

Salvatore Viscuso,

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

salvatore.viscuso@polimi.it

**Abstract.** L'architettura dispone oggi di nuove possibilità espressive grazie ai software di modellazione parametrica e computazionale, che amplificano notevolmente le potenzialità di linguaggio. Questa condizione rende possibile la generazione di elementi e sistemi personalizzati attraverso un processo di interazione ciberfisica tra progettazione e produzione architettonica. Così come i vincoli geometrici, dettati dai processi di fabbricazione ed assemblaggio dei materiali, possono essere incorporati nei codici di progettazione generativa, nel presente contributo si esamina la possibilità di includere anche le principali condizioni che favoriscono il disassemblaggio selettivo degli elementi ed il loro riutilizzo a fine vita, evitando la generazione di pezzi non rilavorabili o riimpiegabili.

**Parole chiave:** *Design for disassembly*; *Design for re-manufacturing*; Economia Circolare; Progettazione parametrica; Riuso dei componenti.

## Introduzione e obiettivi

La progettazione digitale integrata consente di descrivere i sistemi costruttivi a tutto tondo, con tutti i loro parametri geometrici, materici e di carico esterno, ricostruendo così il loro comportamento meccanico e funzionale. Le regolazioni possono essere effettuate fino a quando tutti i parametri non sono allineati in modo ottimale tra loro, avvicinando il modello alla realtà fisica e permettendo di ridurre in maniera sostanziale i requisiti di sicurezza conservativi applicabili. Il risultato è la realizzazione di sistemi costruttivi ideati 'su misura' e, di conseguenza, più leggeri e sostenibili (Lienhard, 2015). Tuttavia, il rischio di generare, per ogni progetto, una proliferazione di pezzi differenti, rende tuttora la progettazione parametrica non immune da critiche, a causa della sua difficile replicabilità / scalabilità (Capozzi, 2020). Inoltre, se non concepita o ingegnerizzata correttamente, l'impiego di elementi non standardizzati ha in molti casi compromesso la reversibilità del sistema tecnologico, complicando eventuali sostituzioni e disassemblaggi selettivi.

Considerando l'esigenza di ridurre al minimo i consumi e l'uso

di risorse non rinnovabili non soltanto in fase di produzione industriale e di costruzione in opera, ma nell'intero ciclo di vita del manufatto edilizio, il presente contributo esamina la possibilità di impiegare i codici generativi – ad oggi usati quasi esclusivamente nel descrivere i processi di fabbricazione e di assemblaggio di sistemi tecnologici personalizzati – per prefigurare diverse soglie di reversibilità costruttiva di tali sistemi, così come per vincolare i componenti edilizi a caratteristiche geometrico-prestazionali compatibili con una potenziale rilavorazione e riuso.

La ricerca ha condotto un'analisi della letteratura più recente relativa al disassemblaggio e al riuso dei componenti edili, al fine di individuare dei macro-criteri per il controllo progettuale della soglia di reversibilità costruttiva (Tab. 1). Per ciascun macro-criterio individuato, sono stati definiti dei sotto-obiettivi di progetto che rappresentano le condizioni per il controllo geometrico, prestazionale e relazionale dei componenti. Tali obiettivi, descritti nei paragrafi successivi, possono essere codificati – senza particolari ostacoli – in regole parametriche da poter impiegare all'interno dei software di *model authoring* come *Grasshopper* per la piattaforma *Rhinoceros* o *Dynamo* per *Revit*, oppure gestite per mezzo di plug-in aggiuntivi o strumenti di *model checking* che ne facilitano l'adozione.

## Codificare i modelli relazionali

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

L'esigenza di nuovi sistemi tecnologici trasformabili e adattabili, i cui elementi siano a loro

Coding the circularity.  
Design for the  
disassembly and reuse of  
building components

**Abstract.** The architecture design today has new expressive features due to the parametric and computational modelling software, which greatly amplify the potential of language. This condition makes it possible to generate customised elements and systems through a process of cyber-physical interaction between design and architectural production. As well as the geometric constraints, dictated by manufacturing and assembly processes of materials, they can be incorporated in the generative design codes. The article examines the possibility to also include the main conditions that enable the selective disassembly of the elements and their reuse at the end of life, avoiding the generation of parts that are not remanufacturable or reusable.

**Keywords:** Design for Disassembly; Design for remanufacturing; Circular economy; Parametric design; Components reuse.

## Introduction and objectives

The integrated digital design allows the construction systems to be described in great detail with all their parameters in terms of geometry, material and external load, thus reconstructing their mechanical and functional behaviour. Adjustments can then be made until all parameters are optimally aligned one each other, bringing the model closer to physical reality and allowing a substantial decrement of safety factors that must be applied. The result is the design of tailor-made construction systems that are consequently lighter and more sustainable (Lienhard, 2015). However, the risk of producing a proliferation of different pieces for each project still makes parametric design not immune to criticism, due to its difficult replicability / scalability (Capozzi, 2020). Furthermore, if not properly conceived and engineered,

the use of non-standard elements has in many cases compromised the reversibility of the technological system and complicated any replacements and selective disassembly.

Considering the need to minimise the consumption and use of non-renewable resources not only in the industrial production and construction phase but also in the entire life cycle of the building, this contribution examines the use of generative codes – nowadays used almost exclusively to control the manufacturing and assembly processes of customised systems – to figure out different reversibility thresholds of the construction, as well as to constrain the building components to geometric, performative specifications that are compatible with potential remanufacturing and reuse processes. The research has focused on the analysis of the most recent literature relating

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 (Tab. 2). 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 *disassembly 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.

to the disassembly and reuse of building components, with the aim of identifying macro-criteria for the control of reversibility thresholds of the project (Tab. 1). For each identified macro-criterion, a set of sub-objectives defines the conditions for the geometric, performative and relational control of the components. These goals, described in the following paragraphs, can be coded - without specific issues - in parametric rules that can be used within model authoring software, such as Grasshopper for the Rhinoceros platform or Dynamo for Revit, or managed by means of plug-in or model checking tools that make their adoption easier.

#### Coding the relational models

The need for new transformable and adaptable technological systems, with elements that are in turn reusable and recyclable, is required by the recent

market dynamics that need frequent renovations of the internal fitting out of buildings, as well as by the recent regulatory framework that indicates the reversible construction as one potential strategy for reducing resource consumption.

Consequently, over the last few years, various methods have been developed to quantify the level of disassembly of a technological system, some of which have been transferred from other production sectors such as electronics and automotive (Tab. 2). Most protocols provide a weighted score that allows us to evaluate the reversibility threshold of a project. However, some of them are based exclusively on qualitative parameters (Durmisevic, 2006; Langston *et al.*, 2008), while the possibility of a future reuse of components has only recently been contemplated (Conejos, 2013; Akinade *et al.*, 2015; Sanchez

| Abbr | Macro-criteri                      | Nr. | Obiettivi di progettazione parametrica  |
|------|------------------------------------|-----|---|
| MS   | Struttura del modello / Clustering | 1.1 | Separazione funzionale dei componenti   |
|      |                                    | 1.2 | Indipendenza tecnologica dei componenti   |
| AP   | Processo di assemblaggio           | 2.1 | Controllo della direzione di assemblaggio   |
|      |                                    | 2.2 | Controllo delle sequenze di assemblaggio  |
| BE   | Elemento base                      | 3.1 | Controllo geometrico dell'elemento base (conformità a ulteriori rilavorazioni/reimpieghi) |
| LC   | Coordinamento life-cycle           | 4.1 | Valutazione del deterioramento in fase d'uso  |
|      |                                    | 4.2 | Prevenzione del deterioramento in fase di disassemblaggio                                 |
| IC   | Interfacce / Connessioni           | 5.1 | Controllo geometrico dei bordi  |
|      |                                    | 5.2 | Gestione tipologie di connessione   |
|      |                                    | 5.3 | Verifica accessibilità alle connessioni   |
|      |                                    | 5.4 | Controllo morfologia dei giunti   |
|      |                                    | 5.5 | Gestione delle tolleranze   |

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 ma-

and Haas, 2020).

Analysing these methods, the advantage of developing a digital disassembly model, organised according to relational rules that can be implemented in the most common BIM software, is evident. During the construction design stages, these tools nest digital objects to create a hierarchical relationship between the whole building, its components and the elements that assemble each component (*data tree*). To design an open and dynamic configuration, it is therefore necessary to separate the different functions of the building using independent subsystems for each function, which can be assembled independently from the other parts of the structure (Durmisevic, 2006). For example, a façade system can be structured following the functional breakdown model into sub-functions, such as closure, finishing,

insulation, water protection and mechanical resistance. Subsequently, the sub-functions are allocated through the independent elements that are arranged in components, which form a particular façade system once assembled. The components are the materialisation of the sub-functions, which can have different lifespans (Fig. 1).

By breaking down the façade into a number of independent components, the system becomes more flexible because it can be easily modified or reconfigured according to new needs of brightness, insulation, position of the openings and cladding. Therefore, the relational independence of each "branch" of the data tree allows the implementation of both a short-term scenario, relating to the adaptation and the future use of the architectural building, and a long-term one connected to the end-of-life of building components. The

| Metodo di valutazione                         | Descrizione  | Data output            | Rif.                          |
|---|--|------------------------|-------------------------------|
| Knowledge Model                               | Sequenze di disassemblaggio<br>Logica fuzzy            | Score pesato           | Durmisevic, 2006              |
| Adaptive reuse potential                      | Strumento di analisi multicriterio della sostenibilità | Vita utile             | Langston <i>et al.</i> , 2008 |
| AdaptSTAR                                     | Controllo delle strategie di progettazione             | Score pesato           | Conejos, 2013                 |
| BIM-based deconstructability assessment score | Controllo delle strategie di progettazione             | Score pesato           | Akinade <i>et al.</i> , 2015  |
| Sequence disassembly planning                 | Grafico della sequenza di disassemblaggio              | Sequenza automatizzata | Sanchez, Haas, 2020           |

teriali 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 (Fig. 2).

### Codificare le geometrie e le prestazioni

La definizione delle caratteristiche geometriche degli elementi di base, operato all'interno del processo di nidificazione dei componenti BIM, può incidere in maniera decisiva sulla possibile rilavorazione o riuso diretto dei materiali recuperati a seguito del disassemblaggio. Costituisce un valido esempio l'ampliamento temporaneo del Municipio di Brummen (Fig. 3), nei Paesi Bassi, progettato per una durata di vita di 20 anni, in cui i progettisti (RAU Architects) hanno ideato il telaio portante in legno lamellare assemblando colonne e travi portanti "vincolate" dal produttore nelle loro caratteristiche dimensionali, in funzione della loro rilavorazione (Densley Tingley *et al.*, 2018).

Nel processo di progettazione di assieme disassemblabili, la modularità e la standardizzazione facilitano sicuramente il loro riutilizzo/rigenerazione. Per questa ragione, in un contesto produttivo sempre più orientato alla personalizzazione dei componenti, è importante che i processi di differenziazione degli elementi da poter reimpiiegare siano reversibili, oltre che demandati il più possibile alle ultime fasi della filiera produttiva. In aggiunta alla fabbricazione per assemblaggio meccanico, la personalizzazione per deformazione elastica o plastica dei materiali consente di

ripristinare facilmente (spesso direttamente *on-site*) le loro configurazioni iniziali, favorendo così il trasporto, la rilavorabilità e, in conseguenza a ciò, una maggiore competitività sul mercato. Nel progettare la morbida copertura degli uffici temporanei Sanno a Okazaki, in Giappone, lo studio Velocity ha impiegato esclusivamente degli elementi lignei a sezione sottile che generano una superficie curva per gravità e tensione, dando così l'idea di un involucro leggermente concavo ed accogliente (Fig. 4). Le travi piatte in legno lamellare, curvate direttamente in fase di assemblaggio in cantiere, possono essere ricondotte alla forma originaria una volta disassemblate, ed impiegate nuovamente secondo configurazioni differenti (Zaxarov, 2020).

Una volta definito il modello costruttivo digitale del progetto, i dati geometrici e informativi dei materiali – organizzati secondo la struttura ad albero sopra descritta – costituiscono un'anagrafica completa (*Building Passport*), implementabile nel tempo come supporto digitale allo storico delle manutenzioni e sostituzioni edilizie. Ciò consentirà di ricostruire la "vita" pregressa degli elementi, e poterne così valutare il possibile inserimento nel modello digitale di un progetto futuro. Ad esempio, Arup ha sviluppato di recente una metodologia interna per registrare e tracciare materiali e componenti in specifici *Building Passport* mediante l'utilizzo di modelli BIM *cloud-based*, nonché nuove formule contrattuali per la gestione dell'intero ciclo di vita di un edificio, dalla progettazione allo smontaggio (Zimmann *et al.*, 2016). Con lo stesso obiettivo, Rotor Deconstruction e New Horizon – aziende del distretto belga-olandese impegnate nella

main characteristics of these dynamic configurations can be summarised in simple "rules" within the codes for modelling and nesting the parametric geometries (Vandenbroucke, 2016): i) decomposition of material levels, which correspond to independent functions; ii) creation of an open hierarchy of distinct sub-sets; iii) definition of parallel rather than sequential assembly / disassembly processes (Fig. 2).

### Coding geometries and performances

The geometric definition of base elements, operated within the nesting process of the BIM components, can decisively affect the possible remanufacturing or the direct reuse of the materials recovered after the disassembly. A valid example is the temporary extension of Brummen Town Hall (Fig. 3) in the Netherlands, designed

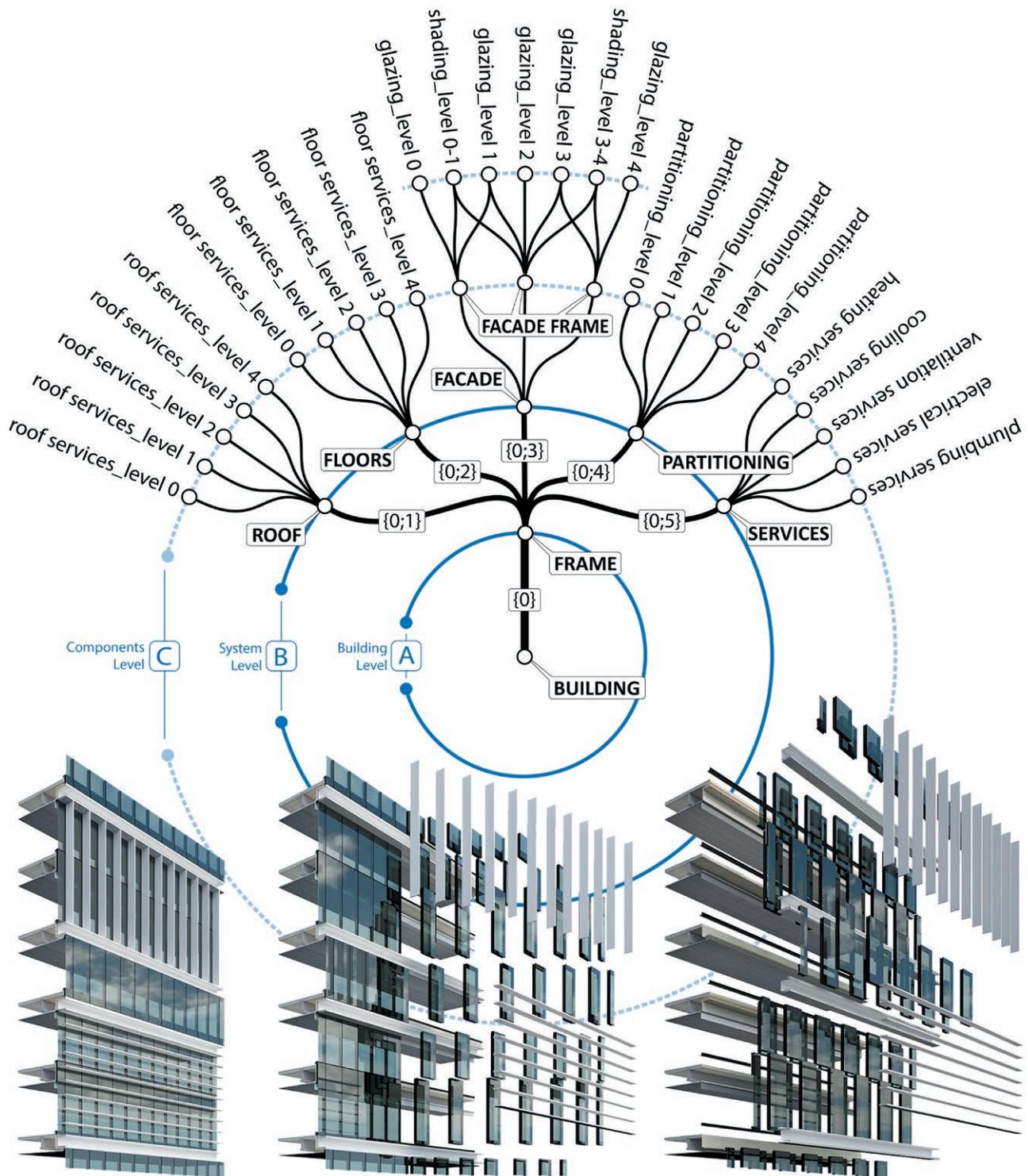
for a life span of 20 years, in which the designers (RAU Architects) conceived the structural frame in glulam by assembling columns and beams "constrained" by the manufacturer in their dimensions, depending on the remanufacturing opportunities (Densley Tingley *et al.*, 2018).

In the Design for Disassembly, the modularity and the standardisation certainly facilitate the reuse / regeneration of assemblies and components. For this reason, in a production context gradually oriented to customisation, it is important that the differentiation process of the elements is reversible, as well as postponed as much as possible to the last stages of the production chain. In addition to manufacturing by mechanical assembly, the customisation by elastic or plastic deformation of the materials allows you to easily restore (often directly on site) their

initial configurations, thus favouring transport, remanufacturing and, consequently, more competitiveness on the market. For example, to design the soft roof of the Sanno temporary office in Okazaki, Japan, Velocity Studio exclusively used thin wooden boards that generate a curved surface formed by gravity and tension, thus giving the idea of a slightly concave and convivial envelope (Fig. 4). The flat beams in laminated wood, bent directly on site, can be brought back to their original shape when disassembled, and used again in different configurations (Zaxarov, 2020).

Once the digital construction model of the project has been defined, the geometric and information data of the materials – organised according to the tree structure described above – constitute a complete database (building passport), which can be im-

plemented over time as a digital support to the facility management. This will make it possible to reconstruct the previous "life" of the elements and thus be able to evaluate their possible nesting in the digital model of a future project. For instance, Arup has recently developed an internal methodology to record and track materials and components in specific building passports using cloud-based BIM models, and new contractual formulas for the management of the whole building life cycle, from the design to the dismantling (Zimmann *et al.*, 2016). With the same objective, Rotor Deconstruction and New Horizon – companies of the Belgian-Dutch district involved in selective demolition and component recovery – have recently launched an urban mining scan service for existing building stock (Devlieger, 2019), aimed at quantify-



ing and qualifying the potential reuse of materials and components within a digital database (material passport). In that way, the computational design tools will be able to analyse their compliance with the required perfor-

mance framework and reuse / transform them if still suitable.

**Coding interfaces and connections**  
 The design of the building connections is an essential aspect for defining its

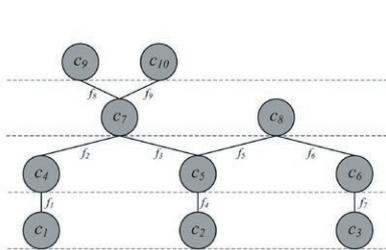
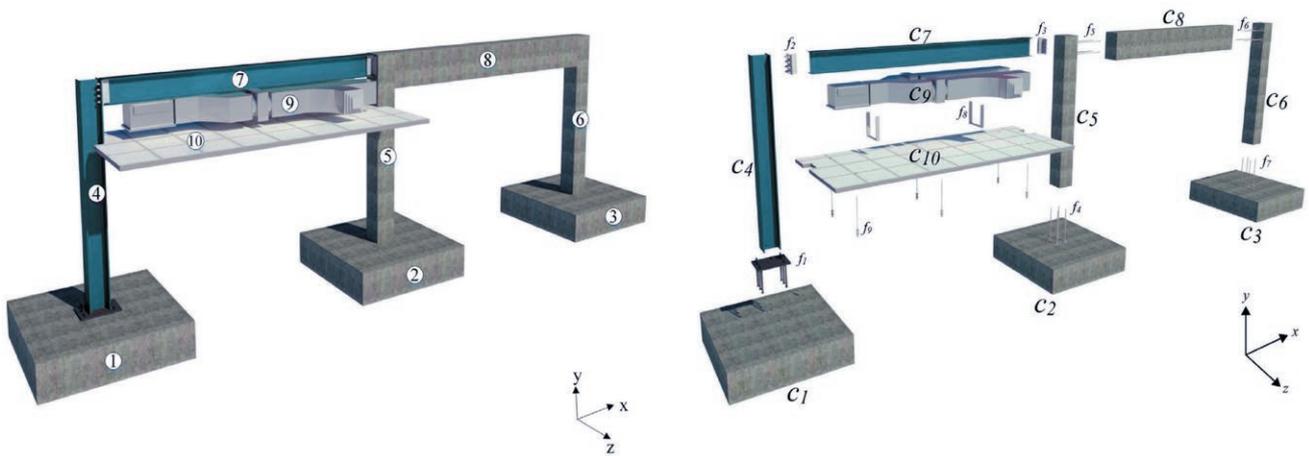
reversibility threshold. The interfaces to be connected define the degree of freedom component joints, which can be controlled by designing the edge of the elements and specifying the type of connection. A possible categorisation

of the interface types may identify the criteria for verifying the reversibility rate of the connection; the criteria can be parametrically bound through specific codes to adopt during the components' modelling (Golinska-Dawson,

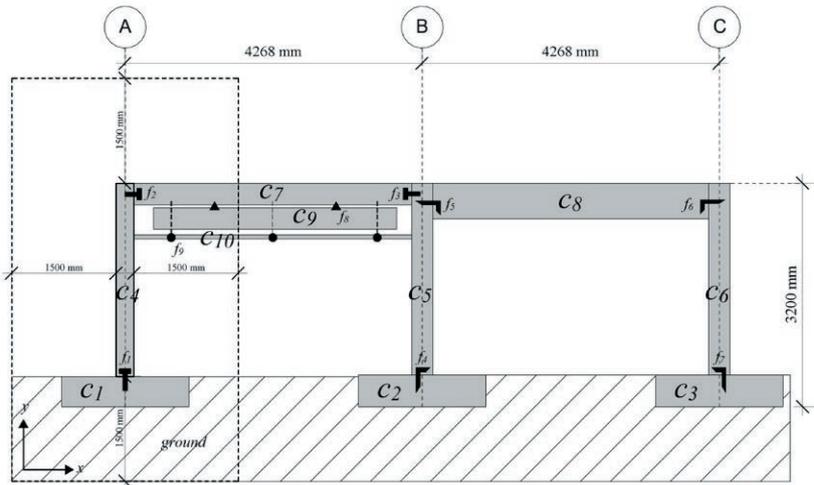
Digital assessment (BIM 6D) of the relational model for an assembly prototype, strip out cost estimation and life cycle assessment parameterised to the components' end of life (demolition vs. disassembly), source: Sanchez, Haas, 2020

demolizione selettiva e nel recupero dei componenti – hanno avviato di recente un servizio di *Urban Mining Scan* per gli immobili esistenti (Devlieger, 2019), volto a quantificare e qualificare il potenziale di riuso dei materiali all'interno di anagrafiche digitali (*Material Passport*). Così operando, gli strumenti di progettazione computazionale potranno analizzarne la rispondenza al quadro prestazionale richiesto, al fine di riutilizzarli / rigenerarli se ancora idonei.

**Codificare le interfacce e le connessioni** La progettazione delle connessioni dell'edificio costituisce un aspetto quanto mai essenziale per definirne 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



1. Concrete isolated foundation 1830x1830x457mm
2. Concrete isolated foundation 1830x1830x457mm
3. Concrete isolated foundation 1830x1830x457mm
4. Steel column W10X49
5. Concrete column 120x120mm
6. Concrete column 120x120mm
7. Steel beam W12X26
8. Concrete column 120x200mm
9. Ventilation ducting system
10. Compound ceiling 2'x4' ACT System



$$CC = \begin{matrix} & +x & -x & +y & -y \\ \begin{matrix} CC_1 \\ CC_2 \\ CC_3 \\ CC_4 \\ CC_5 \\ CC_6 \\ CC_7 \\ CC_8 \\ CC_9 \\ CC_{10} \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} f_1 & f_1 & f_1, c_4 & f_1, ground \\ f_4 & f_4 & f_4, c_5 & f_4, ground \\ f_7 & f_7 & f_7, c_6 & f_7, ground \\ f_1, f_2, c_7, c_{10} & f_1, f_2 & f_1, f_2 & f_1, f_2, c_1 \\ f_3, f_4, f_5, c_8 & f_3, f_4, f_5, c_{10} & f_4, f_5, f_3 & f_3, f_4, f_5, c_2 \\ f_6, f_7 & f_6, f_7, c_8 & f_6, f_7, c_3 & f_6, f_7, c_3 \\ f_2, f_3, f_8, f_9, c_5 & f_2, f_3, f_8, f_9, c_4 & f_2, f_3, f_8, f_9 & f_2, f_3, f_8, f_9, c_9 \\ f_5, f_6 & f_5, f_6, c_5 & f_5, f_6 & f_5, f_6 \\ f_9 & f_9 & f_9, c_7 & f_9 \\ f_{10}, c_5 & f_{10}, c_4 & f_{10} & f_{10} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$EnvC = \begin{matrix} & GWP & PED \\ \begin{matrix} EnvC_1 \\ EnvC_2 \\ EnvC_3 \\ EnvC_4 \\ EnvC_5 \\ EnvC_6 \\ EnvC_7 \\ EnvC_8 \\ EnvC_9 \\ EnvC_{10} \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} 805.43 & 6,416.06 \\ 805.43 & 6,416.06 \\ 805.43 & 6,416.06 \\ 228.94 & 3,124.31 \\ 202.74 & 1,568.91 \\ 202.74 & 1,568.91 \\ 174.34 & 2,516.24 \\ 485.25 & 3,733.11 \\ 12.47 & 185.29 \\ 21.93 & 301.00 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$EC = \begin{matrix} & & & & \\ \begin{matrix} EC_1 \\ EC_2 \\ EC_3 \\ EC_4 \\ EC_5 \\ EC_6 \\ EC_7 \\ EC_8 \\ EC_9 \\ EC_{10} \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} \$438.25 & S. Demolition \\ \$438.25 & S. Demolition \\ \$438.25 & S. Demolition \\ \$86.75 & S. Disassembly \\ \$71.61 & S. Disassembly \\ \$71.61 & S. Disassembly \\ \$86.75 & S. Disassembly \\ \$174.73 & S. Demolition \\ \$67.29 & S. Disassembly \\ \$40.12 & S. Disassembly \end{bmatrix} \end{matrix}$$

livello reversibilità della connessione, e 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 (Fig. 5).

**Conclusioni**

Alcune ricerche condotte dall'EPA (Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti) dimostrano che la decostruzione potrebbe essere competitiva in termini di costi con la demolizione, solo se ci fossero sufficienti materiali recuperabili con un buon valore di mercato, per compensare l'incertezza della fornitura e i maggiori costi del lavoro (Weber et al., 2009). A tal fine, la progettazione reversibile diventa uno strumento indispensabile per attivare filiere di riuso, nell'ottica di poter garantire che il componente edile mantenga valore una volta raggiunto il suo termine di vita.

Questa "visione", al momento, presenta numerose sfide da affrontare. I maggiori ostacoli alla diffusione dei processi di riuso sono

rappresentati dal gap normativo che tuttora non tiene in considerazione la marcatura (e, in genere, un processo di armonizzazione) per i materiali di seconda vita; dalla stessa normativa sui rifiuti, che non contempla processi virtuosi alternativi alle consolidate filiere di riciclo, le quali non sempre possono riciclare i materiali a seguito di trattamenti o contaminazioni della materia di base; dal costo dei processi di *reverse-logistic* e dalle scarse capacità di rifornire prontamente il mercato e le filiere di lavorazione, generando incertezze nelle forniture; infine, ma non meno importante, dai problemi strettamente connessi alla lavorabilità stessa dei materiali recuperati. Se, da alcuni anni, si sta pensando a una revisione della *Construction Products Regulation (CPR)* 305/2011 al fine di favorire la creazione di filiere produttive, rimane tuttora il limite del deterioramento del materiale e dell'incertezza sui costi. Ciò nonostante, la recente pubblicazione dello Standard BS ISO 20887:2020 intende fornire un *framework* organizzativo e metodologico per i differenti operatori e *stakeholders* coinvolti nel processo costruttivo, con l'obiettivo di promuovere la progettazione per lo smontaggio, i principi di adattabilità e le possibili strategie utili ad attivare nuovi processi basati sulla rigenerazione dei materiali. In questo scenario, l'architetto / programma-

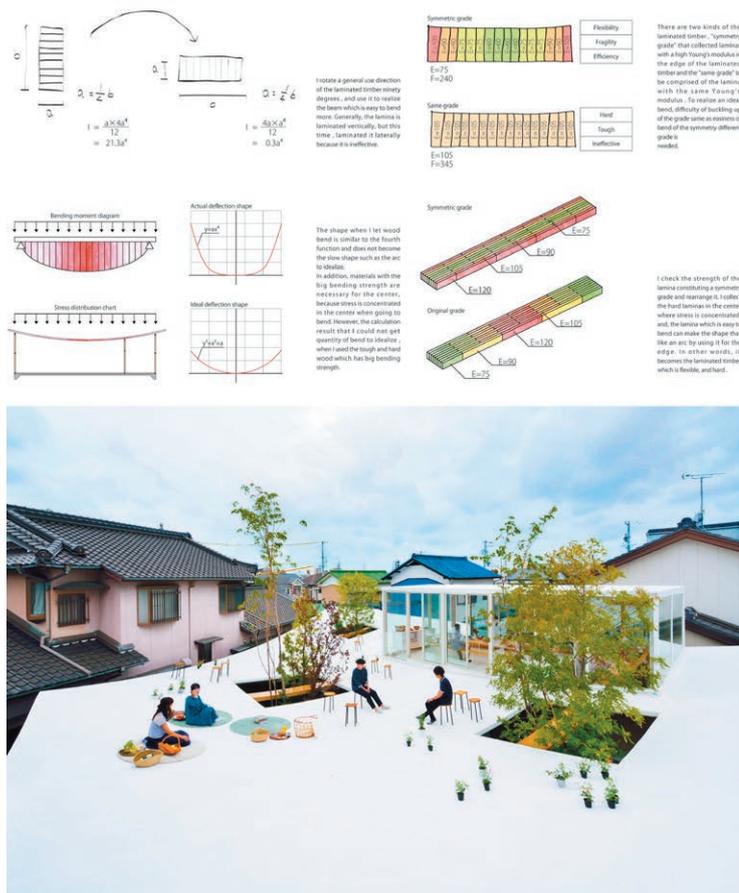
03 |



Gemeentehuis Brummen duurzame maatregelen

|                                      |                                     |  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1. zonnepanelen dak                  | 6. groene wand                      | 11. aanwingshellende / LED verlichting |
| 2. maximaal dichte bestrijking       | 7. iPhanorven met steen van oudwoud | 12. balie van herbruik                 |
| 3. maximale ventilatie met herbruik  | 8. opvallende steen van oudwoud     | 13. lokale warmtepomp                  |
| 4. groene daken                      | 9. CFC glaspartijen                 | 14. CFC afschudding / herbruik element |
| 5. duurzaamheids certificering (ISC) | 10. draagvloer glas                 | 15. herbruikbare meubelmaterialen      |





toe può assumere un ruolo sempre più cruciale, in quanto è in grado sia di gestire la progettazione computazionale delle nuove tecnologie di costruzione (e di decostruzione), che di favorire

l'integrazione orizzontale dell'intera filiera mediante l'interoperabilità digitale a supporto di nuovi modelli produttivi circolari (Caneparo, 2012).

Kuebler, 2018). For instance, the single and double interlocking geometries are less suitable for disassembly, because the elements can be removed only after demolishing the closest elements (Fig. 5).

### Conclusions

Some research conducted by EPA (United States Environmental Protection Agency) shows that deconstruction could be cost-competitive with demolition, but only if there were enough recoverable materials with a good market value to compensate for the supply uncertainty and higher labour costs (Weber *et al.*, 2009). To reach this aim, reversible design becomes an indispensable tool to activate reuse chains and guarantee that the building component retains value at the end of life.

Currently this "vision" presents nu-

merous challenges to be addressed. In the construction sector, the main barriers to the spread of reuse processes are represented by: the regulatory gap which still does not take into account the marking (neither a harmonisation process) for second-life materials; the waste regulation itself, which does not contemplate virtuous alternative processes rather than consolidated recycling chains, which cannot always recycle the materials due to treatments or contaminations of the basic material; high reverse-logistics costs and scarce capability to supply the market and production chains promptly, thus generating uncertainty; and last but not least, the problems strictly connected to the workability of the recovered materials. If the EU Commission has recently been thinking about a revision of the Construction Products Regulation (CPR) 305/2011 in order

to favour the creation of production chains, the limit of deterioration of the material and uncertainty about costs still remains.

Nevertheless, the recent publication of the BS ISO 20887:2020 provides an organisational and methodological framework for the different operators and stakeholders involved in the construction process, with the aim of promoting the design for disassembly, the principles of adaptability and the possible strategies for activating new processes based on the regeneration of materials. In this scenario, the architect / programmer can play an increasingly crucial role, because he/she is skilled both in managing the computational design of new construction (and deconstruction) technologies, and in favouring the horizontal integration of the entire supply chain through the digital interoperability as a support

for new circular production models (Caneparo, 2012).

### ACKNOWLEDGMENTS

This contribution is part of the preliminary studies for the research project "Re-NetTA" (*Re-manufacturing Networks for Tertiary Architectures. New organisational models and tools for re-manufacturing and reusing short life components coming from tertiary buildings' renewal*), funded by the Cariplo Foundation through the *circular economy for a sustainable future* call (2018-2020).

