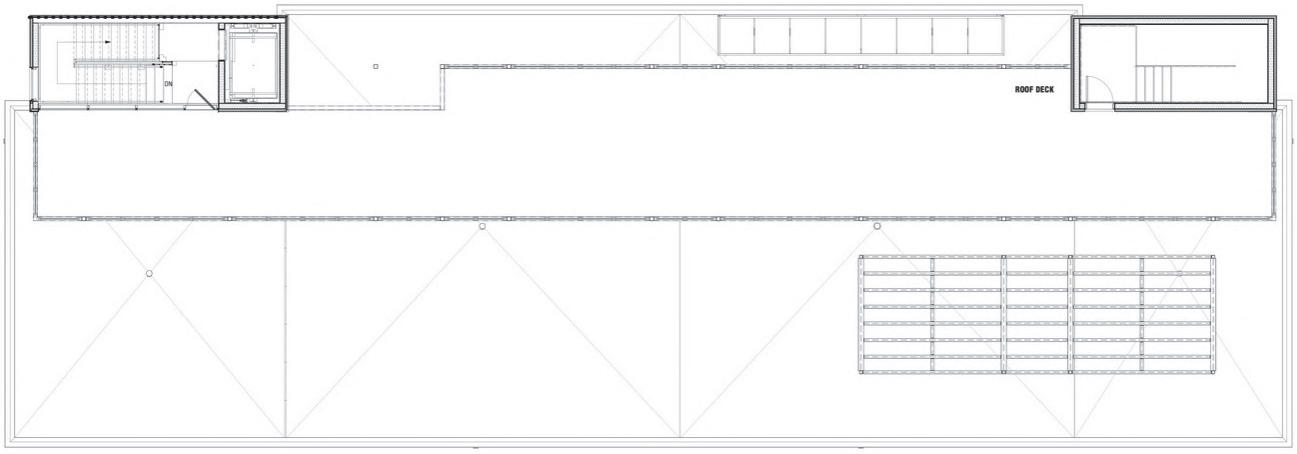
154 News & Events, *HITT and William McDonough + Partners Celebrate Co|Lab Opening*, 2019



Pianta piano primo © William McDonough + Partners



Pianta piano secondo © William McDonough + Partners



Pianta piano copertura © William McDonough + Partners

0 20 m

Il progetto

Co|Lab = Collaborazione.
L'intero edificio, a destinazione d'uso *co-working*, è stato strategicamente progettato per essere aperto e condiviso, per promuovere la collaborazione incrociata di idee essenziali per l'innovazione. È uno spazio dedicato alla ricerca e alla sperimentazione di materiali, approcci e tecnologie emergenti che trasformerà rapidamente il settore edile.
Non ci sono postazioni assegnate: il personale è libero di muoversi al suo interno, cambiare e modificare lo spazio in cui lavora.
Co|Lab offre varietà e scelta: spazi per qualsiasi stile di lavoro o attività, dal lavoro individuale alla collaborazione in piccoli gruppi. Ci sono spazi sociali interni ed esterni con comodi posti a sedere in salotto, così come un grande tavolo comunitario e un angolo bar. Inoltre è presente anche un'ampia sala conferenze che offre uno spazio dedicato per eventi speciali, riunioni e formazione per i professionisti dell'edilizia.

Co|Lab è stato progettato per unire i clienti e i collaboratori in uno spazio luminoso e flessibile. I locali si affacciano uno su l'altro, come gli spazi congressuali si affacciano su quelli del laboratorio a doppia altezza. La flessibilità interna consente di riadattare la struttura a nuove funzioni, accogliendo moduli interni, come stanze d'ospedale, che modificano lo spazio e i flussi lavorativi.

Circolarità

Co|Lab soddisfa i principi *McDonough's Design for the Circular Economy™* , marchio registrato dalla stessa McDonough Innovation[155].
Come spiega *globenewswire*, nell'articolo del 2019 *HITT Contracting and William McDonough + Partners Present Co|Lab: A Vision to Transform the Construction Industry*, i principi della circolarità e del marchio dello studio sono stati raggiunti attraverso la progettazione per lo smontaggio e il successivo utilizzo, scegliendo di utilizzare una struttura in legno massiccio per le proprietà di sequestro del carbonio, nonché utilizzando molti prodotti e materiali *Cradle to Cradle Certified™* in tutta la struttura.
L'edificio vanta 13 prodotti *Cradle to Cradle Certified*, riconosciuti a livello mondiale come la certificazione di prodotto di più alta qualità. Dispone inoltre di 27 prodotti *DECLARE*[156], 35 prodotti con dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) e 25 prodotti con dichiarazioni di prodottio sanitario (HPD). L'edificio illustra il vero potenziale dell'ambiente costruito di abbracciare nuovi materiali, adottare approcci non tradizionali e testare tecnologie all'avanguardia.

155 GlobeNewswire, *CO|LAB. HITT Contracting and William McDonough + Partners Present Co|Lab: A Vision to Transform the Construction Industry*, 2019

156 DECLARE: certificazione che nasce per favorire la massima trasparenza in edilizia. Comunica a progettisti, tecnici e utenti finali tutti i dettagli di un prodotto da costruzione, inclusa la sua provenienza, composizione e modalità di smaltimento a fine vita.

Il CO|LAB è caratterizzato da elementi sostenibili dal punto di vista ambientale.
La struttura presenta un'intelaiatura in legno lamellare e legno laminato (CLT), inclusi pannelli prefabbricati in legno leggero, una selezione di materiali sani e sostenibili, un sistema di pannelli solari montati sul tetto e un'efficiente progettazione meccanica, elettrica e idraulica.
La struttura è la prima in CLT in Virginia e il primo edificio commerciale in legno massiccio nell'area metropolitana di DC. Il CLT è un prodotto in legno composito in grado di adattarsi alla flessibilità del *design* riducendo al minimo l'impronta di carbonio rispetto alle tradizionali strutture in acciaio e cemento. Il 100% del legno nell'edificio (ad eccezione dell'acero e del ciliegio recuperati raccolti *in loco*) è certificato dal *Forest Stewardship Council* (FSC), uno standard che garantisce che il legno venga raccolto da foreste gestite in modo responsabile.

"Co|Lab è progettato per sfidare le norme e ispirare nuove idee, e non potremmo essere più felici del risultato finale"[157]

157 ibidem

Katie Rothenberg,
Vice President of Sustainability and Innovation presso HITT

(Immagine) © John Cole Photography

Certificazioni

Co|Lab soddisfa gli standard ambientali più rigorosi, dimostrando ciò che è possibile fare con obiettivi condivisi e perseveranza.
Lo *US Green Building Council* (USGBC)[158] ha presentato all'edificio la targa di certificazione *LEED v4 Platinum* alla cerimonia d'apertura, durante il taglio del nastro. L'edificio ha come obiettivo anche il raggiungimento della prestigiosa certificazione *Petal* dall'*International Living Future Institute* (ILFI).
Una delle caratteristiche principali è che Co|Lab produce più energia di quanta ne consuma e si prevede che otterrà la certificazione *Zero Energy* da ILFI, una volta raccolti e analizzati 12 mesi di dati sulle prestazioni.

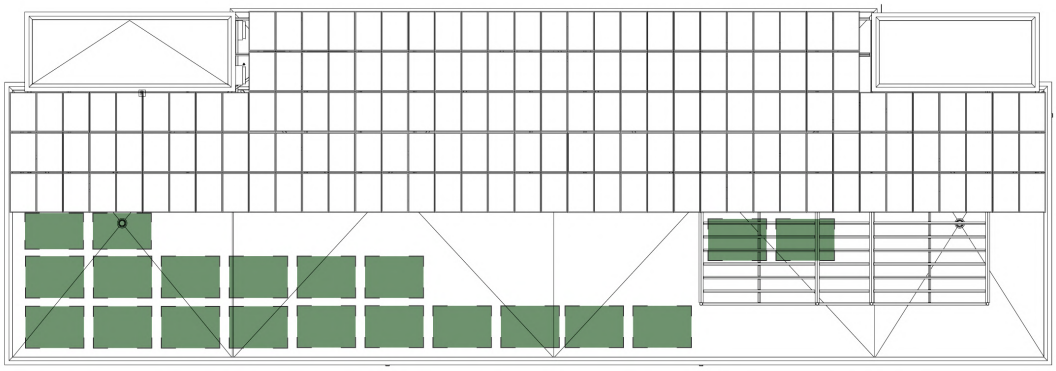
158 USGBC: organizzazione senza scopo di lucro, che promuove la sostenibilità nella progettazione, costruzione e funzionamento degli edifici, co-fondata da Mike Italiano, David Gottfried e Rick Fedrizzi nel 1993.

Le strategie di progettazione includono un *design* MEP ultra efficiente, illuminazione a LED al 100%, un pannello solare fotovoltaico montato sul tetto progettato per fornire il 118% del consumo energetico previsto, zero energia combustibile utilizzata *in loco*, strategie di illuminazione diurna estese, una facciata ad alte prestazioni e impianti idraulici a flusso.

(Immagine) © John Cole Photography

©John Cole Photography

I materiali sani sono stati enfatizzati dato il loro ruolo nella salute degli occupanti, degli edifici e degli artigiani, e nella crescente attenzione alla trasparenza e alla consapevolezza dell'impatto delle sostanze chimiche sulla nostra vita quotidiana.
Un aspetto che lega l'estetica al risparmio economico è l'uso del CLT come prodotto finito. Eliminare l'intervento di finitura attraverso strati coprenti o altro porta a ridurre notevolmente l'impatto ambientale della struttura e a facilitarne il disassemblaggio.
I progettisti e i committenti hanno voluto andare oltre confine, sperimentando nuovi sistemi nel tentativo di smuovere l'economia circolare nell'edilizia.
Infatti, il CO|LAB vanta la prima installazione di prova commerciale della *PET Resilient Flooring* di *Shaw Industries*. Per realizzare questo prodotto sono state utilizzate circa 13.600 bottiglie riciclate.



Pianta coperture con i sistemi di tetti verdi © William McDonough + Partners

La copertura è stata progettata per accogliere degli ambienti di *Living Lab* e per ospitare i banchi di prova per sistemi di tetti verdi, dove poter monitorare e testare continuativamente il sistema.

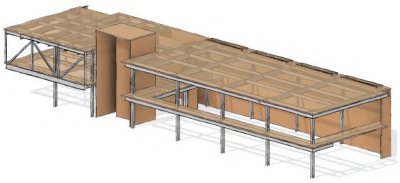
"Brett e Kim si sono impegnati fin dall'inizio non solo a sviluppare un edificio, ma a innescare un cambiamento culturale che aiuterà a far progredire la nostra azienda e il settore"[159]

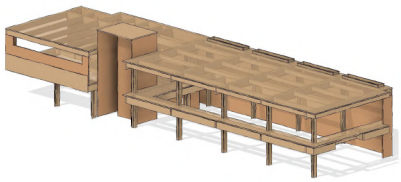
"Le idee, i prodotti e i risultati che emergono da Co|Lab hanno lo scopo di aiutare la più ampia comunità di costruttori e aiuteranno anche Hitt a costruire relazioni più solide con i membri del nostro team, i partner e i clienti"[160]

Katie Rothenberg,
Vice President of Sustainability and Innovation presso HITT

159 Daniel J. Sernovitz per Washington Business Journal, *Hitt Contracting putting innovation in a box so contractors will use it in the field,* 2018

160 ibidem

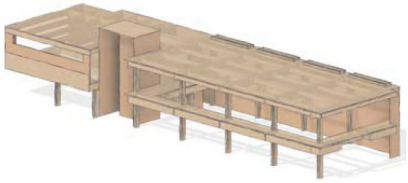




STEEL vs. WOOD

Going beyond zero carbon and toward carbon positive

Cradle to Gate Global Warming Potential from Tally	Carbon uptake during growth of wood -764.65 $kgCO_2eq$ per $1m^3$	result



ALL HOLZ BUILD

Wood Mass	= 177 t	Total Mass 177 t
[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]
184.5	275.97	**+ 91.47**

HYBRID HOLZ + STEEL

Wood Mass Steel Mass	= 114 t = 57 t	Total Mass 177 t
[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]
178.7	177.74	**+ 0.95**

STEEL + CONCRETE

Wood Mass Steel Mass Conc. Mass	= 0 t = 65.9 t = 416.2 t	Total Mass 488 t
[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]	[$mtCO_2eq$]
184.5	4.5	**- 179.5**

(Grafico) © William McDonough + Partners

Carbon positive

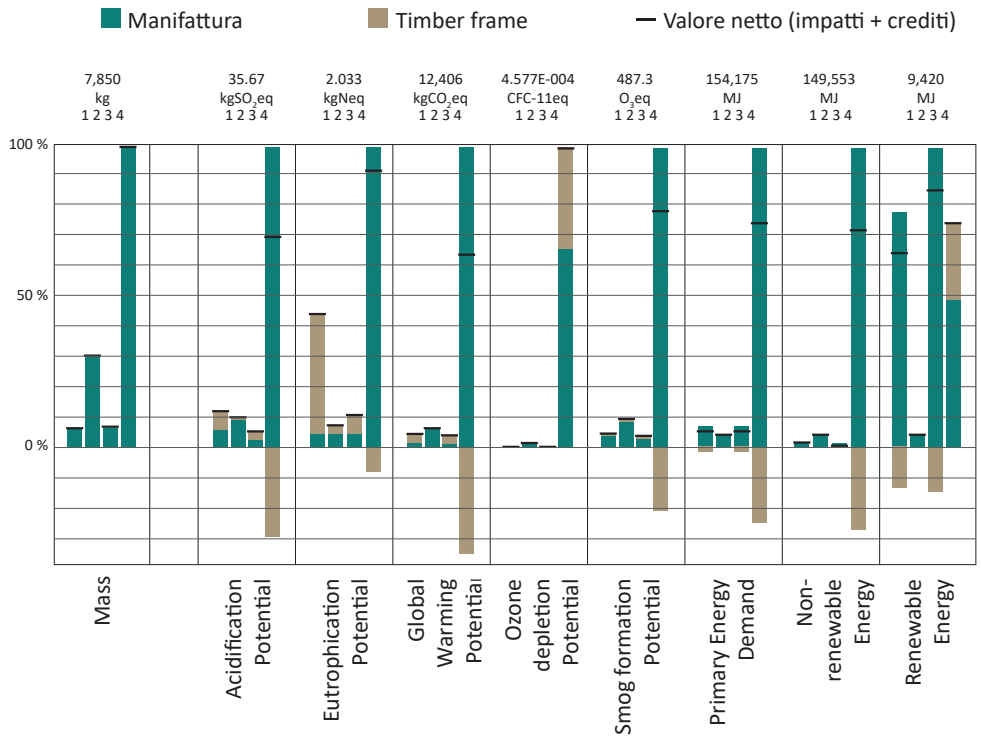
Il team di progettazione, in questo caso, si è servito del *plug-in* Revit Tally, di cui si è parlato in precedenza. I progettisti hanno modellato alcuni scenari per la struttura portante del CO|LAB.
I tre scenari analizzati sono:

- Struttura interamente in legno;
- Struttura in acciaio e solai e pareti in CLT;
- Struttura in acciaio e cemento.

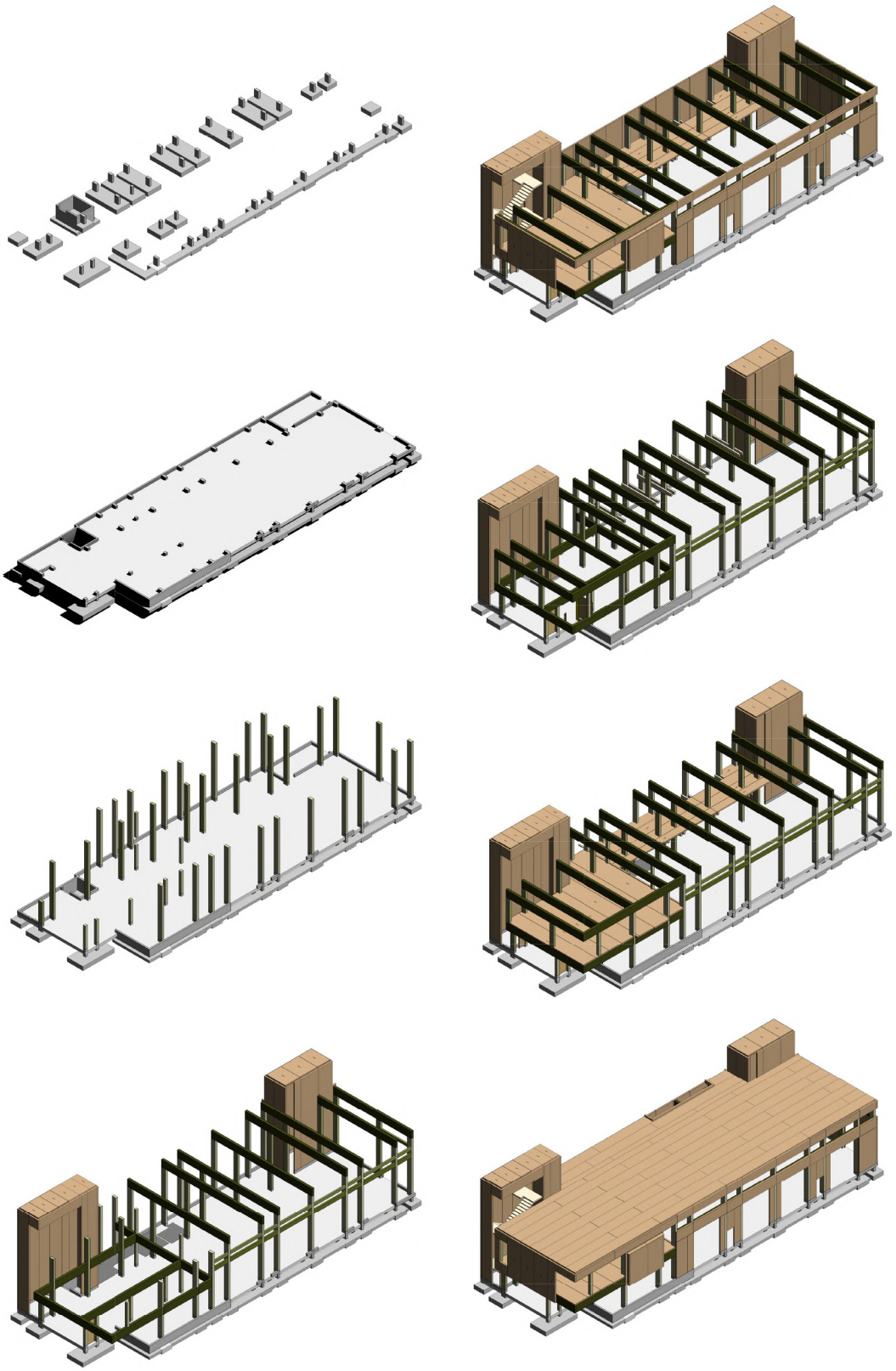
Il sistema tutto legno è stato dichiarato come il sistema maggiormente ecologico dei tre, che determina un contributo positivo in relazione ai valori di carbonio assorbito.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti per il *Life Cycle Stage*, evidenziando tre categorie: *Manufacturing; Maintenance and Replacement; End of Life.*
Gli scenari valutati sono:

1. CLT;
2. Concrete;
3. Solid timber;
4. Steel.



(Grafico) William McDonough + Partners, *Results per Life Cycle Stage.* Rielaborazione a cura delle autrici



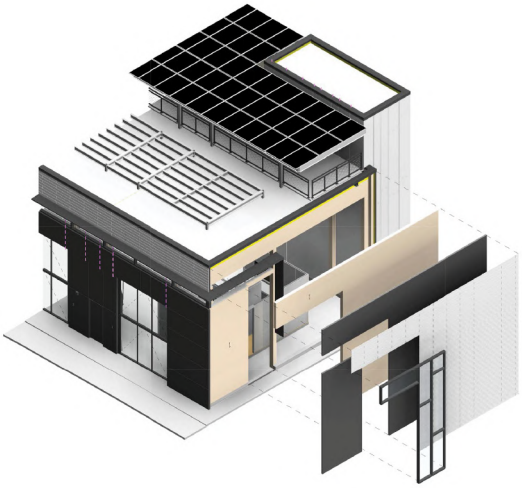
(Rappresentazione grafica) Assonometrie fasi di assemblaggio della struttura © William McDonough + Partners

Assemblaggio e disassemblaggio

Sulla base delle valutazioni svolte anche tramite il supporto informatico, come visto in precenenza, l'edificio è stato progettato sulla base di una struttura in legno massiccio.
Le solette e le travi in laminato sono accoppiate con le pareti attraverso dei fissaggi meccanici e non chimici. Questo aspetto garantisce alla struttura di essere smontata, consentendo ai singoli elementi strutturali di essere riutilizzati o riciclati all'interno dell'economia circolare.

Come mostra la figura nella pagina precedente, la struttura consente di effettuare una rapida installazione di tutte le sue parti.
Lo schema mostra le fasi di assemblaggio del CO|LAB, dalle prime fasi costituenti la struttura di fondazione, unico elemento in cemento armato, alle fasi di elevazione della struttura in legno, fino ad arrivare alle tamponature orizzontali e verticali.

La decostruibilità è un carattere intrinseco non solo della struttura portante, ma anche degli elementi di facciata.
Il rivestimento di facciata, costituito da uno schermo antipioggia in cemento ad alte prestazioni, è stato progettato in modo tale che, in caso di manutezione o smontaggio, possa essere disassemblato senza interessare e compromettere lo stato degli spazi interni della struttura.



(Rappresentazione grafica) Assonometrie assemblaggio della struttura © William McDonough + Partners

CO|LAB funge da centro per le nuove tecnologie, con un'attenzione anche sulla salute ambientale e sul benessere degli occupanti, grazie alla sua impronta ecologica.
La sua realizzazione ha segnato un passo importante per il settore edile, diventando un punto di riferimento a livello locale e non, in termini di sostenibilità. La collaborazione tra discipline e la volontà di cambiare hanno consentito di realizzare una struttura *Net-Positive Energy*, decostruibile e flessibile nei suoi spazi interni.

"È un piccolo edificio: speriamo che sia piccolo ma potente"

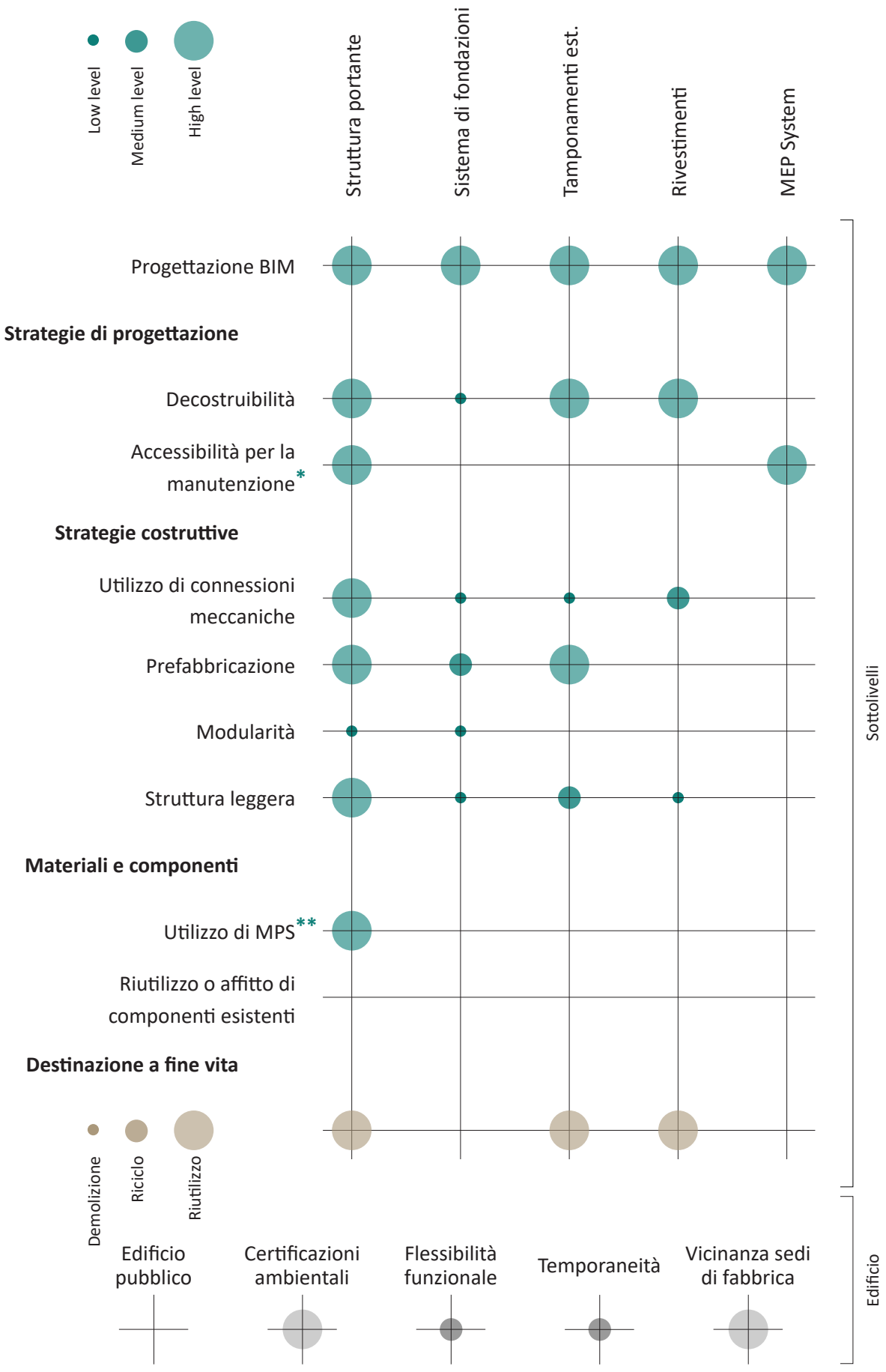
"Per noi è un investimento che speriamo possa guidare l'innovazione e la collaborazione. L'obiettivo sarebbe aiutare a colmare il divario tra architetti, subappaltatori e clienti per trovare modi migliori per fare le cose"[161].

Katie Rothenberg,
Vice President of Sustainability and Innovation presso HITT

161 Daniel J. Sernovitz per Washington Business Journal, *Hitt Contracting putting innovation in a box so contractors will use it in the field,* 2018

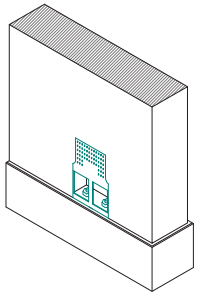
(Immagine) Montaggio © William McDonough + Partners

(Immagine) Montaggio © William McDonough + Partners

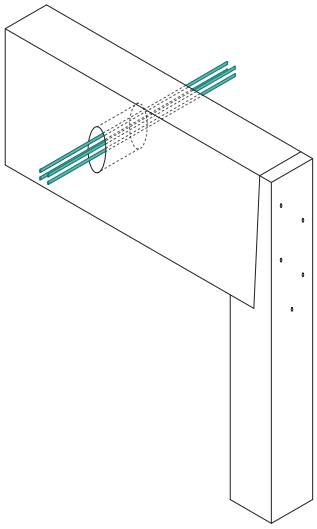

Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità
Accessibilità per la manutenzione*
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS**
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

CO|LAB
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo significativo relativo al caso studio CO|LAB, dello studio di architettura William McDonough+Partners, localizzato a Falls Church, in Virginia. In questo caso studio, sono stati scelti due nodi strutturali, ritenuti essenziali nel sistema disassemblabile adottato.
Il primo, da sinistra, è il nodo trave radice e setto in legno; il secondo, verso destra, è il nodo che lega il pilastro alla trave di copertura.



Il setto verticale viene ancorato alla trave radice, appartenente al sistema di fondazione in cemento armato, tramite un sistema di bullonatura interno allo stesso, contrastando il taglio dato dalle forze dei carichi soprastanti.



La trave che sostiene la copertura del Co|Lab ha un'altezza notevole rispetto agli standard. Questa viene lasciata completamente a vista, facendo risaltare le fessure lasciate libere per consentire il passaggio degli impianti, efficientando il raggiungimento degli stessi ed evitando le azioni, a volte complesse, che richiede il sistema di rifinitura interno delle strutture.

* All'interno dell'edificio, l'assenza di finiture facilita le operazioni di manutenzione. Ad esempio, il rivestimento di facciata, costituito da uno schermo antipioggia in cemento ad alte prestazioni, è stato progettato in modo tale che, in caso di manutezione o smontaggio, possa essere disassemblato senza interessare e compromettere lo stato degli spazi interni della struttura; allo stesso modo, gli impianti sono lasciati a vista per poter intervenire senza operazioni aggiuntive.

** Nella progettazione del CO|LAB si è valorizzato l'uso della MPS: l'edificio vanta la prima installazione di prova commerciale della PET Resilient Flooring di Shaw Industries. Per realizzare questo prodotto sono state utilizzate circa 13.600 bottiglie riciclate.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

6.3.3 | Altri

Di seguito viene riportata una selezione di altri casi studio americani, inseriti in quanto esempi di un approccio circolare alla progettazione, ma pubblicati online con scarso materiale tecnico di riferimento, utile per svolgere un'analisi più approfondita.

Chartwell School è un istituto pensato per l'istruzione di bambini con problemi di dislessia e altre problematiche relative al linguaggio.
Il progetto è nato con l'obiettivo di rendere l'istituto un modello di sviluppo di pratiche edilizie sostenibili, che minimizzino l'impatto sull'ambiente. La struttura è progettata per essere flessibile, cambiando al cambiare delle necessità educative.
Per la struttura in legno si è seguito un approccio strutturale che faciliterebbe la decostruzione, includendo la modularità, la semplicità costruttiva e dei sistemi di fissaggio, meccanici e visibili. Una delle principali sfide nel recupero delle strutture in legno in California è data dal fatto che i requisiti sismici richiedano una fitta chiodatura: i pannelli di legno sono, generalmente, chiodati all'esterno per tutta la loro lunghezza e questo rappresenta una sfida nella fase di decostruzione.
Le parti in cemento includono le fondazioni e la pavimentazione: in questi casi, le possibilità di recupero o riciclaggio sono limitate.[162]

162 Sito ufficiale *EHDD Architects, Chartwell School*, 2007

Dal punto di vista dei ricercatori di Global Ecology, le questioni ambientali più urgenti sono il cambiamento climatico globale, la biodiversità e le questioni idriche. Il committente ha incoraggiato il team di progettazione a ridurre l'impatto del carbonio e ad affrontare i problemi della biodiversità e dell'acqua, fornendo al contempo spazi di laboratorio e di ricerca che soddisfano i massimi livelli di comfort e prestazioni. Questa attenzione ha comportato una riduzione del 72% delle emissioni di carbonio associate alle operazioni di costruzione e una riduzione del 50% del carbonio incorporato per i materiali da costruzione.
L'orientamento corretto, l'eccezionale illuminazione diurna, l'ombreggiatura solare e la ventilazione naturale permettono l'utilizzo di sistemi meccanici che abbiano un consumo ridotto.[163]

163 CBE Berkeley, *EHDD Architects, Ecology Research Center*, 2004

Architects: SHoP Architects
Floor area: 32516 m²
Year: 2016
City: Brooklyn, New York

461 DEAN STREET

Architects: Horizon North
Floor area: 1373 m²
Year: 2017
City: Vancouver, British Columbia

VAHA (Vancouver Affordable Housing Agency)

Architects: nARCHITECTS, Monadnock Development
Floor area: 3251 m²
Year: 2017
City: New York City

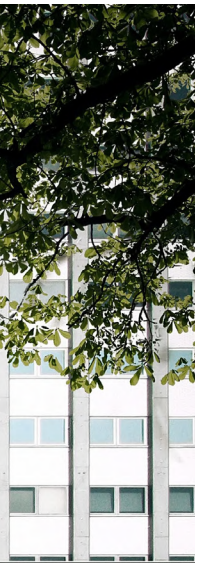
Carmel Place

461 Dean Street è un palazzo a 32 piani che include 363 appartamenti e uno spazio commerciale al piano terra.
Uno degli obiettivi perseguiti in fase di progetto è stato quello di cercare un metodo costruttivo che fosse economicamente conveniente, basato su un approccio modulare *off-site*. Il goal era quello di ridurre i costi del 20% e le tempistiche da 30 a 10 mesi.
Le pareti perimetrali, i pavimenti e i soffitti di ogni modulo sono stati progettati in modo tale che, una volta assemblati, si unissero perfettamente alle pareti, ai pavimenti e ai soffitti dei moduli adiacenti: in questo modo, si forniscono le separazioni richieste, tra un'unità e l'altra, per i requisiti antincendio.
Ciascuno dei pannelli prefabbricati per le facciate continue include una guarnizione perimetrale, che si sigilla con la guarnizione dei moduli adiacenti, una volta che questi vengono installati.[164]

164 Dezeen, *SHoP Architects, 461 DEAN STREET*, 2016

VAHA ha sviluppato una strategia di utilizzo di costruzioni modulari per rispondere velocemente alla necessità di abitazioni nella città.
La città garantisce all'agenzia la disponibilità di suolo pubblico inutilizzato, per la costruzione di abitazioni modulari temporanee. Questi progetti occupano il suolo pubblico per almeno tre anni, dopo i quali possono essere disassemblati, nel caso in cui il suolo sia necessario per altri utilizzi permanenti.
Questi edifici sono progettati per essere completamente adattabili, in modo che possano essere localizzati in siti differenti, quando arriva il momento dello spostamento. Se necessario, i moduli possono essere aggiunti, rimossi o riconfigurati con minime modifiche. Anche il sistema di fondazione è progettato per essere facilmente smontato e riutilizzato in diversi siti. Il montaggio ha richiesto un totale di 100 giorni.[165]

165 Urbanyvr, *Horizon North, VAHA (Vancouver Affordable Housing Agency)*, 2017



Il progetto del Carmel Place, il primo edificio a micro appartamenti di New York City, ha vinto la *adAPT NYC Competition*. L'edificio a 9 piani include 55 micro unità. Il progetto dell'edificio ha come obiettivo quello di definire un nuovo prototipo di sistema abitativo ripetitivo.
La struttura è costituita da 65 moduli sostenuti da un telaio in acciaio autoportante. Di questi, 55 moduli sono appartamenti e 10 ospitano altre funzioni. Gli impianti MEP sono stati preinstallati *off-site* da un produttore che si occupava di costruzioni modulari; le finiture interne sono state installate, invece, una volta concluso l'assemblaggio *on-site*. Il team di progetto ha riconosciuto come fattore molto importante la vicinanza della fabbrica: questo ha permesso lo svolgimento di visite settimanali durante il processo produttivo e la comunicazione tra i produttori e i progettisti, che hanno potuto verificare l'andamento dei lavori e prevenire gli errori.[166]

166 Architectmagazine, *nARCHITECTS, Carmel Place*, 2017

Architects: Sebastian Irarrazaval
Floor area: 350 m²
Year: 2012
City: Lo Barnechea (CL)

Caterpillar House

Architects: Acton Ostry Architects Inc
Floor area: 2233 m³
Year: 2017
City: Vancouver (CO)

Brock Commons Tallwood House

Architects: FGMF Architects, CR2
Floor area: 120 m²
Year: 2011
City: Sao Paulo (BR)

4x30 House

Caterpillar House è una casa prefabbricata costruita per accogliere un collezionista d'arte e la sua famiglia e progettata utilizzando 12 containers navali di seconda mano. Essa lega insieme espressione formale, sostenibilità energetica e filosofia del riciclo, riducendo tempi e costi di costruzione e manutenzione.
L'architettura è vantaggiosa sotto diversi aspetti: è economica, prefabbricata, modulare, facilmente montabile e smontabile, sostenibile per il riuso ed il riciclo dei materiali.
La struttura poggia su un piano in cemento orizzontale, sul quale è stata issata la struttura in acciaio che funge da sostegno per i containers soprastanti, i quali vengono rivestiti in lamiera, con lo scopo di creare una parete ventilata e, al contempo, dare la possibilità di inserire pannelli in poliuretano per l'isolamento termico.[167]

167 Archdaily, *Sebastian Irarrazaval Architect, Caterpillar House*, 2012

Brock Commons Tallwood House è l'edificio della residenza studentesca dell'Università della British Columbia (UBC).
L'impiego del legno e la prefabbricazione dei moduli ha consentito di ridurre i tempi di costruzione, assemblando la struttura in cantiere. Durante la progettazione si è lavorato per semplificare le connessioni legno-legno e portare avanti i test di assemblaggio, che hanno consentito di testare la stabilità strutturale e perfezionare il cronoprogramma. L'utilizzo di un modello 3D ha consentito di efficientare le operazioni, analizzando nel minimo dettaglio tutti gli elementi, ancor prima che questi venissero realizzati. Una volta pronti i moduli prefabbricati, ci sono voluti solo 70 giorni per l'assemblaggio.
La struttura, non solo in legno, è definita dai due vani ascensori in cemento, centrali rispetto alla pianta, e dalle coperture in cemento: questo per rispettare i codici di sicurezza antincendio.[168]

168 Archdaily, *Acton Ostry Architects Inc, Brock Commons Tallwood House*, 2017

Incastonata in una fila di strette case a schiera, la storia è iniziata più come una sfida che come un progetto architettonico. Il volume ospita due suite, accessibili dalla passerella che si apre sul paesaggio. Al di sopra del volume delle camere da letto è presente un solarium, che garantisce l'accesso per la manutenzione dei sistemi di riscaldamento e acqua sanitaria. Nonostante sia distante dal solito cemento armato, la struttura metallica utilizzata è estremamente semplice. Snelle travi metalliche attraversano lo spazio e poggiano su pilastri integrati nei timpani laterali. Il concetto di costruzione a secco si adatta anche ad altri sistemi impiegati, come cartongesso e lastre cementizie, lastre di pannelli di legno, passaggi metallici o pavimenti galleggianti. Nel complesso, si tratta di un edificio efficiente, veloce e preciso, senza sprechi e rilavorazioni. I materiali utilizzati sono riciclabili come la casa stessa, che può essere facilmente adattata nel tempo o semplicemente smontata all'occorrenza.[169]

169 Divisare, FGMF Architects, CR2, 4x30 House, 2011

Fonti:

Stati Uniti

1. (WEBSITE) RISPOSTA Fabbrica Serramenti PVC, *Negli States calano i fatturati da progetti di edilizia green*, 2021 https://www.rispostaserramenti.com/negli-states-calano-i-fatturati-da-progetti-di-edilizia-green/
2. (Blog) MANNI GROUP, *Quali incentivi per le nuove costruzioni a secco?,* 2016 https://blog.mannigroup.com/quali-incentivi-per-le-nuove-costruzioni-a-secco
3. (Articolo) HABITANTE, *Ecco perché le case in America sono in legno*, 2022 https://www.habitante.it/habitare/architettura/ecco-perche-le-case-in-america-sono-in-legno/?cli_action=1655274441.575

4. (Articolo) INFOBUILD, *Costruire a secco: vantaggi e tecnologie*, 2021 https://www.infobuild.it/approfondimenti/le-costruzioni-secco-elementi-costruttivi/#
5. (Articolo) Centro Studi - Italia Canada, *Perché il settore Green Building canadese è un'opportunità per le imprese italiane*, 2022 https://www.centrostudi-italiacanada.it/articles/green-building-canada-imprese-italiane
6. (Articolo) PMI REBOOT, *Il Canada promuove costruzioni sostenibili e innovative attraverso il legno, 2022* https://pmireboot.it/2022/02/04/il-canada-promuove-costruzioni-sostenibili-e-innovativi-attraverso-il-legno/
7. (Documento) Government of Canada, *Overview of Pan-Canadian Framework actions in 2020*, 2022 https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework/overview-fourth-annual-report.html
8. (WEBSITE) EconomiaCircolare.com, *La strategia nazionale degli Usa per raggiungere il 50% di riciclo sul totale dei rifiuti*, 2021 https://economiacircolare.com/strategia-usa-riciclo/
9. (Tesi) i Venezia, Tesi di laurea di Erica Fregonese, *Il sociale instillato nel modello di economia circolare: il caso Amorim Cork Italia S.p.A.*, 2019 http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/15908/848915-1231245.pdf?sequence=2
10. (Articolo) ENEL, *Stati Uniti: un ventaglio di azioni concrete per lo sviluppo sostenibile*, 2020 https://www.enelgreenpower.com/it/storie/articles/2020/02/stati-uniti-verso-sviluppo-sostenibile
11. (Articolo) COOPI, *Economia circolare: un'alternativa sostenibile in Italia e Sud America*, 2021 https://www.coopi.org/it/economia-circolare-e-recupero-dei-rifiuti-solidi-stato-delle28099arte-e-prospettive-in-italia-e-sud-america.html
12. (Articolo) ESGDATA, *Global Responsibility Network, Caraibi e America Latina: nuova strategia condivisa per un'economia circolare*, 2022 https://esgdata.it/caraibi-e-america-latina-nuova-strategia-condivisa-per-uneconomia-circolare/
13. (Documento) *Sustainability Base, NASA's First Space Station on Earth*, 2012 https://mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/10/NASA-book_email_121015.pdf
14. (Sito WEB) William McDonough + Partners https://mcdonoughpartners.com/projects/nasa-sustainability-base/
15. (Articolo) AUTODESK, *Communicate across barriers. William McDonough + Partners and AECOM deliver to NASA one of the federal system's greenest facilities*, 2010 http://images.autodesk.com/adsk/files/nasa_sustainability_base_customer_story.pdf
16. (Documento) William McDonough + Partners for HITT Contracting, Falls Church, Virginia, *CO|LAB, A Building Like a Tree* https://mcdonoughpartners.com/wp-content/uploads/2020/09/20_0923_CoLab-expanded-brochure.pdf
17. (Articolo) News & Events, *HITT and William McDonough + Partners Celebrate Co|Lab Opening,* 2019 https://colab.build/insights/hitt-contracting-and-william-mcdonough-partners-present-colab/
18. (Articolo) HAWORTH, *Case Study HITT Contracting Co|Lab*, 2016 https://www.haworth.com/na/en/projects/customer-projects/hitt-colab-case-study.html
19. (Articolo) GlobeNewswire, *CO|LAB. HITT Contracting and William McDonough + Partners Present Co|Lab: A Vision to Transform the Construction Industry*, 2019 https://www.globenewswire.com/news-release/2019/06/14/1868993/0/en/HITT-Contracting-and-William-McDonough-Partners-Present-Co-Lab-A-Vision-to-Transform-the-Construction-Industry.html
20. (Magazine Online) *Architect Magazine, Carmel Place*, 2017 https://www.architectmagazine.com/project-gallery/carmel-place_o
21. (WEBSITE) EHDD, *Chartwell School*, 2007 https://www.ehdd.com/project/chartwell-school
22. (Articolo) CBE, *AWARD WINNER 2007, Global Ecology Research Center*, 2007 https://cbe.berkeley.edu/livable-building/global-ecology-research-center/
23. (Magazine Online) DEZEEN, *World's tallest modular high-rise by SHoP Architects opens in Brooklyn*, 2016 https://www.dezeen.com/2016/11/18/worlds-tallest-modular-prefabricated-apartment-tower-shop-architects-brooklyn-new-york/
24. (Articolo) URBANYVR, *Modular housing for the homeless coming to Olympic Village*, 2018 https://www.urbanyvr.com/homeless-modular-housing-vancouver-west-2nd/
25. (Magazine Online) Archdaily, *Flashback: Sunset Cabin / Taylor Smyth Architects*, 2004 https://www.archdaily.com/171046/flashback-sunset-cabin-taylor-smyth-architects
26. (Magazine Online) Archdaily, *Caterpillar House / Sebastián Irarrázaval*, 2012 https://www.archdaily.com/394846/caterpillar-house-sebastian-irarrazaval-delpiano
27. (Magazine Online) Archdaily, *Inside Vancouver's Brock Commons, the World's Tallest Mass Timber Building*, 2017 https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouvers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building
28. (Magazine Online) Divisare, *FGMF ARCHITECTS, CR2 ARCHITECTURE 4X30 HOUSE*, 2011 https://divisare.com/projects/267132-fgmf-architects-cr2-architecture-fran-

© Niccolo Chiamori

6.4 | CASI STUDIO IN GIAPPONE

L'uso del legno nel settore edilizio caratterizza la maggior parte dei progetti giapponesi.

Questo deriva dalla posizione geografica: è una delle aree più sismiche al mondo, in quanto poggia su quattro diverse piastre tettoniche; è periodicamente esposta a tifoni; la maggior parte della superficie geografica del Paese è ricoperta da foreste. Pertanto, la scelta del legno è una soluzione naturale per il Giappone: è leggero e, quindi, meno soggetto a danni durante i terremoti.

Sono molteplici le tecniche di costruzione che vedono il legno come materiale strutturale. Per fare un esempio, viene descritta una delle tecniche giapponesi più usate, denominata *Merikomi*: si tratta di un metodo naturale di precompressione. La parola è composta da due parti: *Meri*, che significa "togliere" e si riferisce alle giunture fatte dal legno, e *Komi*, che significa "includere" e si riferisce a una particolare tecnica di montaggio. Il sistema consente di rendere i nodi in legno altamente efficaci in caso di terremoti.

Questa tipologia costruttiva è comune a tutti i Paesi dell'Asia Orientale, tra cui Cina, Corea e Vietnam.

Il *Merikomi*, una delle tante tecniche, evidenzia quanto la cultura giapponese, e orientale in generale, sia da sempre un'utilizzatrice del legno e di sistemi strutturali basati su giunzioni meccaniche[170].

Altro aspetto caratterizzante la cultura edilizia giapponese è la ripetizione di elementi modulari, che sono costruiti separatamente e poi assemblati insieme,

170 M. CIPOLLINI et al. *Design, Production, and Installation of Wooden Walls for the Japan Pavilion at Expo 2015*, 2016

secondo specifiche esigenze. Alcuni esempi possono essere il *tokung* (mensole per il tetto) o il *tatami* (tappeto, la cui dimensione è usata come modulo per progettare)[171].

Un esempio, che recentemente ha rappresentato l'architettura giapponese alla Biennale di Venezia del 2021, è stato il *Co-ownership of Action: Trajectories of Elements*, curato dall'architetto e professore universitario Kozo Kadowaki.

"La mostra consiste in una semplice casa giapponese fatta di legno. Il Giappone è uno dei Paesi ai primi posti per il declino della popolazione, ed è pieno di case che hanno oramai superato la loro utilità e aspettano solo la demolizione" spiega il curatore. "La residenza che abbiamo ricostruito a Venezia è una di queste. [...] Riassemblare una casa frammentata secondo diverse configurazioni ha permesso anche agli architetti di sperimentare con le competenze degli artigiani locali, ridando nuova vita a ciascun elemento"[172] ha concluso Kozo Kadowaki.

La modularità, quindi, detta le regole della progettazione edilizia nella maggior parte degli edifici, soprattutto in ambito privato. Ma non è il solo elemento che differenzia il Giappone dagli altri Paesi: nella cultura giapponese, la vita utile delle case è pari a circa 27 anni. Nell'articolo del 2022, *27 anni: L'età media delle case in Giappone,* vengono descritti precisamente quali sono i fattori che determinano questo fatto: "un'esistenza così breve non vuol dire che la maggior parte delle case in Giappone sia costruita male. Questa *data di scadenza* è, essenzialmente, artificiale. A partire dal Dopoguerra, per incentivare e mantenere attivo il settore edilizio, il governo giapponese ha fissato il limite di vita delle costruzioni a 30 anni: in pratica è stata calcolata l'età media delle case che dovevano essere abbattute o regolarizzate per le norme antisismiche, all'epoca 30 anni appunto, e questa cifra è diventata lo standard nazionale a cui adeguarsi (ovviamente la maggior parte degli edifici pubblici e dei grattacieli è costruita per durare di più). [...] Gli effetti di questa tradizione istituzionalizzata sono molteplici, alcuni voluti, altri involontari. Tra i primi, lo sviluppo e la prosperità del settore edilizio e la proverbiale sicurezza sismica delle città; tra i secondi, un impatto sicuramente positivo sulla creatività degli architetti (con un orizzonte di durata così limitato, è possibile sperimentare soluzioni e idee con maggiore libertà), tanto che la scuola giapponese si è imposta come riferimento mondiale"[173].

Nonostante i molteplici aspetti tecnici e strategici, radicati nella cultura giapponese, e il suo assetto territoriale che incentiva l'utilizzo del legname, il Giappone, proprio a causa dell'elevata sismicità del terreno, ha un'importante rigidità normativa per l'edilizia antisismica e antincendio, che guida la progettazione.

Tre tendenze, legate alla necessità di rispettare requisiti antisismici nella costruzione, sono:

- *Taishin*: sistemi antisismici, resilienza al terremoto, ovvero uso di pareti e pilastri rinforzanti contro le scosse;

171 A. ILARICI per GreenPlanner Magazine, *Architettura sostenibile, rispetto per la materia e i materiali*, 2022

172 C. BRIVIO per *The brief city, Sostenibilità, demografia e architettura: alla Biennale di Venezia la storia della Takamizawa*, 2021

173 Hoppipolla, cultura indipendente per corrispondenza, 27 anni: L'età media delle case in Giappone, 2022

- *Seishin*: sistemi di smorzamento, edifici equipaggiati con dispositivi smorzanti, che assorbono le scosse per dissipare l'energia cinetica;
- *Menshin*: sistemi di isolamento sismico, dispositivi che separano l'edificio dalle fondazioni per evitare che le scosse si trasmettano alla struttura[174].

174 NAGAEN, *Terremoti, tecnologie e prevenzione: il modello giapponese*, 2020

Economia circolare

A seguito di un'analisi generale sulle tecniche utilizzate in Giappone e sui fattori che le influenzano, è possibile comprendere, in piccola parte, come il Paese si relazioni con l'economia circolare nell'edilizia e come si adatti al contesto culturale[175].

175 S. CARRER per ILSOLE24ORE, *In Giappone la sostenibilità fa i conti con le contraddizioni*, 2019

Nel continente asiatico, Paesi come il Giappone e la Cina, sono stati i primi attori economici ad introdurre formalmente le politiche di economia circolare all'interno del territorio. Negli ultimi 10 anni, Cina, Giappone e Stati Uniti hanno promosso dei programmi di ricerca per favorire le economie circolari locali, ottimizzando le politiche di rigenerazione e il riutilizzo.

L'orientamento *green* giapponese è in continua crescita e viene visto come uno strumento utile per progettare strategie di disaccoppiamento della pressione ambientale dalla crescita economica.

Il Paese, nel 2000, si è mosso per promuovere l'economia circolare e trasformare la società giapponese in una *società orientata al riciclo*.

Nel *Piano 3R* (Ridurre, Riutilizzare e Riciclare) di Kobe, del maggio del 2008 e nel *Toyama Framework* del 2016, l'approccio giapponese è stato poi chiaramente definito e condiviso da tutti i Paesi del G7: "il nostro obiettivo comune è quello di realizzare una società che utilizzi le risorse in modo efficiente e sostenibile per l'intero ciclo di vita, riducendo il consumo di risorse naturali e promuovendo i materiali riciclati e le risorse rinnovabili, in modo da rimanere entro i confini del pianeta, rispettando i rilevanti concetti e approcci della sostenibilità. Tutto ciò per garantire che la società faccia circolare ripetutamente le risorse, minimizzi le emissioni di rifiuti nella natura, impedisca la dispersione di rifiuti e gestisca carichi ambientali entro un limite accettabile, in modo che la circolazione del materiale in natura possa essere mantenuta. Una tale società, non solo fornisce soluzioni per le sfide relative ai rifiuti ed alle risorse, ma ne consegue anche una società sostenibile a basse emissioni di carbonio in armonia con la natura, che può creare posti di lavoro, rafforzare la competitività e realizzare la crescita verde"[176].

176 Ministero dello Sviluppo Economico, *Verso un modello di economia circolare per l'Italia. Documento di inquadramento e posizionamento strategico*, 2017

Curiosità: in Giappone, a Kamikatsu, un piccolo villaggio giapponese, si recupera più dell'81% degli scarti prodotti; si punta ad arrivare al 100%.

Un avvenimento recente è stato il lancio del *Japan Partnership for Circular Economy* (J4CE). J4CE è stata fondata il 2 marzo del 2021 dal Ministero dell'Ambiente, in collaborazione con il Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria e la Federazione degli Affari del Giappone (*Keidanren*), con lo scopo di rafforzare le

partnership pubblico-privato.
Come descritto nel comunicato stampa dell'*Institute for Global Environment Strategies* (IGES), nel 2021, quest'ultimo funge da segretariato per il J4CE. IGES mira anche a svolgere un ruolo nell'accelerazione di un'economia circolare a livello globale, diffondendo ampiamente l'eccellente tecnologia, le idee e le iniziative delle aziende giapponesi e ampliando notevolmente la portata di questa *partnership*.
Più di 100 aziende e organizzazioni industriali hanno aderito al J4CE in meno di due mesi dalla sua fondazione e circa 130 casi studio sono già stati presentati. Tutti questi sono pubblicati sul sito web lanciato di recente[177].
Il progetto si basa su diversi ambiti di applicazione della strategia, quali: *PET Bottles; Home Appliances; Automobiles and Batteries; New Technologies for Recycling; New Business Models; Cooperation on Production, Distribution and Collection; Cooperation for Plastic Circulation*[178].

177 IGES, *Japan Partnership Launches Website to Showcase Japan's Noteworthy Circular Economy Cases*, 2021

178 Viene riportato il link per accedere al pdf all'interno del quale vengono definite le linee guida del J4CE: https://4ce.env.go.jp/top/J4CE.pdf

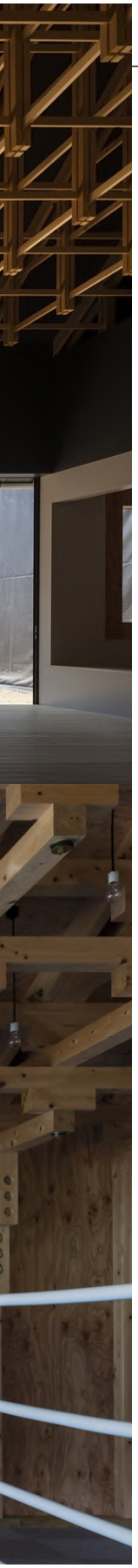
Per quanto riguarda il sistema della sostenibilità sociale e tecnologica, il Giappone ha numerosi legami internazionali. Nel 2019 è stata firmata la *Partnership Ue-Giappone sulla connettività sostenibile e le infrastrutture di qualità* che implicitamente critica la Belt & Road cinese proprio per sospette carenze sul piano della sostenibilità. Europa e Giappone sono tra i Paesi che pongono maggiore attenzione alla tematica ambientale, ma, come descrive Stefano Carrer, nell'articolo *In Giappone la sostenibilità fa i conti con le contraddizioni* del 2019, nonostante le numerose iniziative che continua a promuovere nel settore della sostenibilità, il Paese convive con numerose contraddizioni nell'ambito.
Con il Protocollo di Kyoto, del 1997, il Giappone ha toccato il picco nel settore, vivendo successivamente un declino, indebolendo il suo ruolo di collaboratore nella riduzione del surriscaldamento globale.
Sono due i fattori di cui Carrer parla: "da un lato, l'esigenza di tutelare la sua industria ha portato Tokyo a insistere fin troppo sulla necessità di inglobare i Paesi emergenti in ogni nuovo piano collettivo, prima di firmare comunque a Parigi l'impegno a tagliare le emissioni nocive del 26% (rispetto al 2013) entro il 2030; dall'altro, i *target* più ambiziosi sono stati cancellati e quelli sul lungo periodo resi più aleatori a causa della crisi del nucleare, seguita all'incidente di Fukushima del 2011. Da una quarantina di reattori, quelli in attività sono scesi a una manciata, riducendo di molto l'energia emessa da una fonte pulita, ma pericolosa. Per quanto, 8 anni fa, Tokyo abbia varato un piano molto generoso di incentivi per il fotovoltaico, le fonti rinnovabili non hanno potuto sostituire, se non in parte, la quota crescente che doveva essere assegnata al nucleare".
Alcuni Paesi stanno fissando obiettivi importanti a livello nazionale per il settore delle costruzioni. Giappone e Canada sono due dei pionieri nello sviluppo di nuove politiche per il raggiungimento degli standard di emissioni di carbonio *net-zero-ready* per il 2030.
Un progetto sostenibile di successo va oltre le fasi di ideazione, progettazione

e costruzione: bisogna prendere in considerazione anche il mantenimento, la ristrutturazione e lo smantellamento.
Secondo R. Marsh (2017), prolungare la vita utile di un edificio da circa 50 anni a 120 anni riduce il suo impatto ambientale del 44%. Fortunatamente, la valutazione del ciclo di vita (LCA) sta acquisendo sempre più importanza nel nostro settore e certificazioni come BREEAM e LEED sono ora parti importanti dei progetti edilizi e infrastrutturali moderni.[179]
Pertanto, rimane la contraddizione tra la maggiore sostenibilità di un edificio a vita breve e disassemblabile (tipico della tradizione giapponese), rispetto ad un edificio più duraturo e progettato diversamente da quanto visto precedentemente.

179 WEM! *DIGITALIZZAZIONE: LA NUOVA NORMALITÀ NELL'EDILIZIA?, 2021*

Tendenzialmente, è sempre stato diffuso un credo comune che vedeva il Giappone come uno dei Paesi più legati a una cultura ambientalista. Come abbiamo potuto osservare per quanto detto finora, invece, si può arrivare all'estremo per il quale la distruzione della natura è accettata e supportata se ha come fine dichiarato il miglioramento della condizione della vita umana. Questo è esattamente ciò che è accaduto a partire dall'inizio del secolo scorso e che ha portato all'esplosione dei movimenti di protesta ambientale, a cavallo tra gli anni Cinquanta e Sessanta. Molti sono i casi nei quali le vittime di effetti collaterali dello sviluppo industriale furono costrette al silenzio e bollate come egoiste.

Photograps Shigeo Ogawa
Archery Hall & Boxing Club
"Abbiamo recuperato la purezza della composizione tradizionale in legno giapponese, composta semplicemente da elementi orizzontali e verticali".
FT Architects



6.4.1 | Archery Hall & Boxing Club, 2013 (JP)

Floor Area: 198,75 m^2

Year: 2013

City: Tokyo (JP)

Building Type: Recreation & Training

Client: Kogakuin University, Tokyo

Design Team

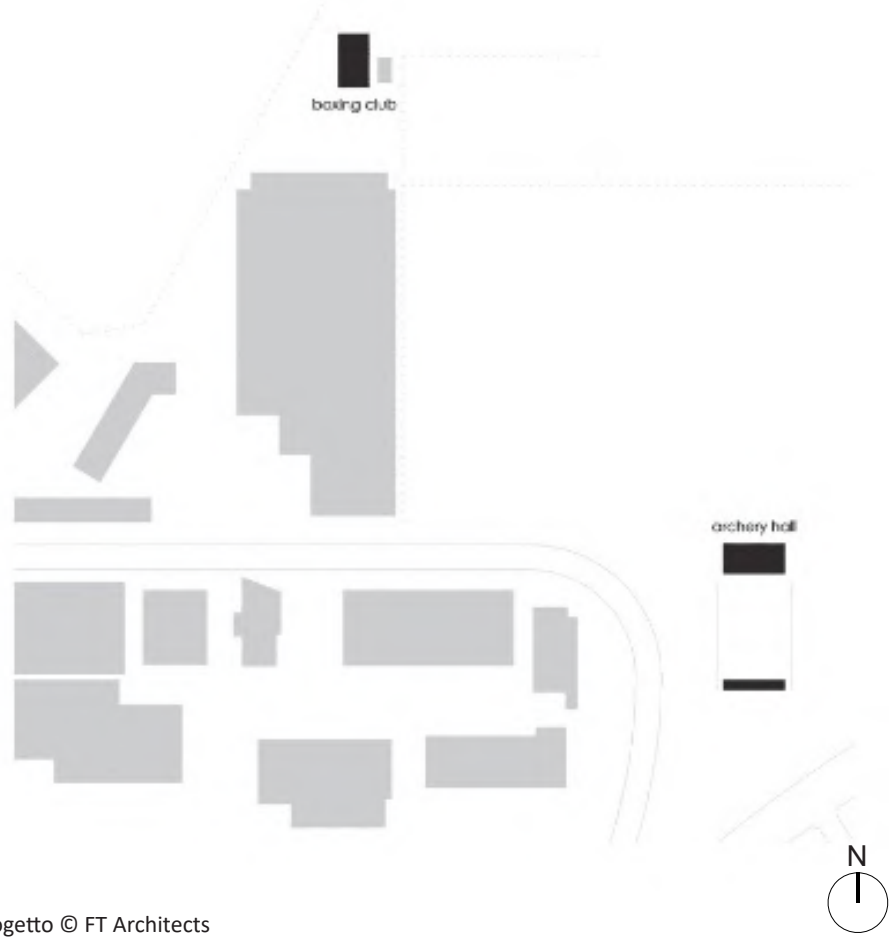
Architectural and interior design: FT Architects

Collaborators: Katsuya Fukushima, Hiroko Tominaga

Structures: Shuji Tada Structural Design Office

Constructions: Daimaru House

Wood: Maruu Wood Marketing Co.,Ltd



Masterplan di progetto © FT Architects

Il progetto dello studio di architettura giapponese FT Architects prevedeva la realizzazione di due padiglioni identici per dimensioni, ma differenti per destinazione d'uso: uno sarebbe stato dedicato all'arte del *Kyudo* o tiro con l'arco; l'altro, all'attività della boxe. Queste due sale si trovano a poche centinaia di metri l'una dall'altra, sul terreno della Kogakuin University, nella parte occidentale di Tokyo.

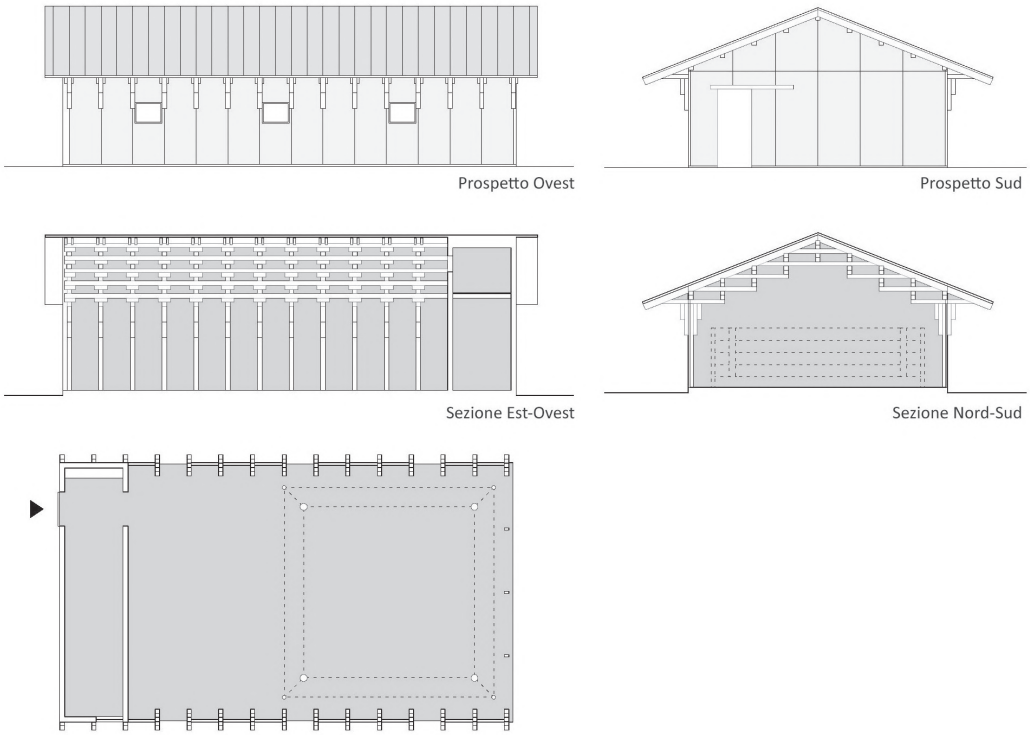
La richiesta dell'Università era di strutture a basso costo, realizzate con legname di provenienza locale, che potessero fornire degli spazi accessibili e stimolanti per gli studenti.

Per coincidenza, entrambe le strutture richiedevano uno spazio libero da colonne per una dimensione di 7,2x10,8 m: tale modulo riporta alle dimensioni delle sale sacre dei templi tradizionali giapponesi, *"per puro caso e per fortuna"*, a detta dei progettisti.

Per realizzare questa campata, senza colonne e utilizzando metodi di costruzione in legno a basso costo, si è resa necessaria una soluzione innovativa di applicazione del legno.

La prima fase progettuale è stata quella di immaginare una serie di forme strutturali che potessero essere appropriate per ogni sport, in modo da soddisfare le richieste della committenza anche da un punto di vista estetico.

Archery Hall, piante prospetti e sezioni © FT Architects



Boxing club, piante prospetti e sezioni © FT Architects

© Shigeo Ogawa

"Abbiamo recuperato la purezza della composizione tradizionale in legno giapponese, composta semplicemente da elementi orizzontali e verticali, che è stata in qualche modo trascurata sin dall'avvento del modernismo in Giappone. Un delicato telaio a traliccio composto da travi e travetti sottili per la sala del tiro con l'arco; una struttura a gradini più audaci, impiegata per il club di boxe"[180]

180 Archdaily, *Archery Hall and Boxing Club*, 2013

FT Architects

Attraverso l'esplorazione collaborativa con esperti, ricercatori, produttori e fornitori di legno, si sono ottenuti dei sistemi di costruzione in legno che non sono comunemente associati all'uso strutturale o architettonico. Le piccole sezioni di legno che sono state scelte per la sala del tiro con l'arco sono normalmente riservate alla produzione di mobili, mentre, per il boxing club, si sono scelte delle sezioni di legno tendenzialmente scartate in quanto soggette a danni provocati dagli insetti.
Le due strutture sono state costruite impiegando un metodo molto semplice e a bassa difficoltà di assemblaggio: un nodo bullone-dado.
Nonostante ciò, a causa della ridotta scala degli spazi progettati e della semplicità di costruzione, l'esecuzione deve essere particolarmente meticolosa.

Ispirazioni dall'antico oriente: il Dou Gong

La tradizione costruttiva orientale dei maestri carpentieri si veste di modernità e innovazione. La tecnica del *Dou-Gong*, misto di sapienza tecnologica ed estetica, elemento tipico delle pagode Cinesi e Giapponesi costruite a partire dal I secolo d.C., è qui usata con stessa finalità di scopi, per permettere grandi luci e scaricare la grossa mole del tetto sulle pareti perimetrali, evitando l'uso di appoggi intermedi che interromperebbero la continuità spaziale, richiesta dal committente.

Specie legnosa: il legno di cipresso

(Immagine) Legno di cipresso

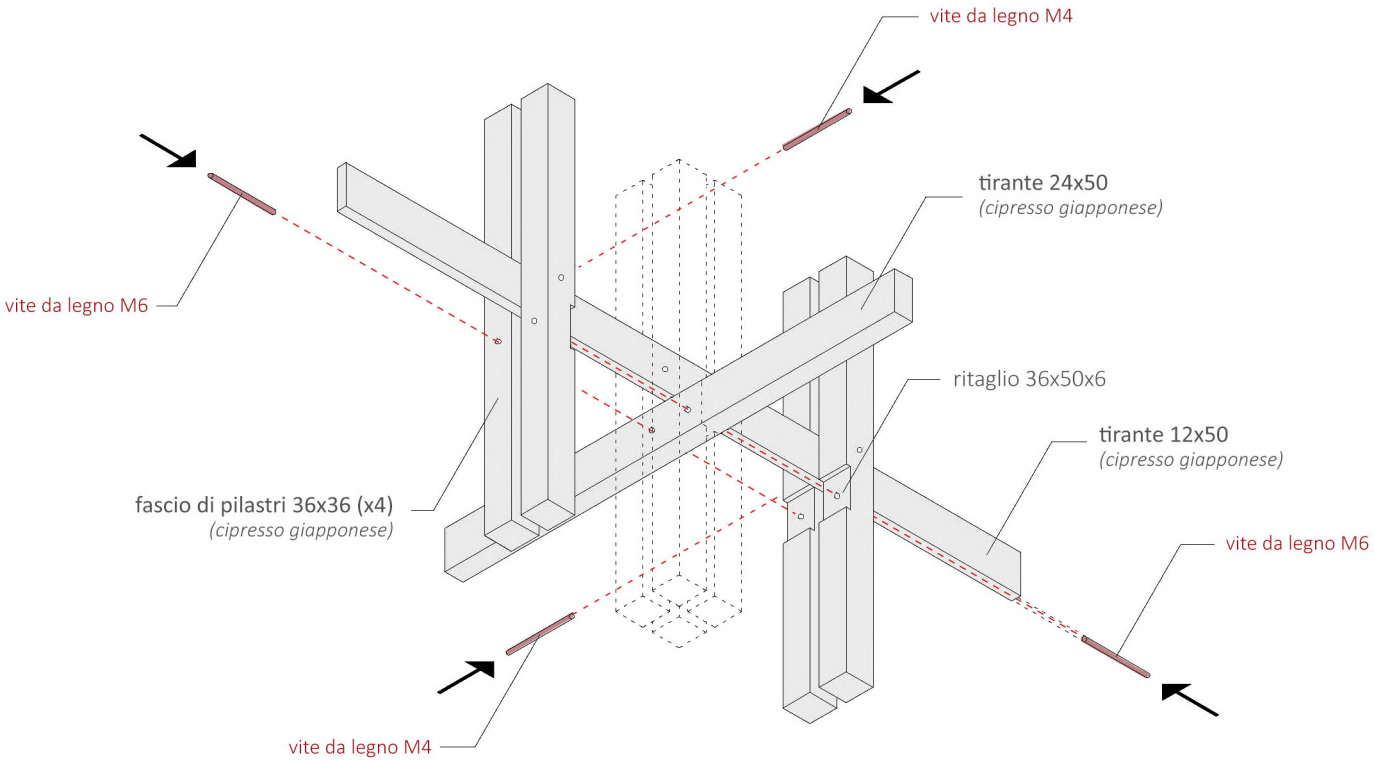
Il legno impiegato nella costruzione delle due coperture è di provenienza locale. Si tratta del legno di cipresso (*Hinoki* in giapponese), lo stesso impiegato nella costruzione delle antiche pagode, tra cui spicca per longevità quella di Horiuji, a Nara, in Giappone (che ha ben 1300 anni).
Il legno di cipresso, infatti, è resistente, estremamente durabile e facile da lavorare. È noto per le sue venature dritte, la finezza e la robustezza, insieme alla sua resistenza all'attacco degli insetti e all'impenetrabilità a pioggia e umidità.

Archery Hall

Per permettere di avere una luce libera di 7,2x10,8 m è stata adottata una strategia di frammentazione.
La capriata classica è stata introdotta come elemento strutturale capace di dissipare i carichi; questo elemento richiama, inoltre, l'usanza delle antiche maestranze che si occuparono di realizzare le chiese giapponesi a partire dal I secolo a.C.
Qui, gli architetti operano una tecnica innovativa. Come si può osservare nell'immagine sottostante, la capriata diventa una costellazione di tanti singoli pezzi che vanno a incastrarsi tra loro con una perfetta sintonia ed equilibrio, svuotando l'esempio classico, per formare una nuova unità moderna, elegante e leggara.

Il cuore della tecnica costruttiva si rivela nel giunto, che tiene uniti i vari pezzi della copertura.
Andando nel dettaglio, e cercando una semplificazione, si possono individuare sei elementi chiave che si ripetono nello spazio. Questi pezzi, che si intrecciano tra loro nelle tre direzioni a formare un reticolo di capriate spaziali, vengono riportati nelle immagini a destra.

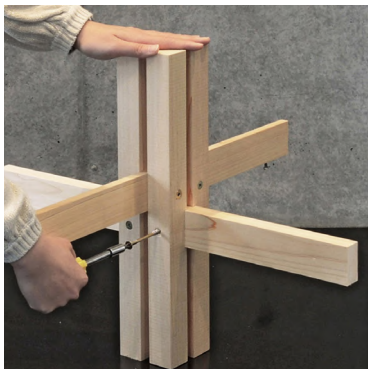
Archery Hall © Shigeo Ogawa



Dettaglio struttura del tetto, Archery Hall © FT Architects

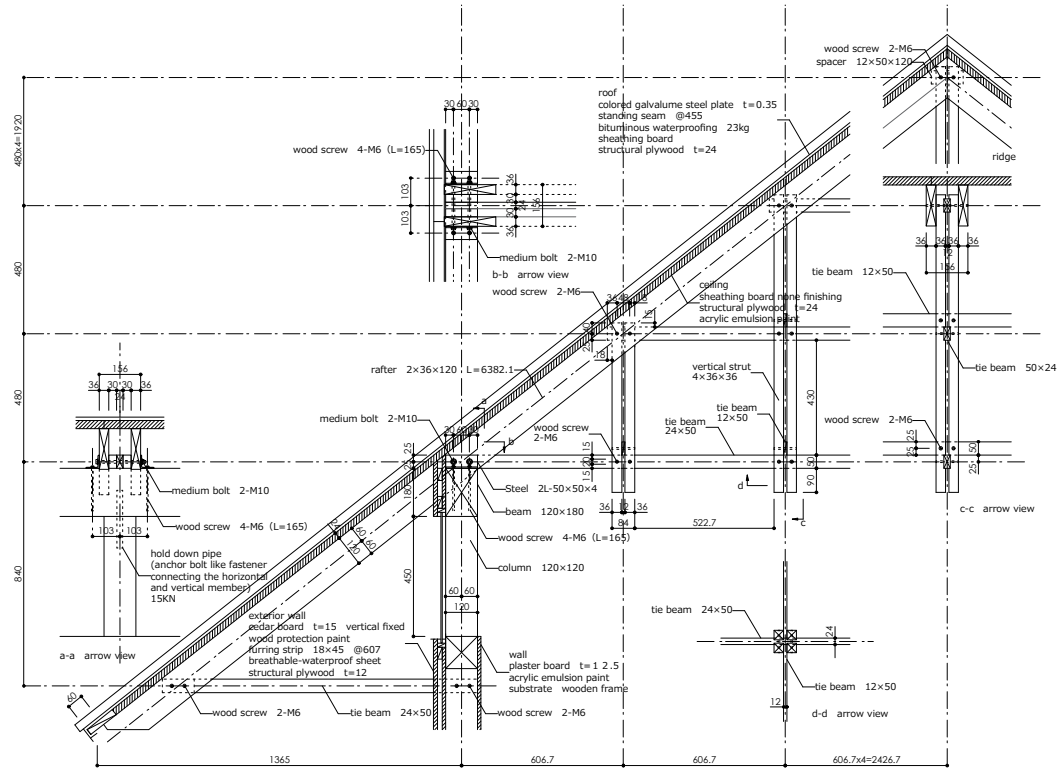
(Immagine) Giunto © Shigeo Ogawa

(Immagine) Giunto © Shigeo Ogawa



(Immagine) Giunto © Shigeo Ogawa

(Immagine) Moduli © FT Architects



Dettaglio nodo tetto - struttura verticale, Archery Hall © Andrea Volpe

Costruzione e montaggio

Ogni singola capriata viene completamente assemblata a terra dai carpentieri; successivamente viene issata con una gru e messa in posizione. Infine, con l'interposizione delle travature trasversali, viene assicurata la perfetta stabilità strutturale alle azioni orizzontali sismiche.

(Immagine) © Shigeo Ogawa

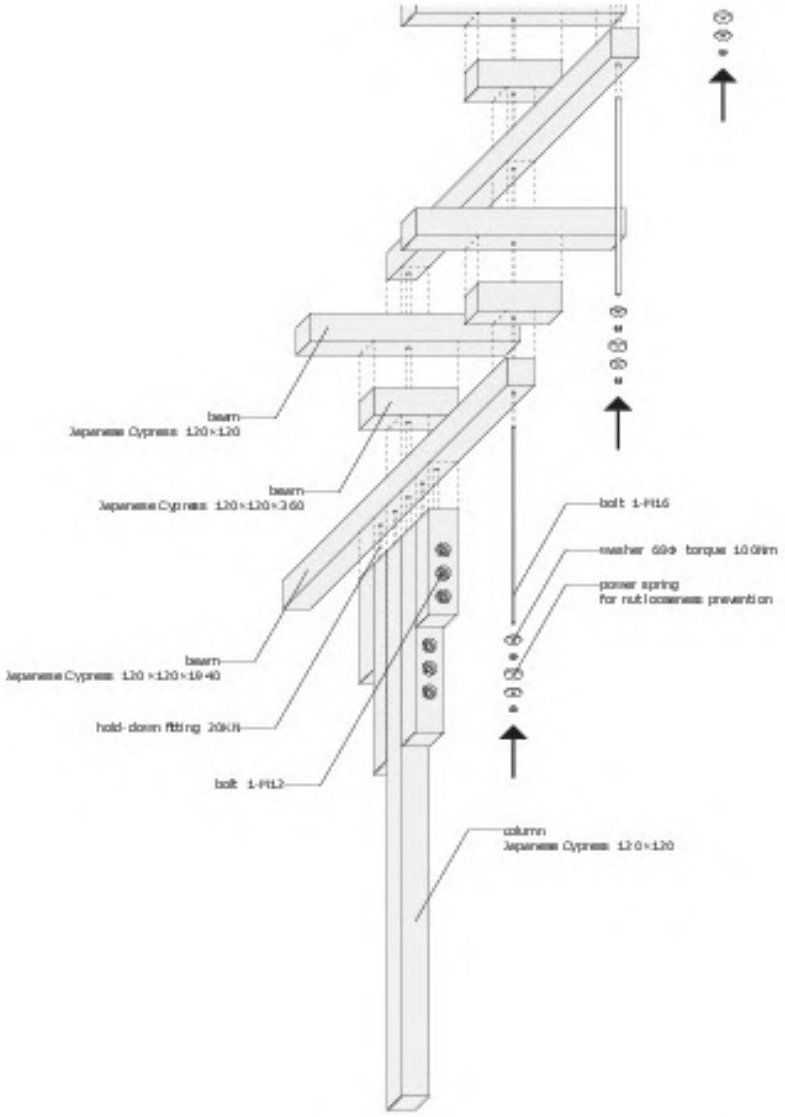
(Immagine) © Shigeo Ogawa

Boxing Club

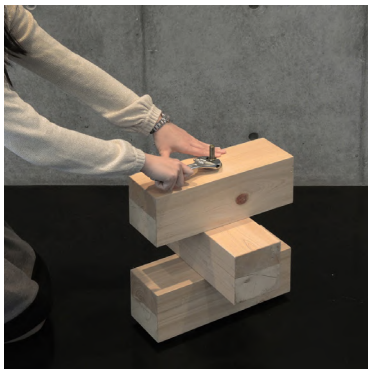
Qui la tecnica della frammentazione è ancora più audace. Il risultato è una cascata di pezzi di legno che dal centro si dipana scremando verso gli estremi, rastremando dall'alto verso il basso. La struttura del tetto è ridotta in tanti piccoli tronchetti di legno di forma parallelepipeda, che funzionano in sinergia.
Ognuno lavora in simbiosi col suo sottoposto scaricandoci il peso, e lui, a sua volta, fa così con il pezzo sottostante. E così via fino ad arrivare ai pilastri laterali. Questo ingegnoso, complesso e scenografico sistema, è stato messo in opera da FT Architects per poter realizzare un'ampia luce libera da pilastri (7,2 x 10,8 m).
Qui, la leggerezza della sala da Kyudo, cede il passo alla forza massiccia degli elementi costruttivi. Le eleganti ed esili aste che connotavano la spazialità della sala del tiro con l'arco, denunciano qui una volumetria più massiccia e possente. Senza rinunciare ad una spazialità ampia e ben bilanciata, ritmata dal calore tipico del legno a vista.

(Immagine) Boxing club © Shigeo Ogawa

Dettaglio struttura del tetto, Boxing Club © FT Architects

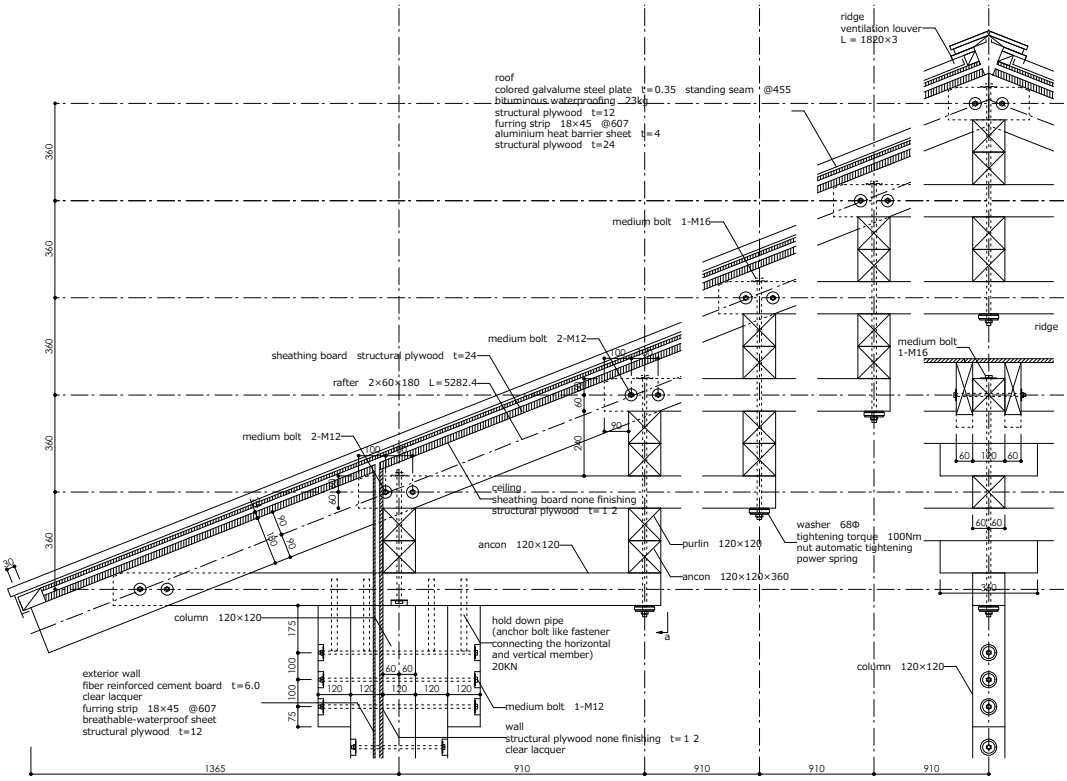


La copertura del Boxing Club è costituita da tanti singoli tasselli di legno, di sezione 12×12 cm, che, a partire dai pilastri laterali, si adagiano uno sull'altro trasversalmente, seguendo un andamento diagonale fino al colmo. I pezzi sono tenuti assieme da ancoraggi smontabili con rondelle e bulloni metallici.



(Immagine) Giunto © Shigeo Ogawa

(Immagine) Giunto © Shigeo Ogawa



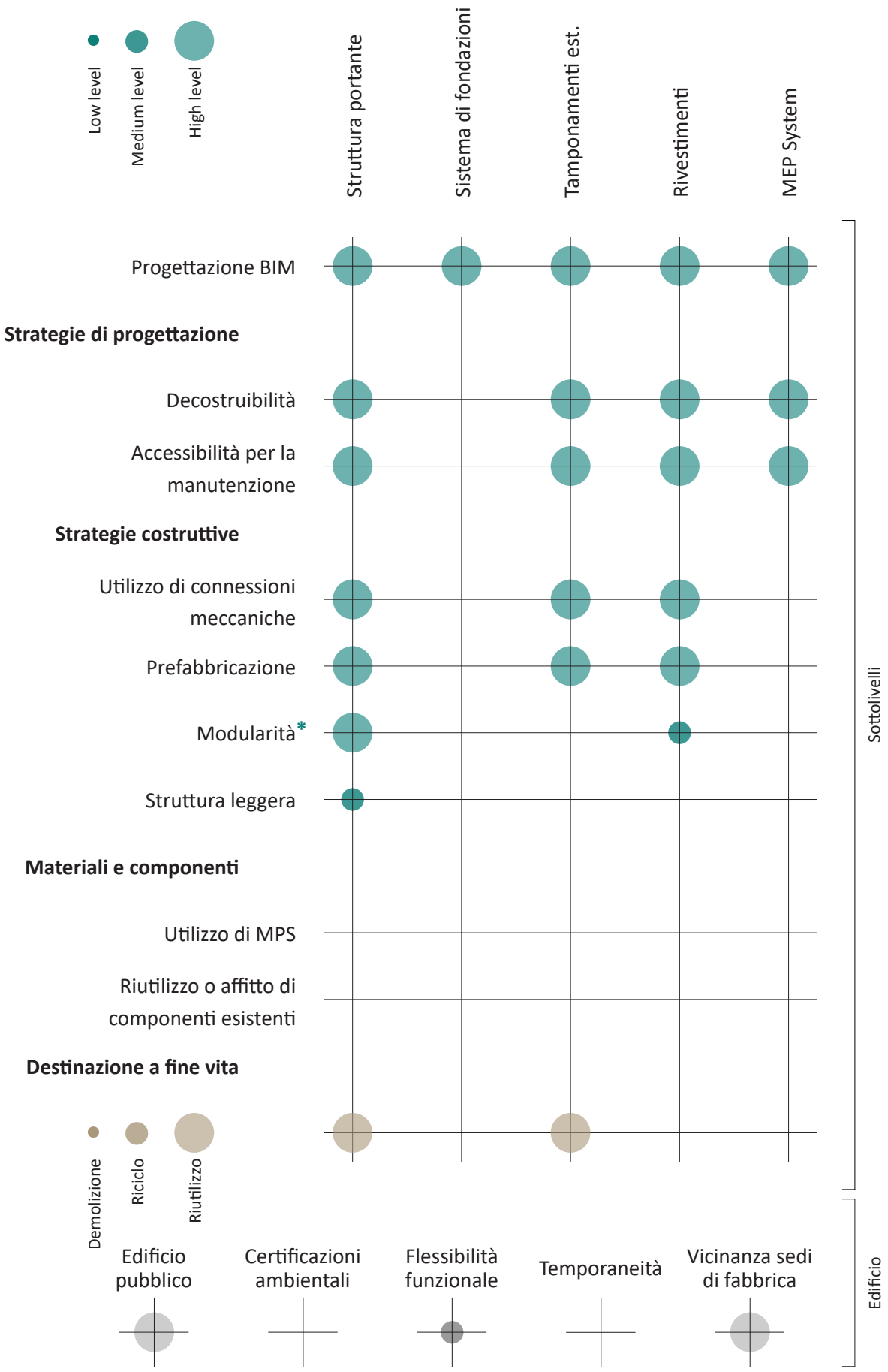
Dettaglio nodo tetto-struttura verticale, Boxing Club © Andrea Volpe

Costruzione e montaggio

La struttura è montata per parti. Prima i pilastri e poi via via le parti a scalini verso l'alto. Ogni blocco è tenuto assieme da rondelle e bulloni, che ne assicurano la stabilità.

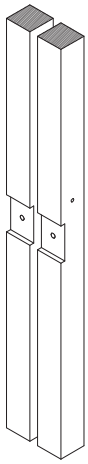
(Immagine) © Shigeo Ogawa

(Immagine) © Shigeo Ogawa


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità*
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

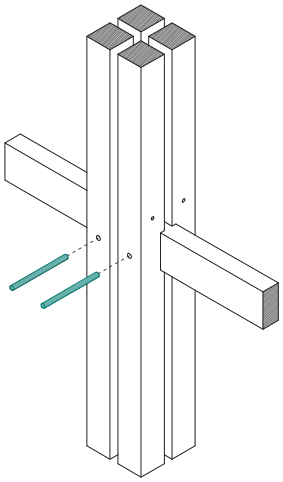
Archery Hall & Boxing Club
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo tecnologico significativo relativo al caso studio Archery Hall and Boxing Club, dello studio di architettura giapponese FT Architects, localizzato a Tokyo, in Giappone.
Si è scelto di analizzare più nel dettaglio il giunto che rappresenta il metodo a bassa tecnologia di assemblaggio bullone e dado della Archery Hall, ma questo principio si riscontra in maniera tecnicamente equivalente nel Boxing Club.



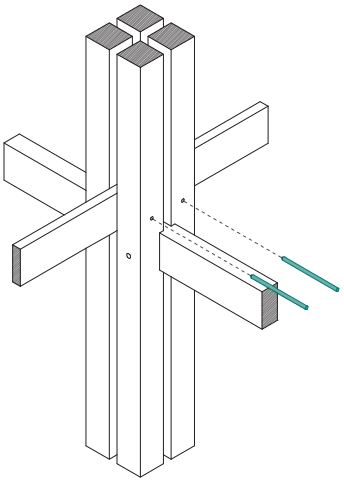
Step 1

Le piccole sezioni di legno, normalmente riservate alla produzione di mobili, sono state utilizzate e arrangiate per diventare elementi strutturali del caso studio in esame.



Step 2

Il modulo singolo, quadrupicato, diviene il pilastro della struttura, al quale viene ancorata, tramite delle viti in legno, una prima trave all'interno dell'incastro centrale.



Step 3

A questa, viene ancorata una seconda trave, perpendicolare alla prima, anch'essa fissata con sistemi di ancoraggio a secco.

* La struttura della copertura è progettata per essere composta da elementi modulari. Nel giunto, che tiene uniti i vari pezzi della copertura, si possono individuare sei elementi chiave che si ripetono nello spazio. Questi pezzi si intrecciano tra loro nelle tre direzioni a formare un reticolo di capriate.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

Photograps Shinkenchiku-sha
Nest We Grow
"Vogliamo costruire un senso di comunità".
Kengo Kuma Architects

6.4.2 | Nest We Grow, 2014 (JP)

Gross Floor Area: 85,4 m^2

Year: 2014

City: Hokkaido (JP)

Building Type: Food Center

Proprietario: Lixl JS Foundation

Design Team

Architectural: College of Environmental Design UC Berkeley, Kengo Kuma & Associate

Design team: Hsiu Wei Chang, Hsin-Yu Chen, Fenzheng Dong, Yan Xin Huang, Baxter Smith

Project Supervisor: Kengo Kuma & Associates, Takumi Saikawa

Civil & Strutural engineering: Masato Araya

Mechanical engineering: Tomonari Yashiro Laboratory

(Immagine) © Shinkenchiku-sha

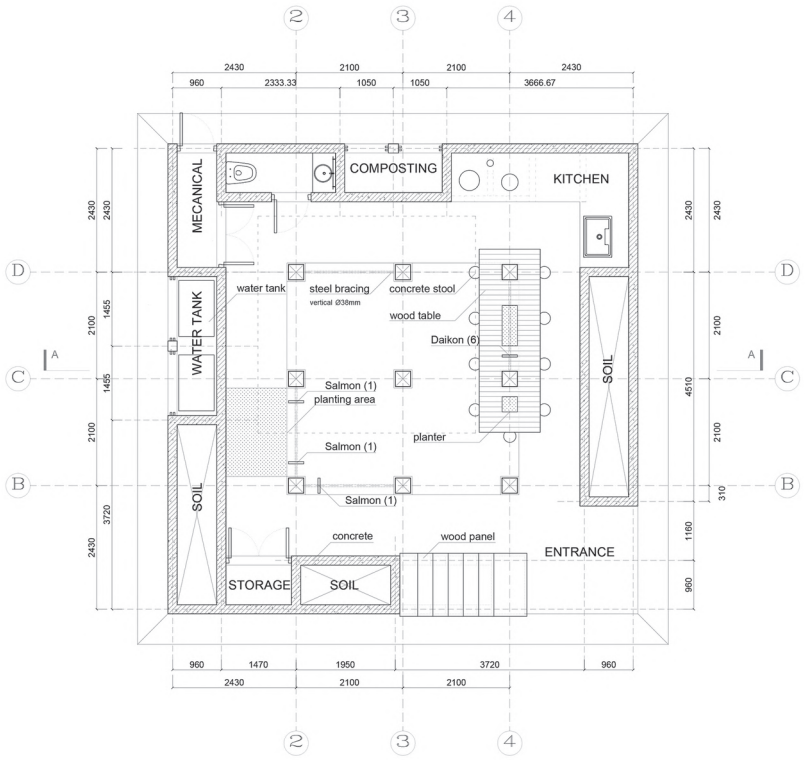
Descrizione fornita dagli architetti.
In risposta a un concorso internazionale di progettazione e costruzione, il team di progetto ha proposto un approccio tipicamente californiano che abbracciava molte idee ancora nuove in Asia, da dove proviene la maggior parte dei componenti. Queste idee californiane si sono formate in Nest We Grow, che è cresciuta da un interesse condiviso per i materiali che compongono l'ambiente di costruzione con particolare attenzione ai materiali rinnovabili.

Nest We Grow nasce dall’idea di uno studio di architettura giapponese, KKAA, e da un team di studenti laureati (provenienti da Cina, Stati Uniti e Taiwan) del *College of Environmental Design* della UC Berkeley. L'edificio è stato ideato per diventare un centro alimentare comunitario, costruito sull’isola di Hokkaido, sopra ad un ex allevamento di cavalli nel villaggio di Taiki.
Il concorso internazionale di progettazione e costruzione, nel quale la struttura ha ottenuto il primo premio, ricercava delle idee innovative ed ecocompatibili, volte a

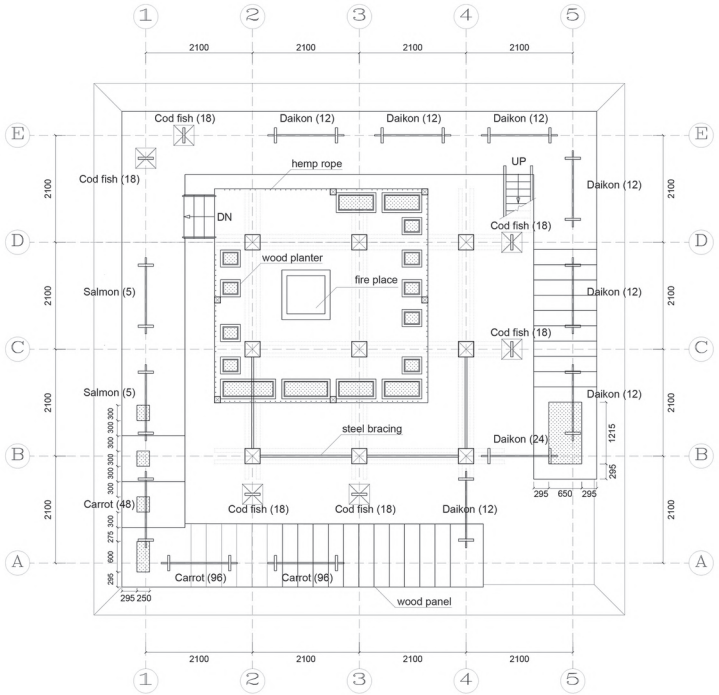
rispettare il sito e la cultura locale.
La struttura rappresenta una straordinaria vetrina per le costruzioni in legno.
La volontà degli architetti è quella di realizzare un edificio comunitario, adibito a centro alimentare, in grado di riunire la comunità per conservare, preparare e gustare i cibi locali in un'atmosfera accogliente e festosa che tocca tutti e cinque i sensi.
La costruzione pubblica aperta, in parte giardino e in parte cucina, rappresenta il risultato di due culture progettuali differenti, che introducono l'approccio californiano in un ambiente asiatico.
Infatti, su FuturArc, nell'articolo del 2016 *Nido che coltiviamo*, troviamo un interessante quesito: "proviamo a considerare come i materiali e le azioni modesti vengono abbracciati a Berkeley e come ciò funzionerebbe in una remota parte rurale del Giappone, nota per le sue condizioni meteorologiche estreme, rendendo omaggio al paesaggio agricolo giapponese fatto di campi, foreste e fiumi."

Nel 2014 il Nest We Grow ha vinto il *IV Annual LIXIL International design-build competition*. A differenza delle strutture costruite nei primi anni della competizione, questa è una struttura pubblica aperta. Il suo intento principale è quello di riunire le persone nella comunità, per conservare, preparare e gustare cibi locali nella cornice di Hokkaido, in Giappone.

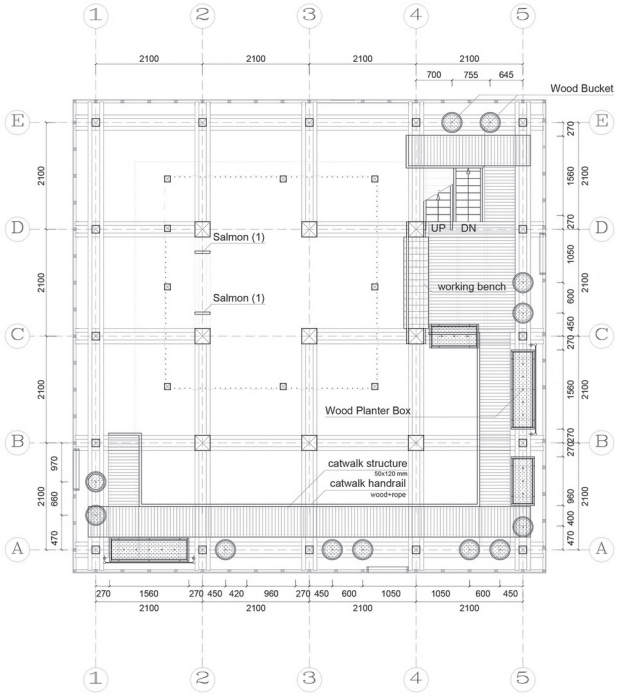
(Immagine) © Shinkenchiku-sha



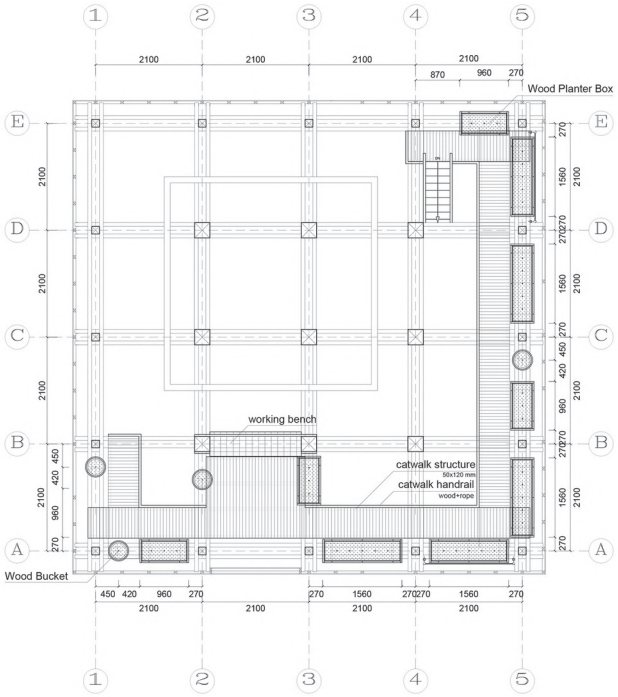
Pianta piano terra © Kengo Kuma & Associate



Pianta piano primo © Kengo Kuma & Associate



Pianta piano secondo © Kengo Kuma & Associate



0 5 m

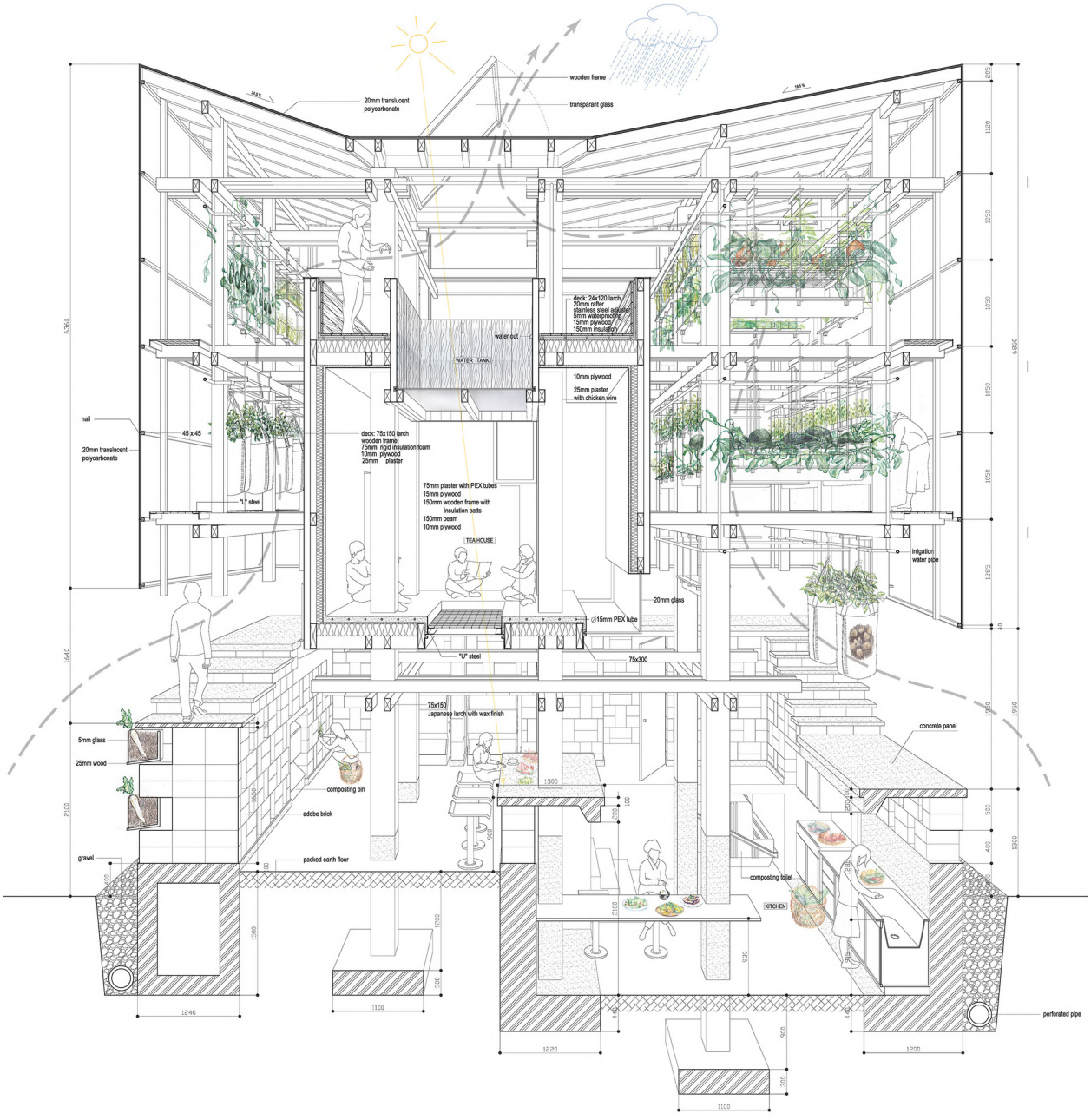
Pianta piano terzo © Kengo Kuma & Associate

Aspetti progettuali

Il team di studenti laureati, composto da due taiwanesi, due cinesi e un americano, ha cercato di esaminare quali elementi strutturali e materiali potremmo combinare per creare questa comunità e lo spazio orientato al cibo. È stato riconosciuto come i materiali e le azioni modeste siano celebrati a Berkeley e si volevano esplorare le loro implicazioni in Asia.
Nell'articolo dell'Architectural design school, viene riportata la spiegazione dei progettisti riguardo al Nest We Grow.
"La nostra ricerca è iniziata con le tecniche che troviamo prontamente in California, tra cui pareti in terra battuta e costruzione di balle di paglia. Abbiamo presentato queste idee alla ricerca di un edificio che avrebbe introdotto tecniche di costruzione rinnovabili, in un'area del Giappone che potesse trarre vantaggio da questi concetti. Ciò che abbiamo trovato è stato un apprezzamento per la difficoltà di applicare la tecnologia transnazionale in un nuovo ambiente.
Ci siamo inoltre concentrati su una tecnica di costruzione in legno pesante proveniente dagli Stati Uniti, che utilizza grandi sezioni di legno. In Giappone questo è stato tradotto nella *colonna composita*, che utilizza pezzi di legno più piccoli per generare una colonna più grande. È stato necessario un notevole sforzo per identificare un modo per unire i materiali, che è stato influenzato sia dalle pratiche di falegnameria locale, che dal mercato dei materiali giapponese. Inoltre, abbiamo avuto un notevole vincolo di tempo con l'intero processo di costruzione, che ha richiesto solo 6 mesi per essere completato.
La struttura del telaio in legno riproduce l'esperienza spaziale verticale di una foresta di larici giapponesi, a cui il cibo è appeso per crescere e asciugarsi. Una piattaforma per il tè nel mezzo del nido crea uno spazio di raccolta dove la comunità può godere visivamente e fisicamente del cibo attorno a un camino sommerso. Gli alimenti locali costituiscono l'elevazione del *nido*[181] quando le persone vedono la foresta di cibo che galleggia sopra la sagoma del terreno.
Il muro alla base dell'edificio, oltre a creare una micro topografia, aiuta a bloccare il vento invernale Nord-Ovest prevalente. Il nido sfrutta le lastre corrugate in plastica trasparente sulla facciata e sul tetto, consentendo l'ingresso della luce per le piante e riscaldando lo spazio durante i mesi più freddi, estendendo la fruibilità del nido. Sono presenti pannelli scorrevoli in facciata e tetto aperti per facilitare il movimento dell'aria attraverso la struttura durante l'estate e le parti più calde della giornata. La piattaforma per il tè si inserisce nel *nido*, mantenendolo nell'aria calda creata dalla pelle durante i mesi più freddi e in un'area arieggiata durante i caldi mesi estivi.
L'apertura della facciata consente all'edificio di incorporare l'ambiente naturale circostante nel clima interno, ma può anche essere chiuso per creare un *buffer* tra i due. Il tetto a forma di imbuto raccoglie l'acqua piovana e la neve si scioglie. L'acqua raccolta viene consegnata ai serbatoi che vengono poi utilizzati per irrigare le piante nel muro di cemento. La forma indica la capacità del *nido* di portare la

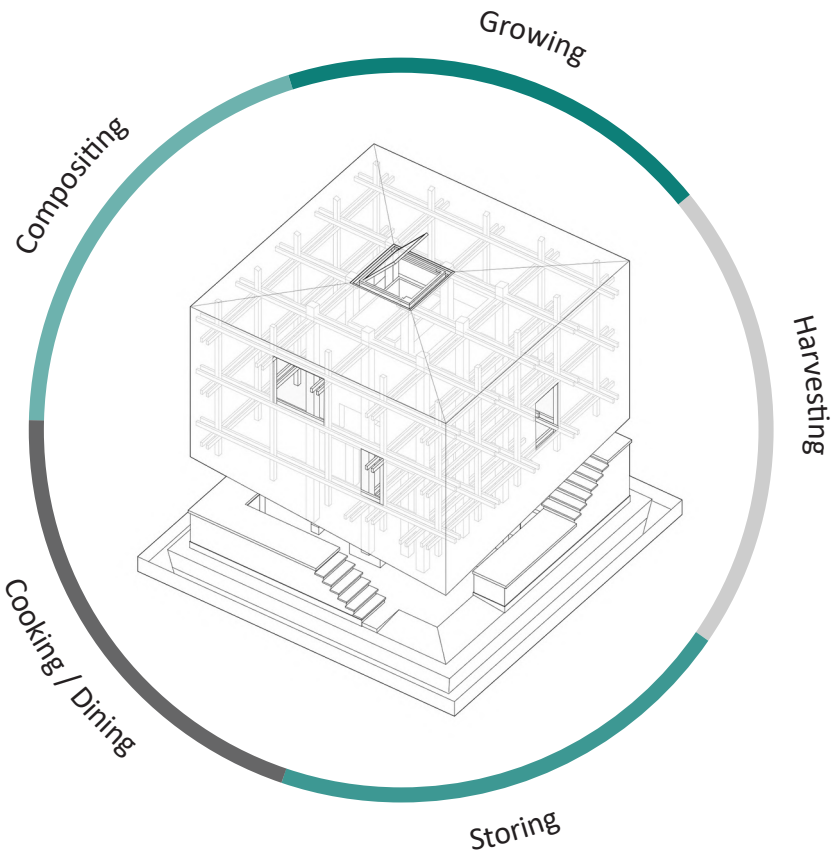
181 Il progetto Nest We Grow viene anche definito anche *Nido.*

natura sotto forma di aria, acqua e luce all'interno.
Il programma del *nido* viene deciso in base al ciclo di vita di questi alimenti locali: crescita, raccolta, conservazione, cucina/sala da pranzo e compostaggio, che riavvia il ciclo. Tutti i membri della comunità aiutano a completare ogni fase, consentendo alla struttura di diventare una piattaforma per l'apprendimento collettivo e attività di raccolta durante tutto l'anno. La partecipazione della comunità estende e completa il ciclo di vita degli alimenti locali, che è una relazione simbiotica."



Sezione prospettica © Kengo Kuma & Associate

© Shinkenchiku-sha



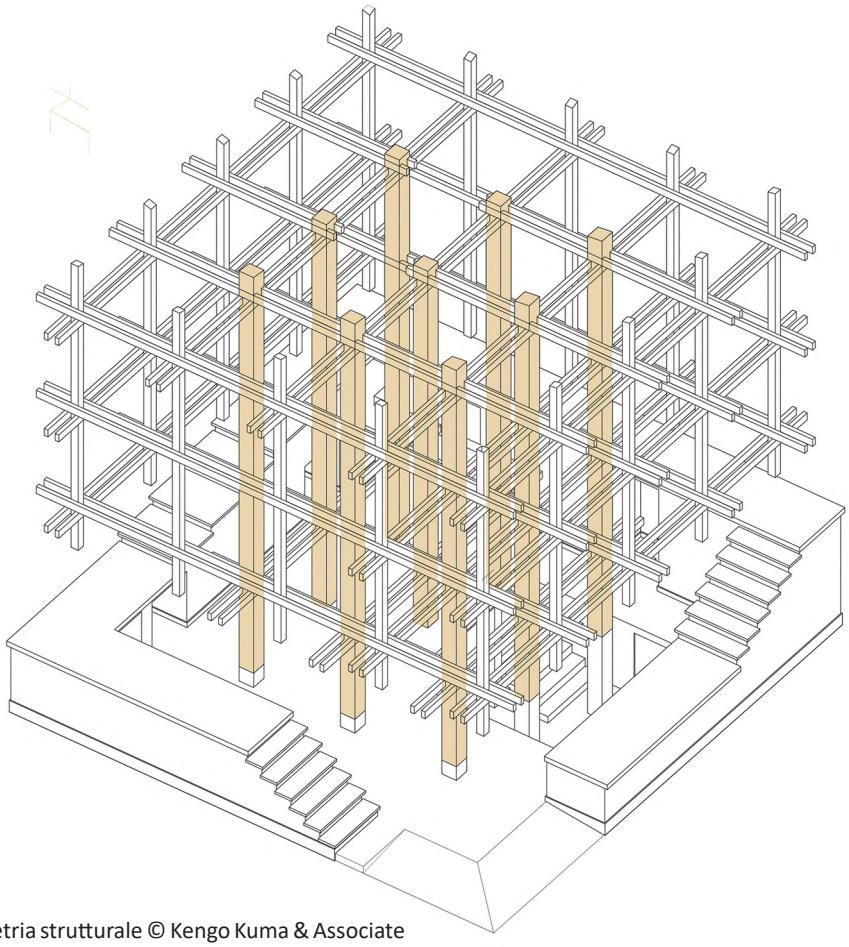
(Grafico) Life Cycle © Kengo Kuma & Associate

Economia e comunità

"C'è un'atmosfera naturale di una comunità solidale, che deriva in parte dagli orti comunitari che sono sparsi per i quartieri. [...] L'architettura di Berkeley parla di una tipologia costruttiva semplice, ma ben realizzata, attraverso l'*Arts and Crafts Movement* che è ancora prominente nella zona e mette in risalto l'artigianato tradizionale. Abbiamo cercato questo linguaggio per il nostro *design* per sfruttare i materiali e l'artigianato locale che si trovano ancora in Giappone", ha dichiarato Hsin-Yu Chen, membro del team di progettazione.
Un ulteriore aspetto interessante della struttura è che il *design* degli interni e dei mobili, come gli sgabelli in cemento e la panca in legno, sono stati realizzati utilizzando i materiali residui dal processo di costruzione della struttura portante.
Il riciclaggio della materia diviene un aspetto caratterizzante dell'edificio.
La tecnica costruttiva adottata e il livello di progettazione hanno consentito di completare l'intero processo di costruzione in soli 6 mesi.
L'approccio adottato consente di definire la costruzione come un processo di assemblaggio. Pertanto, l'edificio può essere sottoposto anche ad una futura fase di disassemblaggio, definendo un *end of life* circolare.

"We want to build a sense of community"

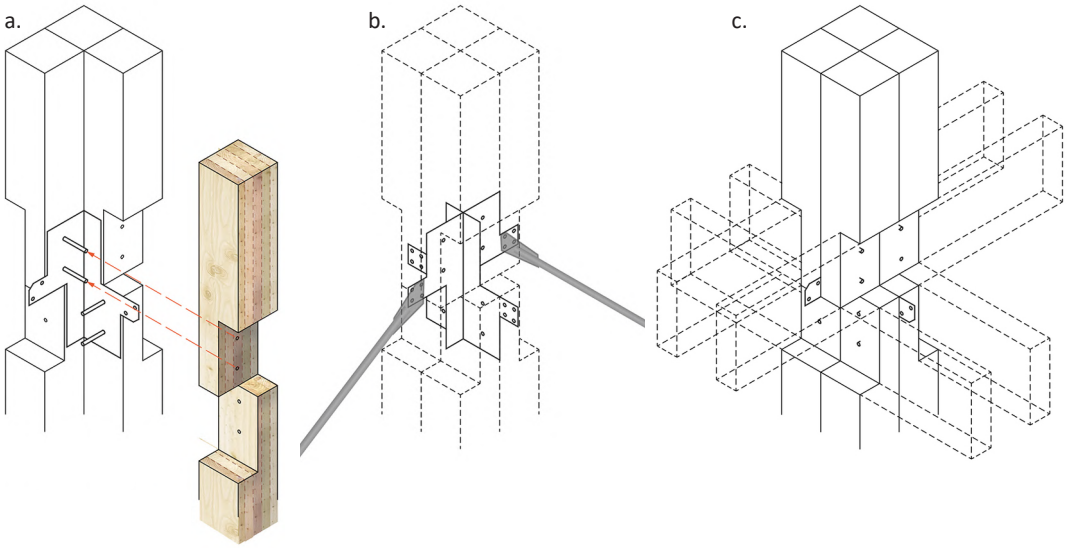
Kengo Kuma, studio di architettura giapponese



Assonometria strutturale © Kengo Kuma & Associate

La struttura in legno ***"imita l'esperienza spaziale verticale di una foresta di larici giapponesi".***

Kengo Kuma, studio di architettura giapponese



a. Compositive column

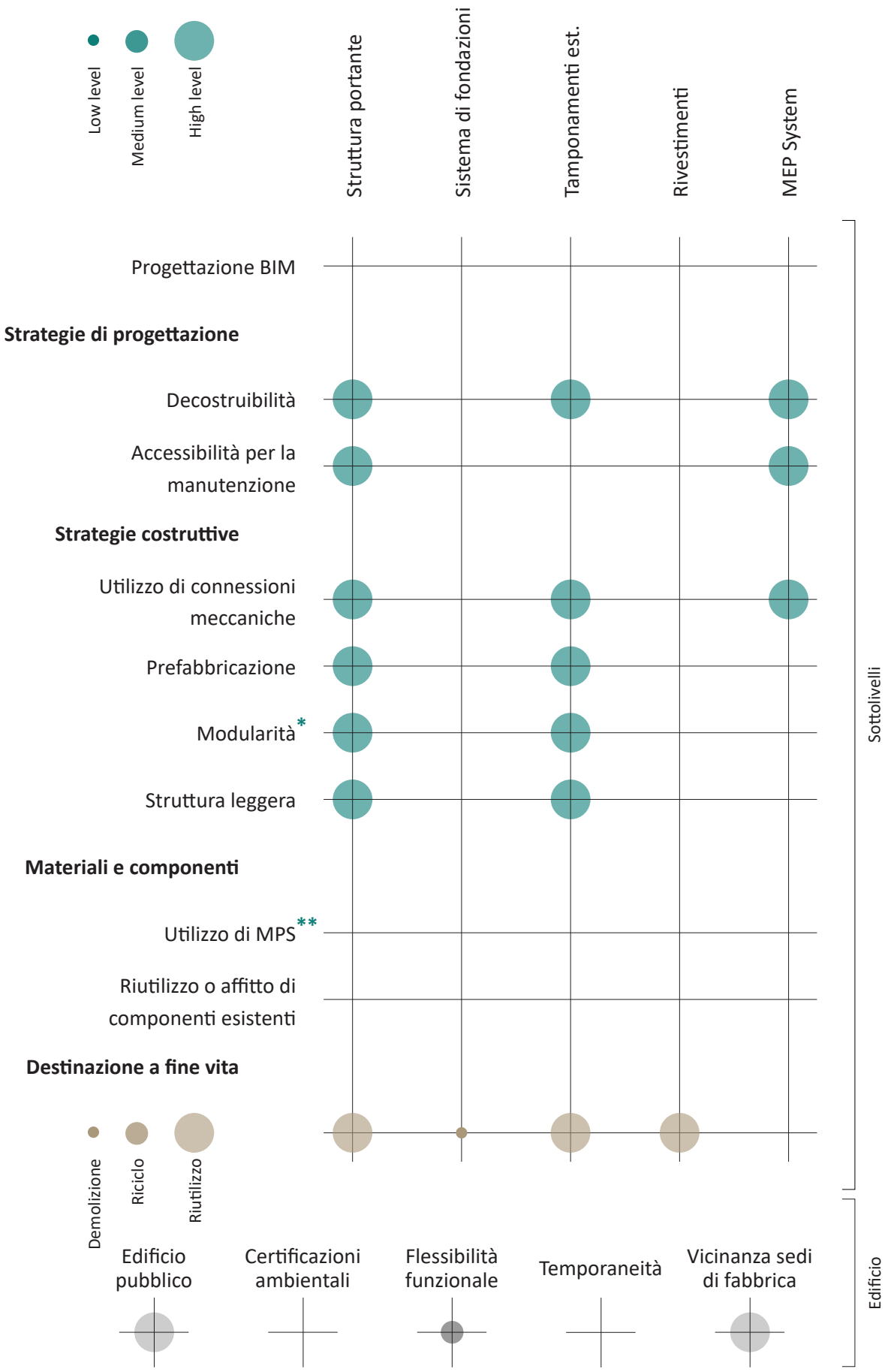
b. Steel plates connected to crossbracing

c. Moment connetion

La struttura

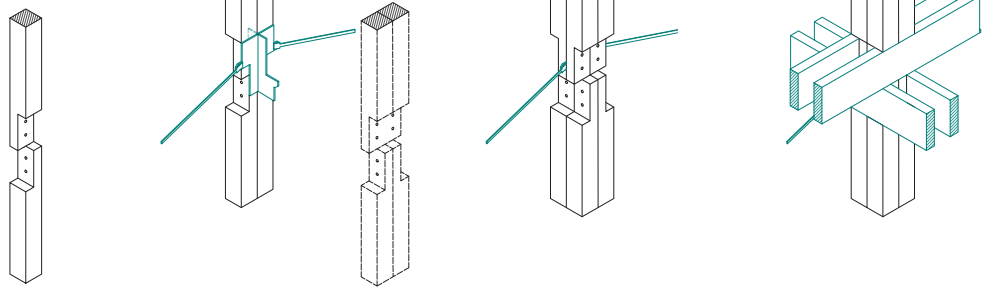
Il legno è il materiale principale che costituisce la struttura del Nest We Grow. Esso funge sia da materiale strutturale, sia da finitura per la maggior parte dell'edificio: legno lamellare per i pilastri e le travi, compensato per le superfici del pavimento e legname dimensionale per il fasciame utilizzato come passerelle.
I progettisti hanno optato per adottare una tecnica di costruzione in legno proveniente dagli Stati Uniti, caratterizzata da grandi sezioni di legno, per realizzare una colonna composita, che combina più pezzi di legno piccoli per formare una colonna più grande.
La struttura a 4 piani si trova su un muro di cemento strutturalmente isolato di circa 8 piedi di altezza che avvolge il piano terra e aiuta a proteggere il legno dall'umidità.
La sopraelevazione è caratterizzata da un reticolo di 9 pilastri compositi in larice lamellare di provenienza locale, ciascuno formato da 4 colonne di 150x150 mm, collegate da piastre di acciaio. La struttura reticolare di elementi che si intrecciano ricordano un nido, per tale motivo il progetto viene anche chiamato con questo nome.
Il metodo di unione degli elementi strutturali è stato modellato sulla base delle tradizioni di falegnameria autoctone e del mercato dei materiali giapponese.
Gli artigiani locali hanno intagliato due coppie di travi di 75x250 mm nelle colonne composite a distanze regolari. Questa tecnica deriva dalla tradizionale carpenteria giapponese, che aiuta a rafforzare la stabilità strutturale.

(Immagine) © Shinkenchiku-sha


Low level
Medium level
High level
Struttura portante
Sistema di fondazioni
Tamponamenti est.
Rivestimenti
MEP System
Progettazione BIM
Strategie di progettazione
Decostruibilità
Accessibilità per la manutenzione
Strategie costruttive
Utilizzo di connessioni meccaniche
Prefabbricazione
Modularità*
Struttura leggera
Materiali e componenti
Utilizzo di MPS**
Riutilizzo o affitto di componenti esistenti
Destinazione a fine vita
Demolizione
Riciclo
Riutilizzo
Sottolivelli
Edificio pubblico
Certificazioni ambientali
Flessibilità funzionale
Temporaneità
Vicinanza sedi di fabbrica
Edificio

Nest We Grow
Disassemblabilità

Di seguito viene riportato un nodo tecnologico significativo relativo al caso studio Nest We Grow, dello studio di architettura giapponese Kengo Kuma Architects, localizzato a Hokkaido, in Giappone.
Tale schematizzazione ha lo scopo di mettere in evidenza un nodo costruttivo che dimostra la disassemblabilità delle principali componenti strutturali dell'edificio.
In questo caso, viene riportato il nodo caratterizzante la struttura portante travi - pilastri.



Step 1

Il singolo elemento del giunto smontabile è costituito da due pezzi di legno sovrapposti, con una rotazione di 90° l'uno rispetto all'altro, che garantirà l'alloggiamento delle travi.

Step 2

Il modulo 1 viene replicato in modo speculare. A questo punto si inseriscono delle placche metalliche, con delle piccole ali laterali alle quali si agganciano i tiranti metallici.

Step 3

Il modulo 1 viene moltiplicato per 4 volte, sia nella parte superiore che in quella inferiore. Si ottiene, quindi, un pezzo unico di base quadrata.

Step 4

Arrivando all'ultimo step, si può osservare l'aggiunta delle travi nelle fessure ottenute dall'assemblaggio dei singoli moduli, come spiegato negli step precedenti.

* La struttura portante in legno massiccio è progettata per essere modulare. Il modulo si ripete sia verticalmente che orizzontalmente.

** Il riciclaggio della materia è un aspetto caratterizzante dell'edificio. Ad esempio, il *design* degli interni e dei mobili, come gli sgabelli in cemento e la panca in legno, sono stati realizzati utilizzando i materiali residui dal processo di costruzione della struttura portante.

(Tabella e grafico) Elaborazione a cura delle autrici

6.4.3 | Altri

Di seguito viene riportata una selezione di altri casi studio giapponesi, inseriti in quanto esempi di un approccio circolare alla progettazione, ma pubblicati online con scarso materiale tecnico di riferimento, utile per svolgere un'analisi più approfondita.

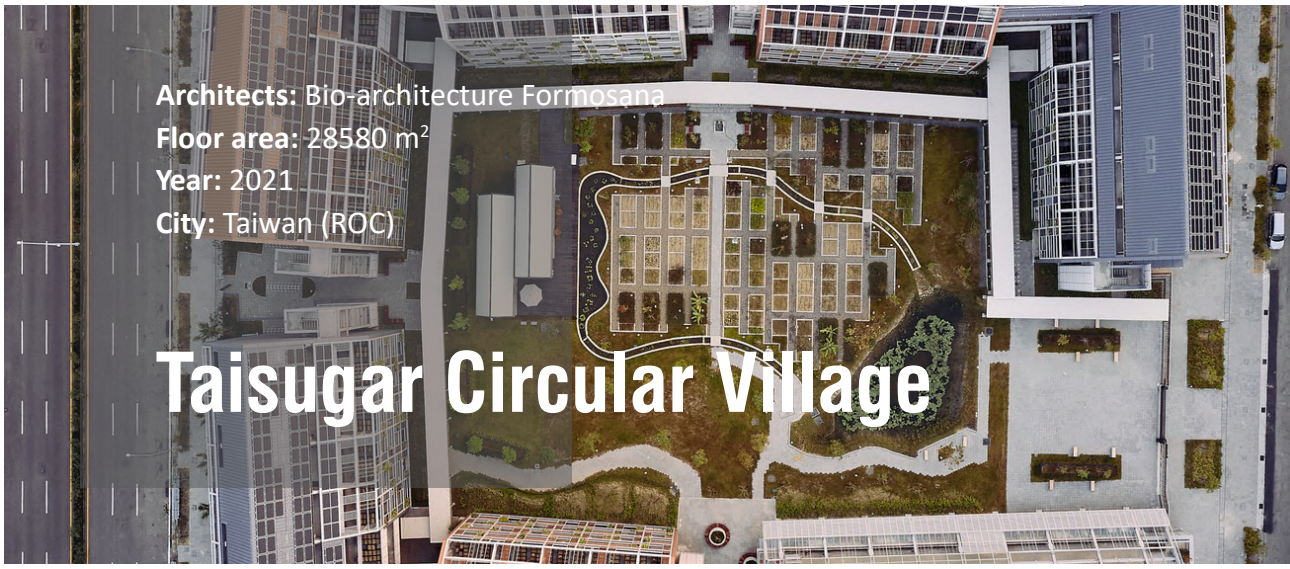
Il Sunny Hills shop, un intreccio di assi di legno, racchiude al suo interno un originale negozio di dolci all'ananas. L'architettura è ispirata ad un cesto in bamboo.
L'edificio, che si sviluppa su tre piani, è avvolto da un fitto reticolo di legno, ingegnoso elemento strutturale e di forte impatto architettonico.
Questo sistema, fa parte dall'antica tecnica ad incastro chiamata *Jiigoku Gumi*: consiste nell'incrociare elementi in legno verticali e trasversali della stessa lunghezza al fine di creare un reticolo, il tutto senza l'utilizzo di colle e chiodi.
Nel progetto di Sunny Hills il sistema viene modificato, più di 5000 assi sono assemblate con un'inclinazione di 30° e la loro sezione ridotta. Tale variazione consente di ottenere una maggior stabilità della struttura in legno e di far rivivere questa antica tecnica costruttiva in chiave contemporanea[182].

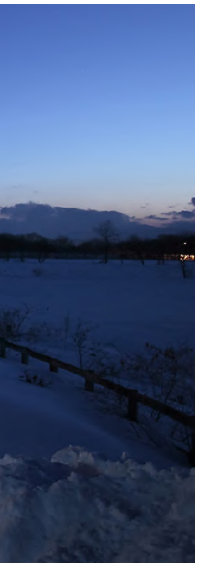
182 Archdaily, *Hibino Sekkei + Youji no Shiro, Sunny Hills shop*, 2014

Realizzare un'architettura organica come una foresta è l'idea alla base di questo caffé-ristorante giapponese che richiama il *Jenga*, un gioco da tavolo costituito da elementi di legno impilati a formare una torre.
La sala da pranzo del ristorante è racchiusa da una scatola di vetro di grandi dimensioni avvolta da una particolarissima e leggera struttura in legno. I blocchi di legno sono accatastati perpendicolarmente tra di loro sul piano orizzontale a formare una griglia, generando una sorta di pilastri cavi che si assottigliano verso il pavimento e che si aprono verso la copertura.
La costruzione si caratterizza, inoltre, per il suo ridotto impatto ambientale: i blocchi sono di legno comune di provenienza locale e privi di trattamenti speciali; il metodo costruttivo semplice e poco costoso permette lo smontaggio dell'edificio in caso di un suo spostamento e l'eventuale riciclaggio dei singoli materiali[183].

183 Archi lovers, KKAA, Kafe Kureon, 2011

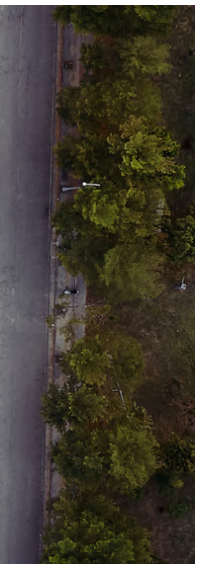
Architects: K. KUMA & Associates
Floor Area: 79 m²
Year: 2011
City: Taiki (JP)
Même


Architects: Bio-architecture Formosana
Floor area: 28580 m²
Year: 2021
City: Taiwan (ROC)
Taisugar Circular Village



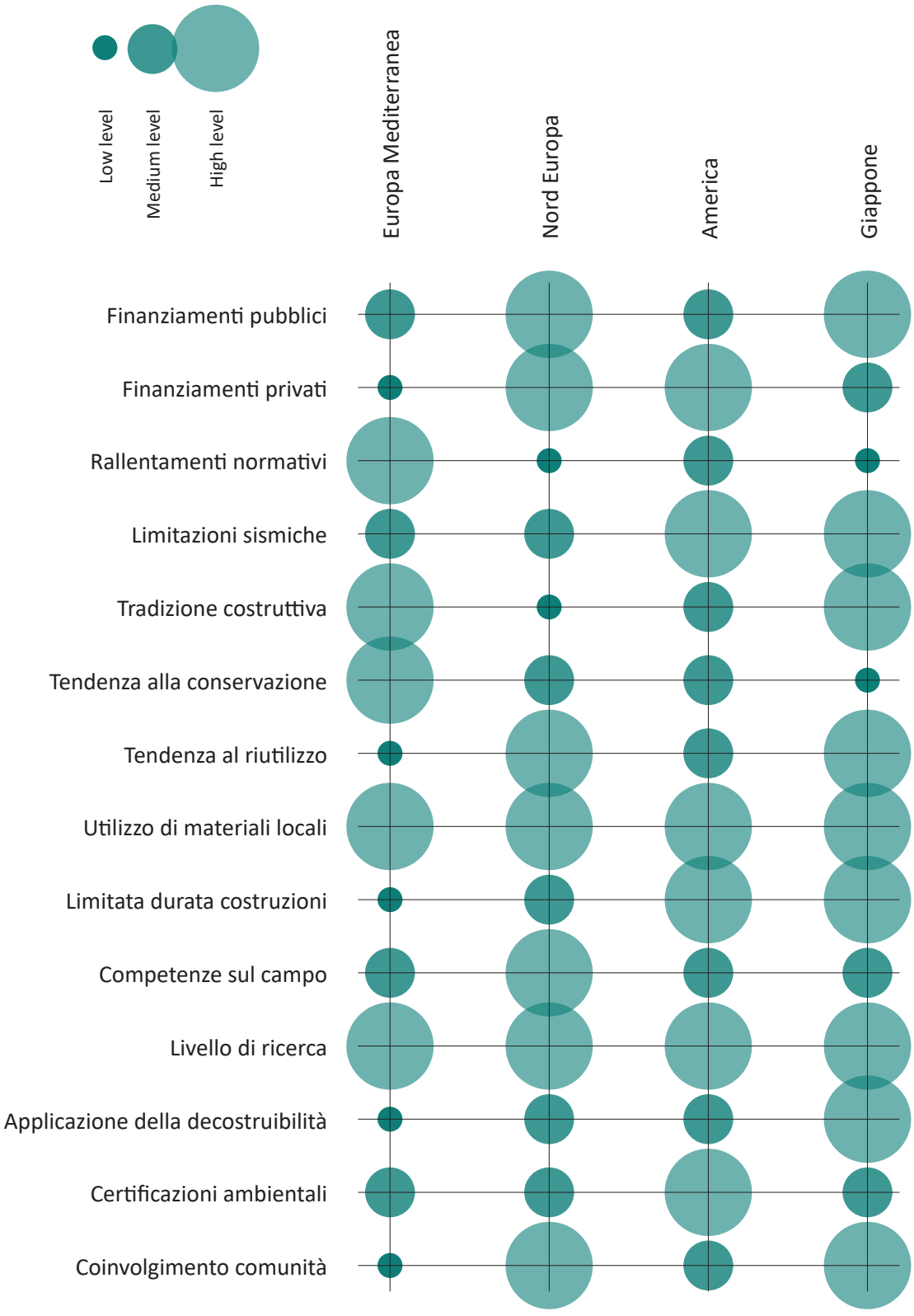
Même, ispirato allo stile abitativo tradizionale degli *Ainu*, è una casa sperimentale progettata per adottare soluzioni abitative innovative contro i climi rigidi.
Il telaio della struttura portante è in legno di larice giapponese ed è avvolto da un rivestimento in poliestere, che costituisce la pelle dell'edificio. La parte interna è costituita da una membrana in fibra di vetro. Tra questi due strati è stato inserito l'isolante: poliestere realizzato riciclando le bottiglie di plastica.
Le finestre, alcune finiture e la membrana interna possono essere rimosse: la vita all'interno della casa verrà monitorata, grazie all'istallazione di una serie di sensori che misurano la temperatura interna e l'umidità dell'aria, e gli elementi verranno sostituiti con diversi tipi di materiali al fine di mettere a punto quelli che garantiscono le prestazioni migliori.
"Casa in erba": il rivestimento esterno è costituito da erba e bambù; "Case della terra": il camino è ricavato nel terreno e il pavimento è costituito da stuoie[184].

184 Archdaily, *KKAA, Meme*, 2011



Il Circular Building è formato dai tre *circular blocks* dove sono ubicati gli alloggi, insieme ad altri blocchi che hanno diverse funzioni per la vita della comunità di questi blocchi abitativi. Nell'economia circolare, i materiali vengono riutilizzati e praticamente non si creano rifiuti. La fase di progettazione tiene conto dell'assemblaggio nella costruzione e della decostruzione dopo l'uso. Alcuni dei materiali utilizzati includono materiali riciclati e verdi. Ad esempio, il legno duro recuperato dai vecchi edifici fatiscenti di Tai Sugar è stato utilizzato come struttura principale per uno degli edifici del villaggio, la E-House. Per il DfD, come materiale strutturale è stato scelto l'acciaio anziché il cemento armato. Componenti edilizi modulari come persiane metalliche per la facciata, pannelli per pavimenti prefabbricati sono stati progettati col software BIM. Per soddisfare ulteriormente lo spirito dell'economia circolare, elementi come ascensore, illuminazione, mobili e sanitari sono stati affittati anziché acquistati[185].

185 Archdaily, *Bio-architecture Formosana, Taisugar Circular Village*, 2021



N.B. I concetti elencati in ordinata, qualificati per ogni area geografica posta in ascissa, sono citati come criteri base dell'applicazione in campo progettuale del *Design for Deconstruction*, in quanto la base culturale, normativa e sociale costituisce il contesto sul quale si può fondare l'innovazione tecnologica. Tali condizioni definiscono la dimensione entro la quale l'approccio del DfD possa essere applicato.

(Tabella) Elaborazione a cura delle autrici

Casi studio
Analisi e confronti

A seguito dell'analisi dei casi studio è emersa la forte influenza dei rispettivi contesti geografici e culturali sulle scelte tecnologiche adottate negli stessi.
Come strumento di confronto diretto, è stata elaborata una tabella conclusiva, riportata a sinistra, sulla stessa impostazione delle tabelle relative ai singoli casi studio: tramite un'analisi qualitativa si fa emergere il differente peso (*higher, medium, lower*), a seconda del contesto considerato, dei singoli principi riportati in ordinata. Questo metodo risulta utile per confrontare la maggiore o minore disponibilità di condizioni per l'applicazione dei principi del *Design for Deconstruction*.
È necessario premettere che questo lavoro di confronto non ha avuto come obiettivo quello di creare delle generalizzazioni su contesti geografici così ampi come quelli analizzati: le comparazioni che sono state svolte sono unicamente di tipo qualitativo e riferite a concetti estrapolati dal nostro studio, ridotto ad alcuni casi emblematici.

Alcuni aspetti rilevanti per il nostro lavoro sono stati oggetto di comparazione tra i diversi ambiti considerati: se tocchiamo, ad esempio, il tema dell'innovazione tecnologica, possiamo osservare una maggiore spinta in Paesi come l'Olanda, piuttosto che in altri Stati europei; se invece, ci concentriamo sull'importanza della tradizione, vediamo il Giappone come Stato capofila.
D'altra parte, questi due aspetti, seppur contrastanti, fanno di questi due contesti quelli più predisposti all'applicazione del *Design for Deconstruction*.

L'analisi svolta ci ha portato a riconoscere un tentativo di avvicinamento a questi temi sulla scala globale, anche se con modalità e strumenti diversi. Data questa riflessione, lo studio non si è limitato ai casi studio: nel capitolo successivo vengono riportati i contributi, sotto forma di intervista, tratti da un incontro avuto con diversi professionisti del settore, da quello del progetto fino a quello della ricerca.
In particolare, per quanto riguarda il settore del progetto, si è scelto di intervistare due rappresentanti di contesti molto distanti tra loro, ovvero quello italiano e quello giapponese: Mario Cucinella e Kengo Kuma.
Come si potrà leggere successivamente, ciò che è stato tratto da questo dialogo con i professionisti è stato un rafforzamento di quanto era stato introdotto in una prima analisi condotta da parte nostra.

Fonti:

Giappone

1. (Articolo di ricerca) M. CIPOLLINI et al. *Design, Production, and Installation of Wooden Walls for the Japan Pavilion at Expo 2015*, 2016 https://iris.unica.it/retrieve/handle/11584/189763.5/175317/buildings-06-00043%20%283%29.pdf
2. (Articolo) A. ILARICI per GreenPlanner Magazine, Architettura sostenibile, *rispetto per la materia e i materiali,* 2022 https://www.greenplanner.it/2022/04/14/architettura-sostenibile-new-bauhaus/
3. (Articolo) C. BRIVIO per The brief city, *Sostenibilità, demografia e architettura: alla Biennale di Venezia la storia della Takamizawa*, 2021 http://www.ppan.it/stories/sostenibilita-demografia-e-architettura-biennale-venezia-storia-della-takamizawa-house/
4. (Articolo) Hoppipolla, cultura indipendente per corrispondenza, *27 anni: L'età media delle case in Giappone*, 2022 https://hoppipolla.it/blog/27-anni-leta-media-delle-case-in-giappone/
5. (Articolo) NAGAEN, *Terremoti, tecnologie e prevenzione: il modello giapponese,* 2020 https://www.nagaen.it/2020/03/30/terremoti-tecnologie-e-prevenzione-il-modello-giapponese/
6. (Articolo) S. CARRER per ILSOLE24ORE, *In Giappone la sostenibilità fa i conti con le contraddizioni*, 2019 https://www.ilsole24ore.com/art/in-giappone-sostenibilita-fa-conti-le-contraddizioni-ACiBb8s?refresh_ce=1
7. (Documento) Ministero dello Sviluppo Economico, *Verso un modello di economia circolare per l'Italia. Documento di inquadramento e posizionamento strategico*, 2017 https://www.atecap.it/download/verso-un-nuovo-modello-di-economia-circolare.PDF
8. (Articolo) IGES, *Japan Partnership for Circular Economy Launches Website to Showcase Japan's Noteworthy Circular Economy Cases*, 2021 https://www.iges.or.jp/en/news/20210914
9. (Articolo) WEM! *DIGITALIZZAZIONE: LA NUOVA NORMALITÀ NELL'EDILIZIA?,* 2021 https://www.gowem.it/Digitalizzazione-edilizia-sostenibilit%C3%A0-bimobject
10. (Articolo) IlCarpentiere, *Archery Hall & Boxing Club, padiglioni gemelli,* 2019 https://www.ilcarpentiere.it/archery-hall-boxing-club/
11. (Magazine online) Archdaily, *Archery Hall & Boxing Club*, 2019 https://www.archdaily.com/444857/timber-structure-archery-hall-and-boxing-club-ft-architects/5273ca06e8e44ef4c20007a1-timber-structure-archery-hall-and-boxing-club-ft-architects-photo?next_project=no
12. (Articolo) A. Volpe per Firenze Architettura (1,2018), pp. 34-41, *FT architects. Oltre la tettonica e l'estetica,* 2018
13. (Articolo) SPOON TAMAGO, *An Architecture Firm Designed Their Own Office With A Sloping, Inhabitable Roof*, 2020 https://www.spoon-tamago.com/2020/04/05/studio-velocity-sanno-office/
14. (Magazine online) HHLLOO, *Various under-roof spaces created by one curved surface and rooftop space is like wrapped up*, 2020 https://www.hhlloo.com/a/Office-in-Sanno-1.html
15. (Magazine online) FUTURARC, *Nest We Grow,* 2016 https://www.futurarc.com/project/nest-we-grow/
16. (Magazine online) Archdaily, *Nest We Grow / Kengo Kuma & Associates + College of Environmental Design UC Berkeley,* 2014 https://www.archdaily.com/592660/nest-we-grow-college-of-environmental-design-uc-berkeley-kengo-kuma-and-associates
17. (Magazine online) Archilovers, *Cafè Kureon* https://www.archilovers.com/projects/51635/cafe-kureon.html
18. (Magazine online) Archdaily, *Archery Hall* https://www.archdaily.com/444857/timber-structure-archery-hall-and-boxing-club-ft-architects

INTERVISTE

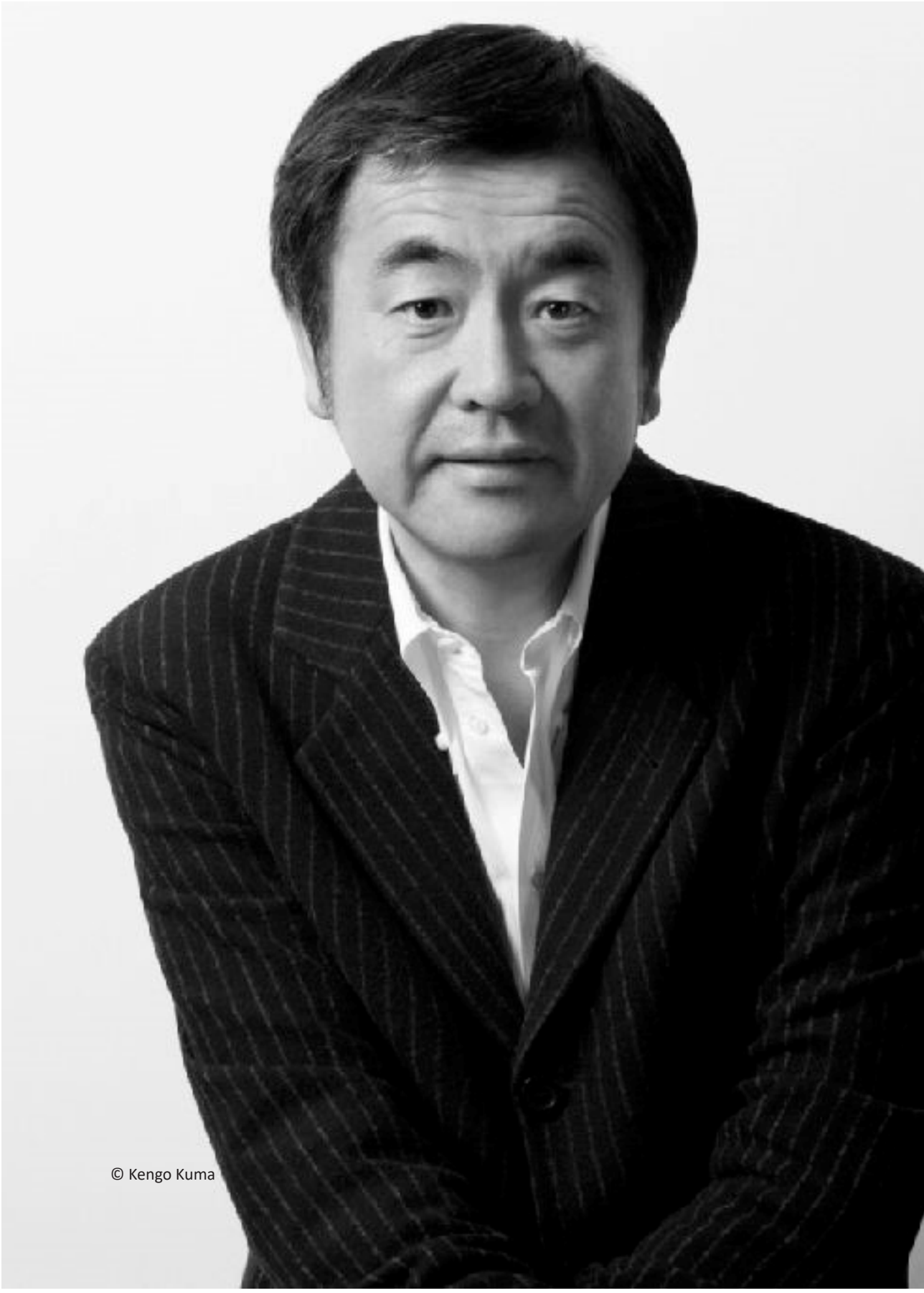
© Mediocre Studio

7.1 | PROGETTO (JP). Kengo Kuma & Associates

7.2 | PROGETTO (IT). Mario Cucinella Architects

7.3 | RICERCA. Ing. Menapace Stefano

07



© Kengo Kuma

7.1 | PROGETTO (JP). KENGO KUMA & ASSOCIATES

Lo studio giapponese Kengo Kuma & Associates è stato fondato nel 1987 da Kengo Kuma, definito uno dei più importanti e significativi architetti giapponesi contemporanei. Il primo nome dell'Atelier, fondato a Tokyo nell'87, era Spatial Design studio, successivamente rinominato con il nome che tutti noi conosciamo di Kengo Kuma & Associates, ad oggi con una sede anche a Parigi.
La poetica architettonica lega l'architetto Kuma ai materiali, declinandoli in funzione della loro capacità emotiva, connessa alle caratteristiche costruttive intrinseche e agli insegnamenti della tradizione giapponese. Oltre al legno, tra i materiali alternativi prediletti e spesso utilizzati da Kuma, si ricordano la pietra, la ceramica, il bambù e la plastica. Infatti, oltre all'evidente e marcata sperimentazione progettuale, nei progetti di Kuma è sempre presente la profonda relazione con la tradizione giapponese.
Per Kuma è, inoltre, fondamentale lo studio del luogo, al fine di integrare l'opera nel suo contesto, affinché non ne turbi l'equilibrio, ma ne risulti altresì una naturale derivazione. Come ha dichiarato lo stesso Kuma, la costruzione diventa così "un ambiente totale in cui tutto si dissolve, dove non c'è disarticolazione degli spazi, dove i confini scompaiono".

Kengo Kuma è "impegnato da anni in una seria critica a quello che definisce il *metodo del calcestruzzo*, nel desiderio di trovare un'alternativa all'uso di questo materiale che *governa* il mondo"[186].

186 Treccani

A Kengo Kuma sono stati attribuiti nel tempo numerosi riconoscimenti, tra cui: l'Architectural Institute of Japan (1997); lo Spirit of Nature Wood Architecture Award in Finlandia (2002); l'International Architecture Award for the BestNew Global Sesign (2007); l'onorificenza di Officier de l'Ordre des Arts et des Lettres della Repubblica Francese (2009)[187].

187 Floor Nature, Architecture & Surfaces. *Kengo Kuma, biografia*. 2022

Durante il nostro progetto di tesi abbiamo avuto l'occasione di entrare in contatto con lo studio Kengo Kuma & Associates. L'intervista proposta all'architetto Kengo Kuma, tramite l'architetto partner Anteo Taro Boschi Sanada, ci ha permesso di avere un confronto diretto con le tecnologie e gli approcci progettuali adottati dallo studio in relazione al tema del *Design for Deconstruction*.
La scelta di intervistare lo studio Kengo Kuma & Associates è nata da diverse considerazioni. In primis è riconosciuto come uno dei più autorevoli studi professionali giapponesi: nel corso della tesi, abbiamo svolto alcune considerazioni rispetto a diversi casi studio di loro realizzazione; per quanto riguarda il legame con gli argomenti da noi trattati, il contributo offertoci dallo studio Kengo Kuma & Associates si è rivelato prezioso per conoscere quali fossero i principi che muovono i progettisti in un contesto culturale e geografico completamente differente da quello italiano.

Anteo Taro Boschi Sanada, Architect.
Si laurea in Architettura al Politecnico di Milano e alla Harvard Graduate School of Design. Dal 2012 è membro dello studio Kengo Kuma & Associates e ne è diventato partner nel 2020.
Al momento segue numerosi progetti in Europa e Asia.

ANALIZZANDO CASI STUDIO RELATIVI ALL'AREA GEOGRAFICA GIAPPONESE, ABBIAMO PORTATO AVANTI UN'ANALISI SU COME IL CONTESTO CULTURALE ESISTENTE DETERMINA UN APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE IN CUI LO SMONTAGGIO E L'USO DI CONNESSIONI A SECCO FANNO PARTE DELLA PRATICA COMUNE. QUESTO ACCADE ANCHE IN ALTRI CONTESTI CHE ABBIAMO ANALIZZATO, COME QUELLO DEL CANADA. COME VEDE IL LEGAME TRA TRADIZIONE E INNOVAZIONE NEL CAMPO DEL DESIGN?

Anteo Taro Boschi Sanada, Architect. "Sicuramente c'è un nesso tra innovazione e tradizione. Confrontandomi con Kuma, si faceva riferimento al fatto che in Giappone tutto è modulare nella costruzione; c'è sempre un'attenzione a come le varie parti del progetto sono connesse. La stessa modularità permette che tante di queste parti possano essere riutilizzate. In Giappone, ad esempio, quando si trasloca ci si porta dietro le porte o i *tatami*. Rispetto a un contesto come quello italiano, in cui l'edificio rimane quello e si portano via solo gli oggetti di arredo, in Giappone, parti dell'edificio stesso sono oggetto di trasloco: c'è già un approccio sia al costruito che alla progettazione che vede questo tipo di situazioni.

Gli oggetti realizzati con l'uso del modulo del *tatami*, come ad esempio le porte (*shoji*) in molte situazioni, sono elementi che possono essere riutilizzati in futuro. Si tratta di un aspetto culturale interessante per sottolineare le differenze tra Oriente ed Occidente in questo ambito.

L'architettura giapponese è un'architettura leggera, nella quale si presta grande attenzione alle giunzioni, in cui gli elementi sono spesso concepiti per appartenere a contesti nuovi nel futuro. Tante architetture giapponesi non sono originarie del posto dove sono costruite: possono essere acquistate e spostate a piacimento. Ci sono parti di complessi templari o ville imperiali, risalenti al passato, che sono state smontate e rimontate altrove tali e quali, in quanto il tipo di costruzione permette questo riutilizzo. Questo succede molto spesso, ad esempio, anche con le case da the".

QUALE PENSA POSSA ESSERE IL CONTRIBUTO DELLA SOSTENIBILITÀ NEL FUTURO DEL DESIGN? TRA I POSSIBILI PERCORSI CHE SI POSSONO AFFRONTARE, AD ESEMPIO, CITIAMO IL L'UTILIZZO DELLA MPS, L'UTILIZZO DI MATERIALE LOCALE, LA SCELTA DI CONNESSIONI A SECCO, LA LOCAZIONE DI COMPONENTI ESISTENTI. QUESTI TEMI RAPPRESENTANO UN PUNTO NODALE NELLE VOSTRE SCELTE PROGETTUALI?

"Nel nostro ufficio, il tema della sostenibilità del *design* è una

priorità. L'utilizzo di materiali naturali e appartenenti al contesto di provenienza locale sono, ugualmente, degli aspetti molto importanti, insieme alla scelta di materiali che permettano un riciclo o un riutilizzo più semplici.
Si tratta di aspetti relativi a tecniche costruttive che erano già presenti in passato, alle quali però, oggi, si attribuisce una maggiore virtuosità in quanto temi particolarmente importanti per la situazione che stiamo vivendo attualmente.
Utilizzare materiali rinnovabili o locali è un qualcosa che è sempre stato fatto in maniera sistematica, ma oggi non è così scontato: in un contesto così globalizzato come quello attuale, diventa un approccio quasi eccezionale".

TRA QUESTI PRINCIPI ABBIAMO MENZIONATO LA DECOSTRUIBILITÀ. NELLA VOSTRA ESPERIENZA, LA DECOSTRUIBILITÀ VIENE PROPOSTA DAI CLIENTI O FA PARTE DEL VOSTRO BAGAGLIO DI PARTENZA?
INOLTRE, SE C'È UNA RICHIESTA ESTERNA, LE RICHIESTE ARRIVANO PIÙ DAL SETTORE DEI SERVIZI O DAL SETTORE RESIDENZIALE?

"Per quanto riguarda il tema della decostruibilità, a volte si tratta di una richiesta del cliente.
Per il nostro studio, è un concetto molto importante: si cerca sempre di realizzare edifici che possano essere facilmente smontati e ricostruiti, oppure facilmente riciclati. Si tratta di un qualcosa che va oltre la richiesta del committente".

PARLANDO DI DECOSTRUIBILITÀ, QUANTO CONTANO MODULARITÀ E PREFABBRICAZIONE NELLL'APPLICAZIONE DEL DESIGN FOR DECONSTRUCTION?

"La modularità è importante, ma non la definirei essenziale per ricostruire o decostruire un edificio: è importante garantire l'assemblabilità o disassemblabilità e la modularità può facilitare questi processi.
Se nella struttura modulare ci sono elementi prefabbricati è più semplice, ma non essenziale. Si è parlato del fatto che, in Giappone, partendo dalla dimensione base del *tatami*, non si affronta solo il tema della modularità, ma dell'adattabilità.
La prefabbricazione in sè non è un elemento fondamentale per poter ricostruire o riassemblare un edificio. In Giappone, il sistema modulare è basato sulla dimensione base del *tatami*, che però non è perfetto: si deve adattare sul sito. Il costruttore medio è molto esperto, lavorando sempre sullo stesso modulo, nell'adattare o nello spostare leggermente alcuni elementi.
La fondamentale proprietà che deve avere un sistema, nel contesto giapponese, per essere riassemblato o riutilizzato, è essere adattabile: ogni

situazione è leggermente diversa. Ci sono, ad esempio, tolleranze differenti.
Se lavoriamo con il legno, che è un materiale molto duttile, è facile parlare di adattabilità; se invece parliamo di elementi che escono perfetti dalla fabbrica, al millimetro, inserirli in una struttura di legno può non essere così semplice.
La prefabbricazione perfetta non funziona perfettamente come l'adattabilità nel sito. Nella tradizione giapponese, la prefabbricazione si traduce in una produzione artigianale di un modulo di base, adattato alle specifiche esigenze del caso".

NEL CORSO DEL LAVORO DI RICERCA È EMERSO CHE LO SVILUPPO DELL'AMBIENTE DI LAVORO BIM RENDA PIÙ IMMEDIATA LA COMUNICAZIONE E PIÙ CONSAPEVOLI LE SCELTE TECNOLOGICHE. IL PROGETTO INTEGRATO, ALL'INTERNO DEL BIM, VIENE INTRODOTTO SOLO A SUPPORTO DELLA COLLABORAZIONE CON COMPETENZE SPECIFICHE O A MONTE DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE?

"La tecnologia BIM aiuta, ma, nel nostro caso, più a un livello di costruzione che non di *design*. Il modo di fare *design*, contiene già dei ragionamenti relativi alla smontabilità e possibilità di riciclo.
Si tratta di un sistema di supporto che viene introdotto successivamente per ottimizzare problematiche sorte in fase di progetto, in relazione alla collaborazione delle varie competenze. Quando si arriva a tematiche come quelle, ad esempio, impiantistiche, si adatta un progetto che era già stato sviluppato perchè fosse flessibile".

Il progetto Nest We Grow, a Hokkaido, e altri casi studio analizzati nel corso del lavoro di ricerca.

PER QUANTO RIGUARDA IL PROGETTO NEST WE GROW, OLTRE ALLA NECESSITÀ DI BLOCCARE I FORTI VENTI LOCALI, QUAL È IL MOTIVO PER CUI A È STATO PROGETTATO UN BASAMENTO IN CEMENTO, PIUTTOSTO CHE CON UN'ALTRA TECNICA MASSICCIA SMONTABILE? PARLANDO DI FONDAZIONE, COME FUNZIONA IL COLLEGAMENTO CON I PILASTRI PORTANTI?

"Il Nest We Grow era un'architettura di tipo sperimentale, in fase di concezione, che è stata realizzata con tecniche tradizionali, inclusa anche la fondazione. L'edificio non era stato pensato come smontabile, ma, una volta che si presenterà la necessità di smontarlo, questo potrà essere smontato completamente, eccetto le fondazioni".

ABBIAMO, INOLTRE, ANALIZZATO IL CASO STUDIO KAFE KUREON, SITUATO A TOYAMA. LA TECNICA COSTRUTTIVA BASATA SUL GIOCO DEL JENGA IMPLICA LA DECOSTRUIBILITÀ. TUTTAVIA, CREA LIMITI ALL'ALTEZZA DELL'EDIFICIO? SECONDO LA SUA ESPERIENZA, QUESTA PARTICOLARE TECNICA DI IRRIGIDIMENTO STRUTTURALE PUÒ ESSERE APPLICATA A STRUTTURE PIÙ GRANDI? ABBIAMO OSSERVATO L'APPLICAZIONE DEGLI STESSI PRINCIPI NELL'INGRESSO DELLA CASA VISION, PER LA MOSTRA DI TOKYO DELL'ANNO 2016. QUESTO SIGNIFICA CHE LO SMONTAGGIO COMPLETO PUÒ ESSERE REALIZZATO SOLO SU STRUTTURE TEMPORANEE O SU MOSTRE CHE NON DEVONO SOSTENERE CARICHI SPECIFICI?

"I regolamenti edilizi, il fatto che delle persone debbano abitare un edificio o che questo sia solo un padiglione sono dei punti chiave che rappresentano degli ostacoli di tipo strutturale e relativi alla decostruibilità.

Ovviamente ci sono edifici, come il Botanical Pavilion e il Kafe Kureon, che essendo limitati come scala, dimensioni, altezza e destinazione d'uso, permettono di poter sperimentare ed osare di più dal punto di vista della struttura e del *design*. Una volta che tali principi funzionano non è detto che non possano essere riutilizzati su scala più grande.

Kengo Kuma utilizza questi tipi strutture e padiglioni per testare alcune soluzioni che verranno poi applicate, tali e quali o rivisitate, per poter passare le varie fasi di approvazione del progetto, su altri progetti futuri.

Il Botanical Pavilion, realizzato in Australia, sfrutta come materiali costruttivi i legni di diverse specie arboree presenti all'interno dell'orto botanico stesso, per le quali si era previsto questo tipo di utilizzo alla fine della loro vita.

L'idea rimane quella di creare dei prototipi a scala ridotta, con determinate caratteristiche (senza delle funzioni specifiche, concepite come strutture temporanee e che non debbano sottostare a regole severe) per poi riutilizzarle, se funzionano, in altri progetti.

Rappresentano del materiale di studio, in quanto molto più facili, vista la scala ridotta e gli usi limitati, ottimi per poter proporre qualcosa di diverso che non sarebbe possibile con i regolamenti piuttosto stringenti dal punto di vista della sismica, dell'antincendio, dell'accessiilità e dell'adattabilità".

Rispetto a quanto detto nell'intervista, al fine di integrare le informazioni fornite durante la trattazione del caso studio Nest We Grow a Hokkaido, l'architetto Anteo Taro Boschi Sanada ci ha fornito delle immagini, di cantiere e di dettaglio, non reperibili online, relativamente all'attacco tra fondazione e pilastri portanti. Ciò ha permesso una maggiore chiarezza rispetto alla presenza di un cordolo in calcestruzzo che raccorda le due parti, confermando la disassemblabilità della parte superiore in legno massiccio, a differenza della parte inferiore.
Vengono riportate di seguito.

(Immagine) Nodo fondazione-pilastro
© *Kengo Kuma & Associates*

(Immagine) Progettisti in cantiere
© *Kengo Kuma & Associates*

(Immagine) Progettisti in cantiere
© *Kengo Kuma & Associates*a

7.2 | PROGETTO (IT). MARIO CUCINELLA ARCHITECTS

Mario Cucinella, Architetto e Designer, vincitore di numerosi premi internazionali, è il fondatore dello studio internazionale MC A - Mario Cucinella Architects, nato a Parigi nel 1992, che oggi ha sede a Bologna e Milano.

MC A, oggi, si avvale di un team internazionale composto da più di cento collaboratori, che possiede una solida esperienza nella progettazione architettonica che integra strategie ambientali ed energetiche, e che porta avanti le ricerche sui temi della sostenibilità secondo un approccio olistico.

Nel 2015, Cucinella ha fondato il centro di formazione SOS - *School of Sustainability*. SOS è un'esperienza integrata di educazione, pratica e ricerca volta a costruire una cultura della sostenibilità.

L'impatto e il significato del suo lavoro, sia ambientale che sociale, come architetto ed educatore, sono stati riconosciuti in tutto il mondo e più recentemente (2017) con l'*Honorary Fellowship Award* dell'American Institute of Architects (AIA) e dal Royal Institute of British Architects (RIBA) che gli ha conferito la loro prestigiosa *International Fellowship* (2016).

Nel 2018 è Curatore del Padiglione Italia alla 16° Mostra Internazionale di Architettura di Venezia con Arcipelago Italia, mostra-progetto dedicata alle aree interne del Paese.

Nel 2017 inizia l'attività di Designer, lavorando con aziende italiane di eccellenza e nel 2019, in occasione della Milano Design Week all'interno del Brera Design District, presenta la collezione di design Building Objects.

Per il nostro lavoro di ricerca nell'ambito della tesi, abbiamo avuto la possibilità di intervistare due membri del team Mario Cucinella Architects.

In primo luogo, la prima parte dell'intervista, svolta con l'architetto e direttrice R&D (*Research and Development*) dello studio Mario Cucinella Architects, Valentina Porceddu, ci ha permesso di avere conferma di alcuni dati relativi all'economia circolare e all'architettura disassemblabile nel contesto italiano, facendo riferimento a diversi documenti informativi citati nel corso del nostro lavoro di ricerca.

La seconda parte dell'intervista, il cui interlocutore è stato l'architetto e project director Michele Roveri, ci ha permesso di fare chiarezza su alcuni elementi specificamente tecnici del progetto Iperceramica Headquarters a Fiorano Modenese, caso studio analizzato all'interno del capitolo 6, come riferimento all'innovativa prassi decostruttiva che inizia a prendere piede anche in Italia.

Michele Roveri, Architect, Project Director.
Si laurea in Architettura nel 2004 e dallo stesso anno comincia la collaborazione con MCA. Dal 2015 collabora stabilmente con MCA col ruolo di responsabile di progetto occupandosi della progettazione di svariati concorsi e commesse.

Valentina Porceddu, Architect, R&D Director.
Si laurea in Architettura nel 2014 al Politecnico di Torino e dopo 2 anni di esperienza presso altri studi professionali inizia la sua collaborazione con MCA, col ruolo di direttrice del settore Ricerca e Sviluppo presso la sede di Bologna.

SE ESISTONO, QUALI SONO LE SPINTE CULTURALI E I FATTORI CHE PORTANO ALL'APPLICAZIONE DELL'ECONOMIA CIRCOLARE E DEL DISASSEMBLAGGIO NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI? CI SONO INCENTIVI ECONOMICI?

Valentina Porceddu, Architect, R&D Director. "Il settore delle costruzioni è uno dei più rilevanti per quanto riguarda gli impatti del fine vita, incidendo per il 35% sul totale dei rifiuti prodotti in ambito UE[188], dove è il maggior produttore di rifiuti in termini di massa, con 374 milioni di tonnellate generate (2016)[189]. Gli aspetti economici si concretizzano, più che in incentivi, in costi che si vogliono contenere, quali ad esempio i costi di avvio a discarica e smaltimento, che rappresentano una voce non trascurabile rispetto ai costi complessivi di un'opera. Gli incentivi ad un cambio di rotta sono, oggi, soprattutto normativi, e in parte derivanti da schemi di certificazione adottati su base volontaria (es: LEED).
Nel senso più ampio, l'applicazione dei principi dell'economia circolare è stata promossa con il Piano di Azione per l'economia circolare[190], che sottolinea, tra gli altri aspetti, l'importanza di un'estensione del ciclo di vita degli edifici, la riduzione dell'impronta ecologica dei materiali, e così via. Su questo ultimo aspetto, molte aziende e fornitori si sono nel tempo attrezzate per fornire certificazioni di prodotto o di filiera, ad esempio attestanti il contenuto di riciclato pre e post-consumo o le emissioni incorporate (tramite EPD, *Environmental Product Declaration*).
Tale spinta è il risultato di una necessità di mercato, ossia rendere il prodotto più appetibile per un impiego in progetti che seguono schemi di certificazione. Tuttavia,occorre una certa dimestichezza con questi temi, sia lato progettisti che lato cliente: il proliferare di certificazioni non è necessariamente sinonimo della sostenibilità dell'intervento del suo insieme; la presenza di una certificazione che attesta una performance non dice in realtà quasi mai nulla circa il confronto tra tale performance e un *benchmark* (in altri termini: il valore di contenuto di riciclato è più o meno virtuoso della media degli altri prodotti analoghi?).
Senza dimenticare che il riciclo non è l'opzione prioritaria, per quanto sicuramente virtuosa, nel contenimento degli impatti dei rifiuti.
Focalizzandosi sul fine vita, l'Unione Europea ha riconosciuto la necessità di ridurre la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione (CDW) con la direttiva DIRETTIVA 2008/98/CE[191]: entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi deve essere aumentata fino a un minimo del 70% in peso. Per traguardare questo obiettivo, occorre necessariamente passare per un diverso modo di progettare e costruire gli edifici, tale da rendere, ove possibile, le componenti dell'edificio disassemblabili e favorire la separazione di parti matericamente

188 COM(2020) 98 final

189 ETC/WMGE Report 1/2020: Construction and Demolition Waste: challenges and opportunities in a circular economy

191 DIRETTIVA 2008/98/CE

190 COM(2020) 98 final

eterogenee (demolizione selettiva), che sarebbero altrimenti classificate come rifiuti misti e difficilmente riciclabili".

ESISTE UNA NORMATIVA DI RIFERIMENTO CHE IMPONGA QUESTO TIPO DI CRITERI? RISPETTO AL CONTESTO ITALIANO, CHE È POCO AGGIORNATO SU QUESTO TEMA, CI SONO DELLE BARRIERE CONSISTENTI NELL'APPLICAZIONE DELLA DECOSTRUIBILITÀ?

193 GBC Italia, Economia circolare in edilizia, 2019

"In Italia, un riferimento per il disassemblaggio degli edifici è presente nell'ambito degli appalti pubblici, con i Criteri Ambientali Minimi, introdotti dal DM 11 ottobre 2017[192]. Nello specifico, ai sensi dei CAM, almeno il 50% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile.

192 Allegato 2 al DM 11 ottobre 2017

Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali. Ai fini della verifica, il progettista dovrà fornire l'elenco di tutti i componenti edilizi e dei materiali che possono essere riciclati o riutilizzati, con l'indicazione del relativo peso rispetto al peso totale dei materiali utilizzati per l'edificio. Il limite di tale normativa è la sua applicazione ai soli edifici con committenza pubblica. In secondo luogo, all'atto della redazione dell'elenco, il progettista deve prestare attenzione non solo alla tipologia di componenti in termini di materiale, ma alle effettive condizioni di posa: un materiale potenzialmente riciclabile, se posato con lavorazioni in umido, diventa irrecuperabile.

Ad oggi, le barriere più significative in termini di applicazione del DfD, sono ben sintetizzate dal documento redatto da GBC Italia sulle prospettive dell'Economia circolare in Italia[193].

Tra quelle che avvertiamo come più significative:

- Un quadro normativo sintetico e organico, a livello nazionale ed europeo, che fissi procedure, obiettivi e banche dati in maniera uniforme e chiara;
- Lo sviluppo e l'adozione di strumenti snelli (LCA, LCC, ecc.) e con un livello di dettaglio proporzionale alla fase di progetto, che possano essere di supporto ai progettisti nelle scelte progettuali, e non uno strumento di analisi a posteriori o un ostacolo alla progettazione, con conseguente prolungamento di tempi senza pari benefici in termini di impatto; tale aspetto non può prescindere da una maggiore formazione in merito da parte dei professionisti;
- Una maggiore tracciabilità dei materiali, che possa fare affidamento sul pieno potenziale delle nuove tecnologie (quali BIM, *Blockchain*, ecc.);
- Promuovere una cultura del costo/beneficio dell'opera che copra l'intero ciclo di vita e non i soli costi iniziali".

QUANTO INFLUISCONO LA MODULARITÀ E LA PREFABBRICAZIONE NELL'APPLICAZIONE DEL *DESIGN FOR DECONSTRUCTION*? QUESTI SONO REQUISITI ESSENZIALI? IN CHE MODO L'USO DEL BIM CONTRIBUISCE ALLA PROGETTAZIONE PER LO SMONTAGGIO?

"Il destino di un edificio è in massima parte segnato dalle scelte in fase di progetto.

Con il procedere della progettazione e realizzazione dell'opera, si riduce il margine di azione che consentirebbe di optare verso strategie meno impattanti, si è costretti a considerare possibili alternative alla scala del singolo prodotto e non dell'intero edificio o del componente e vi è, di conseguenza, un potenziale maggiore costo di implementazione delle soluzioni ambientalmente più virtuose.

Per questo è fondamentale adottare una logica DfD sin dalle primissime fasi del progetto. Ad esempio, un determinato *massing* dell'edificio rende più o meno applicabile il principio di modularità e standardizzazione, così come adottare determinati principi compositivi consente di dotare i layout di una maggiore flessibilità e optare per scenari di rifunzionalizzazione a fine vita che ne prolungano la *service life*.

La prefabbricazione dei componenti è la naturale risposta industriale alla modularità del progetto, ad esempio nelle facciate. La realizzazione *off-site*, a partire da misure standard, consente una riduzione dei tempi di cantiere, un maggior controllo della qualità di posa e un contenimento dei costi, se a fronte di un volume di lavorazioni consistente, perché attiva una dinamica di filiera.

Viceversa, la prefabbricazione sulla piccola scala può non essere sempre la scelta economicamente più vantaggiosa.

Il BIM ne facilita l'applicazione, in quanto associa ad ogni componente il suo patrimonio di informazioni e le rende tracciabili nel tempo, sfruttando tutte le dimensioni del progetto e non solo la modellazione geometrica, ma potenzialmente la gestione temporale, economica, la sostenibilità e così via. Tale approccio, se portato avanti con strumenti tradizionali, sarebbe non solo più complesso, ma economicamente inefficiente.

A fronte di un maggiore investimento iniziale (più percepito che reale, ad esempio in termini di formazione del personale, che tuttavia viene fatto una sola volta), il BIM garantisce una maggiore affidabilità e semplicità di recupero e tracciamento dei dati sull'intero ciclo di vita, che ne ripaga completamente l'impiego".

NEL SUO STUDIO PROFESSIONALE, APPLICARE IL *DESIGN FOR DECONSTRUCTION* È UN OBIETTIVO INNOVATIVO O FA PARTE DELLA VOSTRA TRADIZIONE DI PROGETTAZIONE?

CI SONO ALTRI APPROCCI ALLA CIRCOLARITÀ CHE VENGONO IMPLEMENTATI DA VOI NELLA PROGETTAZIONE (USO DI MPS, *MODULAR GRID DESIGN*)?

"Il DfD è sicuramente un tema di interesse dal punto di vista della ricerca. Viene calato nella pratica come approccio ricorrente in relazione alla tipologia di progetto e di cliente. Sui grandi sviluppi immobiliari, stiamo acquisendo una solida esperienza, non solo in ambito progettuale ma anche nel dialogo con il cliente, con i consulenti e con i fornitori, riuscendo ad anticipare alle fasi preliminari e definitive temi che normalmente andrebbero posticipati in esecutivo e ponendo le basi per delle alleanze di settore.
Su temi progettuali ricorrenti, come il residenziale e gli uffici, l'esperienza pregressa ci permette di partire da principi geometrici e compositivi consolidati, griglie standard, che consentono di garantire una potenziale flessibilità e una maggiore trasformabilità dello spazio nel tempo, istanza sempre più avvertita anche dal cliente, specie in un contesto di incertezza quale quello attuale, dove è complesso definire se sia più conveniente investire su un determinato programma funzionale a lungo termine. Occorre quindi provvedere definendo layout a prova di incertezza, senza per questo sacrificare un certo grado di personalizzazione dello spazio e la sua identità specifica.
Infine, vi è una particolare attenzione ai materiali impiegati e proposti in fase esecutiva, pur essendo il margine di azione vincolato al budget di progetto. Abbiamo un reparto interno che si occupa di materiali e interior e che tiene costantemente aggiornata una banca dati interna, con prodotti innovativi e relative certificazioni".

Il progetto Iperceramica Headquarters, a Fiorano Modenese

QUAL È L'ENTITÀ DELLE COMPONENTI SMONTABILI NEL PROGETTO?

Michele Roveri, Architect, Project Director. "Tutti gli elementi fuori terra sono costituiti da elementi smontabili; le strutture (pilastri, solai, coperture e setti interni dei *core*) sono completamente in legno con inserimento di raccordi e flange metallici nei nodi di giunzione.
I tamponamenti esterni sono costituiti da un sistema di facciata a montanti e traversi e pannelli vetrati. I pavimenti sono del tipo galleggiante. I divisori interni tra gli uffici sono in pareti arredo. La vela di copertura è costituita da un sistema portante in profili di acciaio e rivestimento in tessuto microforato".

QUANDO IL PROGETTO È STATO COMMISSIONATO, LO SMONTAGGIO È STATO PROPOSTO DAI CLIENTI O È STATO UN

CRITERIO PROPOSTO DALLO STUDIO? IN ALTRI CASI, SI HANNO DELLE RICHIESTE RISPETTO AL PROGETTO DELLA DECOSTRUZIONE? SE SÌ, QUESTE PROVENGONO PIÙ DAL SETTORE DEI SERVIZI O DAL SETTORE RESIDENZIALE?

"L'idea di un progetto realizzato con sistemi disassemblabili ha preso corpo man mano si sono sviluppate le prime fasi progettuali.
Il committente desiderava un ambiente accogliente, luminoso e caratterizzato da una immagine contemporanea, in cui le persone potessero lavorare in maniera informale *come se fossero a casa loro*.
Abbiamo proposto da subito delle soluzioni con volumetrie vetrate e sistemi di copertura che filtrassero l'ingresso della luce.
Viste le dimensioni contenute del progetto abbiamo pensato a legno, vetro e acciaio e abbiamo quindi subito proposto il valore aggiunto della disassemblabilitá dell'edificio, trovando l'interesse del cliente per questo tema che è e sarà sempre più un requisito per gli edifici di oggi e di domani.
Proprio per questi motivi stiamo notando sempre più che questo aspetto è un elemento rilevante per le nostre committenze, sia nel campo residenziale che in quello dei servizi".

DALL'ANALISI ABBIAMO POTUTO NOTARE LA COMPLESSITÀ DEI VOSTRI GIUNTI DI COLLEGAMENTO. AVETE TROVATO DEI RISVOLTI NEGATIVI, IN TERMINI DI TEMPISTICHE E DI COSTI, NEL PROGETTARE IN QUESTO MODO?

"La progettazione di edifici in legno comporta una importante simbiosi tra architettura e strutture.
Durante le fasi di progettazione abbiamo potuto godere di consulenze di grandi società nel campo delle costruzioni in legno, elemento che ha accresciuto questa importante esperienza di progettazione per MCA.
La progettazione non ha subito nessun ritardo o extra costo; le costruzioni in legno stanno cominciando ad essere tecnologie consolidate per cui è stato possibile rispettare tempi congrui e canonici di sviluppo progettuale.
Molto vantaggiosi sono invece i tempi di cantiere per la realizzazione di queste opere; nel caso del nuovo HQ di Iperceramica il montaggio di tutti i componenti e delle strutture in legno ha richiesto circa 6 settimane, una tempistica decisamente più contenuta rispetto alle lavorazioni tradizionali.
Tutti i pezzi sono stati prodotti in azienda mentre il cantiere stava realizzando le opere propedeutiche; questo ha consentito una ulteriore velocità nella realizzazione dell'edificio".

MOLTO INTERESSANTE È IL NODO TRAVE-PILASTRO, NEL QUALE EMERGE L'INTEGRAZIONE TRA LA PARTE PORTANTE (LE TRAVI PERIMETRALI) E IL SISTEMA IMPIANTISTICO CHE CORRE LUNGO LE TRAVI STESSE. LA SCELTA DERIVA DALLA VOLONTÀ DI FACILITARE GLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE O DA ALTRI FATTORI?

"Volevamo che il legno si dichiarasse in tutti gli spazi del progetto, compreso a soffitto dove i solai presentano una trama a listelli.
Abbiamo optato per soluzioni con impiantistica a vista, sia perché ci piaceva il connubio tra la tecnologia di queste forniture e la tecnologia dell'architettura in legno, sia per la facilità di manutenzione.
Anche per i nodi in questione quindi questa integrazione consente di esprimere al massimo il connubio di questi elementi".

QUALI SONO LE SCELTE CHE VI HANNO SPINTO A REALIZZARE UN BASAMENTO IN CEMENTO, PIUTTOSTO CHE ADOTTARE UN'ALTRA TECNICA MASSICCIA CHE POTESSE ESSERE SMONTATA?

"Per i carichi complessivi e per la presenza nell'area di progetto di terreno con consistenze disomogenee, il sistema fondale non consentiva soluzioni tecnologiche differenti al cemento armato.
È comunque prassi operare con sistemi costruttivi del genere per le opere di fondazione di edifici prefabbricati o a secco, in quanto gli elementi in legno e/o altri sistemi prefabbricati difficilmente rispettano i requisiti delle parti fondali".

LA STRUTTURA DELLA PENSILINA AGGETTANTE È L'UNICA COMPLETAMENTE METALLICA. A TAL PROPOSITO, È STATA PROGETTATA IN QUESTO MODO SOLO PER QUESTIONI DI OMBREGGIAMENTO, O ANCHE PER POTER ESSERE SMONTABILE?

"La vela di copertura presenta aggetti con estensioni differenti sui 4 lati dell'edificio proprio per garantire differenti ombreggiamenti sulle facciate sottostanti; questi sbalzi sono stati definiti mediante software e simulazioni che hanno consentito di valutare le reali necessità nei vari momenti dell'anno, garantendo quindi il corretto apporto nei mesi invernali e la migliore schermatura nella fascia estiva.
In continuità con tutti gli altri elementi costruttivi e con la strategia del progetto, la vela di copertura è stata pensata in elementi metallici e rivestimento esterno in tessuto microforato così da consentirne un facile disassemblaggio".

ARM Process®
the expertise network

7.3 | RICERCA (IT). ING. MENAPACE STEFANO

Stefano Menapace è un ingegnere civile e *Project Management Professinal* (PMP®), certificato dal *Project Management Institute*, *Auditor Interno Qualità AICQ-SICEV* e manager dell'innovazione accreditato presso l'elenco del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE). È stato il professionista che abbiamo avuto l'occasione di intervistare nel settore della ricerca e della sperimentazione nel campo dell'edilizia. L'ing. Menapace è un esperto di conformità dei prodotti da costruzione ed è autore del testo *Guida alla Marcatura CE dei Prodotti da Costruzione*, scritto nel 2007 ed edito dal Gruppo editoriale Simone.
Inoltre, l'ing. Menapace è l'ideatore della certificazione ARCA[194], la prima certificazione dedicata alle costruzioni in legno, promossa dalla Provincia autonoma di Trento e oggi gestita da Habitech, il Distretto Tecnologico Trentino.
Nel 2005 ha fondato *ARM Process*, una rete di professionisti e aziende che offrono servizi per l'innovazione sostenibile.

194 ARCA: per maggiori informazioni consultare il sito www.arcacert.com

Al termine del nostro progetto di tesi abbiamo avuto l'opportunità di svolgere un'intervista con l'ing. Menapace, il quale ci ha permesso di avere un confronto diretto con il settore di ricerca nell'ambito delle costruzioni.
La decisione di entrare in contatto con questa realtà lavorativa è nata dalla volontà di conoscere quali fossero gli aspetti significativi che, a livello lavorativo e di ricerca, spingessero i soggetti del settore a svolgere delle nuove considerazioni rispetto alla decostruzione delle strutture.

A tal proposito, non possiamo non nominare la società *Metallurgica Ledrense*, la quale, in collaborazione con l'ing. Menapace, ha intrapreso un percorso di ricerca e innovazione per progettare un innovativo sistema di fondazione disassemblabile e riutilizzabile.
Durante l'intervista è stato importante, ai fini dello svolgimento della tesi, poter sciogliere i nodi sulle complessità e potenzialità di effettuare un intervento teoricamente sostenibile, ma praticamente e tecnicamente ostacolato da vari fattori, quali: l'aspetto normativo, l'innovazione tecnologica, i finanziamenti, le discordanze tra progettista e cliente, etc.
Il colloquio è stato un'opportunità per comprendere quali fossero le potenzialità dell'approccio della decostruzione nell'edilizia, in relazione al lavoro di ricerca svolto sulla *Ledro Steel Foundation*.

Durante l'intervista *Stefano Menapace, CEO e fondatore, racconta ARM Process* del 2022, tenuta da Uomo e Ambiente ed indirizzata all'ingegnere, è stato chiesto quali fossero i progetti futuri in comune con Uomo&Ambiente.

Progetti futuri in comune con UOMOeAMBIENTE?
"Un percorso di alfabetizzazione su questa tematica, con strumenti sia formativi che informativi"[195].

Stefano Menapace

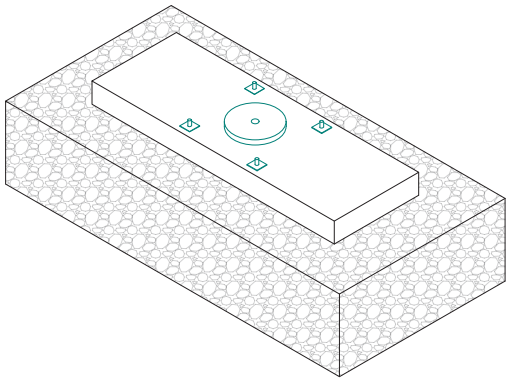
195 https://uomoeambiente.com/stefano-menapace-ceo-arm-process/

LEDRO STEEL FOUNDATION

La *Ledro Steel Foundation* è un sistema innovativo di fondazione a secco, il cui sistema tecnico è stato sviluppato tra il maggio 2018 e il novembre 2021.
Il lavoro è stato svolto da un ampio team che ha visto impegnati tre dipartimenti dell'Università di Trento e del CNR-IBE, oltre a un TAB europeo e tre professionisti del settore.
La ricerca, svolta dalla società *Metallurgica Ledrense*, è stata sostenuta attraverso la Legge Provinciale n°6/1999 (Provincia autonoma di Trento), che fornisce aiuti per la promozione della ricerca e dello sviluppo.
L'obiettivo della ricerca è stato quello di realizzare un sistema di fondazioni innovative per edifici di legno completamente a secco, utilizzando come elemento base il proprio gabbione *Ledro Steel Box* riempito *on-site,* oppure *off-site,* con aggregati. Il sistema è completamente smaltibile, senza demolizione, removibile e in grado di rispondere alle richieste di un progetto volto alla durabilità della struttura. L'innovazione tecnologica proposta è unica nel settore e si innesta perfettamente nella logica dell'economia circolare.

I principali risultati ottenuti col progetto sono: ETA (*Valutazione Tecnica Europea*) del sistema fondazione, Manuale dei risultati (documento tecnico per il progettista/DL e per l'impresa) e Caso pilota con focus sulla durabilità e l'efficienza realizzativa.

Riportiamo, nelle immagini sottostanti, la documentazione fotografica del sistema di fondazione *Ledro Steel Foundation* (LSF) fornitaci dall'ingegnere.



(Disegno) *Ledro Steel Foundation, 2021.* Rielaborazione a cura delle autrici

(Immagine) Prototipo LSF
© *Metallurgica Ledrense*

(Immagine) Fondazione
© *Metallurgica Ledrense*

(Immagine) Fondazione assemblata
© *Metallurgica Ledrense*

(Immagine) Livellamento
© *Metallurgica Ledrense*

NELL'AMBITO DEL SUO LAVORO DI RICERCA, COME VEDE L'APPLICAZIONE DELLA CIRCOLARITÀ NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI?

"Sul discorso dell'economia circolare vera e propria, e del pensare al riuso delle strutture, per quello che posso vedere, c'è un bel fermento. Le costruzioni in legno, da questo punto di vista, sarebbero particolarmente vantaggiose: partono come costruzioni a secco, tuttavia, nella maggior parte dei casi, hanno una serie di finiture (per esempio quelle esterne legate alla cappottatura), che limitano particolarmente il disassemblaggio. Si passa dal disassemblaggio alla demolizione.
Questo aspetto dovrebbe essere ristudiato nella logica dell'*Eco-design* fin dalle prime fasi, ovvero quando vado a progettare l'organo edilizio. [...] Dovrei sicuramente sempre pensare anche alla fase di dismissione, per evitare di entrare nella demolizione. Quando iniziamo a trattare il tema delle demolizioni entriamo, inevitabilmente, nel meccanismo della produzione dei rifiuti. La logica dei rifiuti va sicuramente contro la parte di riutilizzo; quindi, bisogna cominciare a ragionare da questo punto di vista.

NON ESSENDO NECESSARIA LA DEMOLIZIONE DELLA *LEDRO STEEL FOUNDATION*, È PREVISTA LA DECOSTRUIBILITÀ? SI POSSONO RIUTILIZZARE TUTTI I MATERIALI? SE NO, POSSONO ESSERE TRATTATI E RICICLATI PER ALTRI FINI?

Per quanto riguarda la Ledro Steel Foundation, questa ben si presta alla decostruibilità, in quanto si fa questo ragionamento già nella sua progettazione. Come avete potuto vedere, non necessita di getti massivi per il suo completamento.
Abbiamo una rete elettrosaldata in acciaio zincato, che contiene degli aggregati e il coperchio ingloba un dormiente, che è un prefabbricato in calcestruzzo. Quest'ultimo è l'unico elemento che non è recuperabile".

COME FUNZIONA IL NODO TRA FONDAZIONE E PILASTRO? È DECOSTRUIBILE?

"La cerniera del dormiente in calcestruzzo, una volta che è stata posta in opera, può essere regolata per inserire una trave in acciaio; quando è stata regolata, viene bloccata con un getto di chiusura di malta.
Ciò significa che quando vado a disassemblare il sistema, la trave in acciaio viene smontata e portata via; si ottiene una trave in acciaio di cui si può fare un riutilizzo o un completo riciclo; per quanto riguarda la rete elettrosaldata che contiene gli aggregati, questa viene aperta: gli aggregati, che sono liberi e non annegati in un getto, possono essere

lasciati sul posto o portati via [...].
La parte della rete elettrosaldata viene sfilata e, a questo punto, può essere riutilizzata, con un *downgrade* sicuramente conseguente ai danni che avrà subito durante l'apertura; in alternativa, può essere rizincata e riutilizzata, oppure riciclata naturalmente.
La parte che rimane sopra, ovvero il coperchio con il dormiente in calcestruzzo (che possiamo chiamare minitrave), con il getto di malta, non può essere riutilizzata, a causa proprio della presenza del getto. Questa è la parte che deve andare alla demolizione. Parliamo però, unicamente, di cemento armato".

NELL'AMBITO DEL SUO LAVORO DI RICERCA, COM'È NATA L'IDEA DI UNA FONDAZIONE CHE SIA DISASSEMBLABILE?

"Abbiamo parlato di un oggetto progettato per essere disassemblato: questo può succedere e questo tipo di prodotto è fattibile. É stato progettato prima, perché l'obiettivo era quello di ridurre i getti massivi, in quanto questi, nel fine vita, si traducono inevitabilmente in vere e proprie demolizioni; in alcuni casi, addirittura, questi getti vengono interrati: talvolta, sono così massivi che il costo di demolizione rende più conveniente l'interramento.

In questo caso può essere tutto completamente smaltito; l'unico elemento che dovrà essere demolito è un elemento di dimensioni 150x50 cm e alto 15 cm. Ciò, a meno che non possa essere riutilizzato per la realizzazione di panchine o altro, in quanto è un elemento comunque prefabbricato e quindi facilmente trasportabile.
Ciò che è più difficile riutilizzare riutilizzo, e, quindi, andrebbe riciclato, è proprio l'elemento del dormiente prefabbricato".

LA PROGETTAZIONE STA ALLA BASE DELL'ECONOMIA CIRCOLARE. COME DETTO PRECEDENTEMENTE, UNA VOLTA OTTENUTO IL RIFIUTO SI STA GIÀ ANDANDO OLTRE UNA PURA CIRCOLARITÀ: COME SI PUÒ ATTUARE UNA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE EFFICACE? CON QUALI STRATEGIE?

"La parte che dicevi è fondamentale. Il tema dell'economia circolare, quindi del disassemblaggio, non dev'essere una questione di smaltimento rifiuti. Purtroppo, da molti, viene vista così. Ci sono alcuni produttori, per esempio di materiali coibenti o di altre componenti, che fanno dei ragionamenti sul riciclo del singolo elemento o prodotto. Il problema è che il singolo prodotto non può essere visto solo così, perchè non c'è una visione olistica sul progetto.
Per esempio, il coibente: questo può essere riciclato, ma se viene

incollato ad un altro elemento, rasato ed integrato con reti, diventa un altro componente composito. Non posso, quindi, ragionare sul singolo elemento: siamo ancora ben lontani dalla logica dell'economia circolare. Infatti, così facendo, si giustificano le percentuali di riciclo e riutilizzo, che sono, se non sbaglio, tra il 6 e l'8%.
Finché la progettazione non sarà ragionata da questo punto di vista, ci ritroveremo a ragionare sullo smaltimento dei rifiuti.
[...] Recentemente ho tenuto un corso sull'economia circolare nelle costruzioni in legno: il tema principale non è lo smaltimento di rifiuti, ma la progettazione dei pacchetti.

Oggi, anche nel campo dell'edilizia in legno, ci troviamo a lavorare con dei pacchetti che dovrebbero partire come progettati a secco, ma risutano incollati o assemblati. Quando ci ritroviamo con giunzioni di questo tipo, non meccaniche, lavoriamo con un elemento che ha delle problematiche di gestione in termini di circolarità.
Un pacchetto, nella sua parte strutturale, può avere una vita anche di 100 anni; viene incollato, però, sopra un altro elemento, come un coibente o un sistema a cappotto, che ha un ciclo di vita di 25 anni o magari inferiore.
Se incollo questi elementi, succede che quando devo intervenire, devo demolire.
Si passa poi agli interni, dove i pacchetti che riguardano l'impiantistica hanno vita ancora differente.
[...] Partendo dalla progettazione con questa consapevolezza, si può lavorare considerando la durabilità dei diversi materiali, su diversi cicli di vita.
[...] Nell'edilizia in legno c'è un grande vantaggio, perchè si possono evutare i getti e lavorare unicamente con delle connessioni meccaniche, progettandole perchè il singolo pezzo possa essere riutilizzato o perchè si possano fare delle sostituzioni.
Si deve pensare fin dall'inizio che l'edificio cambierà: il clima cambia così come cambiano le esigenze: non si può immaginare di progettare un edificio rigido, perché non sarà sicuramente resiliente.
Se si parte da edifici modulari, questi potranno essere aggiornati trovando nuove soluzioni".

A QUESTO PROPOSITO, ABBIAMO ANALIZZATO, NELLA NOSTRA TESI, DEI CASI STUDIO NEI QUALI È STATO SCELTO DI NON AVERE FINITURE SUPERFICIALI E LASCIARE LA PARTE STRUTTURALE A VISTA PER FACILITARE, SUCCESSIVAMENTE, LE OPERAZIONI DI DECOSTRUZIONE.

"A mio avviso, questa soluzione non funziona. Io ho trattato uno di questi casi: un progetto storico dell'edilizia in legno, che era limitato nel non avere un pacchetto esterno. Quello è una frontiera attuale di ricerca".

ATTUALMENTE, QUESTO

SISTEMA È STATO APPLICATO GIÀ IN ALCUNI CASI PROGETTUALI? SI PUÒ UTILIZZARE PER TUTTI I TIPI DI EDIFICI? SE NO, QUALI SONO LE LIMITAZIONI PROGETTUALI CHE IMPLICA L'IMPIEGO DI QUESTO SISTEMA INNOVATIVO?

"Ad oggi, nell'applicazione della Ledro Steel Foundation, abbiamo scelto di porci dei limiti. Essendo un prodotto innovativo, [...] ci sono anche dei contro: nessuno ha investito sulla ricerca; quindi, ha investito l'azienda. Per poter introdurre il prodotto sul mercato, l'azienda si è posta il limite di introdurre questo sistema su soli edifici piccoli, alti massimo un piano e mezzo. Diversamente, la casistica delle prove sarebbe stata troppo ampia, il progetto troppo oneroso e avrebbe visto la luce in chissà quanti anni.
Solo adesso stanno iniziando le applicazioni: è in atto una prova a livello sperimentale; a breve, verrà realizzato un edificio campione completamente funzionante."

NELLA TESI ABBIAMO ANCHE TRATTATO IL TEMA DELLA MATERIA PRIMA SECONDA.QUESTA PUÒ ESSERE SOGGETTA A MARCATURA CE. SECONDO LEI, AD OGGI, IL MERCATO DI MATERIA PRIMA SECONDA È PRONTO AD AFFRONTARE IL TEMA DELLA DISASSEMBLABILITÀ E L'AVANZAMENTO TECNOLOGICO DELL'EDILIZIA, OPPURE È ANCORA INDIETRO DA QUESTO PUNTO DI VISTA?

Nel mercato della materia prima seconda, c'è un problema legislativo che non è indifferente. Ipotizziamo di aver superato questo ostacolo: io trovo sul mercato una materia prima vergine e una materia prima seconda che hanno le medesime autorizzazioni. In questo caso, il mercato è sicuramente recettivo: se ci troviamo di fronte un progettista con una forte identità naturalista, che viene recepita dal committante, sicuramente si ottiene un valore aggiunto; altrimenti, se non nel caso del singolo progettista, possiamo dire che la materia prima seconda non viene ancora ampiamente valorizzata.
Si parla più comunemente di materia seconda in termini di componenti: il tema del *carbon footprint* può essere invece un elemento distintivo.
Facendo un discorso generale sulla materia prima seconda, la sua appetibilità dipende dal tipo di mercato nel quale viene inserita.
[...] Sull'utente finale, la materia prima seconda suscita interesse quando questo è veicolato da un progettista particolarmente legato ai temi della sostenibilità: magari, in relazione a certificazioni come ARCA, CasaClima o LEED.

SECONDO LEI, IL TEMA DELLA DISASSEMBLABILITÀ DIVENTERÀ UN TEMA SENTITO E

APPLICATO DA TUTTI? DATO CHE NOI ABBIAMO DELLE CITTÀ COSTRUITE A TAPPETO, CI CHIEDIAMO COME POTRÀ ESSERE APPLICATO NELLA PRATICA DELL'EDILIZIA QUOTIDIANA. COSA NE PENSA?

Il tema della disassemblabilità sarà sicuramente un tema importante, soprattutto in ambito di richieste normative, credo.

Diventerà, invece, molto più importante sui componenti. Come dicevo prima: in caso di manutenzione, un edificio completamente disassemblabile procura degli enormi vantaggi.

L'intervento è completamente prevedibile: so esattamente dove intervenire, procurando un minore impatto ambientale e una minore spesa economica.

Inoltre, gli spazi sono molto più resilienti ai cambiamenti: non si deve fare altro che disassemblare dei pezzi e trasformare gli ambienti, assemblandone di altri.

Questo, a mio parere, diventerà un tema importante.

E PER LE COMPONENTI STRUTTURALI?

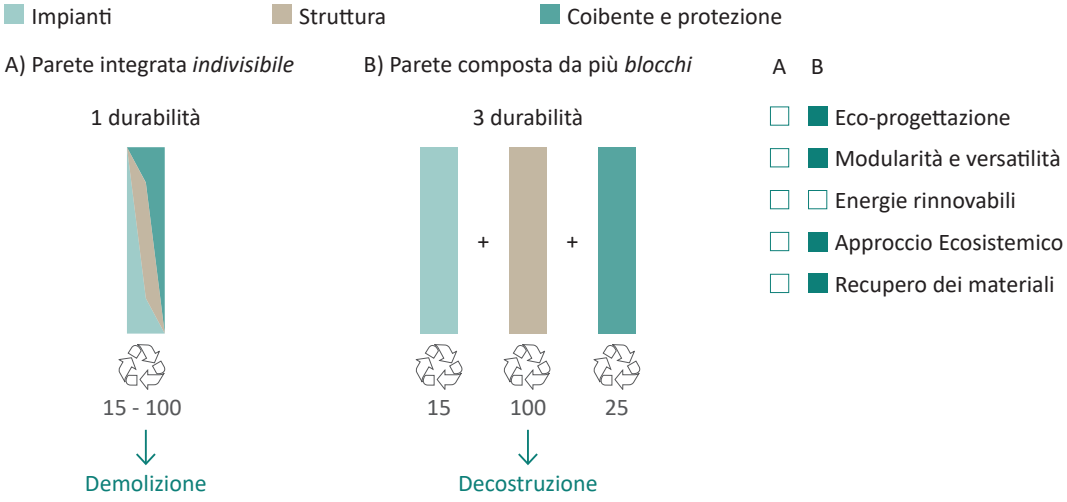
Il tema delle strutture disassemblabili può essere aperto, ma è più delicato.

Se potessi disassemblare le parti esterne e, per esempio, rialzare o ampliare o modificare la parte strutturale con una struttura assemblabile o disassemblabile sarebbe interessante.

In maniera radicale, dire che assemblo un edificio e poi lo disassemblo può essere interessante in certi situazioni temporanee o di emergenza, ma non lo vedo come un mercato specifico: è completamente a parte e separato.

Quando penso a edifici assemblabili e disassemblabili penso a situazioni non stabili, tipicamente di emergenza, o di altra natura, come nel caso degli EXPO. Questo, però, non fa mercato, ma eccezione. Il mercato lo vedo più in questa logica: uno scheletro permanente nel quale investo tantissimo sulla durabilità; tutto il resto lo vedo disassemblabile. Ho una visione ibrida, non troppo oltranzista.

Rispetto a quanto detto nell'intervista, la progettazione integrata, svolta dalle fasi iniziali, detta il fine vita di una costruzione: le stratigrafie definiscono la decostruibilità dei tamponamenti e della parte strutturale di un edificio.
A tal proposito, viene riportato un concept grafico, elaborato dall'ing. Menapace, per spiegare, in relazione alla tipologia di progettazione svolta, il soddisfacimento dei requisiti base dell'economia circolare.



(Grafico) © Stefano Menapace, *Approccio sistemico: la progettazione integrata,* 2022. Rielaborazione a cura delle autrici

La circolarità sta alla base dell'innovazione tecnologia e sostenibile che stiamo vivendo. Vegono presentati schematicamente i principi delle 4R.

Riduci
Edificio strategico con un sovra-costo del 3% sulla struttura (contro il 20/40% del convenzionale).

Riusa
Pannelli utilizzati in altri edifici dopo lo smontaggio (no demolizione).

Ricicla
Connessioni e pannelli pronti per il riciclo (o subciclo).

Rinnova
Sostituzioni / rinforzi locali con interventi minimi.

(Grafico) © Stefano Menapace, *Esempio di applicazione delle 4R, 2022.* Rielaborazione a cura delle autrici

Interviste
Analisi e confronti

L'indagine sotto forma di intervista riportata all'interno di questo capitolo è stata fondamentale, ai fini dello svolgimento della tesi, per confermare e rafforzare i concetti esplicitati nelle sezioni precedenti.

Per quanto riguarda le interviste che hanno visto come soggetti i progettisti Mario Cucinella (MCA Architects) e Kengo Kuma (Kengo Kuma Architects), i contributi ottenuti dal dialogo svolto hanno permesso di chiarire alcuni nodi costruttivi relativi alle scelte tecnologiche dei casi studio precedentemente analizzati di loro realizzazione: rispettivamente, Iperceramica Headquarters (IT) e Nest We Grow (JP).
Ciò che ha contribuito maggiormente alla completezza del presente lavoro è stato un inquadramento, fornito da entrambi i professionisti, relativo agli strumenti tecnologici utilizzati e al contesto in cui essi vengono applicati, rendendo possibile un forte avanzamento tecnologico del settore.
Per quanto riguarda il caso italiano, pur confermando determinate restrizioni normative dal punto di vista dell'applicabilità della reversibilità nelle costruzioni, il *modus operandi* di Mario Cucinella mostra una forte tendenza all'innovazione,: ciò dimostra che, nonostante il contesto italiano sia normalmente portato alla conservazione, c'è una spinta verso la novità in chiave di sostenibilità, come confermato anche dall'attività di ricerca dell'ingegnere Stefano Menapace.
Quest'innovazione, raccontata da Mario Cucinella, trova un supporto nell'utilizzo della tecnologia BIM, ritenuta strumento fondamentale per la velocizzazione del processo progettuale ed edilizio.
Al contrario, ciò che si può osservare nel caso giapponese è l'applicazione dei principi del *Design for Deconstruction* non tanto per mezzo della tecnologia BIM, quanto nell'applicazione di principi costruttivi derivanti da una tradizione secolare: la scelta di giunti intagliati assemblati a secco, l'uso di materiale locale o il riutilizzo di componenti esistenti, quali anche oggetti di finitura come le porte interne.
Ciò che si può trarre, in conclusione, da una lettura complessiva delle prime due interviste, è che i principi del *Design for Deconstruction* sono ugualmente attuati in entrambi i contesti; l'aspetto di maggiore rilevanza è stato capire quali siano le condizioni di base che determinano l'applicazione di tali principi.

Per quanto riguarda, invece, il settore della ricerca, il cui intervistato è stato l'ingegnere Stefano Menapace, abbiamo avuto la possibilità di venire a conoscenza del progetto di un prototipo di fondazione smontabile, basata sulla tecnologia del gabbione a struttura metallica riempito con agglomerato, la Ledro Steel Foundation.

Questo ci ha permesso di aprire un discorso relativo a come proceda l'attività di ricerca in Italia, rispetto al tema del *Design for Deconstruction*: ciò che è emerso è che la sperimentazione è in atto e si stanno sviluppando delle soluzioni intermedie, che subiscono limitazioni dal punto di vista normativo, perché la reversibilità delle costruzioni diventi un principio progettuale diffuso.
Riprendendo le parole dell'ingegnere Menapace, sarebbe necessario intraprendere un percorso di alfabetizzazione su questa tematica, con strumenti sia formativi che informativi, in quanto questi argomenti risultano essere ancora molto giovani nel panorama della letteratura.
Questo processo di alfabetizzazione dovrebbe includere non solo i professionisti del settore, ma anche i committenti: ad oggi, una delle tante barriere all'innovazione nel settore edilizio è la mancata fiducia nei confronti di tecniche diverse rispetto alla tradizione edilizia o dell'utilizzo di materia prima seconda.

Rispetto a quanto è potuto emergere da queste tre interviste, ciò che si può concludere è che i presupposti per l'applicazione del *Design for Deconstruction* esistono e sono molto ampi, ma, ad oggi, in primis nel contesto italiano, è presente una serie di limitazioni (principalmente culturali e normative) che frenano questo avanzamento.

LE LIMITAZIONI DEL SISTEMA

© Mediocre Studio

8.1 | Perchè il DfD non viene applicato in modo diffuso?

8.1.1 | La decostruzione compromette la sicurezza in cantiere?

8.1.2 | Ricertificazione dei materiali per il riutilizzo strutturale

8.1.3 | Considerazioni economiche

8.1.4 | Limitazioni nel quadro normativo

8.1.5 | Strumenti tecnologici

8.1.6 | Disponibilità di piattaforme per lo scambio della MPS

8.1.7 | Barriere culturali della progettazione

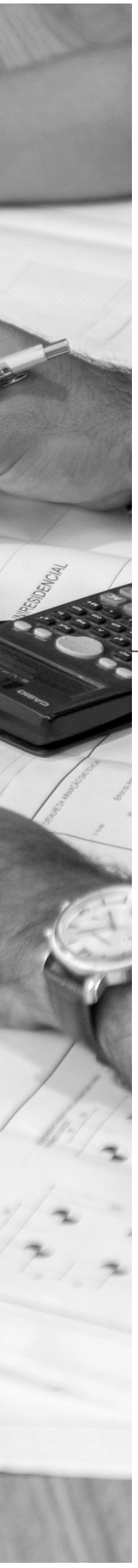
8.1.8 | Idoneità di specifiche tipologie edilizie

8.2 | Deconstruction vs. Demolition

8.2.1 | La decostruzione selettiva

08

© Pedro Miranda



8.1 | PERCHÈ IL DFD NON VIENE APPLICATO IN MODO DIFFUSO?

Ancora oggi, l'applicazione del DfD deve convivere con numerose limitazioni, tra cui quelle normative, tecniche, economiche, informatiche e culturali.

Come abbiamo potuto osservare nell'analisi critica dei casi studio precedentemente riportati, l'applicazione dei principi del *Design for Deconstruction* non è sempre perseguibile al 100%. Questa osservazione potrebbe risultare in disaccordo con quanto riportato nei capitoli precedenti, in riferimento all'evoluzione tecnologica e informatica apportata dall'avvento dei *Modern Methods of Construction*. Ciò, tuttavia, dimostra che la teoria relativa alla disassemblablità di una struttura si deve scontrare con le effettive necessità del progettista e con le possibili problematiche che si possono incontrare nella pratica del cantiere.
Come si vedrà di seguito, vanno presi in considerazione alcuni fattori che potrebbero limitare l'attuabilità di sistemi che siano effettivamente smontabili.
Tra questi: la convenienza economica; la sicurezza degli operai; la flessibilità normativa; la competenza in materia di tutti i lavoratori; la disponibilità di piattaforme per lo scambio della Materia Prima Seconda.

"In teoria, non c'è nessuna differenza fra teoria e pratica. Ma, in pratica, c'è."

Yogi Berra, atleta

"L'intelligenza non consiste soltanto nella conoscenza, ma anche nella capacità di applicare la conoscenza alla pratica."

Aristotele, filosofo

8.1.1 | La decostruzione compromette la sicurezza in cantiere?

La sicurezza in cantiere per gli operatori cambia al cambiare della gestione del fine vita dell'edificio: *demolizione o disassemblaggio?*

Durante la progettazione, è importante prevedere i processi di decostruzione della struttura per poter effettuare una valutazione accurata dei possibili rischi che potrebbero incombere sugli operatori. Così facendo, si può intervenire alla radice per rimuovere o ridurre al minimo questi potenziali rischi.
Essendo la decostruzione il processo inverso della costruzione, alcuni rischi risultano essere comuni alle due fasi.
La decostruzione risulta più pratica e strutturata della demolizione. Questo implica un maggiore impegno lavorativo della manodopera e, di conseguenza, un aumento delle possibili situazioni di rischio per i lavoratori.
Tuttavia, basandosi su una procedura sistematica e curata, analizzata fin dalle prime fasi di progettazione, se ogni fase viene studiata nel minimo dettaglio, la decostruzione non dovrebbe causare più incidenti della demolizione.
Altro importante elemento chiave in questo confronto è la solidità della struttura durante la fase di decostruzione. Prima che le operazioni di decostruzione abbiano inizio, è necessario effettuare delle valutazioni preliminari, che tengano in considerazione l'equilibrio della struttura stessa, in modo che gli operatori possano intervenire in totale sicurezza durante il disassemblaggio. Come in una piramide LEGO, se si toglie l'elemento sbagliato, la solidità della costruzione viene meno.
I rischi che potrebbero incorrere nella fase di decostruzione non dovrebbero essere maggiori di quelli possibili in fase di demolizione.
D'altra parte, ciò che si può dire con certezza è che, se durante la fase di costruzione si sono presentate delle problematiche, queste costituiranno un rischio certo anche in fase di decostruzione.

8.1.2 | Ricertificazione dei materiali per il riutilizzo strutturale

La decostruzione, come già definito, ha il potenziale vantaggio di salvare una grande quantità di risorse di un edificio, una volta che questo abbia finito la sua utilità. Tali risorse perdono il loro potenziale, se non si hanno a disposizione protocolli o norme per la ricertificazione dei materiali strutturali: ciò costituisce un ostacolo all'attuazione della decostruzione e al successivo riutilizzo delle componenti.
Questa limitazione può determinare effetti diversi a seconda dello specifico materiale e del Paese in cui viene adottata la pratica.
Ad esempio: nella Nuova Zelanda, il legname può essere riutilizzato strutturalmente solo a seguito dell'approvazione dell'idoneità di riciclabilità, da parte dell'ingegnere strutturale. Questo permette di considerare l'elemento, nel nuovo contesto di utilizzo, con una durata di almeno cinquant'anni.
Ancora, negli USA il legname può essere riclassificato per il riutilizzo all'interno di nuovi cicli edilizi, attraverso le regole di certificazione vigenti, nonostante non vengano tenuti in considerazione i segni di degrado dello stesso, come buchi, segni di chiodatura, etc.
A tal proposito, molte società certificatrici non riclassificano il legname per nuovi impieghi nell'ambito strutturale, in quanto si teme che le prestazioni dello stesso possano essere intaccate dall'azione del tempo e dai carichi sostenuti nella *vita precedente* e che possano essere ritenuti responsabili di eventuali problemi futuri.
Vengono sviluppati, ormai da anni, nuovi sistemi e marcature di certificazione. Un esempio è lo standard FSC (*Forest Stewardship Council*) del 2007, sviluppato per l'approvvigionamento di materiale di recupero, che è volto a facilitare il riutilizzo del legname.
Altra certificazione è la marcatura CE, che dimostra ai clienti e alle autorità la conformità di un prodotto rispetto alla normativa Europea. Il marchio contiene informazioni più dettagliate sull'elemento, semplificando le azioni future di riutilizzo dello stesso.
Per facilitare le future azioni di decostruzione, si può fare ricorso ad una marcatura elettronica degli elementi, capace di memorizzare le informazioni di progettazione in vista di un futuro recupero o disassemblaggio.
Il *Building Information Modeling* diviene un sistema digitale all'interno del quale archiviare le informazioni progettuali, i disegni e i piani di smantellamento degli edifici. Questo costituisce un archivio digitale con facile accesso anche in momenti futuri, quando, ad esempio, avverrà la decostruzione.
Di conseguenza, le azioni di riutilizzo e ricertifcazione degli elementi sono facilitate dalla presenza della banca dati digitale.
In conclusione, avere a disposizione una normativa specifica, che regolamenti

la ricertificazione della MPS, faciliterebbe l'impiego di quest'ultima all'interno di nuovi cicli produttivi e porterebbe ad accettare il materiale secondario come nuovo materiale da costruzione.

8.1.3 | Considerazioni economiche

L'aspetto economico, all'interno della panoramica del DfD, è uno dei più influenti nell'indirizzare le scelte condotte da progettisti e clienti.
Rispetto alla demolizione, progettare una struttura che possa essere anche decostruibile implica maggiori costi iniziali legati ai più lunghi tempi di progettazione. Inoltre, adottare questo approccio comporta un incremento dei costi anche in fase decostruttiva, in quanto, all'allungamento delle tempistiche si associano anche maggiori costi di manodopera.
Alcuni clienti, più sensibili alla questione ambientale, potrebbero valutare un approccio progettuale volto alla decostruzione e alla riduzione dei rifiuti come meritevole di una spesa maggiore. Tuttavia, molto spesso non è così.
Ci si domanda come i clienti possano trarre vantaggio dal commissionare una struttura che sia smontabile, una volta concluso il periodo di utilizzo.
Potenzialmente, i costi spesi per la manodopera e l'elevato livello di progettazione, possono essere compensati dal guadagno derivante dalla vendita dei materiali recuperati o riciclati, a seguito della decostruzione, e dalla riduzione dei costi derivanti dal conferimento in discarica, che possono essere molto elevati in alcune aree. Il volume dei prodotti di scarto sarà, in ogni caso, nettamente ridotto in un'operazione di decostruzione rispetto a un'operazione di demolizione.
Per poter avvicinarci ad una maggiore apertura rispetto a questo tema è necessario, come spiegano Lui, et al. (2003), comunicare tali vantaggi a tutti gli operatori del sistema: questo porterà all'implementazione più diffusa e ad un uso pratico della decostruzione.

8.1.4 | Limitazioni nel quadro normativo

Tra le criticità che limitano l'effettiva applicabilità del concetto di *Design for Deconstruction* su larga scala, possiamo individuare, inoltre, l'assenza di un quadro di regole e di azioni che sia comunemente riconosciuto e accettato.
Le poche iniziative sul campo sono scarsamente supportate a livello economico e, non esistendo ad oggi una normativa che regolamenti il procedimento, manca uno strumento di aggiornamento efficace ed attendibile.

Ritornando brevemente sul tema dell'economia circolare, le azioni promosse a livello europeo dovrebbero essere recepite a livello nazionale, con la definizione di un quadro di riferimento che normi l'utilizzo di banche dati e altri strumenti.
Un'azione che invertirebbe, senza dubbio, la tendenza sarebbe il passaggio da un approccio *bottom up* all'approccio *top down*: le iniziative sull'economia circolare partono dal basso.
Se esistesse un requisito che limiti il consumo del suolo, come ad esempio già succede in Germania, questo determinerebbe un maggiore impegno, pubblico e privato, nel cercare di intervenire sulla riqualificazione dell'esistente, piuttosto che consumare suolo vergine: questo significherebbe iniziare a trattare il costruito come materia prima obbligatoria e il suolo come risorsa effettivamente non rinnovabile.
Lo stesso si potrebbe dire per la risorsa acqua: le industrie dovrebbero essere obbligate a essere autosufficienti e a non consumare acqua potabile.
"Il *Design for Deconstruction* mutua alcuni principi e alcune strategie dal *design* industriale, a partire dal *Life Cycle Guidance Manual* dell'EPA (1993). È difficile rintracciare regolamenti, norme e strumenti sull'argomento, pur con alcune interessanti eccezioni (si veda l'esperienza Expo Milano 2015 e relative linee guida per adottare soluzioni sostenibili nella progettazione, realizzazione, dismissione e riutilizzo dei padiglioni; si veda, inoltre, WRAP, *Designing out Waste Tool for Buildings*, che include tra i principi chiave quello del *Design for deconstruction and flexibility*). L'assenza di un quadro normativo di riferimento, anche solo di indirizzo, non consente di valutare il requisito di disassemblabilità di un progetto o di un edificio, nonostante tale criterio sia richiamato anche all'interno di alcune gare d'appalto (per esempio in relazione ai CAM)".[196]

196 Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia*, 2019

Perché i principi del DfD diventino effettivamente applicabili nel concreto, sarebbe necessario prevedere la progettazione di metodi e strumenti di analisi delle modalità di posa in opera dei principali elementi tecnici di un edificio, procedendo successivamente alla loro caratterizzazione.
Questo discorso può includere non solo gli elementi strutturali o di involucro, ma anche le componenti accessorie: pensiamo al caso di un impianto di trasporto persone, come un ascensore, che potrebbe essere pensato come un pezzo completamente a sé stante rispetto alla struttura edificio, smontabile e riposizionabile altrove a seconda delle necessità.
Ciò consentirebbe di valutare il livello di disassemblabilità, in base alle soluzioni tecniche e costruttive prevalenti previste in progetto.

8.1.5 | Strumenti tecnologici

Come analizzato nel corso di questo lavoro, ad oggi possiamo dire di avere a

disposizione un buon numero di strumenti di progettazione a sostegno dei professionisti, nell'ideazione di edifici che siano più intelligenti. Oggi, la tecnologia BIM, rappresenta un supporto nella collaborazione delle discipline, durante la fase di progettazione e in quelle successive: ciò consente di prevenire gli errori e compiere delle scelte che siano più consapevoli. Di conseguenza, si può dire che la tecnologia rappresenta un'alleata del *Design for Deconstruction*.
D'altra parte, una criticità che può essere rilevata è la necessità di investimenti, sia economici che temporali, per la formazione dei professionisti: questo dipende dal fatto che, ad oggi, le competenze tecnologiche in questo campo non sono capillarmente diffuse.

8.1.6 | Disponibilità di piattaforme per lo scambio della MPS

Rispetto all'applicabilità del *Design for Deconstruction*, va considerato l'aspetto del trattamento dei materiali ricavati dalle operazioni di smontaggio: questi devono essere classificati, valutati rispetto al loro potenziale di reimpiego e reintrodotti nel mercato.
Anche se oggetto di demolizione selettiva, i vari prodotti derivanti da edifici esistenti sono classificati per categorie generali (inerti, plastiche, metalli, etc.), senza un riconoscimento della composizione materica e delle caratteristiche comportamentali: questo non facilita il riciclo e la possibilità di rimettere sul mercato i prodotti.
"Gli operatori esprimono l'esigenza di attivare piattaforme di scambio (sia di informazioni sui temi dell'economia circolare, sia destinate ai progettisti e relative a materiali edilizi con contenuto di riciclato, sia destinate ai produttori per lo scambio di materie prime seconde).
Esistono vari tentativi di creazione di piattaforme per lo scambio di materiali nell'ambito sia del riuso sia del riciclo (es. SFRIDU, una sorta di borsino dei rifiuti), ma purtroppo nessuna è mai decollata.
Esistono network internazionali di consulenza per i progettisti sui materiali e prodotti circolari (es. MATREC e Material ConneXion), che promuovono i contatti tra i produttori di materiali e i potenziali utilizzatori e che hanno realizzato appositi archivi fisici e online (banche dati).
Esistono esempi di banche dati promosse ad esempio a ridosso del LEED (ad es. HABITECH). I prodotti possono essere ricercati in base a differenti parametri (ad es. tipo di materiale riciclato, origine, fine vita, ambito di applicazione, presenza di certificazioni, formato, etc.).
Purtroppo, i parametri di classificazione del prodotto finale non sono così rigorosi

e i dati dei diversi database non sono sempre confrontabili. Inoltre, le banche dati a pagamento, sono ancora poco conosciute in ambito professionale.
Tali iniziative non sono mai pienamente decollate per mancanza, forse, di sostegno economico, che consenta l'aggiornamento continuo. Questo porta a banche dati non implementate sufficientemente e, dunque, limitate nei contenuti, e come tali poco utilizzate. Se la banca dati non è aggiornata e ricca di prodotti e informazioni non decolla. Forse il limite è la disponibilità economica per poter attivare concretamente questi strumenti. Sarebbe necessario qualcosa di più strutturato e di accesso pubblico. Inoltre occorre una maggiore affidabilità di tali banche dati, che spesso propongono e mappano anche prodotti non sostenibili."[197]

197 Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia*, 2019

8.1.7 | Barriere culturali della progettazione

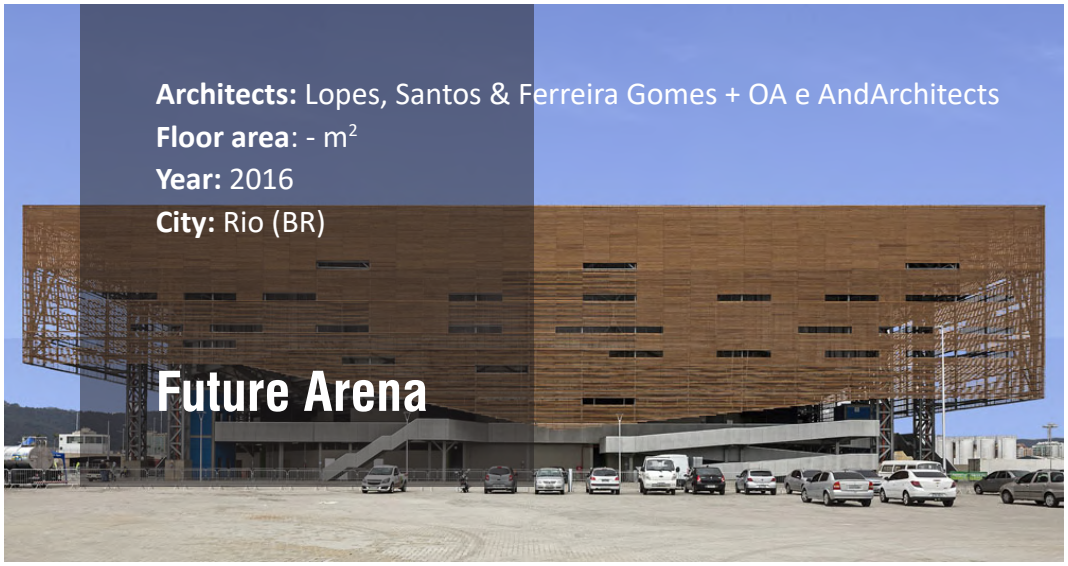
Le barriere per gli operatori e per i committenti, ad oggi, sono ancora numerose, ma non insormontabili.
La sensibilizzazione sul tema, anche da parte delle istituzioni, ha un ruolo importante in questo contesto, in quanto si possono incoraggiare gli operatori a progettare in maniera differente.
Per attuare un cambiamento radicale, però, è necessario avere una motivazione alla base: se i vantaggi nell'adottare un altro approccio, rispetto al sistema tradizionale, sono calcolabili e dimostrabili, allora c'è una ragione più concreta per cambiare.
I numerosi sistemi innovativi emersi dalla Rivoluzione Industriale 4.0 consentono, sempre di più, di quantificare i benefici risultanti dal nuovo progetto architettonico e ingegneristico.
Con il tempo, dopo una consistente adozione del DfD da parte di studi e imprese e un riconoscimento collettivo delle sue potenzialità, il nuovo approccio può diventare un sistema di riferimento per un maggior numero di operatori edili.
Di conseguenza, cambiano le prospettive di chi opera nel sistema: dai progettisti ai legislatori, dagli appaltatori al grande pubblico.

8.1.8 | Idoneità di specifiche tipologie edilizie

È conveniente applicare il DfD a tutte le strutture?
La risposta di decostruibilitá può cambiare tra edificio e edificio?
In termini di efficienza, quanto è più conveniente adottare il DfD su costruzioni private rispetto che su strutture pubbliche?

Adottare l'approccio del DfD all'interno del contesto edile porta ad analizzare quali possano essere gli edifici più adatti e quali meno.
L'efficiente applicazione dell'approccio può variare a seconda delle dimensioni dell'edificio, della funzione, della durata delle attività svolte al suo interno o altri requisiti specifici.
Per esempio, edifici di altezza relativamente ridotta hanno una più alta capacità di essere assemblati e disassemblati efficacemente, grazie alle dimensioni degli elementi strutturali più facilmente controllabili.
La temporaneità di una struttura, ad esempio, può incentivare o meno l'applicazione di tale approccio: il tempo di utilizzo di una struttura è un altro fattore importante per definire quale possa essere il sistema progettuale e costruttivo più adatto.
Il tempo diviene una delle principali chiavi di lettura per comprendere il più efficace *end of life* di una struttura.

Ad esempio, le strutture che nascono per essere dei padiglioni espositivi temporanei rappresentano un caso applicativo ottimale per l'approccio DfD, in quanto devono essere caratterizzate da una rapida fase costruttiva e decostruttiva, dalla facilità nel trasporto in altre località, dalla flessibilità di adattarsi a nuovi usi futuri.
Un caso di questo tipo è l'Arena di Pallamano, detta anche Future Arena, realizzata a Rio in occasione delle Olimpiadi del 2016 da Lopes, Santos & Ferreira Gomes + OA (Oficina de Arquitectos) e AndArchitects.



Per l'evento mondiale sono stati realizzati molti impianti sportivi *ex novo*: tra questi, l'Arena di Pallamano è stata progettata per essere facilmente riconvertita per altri scopi. Si tratta, infatti, di un palazzetto da 12.000 posti progettato per essere riutilizzato, dopo la conclusione delle Olimpiadi, per la costruzione di quattro scuole statali nella città di Rio.
Il rivestimento frangisole e gli spazi di circolazione in cemento, che caratterizzano

l'edificio modulare e flessibile, sono i tratti distintivi dell'Arena: questi saranno gli elementi architettonici principali delle quattro nuove scuole.
I sistemi costruttivi studiati ed adottati consentiranno di avere uno spreco di materiale minimo e un processo di *smontaggio-montaggio* molto semplificato. L'Arena di Pallamano e le scuole sono state progettate in contemporanea, affinché gli elementi strutturali in acciaio, la copertura, il rivestimento ligneo e le rampe in cemento potessero essere smantellati, trasportati e riassemblati nelle nuove location, a Rio.
La tecnica costruttiva utilizzata per questo stadio temporaneo è definita dagli stessi progettisti come un esempio di *architettura nomade* che può lasciare, nonostante il suo carattere transitorio, un'eredità duratura per la città.
Proseguendo, il tempo e lo stato di una struttura sono due fattori essenziali. Per gli edifici civili, i vantaggi di adottare dei sistemi costruttivi flessibili, con giunti reversibili, costituiscono un volano per potersi adattare al continuo mutare delle città.
Un esempio sono gli istituti scolastici, in quanto la richiesta e la curva demografica può cambiare nel tempo; di conseguenza, se il complesso scolastico fosse realizzato secondo tecniche assemblabili e disassemblabili, la facilità di ampliare o comprimere il plesso scolastico sarebbe un grande passo in avanti.
Questo consentirebbe all'edificio di essere flessibile nei confronti della richiesta degli utenti che lo abitano, aumentando le aule a disposizione o cambiando gli spazi collettivi. Le scuole, come altri edifici civili, diventerebbero delle risorse preziose per la comunità, con un potenziale di utilizzo prolungato negli anni.

REITHELSHÖFER
REITHELSHÖFER
© Markus Spiske

8.2 | DECONSTRUCTION VS. DEMOLITION

Nel seguente paragrafo verrà affrontato un breve confronto tra le operazioni di disassemblaggio e demolizione.
L'obiettivo dei capitoli precedenti è stato quello di presentare i vantaggi forniti dall'applicazione, da parte dei progettisti, dei concetti relativi alla progettazione per la disassemblabilità; tuttavia, questo approccio non è largamente applicato, rispetto a quanto lo è, invece, quello della demolizione.
Va sottolineato che, all'interno del mondo delle demolizioni, si stanno effettuando degli studi di ricerca relativi a modalità alternative e più sostenibili, come nel caso della demolizione selettiva.
Il punto di arrivo non vuole essere, quindi, una demonizzazione totale della demolizione, ma un'analisi di come ci si approccia oggi al tema.
Soprattutto in relazione all'esistente, avendo oggi un patrimonio edilizio permanente, c'è una forte necessità di avanzamento tecnologico e di ricerca proprio sul tema della demolizione.
Se questa diventasse, a 360°, selettiva o controllata, determinerebbe una forte spinta di crescita, anche in ambito di economia circolare, con l'obiettivo di *salvare il salvabile* dell'ambiente costruito esistente.
Non sempre risulta essere dimostrabile al 100% la convenienza, soprattutto economica, della decostruzione; si può dire, però, che se si cambiasse metodo a monte, la decostruzione determinerebbe inevitabilmente dei vantaggi sotto ogni punto di vista.

Decostruzione	Demolizione
Definizione. Significa disassemblare con l'obiettivo di massimizzare il potenziale di riutilizzo delle sue componenti.	**Definizione.** Significa radere al suolo, riducendo le sue componenti a un'unica possibilità di riciclo o dismissione.
Processo. Il processo ha come primo obiettivo il riuso e secondariamente il riciclo.	**Processo.** Il processo si basa sull'uso di macchinari per la distruzione di un edificio e di tutte le sue componenti.
Durata. La decostruzione richiede qualche settimana.	**Durata.** La demolizione richiede qualche giorno.
Economia. Il flusso monetario è pari a: reddito netto = (Prezzo pagato dal proprietario + Valore di recupero) - (Pre-decostruzione + Decostruzione + Processi + Trasporto + Smaltimento).	**Economia.** Il flusso monetario è pari a: reddito netto = (Prezzo pagato dal proprietario) - (Pre demolizione + Demolizione + Trasporto + Smaltimento).

8.2.1 | La decostruzione selettiva

Nonostante i vantaggi di attuare la decostruzione siano maggiori rispetto alla demolizione, ad oggi questa pratica è ancora una soluzione di nicchia.
Rispetto a una situazione nella quale la maggioranza gli edifici non è stata pensata con l'obiettivo di un fine vita circolare, sta cambiando l'approccio di intervento davanti al problema della decostruzione: questo deve essere metodico ed efficace, e non più distruttivo e pianificato direttamente in cantiere.
Stanno avanzando delle ricerche per studiare nuovi approcci legati alla demolizione dell'esistente, che si distaccano dalle moderne tecniche d'implosione, basate sull'uso di esplosivi attentamente calibrati e posti nei punti deboli della struttura, che però non hanno nulla a che fare con il tema dell'economia circolare.
La demolizione selettiva è il primo passo verso l'economia circolare nelle costruzioni.
La pratica della demolizione selettiva è una strategia di demolizione che punta alla separazione dei rifiuti per frazioni omogenee.
Come spiega Pietro Mezzi, nell'articolo *La demolizione selettiva avanza,* "per demolizione selettiva si intende quell'attività finalizzata a separare gli elementi riutilizzabili da quelli non riutilizzabili e ad allontanare dai rifiuti da demolizione le

eventuali sostanze inquinanti. I prodotti della demolizione selettiva appartengono a diverse categorie: componenti o elementi riutilizzabili tali e quali; componenti o elementi reimpiegabili con funzioni differenti da quelle originarie; materie prime seconde (MPS) reimpiegabili come materiali uguali a quelle d'origine dopo processi di trattamento, ma con diversa funzione e forma; materie prime seconde diverse dai materiali d'origine per forma e funzione, reimpiegabili dopo processi di trattamento come materiale diverso da quello d'origine.
Tuttavia, è una pratica ancora poco usata a causa dei costi di decostruzione molto elevati legati all'aumento della manodopera."[198]
Nel seminario *Nuove prospettive per un'edilizia pubblica sostenibile, l'applicazione dei criteri ambientali minimi - Verso la decostruzione selettiva: riduzione degli sprechi e recupero dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione*, tenuto da ANPAR nel 2019, viene spiegato che questa metodologia "prevede di *spogliare* dapprima l'edificio interessato a demolizione di tutto ciò che non è cemento, mattone, ceramica o laterizio in generale, attraverso un'intensa e accurata fase di *strip out* che preveda anche la separazione per tipologia di tutto ciò che è stato rimosso (plastiche, isolanti, legno, etc.); eseguire la demolizione secondo necessità (tradizionale o decostruttiva); deferrizzare con frantumazione primaria."[199]
Nicola Mondini, per ANPAR, definisce 4 fasi in cui suddividere il processo di demolizione selettiva di un edificio, quali:

- Rimozione dei materiali e dei componenti pericolosi;
- Rimozione dei componenti riutilizzabili;
- Rimozione dei materiali riciclabili;
- Eliminazione dei materiali non riciclabili.

La decostruzione selettiva può essere chiamata *decostruzione programmata*: un momento programmato che segna la fase di fine vita di un edificio, contemplando contemporaneamente la nascita di un altro.
Questa si differenzia dal *Design for Deconstruction* in quanto la progettazione avviene solo a posteriori, e non nella fase iniziale come nel DfD.
Questo implica maggiori criticità nel trovare delle strategie efficienti su una struttura che non è nata per subire determianti processi di disassemblaggio.

Si parla di demolizione selettiva, al fine di facilitare le operazioni di disassemblaggio e separabilità dei componenti e dei materiali. Un approccio sistemico a questo tipo di operazioni è fornito dall'*Audit pre-decostruzione*, strumento fondamentale per pianificare gli interventi di smontaggio ed i costi associati all'intervento.
Come viene spiegato nell'articolo *Demolizione vs Decostruzione* di Zeroenvironment, l'*Audit pre-smontaggio*, diventa la base per capire quali strade possono intraprendere i materiali recuperati dalle operazioni di decostruzione.
"La catalogazione dei materiali è solo uno degli obiettivi, forse il più facile da realizzare per questo strumento; il suo valore più grande è espresso dalla capacità

198 P. MEZZI, *La demolizione selettiva avanza*, 2019

199 N. MONDINI per ANPAR, *Nuove prospettive per un'edilizia pubblica sostenibile, l'applicazione dei criteri ambientali minimi - Verso la decostruzione selettiva: riduzione degli sprechi e recupero dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione*, 2019

di ricollocare i materiali all'interno di un mercato economico, anche locale. Non solo residui di CLS, aggregati riciclati, e altri materiali edili: dalla decostruzione nascono opportunità concrete per valorizzare tutti i materiali che compongono un edificio, a partire dalle finestre, dalle porte interne, dai radiatori e dai pavimenti, etc.

L'*Audit pre-decostruzione* serve per:

- Elencare e quantificare le tipologie di materiale che compongono l'edificio;
- Definire le modalità e le pratiche di intervento, al fine di ridurre i materiali da inviare a smaltimento;
- Definire i costi delle operazioni di decostruzione e individuare il prezzo di vendita dei materiali recuperati;
- Definire i controlli sui materiali recuperati al fine del riuso;
- Individuare i potenziali usi e mercati dei materiali recuperati."[200]

200 Zeroenvironment, *Demolizione vs Decostruzione*, 2017

Esistono molti esempi virtuosi di aziende che operano nel settore dell'edilizia, ricercando strategie progetuali, capaci di efficientare la fase di demolizione, e strategie di valorizzazione dei materiali derivanti da questo settore e non, in vista di un sistema circolare globale.

In ambito italiano si può citare, per esempio, l'impresa VICO S.r.l.[201], con sede Savona, che opera nel campo della decostruzione, della valorizzazione dei materiali di scarto, reintroducendoli nel mercato, e dell'affiancamento delle aziende clienti nella gestione ottimale delle problematiche ambientali.

201 VICO s.r.l. Per maggiori informazioni: http://vicosrl.it/

D'altra parte, nonostante i passi in avanti nel settore delle costruzioni per rendere la demolizione circolare, si possono ritrovare altri esempi di processi non esattamente sostenibili dal punto di vista della selettività, in ambiti culturali come quello del Giappone, ma che rappresentano comunque un tentativo di approccio al tema.

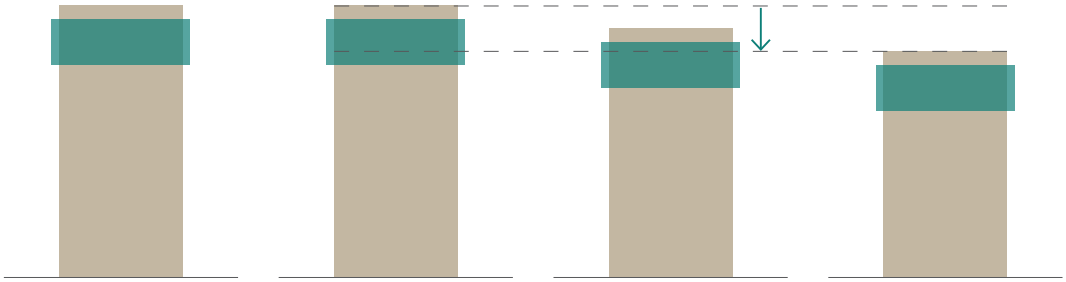
Si possono citare alcuni casi studio nei quali si è optato per una decostruzione controllata, in cui uno dei vantaggi è la possibilità di non compromettere gli edifici vicini e minimizzare l'inquinamento da polveri.

Il Grand Prince Hotel Akasaka, progettato dall'architetto Kenzō Tange nel 1930, è un grattacielo iconico situato all'interno del quartiere Chiyoda di Tokyo.

L'edificio, progettato rispettando i migliori principi tecnici dell'epoca, risulta ormai non adatto ad accogliere una società cambiata e un nuovo panorama normativo (es: inefficiente isolamento termico, soffitti troppo bassi, spazi insufficienti per accomodare le infrastrutture tecnologiche). Si è deciso di appoggiarsi all'azienda di decostruzioni Taisei Corporation che ha iniziato i lavori nel 2013.

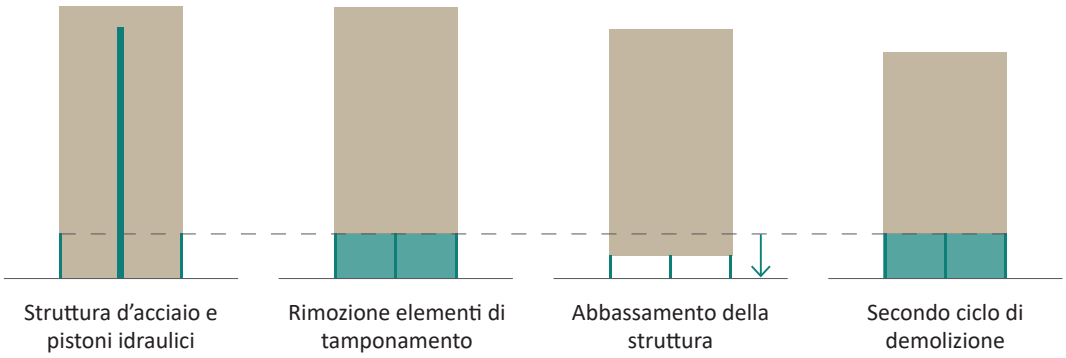
La pratica innovativa consisteva nell'attrezzare il tetto dell'edificio con dei poderosi pistoni idraulici, in grado di sostenerlo e ribassarlo mano a mano. Al tutto è stata sovrapposta una finta facciata in materiale plastico, sufficiente per nascondere completamente quello che stava succedendo negli ultimi piani. La decostruzione è

stata precisa e veloce, al ritmo di due piani ogni dieci giorni.
Ogni volta che si rendeva necessario, i pistoni idraulici venivano spostati più in basso. I lavori si conclusero con un frastuono smorzato di 20 dB rispetto a quello usuale, ed una produzione di polveri inferiore del 90%.



(Grafico) *Procedura del metodo di demolizione dell'azienda Taisei Corporation.* Elaborazione a cura delle autrici

Un'altra tecnica adottata, sempre in Giappone, per la demolizione controllata di edifici, è stata eseguita dalla Kajima Corp, un'azienda edilizia. Il metodo adottato è l'esatto inverso di quello usato per l'Akasaka: una demolizione che parte dal basso e che prende il nome di *Daruma-Otoshi*.
La metodologia consiste nell'edificare una struttura d'acciaio al centro del palazzo per irrigidirlo in caso di scosse sismiche, come spesso accade in Giappone, e nell'applicare dei pistoni poggiati direttamente a terra, usati per mantenere sollevato l'intero edificio, dal primo piano in su.
Partendo con la demolizione, si rimuovono gli elementi strutturali di sostegno e tamponamento del primo piano e poi si abbassa gradualmente il palazzo per ricominciare da capo con il livello soprastante.
Rispetto al metodo utilizzato da Taisei, c'è il vantaggio di non dover spostare in cima i macchinari, risparmiando tempo ed energie, ma anche lo svantaggio che sopra determinati pesi complessivi dell'edificio, l'attuazione può essere rischiosa.



(Grafico) *Procedura del metodo di demolizione Daruma-Otoshi.* Elaborazione a cura delle autrici

Questi sono solo due degli esempi che dimostrano che si stanno facendo dei passi in avanti nel settore delle demolizioni, in parallelo a quello delle decostruzioni.
La complessità di intervenire su edifici che non sono stati progettati per essere smontati/decostruiti implica un importante fattore che può spostare la scelta dal DfD alla demolizione selettiva.

Rispetto a quanto detto nei sottocapitoli precedenti, il DfD implica un aumento dei costi, derivanti dalla fase di progettazione, dalle numerose operazioni di disassemblaggio e il correlato aumento della manodopera.
L'aumento dei costi derivanti dall'adottare questo sistema è anche riscontrabile, in parte, nella demolizione selettiva, in quanto, rispetto ad un tradizionale sistema di demolizione pesante, la demolizione selettiva comporta dei costi aggiuntivi stimati, circa dal 10% al 20%.
Tuttavia, i vantaggi che derivano dall'adottare questo tipo di approccio al fine vita di una struttura, nonostante non risolva completamente il problema della circolarità nel settore, sono numerosi.
Alcuni di questi sono:

- Meno materiale in discarica e più materiale recuperato;
- Flussi di rifiuti più controllati;
- Gestione degli impianti di recupero facilitata.

Fonti:

1. (Documento) Green Building Council Italia, *Economia circolare in edilizia,* 2019
2. (Articolo online) D. BRACCHINI per WoltersKluwer, *Olimpiadi di Rio 2016: la Future Arena della pallamano sarà smontata e riutilizzata*, 2016 https://www.teknoring.com/news/progettazione/olimpiadi-di-rio-2016-la-future-arena-della-pallamano-sara-smontata-e-riutilizzata/#:~:text=La%20'Future%20Arena'%2C%20costruita,realizzare%20quattro%20nuovi%20istituti%20scolastici&text=I%20Giochi%20Olimpici%20di%20Rio,5%20agosto%2C%20sono%20alle%20porte
3. (Documento) D. D. TINGLEY, *Design for Deconstruction: An Appraisal,* 2012
4. (Articolo di ricerca) J. KANTERS, *Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art*, 2018 https://www.mdpi.com/2075-5309/8/11/150/htm
5. (Articolo online) P. MEZZI, *La demolizione selettiva avanza,* 2019 https://www.infobuild.it/approfondimenti/demolizione-selettiva-edilizia-economia-circolare/
6. (Articolo online) Zeroenvironment, *Demolizione vs Decostruzione,* 2017 http://zeroenvironment.com/demolizione-vs-decostruzione/
7. (Seminario) N. MONDINI per ANPAR, *Nuove prospettive per un'edilizia pubblica sostenibile, l'applicazione dei criteri ambientali minimi - Verso la decostruzione selettiva: riduzione degli sprechi e recupero dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione,* 2019
8. (Articolo online) J. RANIERI, *Demolizioni delicate: senza polvere sparisce un grattacielo,* 2015 https://www.jacoporanieri.com/blog/?p=18441
9. (Articolo online) Pink Tencatle, *Video: 'Daruma-otoshi' skyscraper demolition*, 2008 http://pinktentacle.com/2008/07/video-daruma-otoshi-skyscraper-demolition/

CONCLUSIONI

La ricerca alla base della stesura del presente lavoro ha avuto come obiettivo quello di individuare le condizioni che rendono possibile la sostenibilità nell'edilizia, come strumento di mitigazione dei fenomeni di consumo a cui stiamo assistendo oggi. Ciò si è concretizzato nell'analisi del contesto culturale all'interno del quale si opera e dell'avanzamento tecnologico degli ultimi anni. Le principali novità che hanno riguardato gli ultimi due decenni sono state il reperimento e la catalogazione dei dati e l'automatizzazione di diversi processi, quali la collaborazione integrata delle diverse discipline specialistiche implicate nella progettazione.
Ad oggi, uno dei principali ambienti virtuali che permetta una progettazione integrata è l'ambiente BIM. Quando si parla di *Design for Deconstruction*, infatti, si fa riferimento a un intero processo che comprende la fase precedente alla progettazione, la progettazione stessa, la manutenzione e la gestione del fine vita, che costituisce anch'esso un oggetto di pianificazione.
Si tratta di un particolare approccio alla progettazione che influisce positivamente sull'ambiente, incentivando il risparmio delle risorse e del suolo e limitando la produzione di rifiuti.
Durante lo svolgimento, un ostacolo è stato rappresentato dalla scarsità di letteratura disponibile, fattore che ha confermato la novità di tale tema; d'altra parte, si è potuta osservare un'ampia disponibilità di articoli di ricerca, che dimostrano un rinnovato interesse verso la sostenibilità delle costruzioni: questo, dal punto di vista della ricerca di sistemi innovativi, sia per la nuova costruzione, sia per il trattamento del patrimonio edilizio esistente.

Data l'importanza dell'analisi dei casi studio, a livello internazionale, che ha riguardato circa la metà di questo lavoro, si è potuto osservare che il *modus faciendi*, in ambito architettonico, dei diversi Paesi europei e d'oltreoceano, è nettamente diverso a seconda del contesto geografico. Influiscono fortemente fattori culturali, economici, normativi e territoriali.
Di conseguenza, l'applicazione di una progettazione che guardi alla smontabilità, ha differenti livelli di ricerca e di introduzione nella pratica cantieristica. Un esempio può essere il caso giapponese, nel quale la tradizione dell'utilizzo di giunti meccanici è secolare: anche per questo motivo, l'applicazione del *Design for Deconstruction* trova maggiore facilità di diffusione; d'altra parte, in una tradizione costruttiva come quella italiana, nella quale è maggiormente diffuso un approccio conservativo, l'applicabilità di questo sistema trova maggiore resistenza.
Il metodo di analisi si è basato sulla scelta di casi studio localizzati in quattro contesti

geografici distanti tra loro, geograficamente e culturalmente. Tale metodo è stato utile a comprendere le basi su cui si poggiano le differenti applicazioni del processo tecnologico da noi analizzato.
I casi studio dimostrabili come rappresentazione integrale dell'applicazione del DfD sono in piccolissimo numero, se non totalmente assenti: è quasi sempre presente un nodo critico (nella maggior parte dei casi, la fondazione), che impedisce la decostruibilità totale. Ciò non rappresenta, tuttavia, un limite alla nostra analisi: si tratta, nella maggior parte dei casi, di limitazioni imposte dalla normativa vigente nel Paese.
I tentativi sono, comunque, molteplici: la decostruibilità, nei vari casi analizzati, viene applicata in modo consapevole sulla maggior parte delle porzioni interne e di tamponamento esterno. Rimane aperta la questione della struttura portante, che è più complessa e articolata: infatti, abbiamo potuto osservare un certo approfondimento nello studio delle soluzioni di smontabilità della struttura portante stessa, che rappresenta l'ostacolo più grande alla circolarità.
A tal proposito, dall'analisi dei casi studio, è emersa una tendenza all'applicazione del principio di modularità, che, senza dubbio, facilita operazioni di montaggio e smontaggio; la maggior parte dei pezzi è prodotta *off-site*, tramite un processo di prefabbricazione: questo rende il pre, il durante e il post del cantiere meccanici.
D'altra parte, a nostro avviso, l'uso di componenti di grandi dimensioni, come succede ad esempio con le travi del Building D(emountable) a Delft (che hanno una lunghezza di 12,5 m), potrà potenzialmente causare dei rallentamenti sia nello smontaggio che nel possibile riutilizzo: è possibile che elementi molto grandi debbano essere rimodellati per diventare appetibili su un mercato di MPS, il quale dovrà essere regolamentato da una normativa che segua le innovazioni in atto.
In questa analisi relativa ai casi studio, è stato possibile analizzare alcuni progetti che sono già stati smontati e rimontati altrove, modificandone anche la configurazione interna. Ad esempio, all'interno del Temporary Courthouse di Amsterdam, erano presenti degli elementi (ad esempio, le celle dei detenuti) caratterizzanti la funzione del tribunale, progettati perché potessero ospitare altre funzioni successivamente.
In altri casi, gli scenari che si aprono al fine vita degli edifici sono differenti. Questi non sono sempre costituiti da elementi che possano svolgere unicamente la funzione per la quale sono stati progettati, ma che possono entrare sul mercato con altre funzioni. Sono molteplici i casi in cui si aprono le possibilità di riuso o di riciclo o di reimmissione nel mercato della MPS.
Questo processo, a livello circolare, subisce, quindi, delle limitazioni poste dal contesto circostante, per quanto riguarda, ad esempio, la domanda di mercato.

Un aspetto interessante è il ruolo della temporaneità nel campo della decostruzione degli edifici: tale principio può essere un punto di partenza, che, però, non è applicabile, ad oggi, sulla totalità delle destinazioni d'uso. Anche nell'analisi dei casi progettuali studiati, abbiamo riscontrato una prevalenza di edifici a destinazione

terziaria, piuttosto che residenziale.
Il caso di edifici costruiti interamente per essere temporanei, a nostro avviso, può essere una soluzione auspicabile, per la nuova costruzione, nel momento in cui si avrà un globale adeguamento alla tecnologia, un avanzamento della normativa e una maggiore fiducia da parte del cliente.
Sulla base dei ragionamenti che abbiamo potuto sviluppare, nell'ambito del lavoro di tesi, possiamo dire che una soluzione intermedia potrebbe essere un *ibrido* (applicabile sia come principio per la nuova costruzione, sia come metodo di intervento sull'esistente): una struttura resistente progettata per la durabilità, con interni modulari e flessibili.
La circolarità si può applicare non solo alla larga scala, ma anche alla scala del dettaglio: nella stratigrafia, nell'organizzazione impiantistica, nella distribuzione interna o nell'arredo.
Trattando il tema delle componenti accessorie interne all'edificio, un'interessante strategia circolare può essere, come abbiamo visto in alcuni casi applicativi, come nel Pavillion Circle, la locazione delle componenti impiantistiche, di servizio o di arredo.
Lo studio dello stato dell'arte delle architetture esistenti e l'ascolto del punto di vista dei soggetti intervistati, che hanno piena consapevolezza dei temi trattati, ci ha portato a una maggiore comprensione di come la teoria si applichi nella pratica e di quanto il contesto culturale specifico influenzi l'applicazione di questi principi in un modo piuttosto che in un altro. In questo modo, abbiamo potuto prendere coscienza del fatto che tali competenze non sono ancora diffuse in maniera capillare: la rapidità con la quale si sta vivendo questo avanzamento tecnologico è tale da richiedere un aggiornamento continuo.

Il ruolo della nuova generazione di professionisti sarà quello, nel prossimo futuro, di accompagnare l'applicazione della tecnologia nell'edilizia quotidiana delle nostre città, con un equo adeguamento dei paesi del Nord e del Sud del mondo, in un ottica di sostenibilità ambientale, economica e sociale.
Sarà inevitabile, quindi, che le normative relative a questo settore si adeguino alle nuove esigenze. Si tratta di un processo bidirezionale: ad avanzamento tecnologico corrisponde l'adattamento della normativa e viceversa.

In conclusione di questi due anni di percorso formativo ci teniamo a ringraziare chi ci ha accompagnato e sostenuto.

Un ringraziamento va rivolto al relatore prof. Guido Callegari e al correlatore prof. Paolo Simeone, che ci hanno seguito, indirizzato e aiutato durante l'elaborazione della tesi.
Ringraziamo chi ha collaborato al nostro progetto di interviste, per il suo prezioso contributo a questo lavoro.
Ringraziamo i nostri familiari e i compagni universitari con cui abbiamo condiviso questa avventura.