

# La riqualificazione degli edifici industriali: una prospettiva di economia circolare

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

agata.maniero@phd.unipd.it  
fattorigiorgia94@gmail.com

Agata Maniero, Giorgia Fattori,

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova, Italia

**Abstract.** A partire dagli anni '70 il fenomeno della dismissione industriale ha generato in Europa un parco di edifici obsoleto e diffuso, collocato in aree altamente strategiche. Il presente contributo, puntando alla re-immissione nel mercato degli edifici industriali abbandonati, si è concentrato sullo sviluppo di moduli abitativi prefabbricati, per il loro recupero secondo il principio del *nested-building*. Il progetto è partito dall'analisi tipologica dei vincoli (architettonici, funzionali e strutturali) degli edifici industriali in calcestruzzo armato del '900 per garantire la replicabilità d'intervento. Infine, per validare le scelte progettuali e tecnologiche, il sistema modulare studiato è stato applicato ad un caso studio reale, il magazzino Greggi (1960) nell'ex-Manifattura Tabacchi di Verona.

**Parole chiave:** Edifici industriali dismessi; Recupero edilizio; Nested-building; Replicabilità d'intervento; Economia circolare.

## Introduzione

Dall'inizio del XX secolo le risorse primarie, ritenute illimitate, sono state utilizzate per la creazione di beni di consumo, generando significative quantità di rifiuti e di emissioni durante il loro ciclo di vita. La presa di coscienza della loro esauribilità con la crisi energetica del 1973 ha messo in luce l'esigenza di adottare un nuovo sistema circolare di economia, basato sulla crescita sostenibile e su un utilizzo efficiente e ciclico (Ellen Macarthur Foundation, 2015).

Anche gli edifici si collocano tra i beni di consumo e la loro produzione in tutta Europa ha seguito per decenni il sistema lineare basato sul "take, make and dispose". I fabbricati abbandonati possiedono tuttavia un valore intrinseco da sfruttare puntando all'estensione del ciclo di vita o al riciclo dei componenti, piuttosto che alla demolizione.

Con la "Roadmap to a Resource Efficient Europe" (2011) e il "Piano di Azioni per l'Economia Circolare" (2015) l'UE ha rimarcato l'importanza di limitare l'occupazione di nuovo suolo e di prolungare il fine vita dei materiali. Nonostante queste iniziative nel

The requalification  
of industrial buildings:  
a circular economy  
perspective

**Abstract.** Since the 1970s, in Europe the industrial decommissioning phenomenon has led to the generation of an obsolescent and widespread building stock, located in highly strategic areas. This paper, aiming to make abandoned industrial buildings re-enter the market, focused on the development of prefabricated housing modules, according to the nested-building renovation approach. The project started from the constraint's typological analysis (architectural, functional and structural) of 900 reinforced concrete industrial buildings in view of the intervention replicability. Finally, to validate the design and technological choices, the analysed system was applied to a real case study in Verona: the Greggi Warehouse (1960) in the "ex-Manifattura Tabacchi" factory area.

**Keywords:** Abandoned industrial buildings; Building recovery; Nested building; Intervention repeatability; Circular economy.

2020 l'occupazione del suolo in Italia ha continuato ad aumentare con un ritmo di circa 16 ettari al giorno (SNPA, 2020).

Uno dei settori AEC che ha maggiormente risentito del fenomeno di dismissione è quello industriale, che a causa della progressiva obsolescenza dei sistemi di produzione ha accumulato negli anni circa 100 milioni di mq di aree inutilizzate (Bondonio *et al.*, 2005).

Queste ultime sono localizzate nelle vicinanze di nodi strategici viari e spesso inglobate all'interno dei nuclei urbani: la loro riqualificazione assume quindi un ruolo determinante nel processo di trasformazione delle città.

La modularità dei sistemi costruttivi impiegati negli edifici produttivi del Novecento ha generato la presenza di caratteri formali ricorrenti (Mellis, 1953); sussiste perciò la potenzialità di definire un metodo applicabile su larga scala per il loro recupero sistematico che si adatti alle eterogeneità presenti, anziché focalizzarsi su singoli casi studio.

In questo contesto, il presente contributo analizza la tipologia di intervento del *nested-building*, ovvero di moduli abitativi inseriti nell'organismo edilizio esistente, come una potenziale risposta innovativa al tema del recupero e riuso.

L'aspetto più innovativo della ricerca è la replicabilità dei moduli studiati: il progetto infatti non nasce dal singolo caso studio ma attraverso lo studio tipologico del patrimonio industriale del '900. La possibilità di impiegare la soluzione tecnologica in differenti edifici industriali aumenta la loro sostenibilità economica e quindi dell'intero processo di riqualificazione, secondo i principi dell'economia circolare.

I gusci funzionali garantiscono inoltre un'elevata flessibilità spaziale e permettono l'inserimento di nuove e differenti destina-

## Introduction

Since the beginning of the twentieth century, the primary resources, considered unlimited, have been used to create consumer goods, producing significant amounts of waste and emissions during their life cycle. The awareness of their exhaustibility through the 1973 energy crisis highlighted the necessity to adopt a new circular system of economy, based on sustainable growth and cyclical use (Ellen Macarthur Foundation, 2015).

Buildings can also be ranked among consumer goods and their manufacturing throughout Europe has for decades followed the linear system based on "take, make and dispose". However, abandoned buildings have an intrinsic value to be exploited by extending the life cycle of recycling components, rather than demolishing them.

In 2011, the EU published the "Road-

map to a Resource Efficient Europe" and the "Circular Economy Action Plan" in 2015, emphasising the importance of limiting the new soil employment and encouraging recycling. Despite these initiatives, soil occupation in Italy continues to increase at a rate of about 16 hectares per day in 2020 (SNPA, 2020).

One of the AEC sectors that has suffered most from the decommissioning phenomenon is the industrial sector, which, due to the progressive obsolescence of production systems, has accumulated about 100 million square metres of unused areas over the years (Bondonio *et al.*, 2005).

The latter are located close to strategic road nodes and they are often incorporated into urban centres: their redevelopment plays a decisive role in the process of transforming cities.

The modularity of the construction

zioni d'uso con un approccio montaggio-smontaggio alternativo a quello di costruzione-demolizione, grazie al quale il costruito può essere re-insediato e ri-qualificato salvaguardando i caratteri originari.

### Stato dell'arte

La re-immissione sul mercato degli edifici industriali dismessi è collegata alla definizione di adeguati scenari di trasformazione, in relazione alla conoscenza dell'esistente e alla ricerca di tecnologie ad esso compatibili (Antoniadis and Redetti, 2019). Le strategie di intervento esistenti si distinguono in: (Donnarumma, 2013):

- "riconversione produttiva" con il mantenimento della destinazione industriale/produttiva;
- "riconversione funzionale", con l'adattamento del fabbricato a nuove destinazioni d'uso;
- "demolizione", con la sostituzione del fabbricato secondo nuove esigenze urbane.

Tra le altre, la "riconversione funzionale" risponde alla duplice necessità di mantenere le connotazioni espressive e percettive dei manufatti e di soddisfare nuove esigenze urbanistiche (Piemontese, 2008).

Un'ulteriore distinzione può essere fatta in base al rapporto tra l'intervento di riconversione e l'esistente (Turrini, 2013): le soluzioni di "inglobamento" o "incapsulamento" avvolgono esternamente il fabbricato e possono essere collegate o meno con esso; le soluzioni in "contenimento" sono contenute nell'edificio pregresso; le soluzioni in "commistione" possono combinare le due precedenti o prevedere l'aggiunta di volumi/strutture in adesione. Nelle soluzioni in "inglobamento" si inquadra la metodologia

systems used in the production buildings of the twentieth century has generated the presence of recurring formal characters (Mellis, 1953); there is, therefore, the potential to define a large-scale method for their systematic recovery adaptable to the existing heterogeneities, rather than focusing on individual case studies.

In this context, the present research analyses the nested-building intervention, consisting of the housing modules' insertion into existing buildings as a potential innovative response to the theme of recovery and reuse.

The most innovative aspect of the research is the replicability of the modules: the project is born from the typological study of the industrial heritage of the 900 and not from an individual case study. The possibility of using the technological solution in different industrial buildings increases their eco-

nomical sustainability and therefore the entire process of redevelopment, according to the principles of the circular economy.

Moreover, these functional shells guarantee high spatial flexibility, adaptable to the form variety of abandoned industrial buildings. They allow the introduction of new and different functions with an assembly-disassembly approach alternative to that of construction-demolition. Thanks to this method, buildings can be requalified and resettled preserving their original characters.

### State of the art

The aim to return abandoned industrial buildings to market is linked to the identification of appropriate transformation scenarios. These should be based on the knowledge of existing buildings and of technologies com-

denominata *nested-building*, o "scatola nella scatola" (Malighetti, 2016), ovvero l'operazione di inserimento di nuovi volumi all'interno fabbricato, garantendo la conservazione del linguaggio esterno dei manufatti.

Le *nested-cells*, ovvero i singoli volumi inseriti nell'edificio, possono essere di tipo collaborante o non collaborante (Valluzzi *et al.*, 2021). Entrambi permettono un miglioramento delle prestazioni energetiche e funzionali, tuttavia si rapportano in modo differente alla struttura esistente: la prima tipologia riprende con esattezza le volumetrie interne, sostenendo strutturalmente l'edificio originario, la cui funzione viene declassata a mero rivestimento (Malighetti, 2016); i secondi gravano sulle strutture esistenti operando il solo recupero funzionale, permettendo però allo stesso tempo una maggiore flessibilità di intervento poiché autoportanti e indipendenti da queste ultime (Grecchi and Malighetti, 2008). Ambedue possono essere accompagnati dalla demolizione parziale del fabbricato, quali coperture, solai o tramezzature interne. Tra le tecnologie costruttive utilizzate per la realizzazione dei nuovi volumi si possono trovare strutture in cemento armato, acciaio, vetro, o legno, che mirano alla riconoscibilità tramite l'utilizzo dei materiali in contrasto con l'esistente (Malighetti, 2016; Valluzzi *et al.*, 2021). Le diverse soluzioni tecnologiche preclamate presentano tutte sia potenzialità che criticità relative (Tab. 1).

L'applicazione dei moduli abitativi nell'ambito specifico della riqualificazione degli edifici industriali è riportata in letteratura scientifica mediante limitati esempi di singoli casi studio, dimostrando l'evidente assenza di linee guida a livello metodologico (Fig. 1). Lo scopo primario dei diversi esempi è stato di sopprimere maggiormente alle carenze funzionali ed energetiche dell'esistente attraverso l'inserimento di moduli leggeri non struttu-

patible with them (Antoniadis and Redetti, 2019). Existing intervention strategies are distinguished in (Donnarumma, 2013):

- "Production reconversion" ("*Riconversione produttiva*") by maintaining the industrial destination;
- "Functional reconversion" ("*Riconversione funzionale*") by adapting the building to new uses;
- "Demolition" ("*Demolizione*") with the replacement of the building according to new urban needs.

Among others, the strategy of "functional reconversion" responds to the dual need to maintain the expressive and perceptive connotations of building and to meet new urban necessities (Piemontese, 2008).

A further distinction may be made on the basis of the relationship between the conversion measure and the existing edifice (Turrini, 2013): "Incorpo-

ration" or "Encapsulation" solutions, which envelop the building, whether or not connected to it; "Containment" solutions, enclosed within the previous building; "Mixture" solution, consisting of a combination of the previous two or the adhesion of new volumes/structures.

Among the "incorporation" solutions is the methodology called nested building, or "box in the box" (Malighetti, 2016), consisting of inserting new volumes inside the building that ensure the preservation of the external language.

The nested cells, i.e. the individual volumes inserted in the building following the nested-building methodology, can be divided into collaborating and non-collaborating housing modules (Valluzzi *et al.*, 2021). Both allow an improvement in energy and functional performances. However, they relate in

Tab. 01 | Analisi dei principali sistemi costruttivi impiegati nelle nested-cell  
 Analysis of the main construction systems used in nested cells

01 | Esempi di recupero di edifici industriali attraverso la strategia nested-building in Italia ed Europa  
 Recovery examples of industrial buildings through the nested-building strategy in Italy and Europe

rali. Tale strategia risulta infatti favorita nell'ambito degli edifici industriali dalla loro elevata capacità strutturale e la presenza di ampi ambienti interni (Riva, 2008), che assicura flessibilità e adattabilità a nuovi usi.

Le diverse *nested-cells*, nonostante accomunate da una ridotta variabilità dimensionale dovuta alla modularità intrinseca degli edifici industriali, non presentano caratteri di ripetibilità e/o standardizzazione.

**Obiettivi e metodologia** Alla luce di queste premesse, per favorire una riqualificazione su larga scala in linea con i principi della *circular economy*, la presente ricerca ha scelto come obiettivo la definizione di un modulo abitativo standardizzato, le cui dimensioni fossero desunte dall'analisi tipologica degli edifici industriali "a telaio" in calcestruzzo armato e la cui tecnologia costruttiva fosse compatibile con il contesto.

Alla base della metodologia operativa vi è l'individuazione di linee guida e criteri d'intervento per la fase di sviluppo e inserimento volumetrico della *nested-cell*.

Caratteristiche	Calcestruzzo	Acciaio	Legno	Vetro
Usò in moduli collaboranti	Si	Si	Si	No
Usò in moduli non collaboranti	No	Si	Si	Si
Peso specifico	Alto	Medio	Basso	Medio
Sostenibilità	Bassa	Media	Alta	Media
Reversibilità	No	Si	Si	Si
Facilità Montaggio/ Trasporto	Bassa	Media	Alto	Alta
Caratteristiche termometriche	Medio	Basso	Medio	Medio

Tab. 01

La ricerca è articolata in tre fasi finalizzate all'individuazione di una strategia di riqualificazione efficiente mediante l'utilizzo della tecnologia "scatola nella scatola" (Malighetti, 2016):

1. analisi della "scatola esterna" (preesistenza): fase di studio ed analisi critica finalizzata all'individuazione dei vincoli dimensionali tipologici attraverso lo studio degli edifici industriali del secondo '900;
2. analisi della "scatola interna", (moduli abitativi) ha approfondito lo studio dimensionale, funzionale, strutturale ed energetico del modulo standard, delineando delle linee guida operative d'intervento;
3. validazione del metodo: validazione ricorsiva delle linee guida individuate mediante l'applicazione al caso studio del "Magazzino Gregg", nell'area dell'"ex-Manifattura Tabacchi" di Verona.

**Tecnolopo C 19**  
**Andrea Oliva**

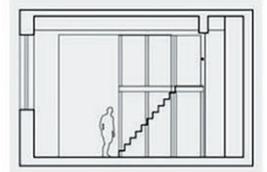
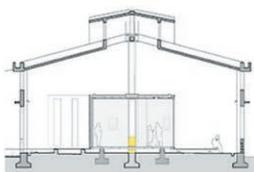
**Houtloods**  
**Bedaux Architects**

**Hog house**  
**Zwo / elf**

**Z gallery**  
**O-OFFICE Architects**

**Loft for**  
**And Architectures**

01



Tipologia: Estensiva  
 Materiale preesistenza: Muratura  
 Limiti altezza: No  
 Mat. Modulo: Legno  
 Aggregabile: Si  
 Adattabile: No

Tipologia: Estensiva  
 Materiale preesistenza: Muratura  
 Limiti altezza: Si  
 Mat. Modulo: Legno  
 Aggregabile: Si  
 Adattabile: No

Tipologia: Intensiva  
 Materiale preesistenza: Muratura  
 Limiti altezza: Si  
 Mat. Modulo: Legno  
 Aggregabile: No  
 Adattabile: Si

Tipologia: Estensiva  
 Materiale preesistenza: Calcestruzzo  
 Limiti altezza: No  
 Mat. Modulo: Legno  
 Aggregabile: No  
 Adattabile: No

Tipologia: Intensiva  
 Materiale preesistenza: Calcestruzzo  
 Limiti altezza: No  
 Mat. Modulo: Acciaio  
 Aggregabile: No  
 Adattabile: No

## Risultati

### Analisi della “scatola esterna”

Al fine di determinare i parametri vincolanti per la definizione della metodologia di intervento, si è approfondito lo studio dei caratteri tipologici fondamentali (geometrici, materici, strutturali, impiantistici, ecc.) degli edifici industriali del '900.

In primis è stata analizzata criticamente la tipologia costruttiva, che mostra una distinzione prevalente tra edifici multi-piano a sviluppo verticale e fabbricati mono-piano a sviluppo orizzontale, denominati anche rispettivamente di tipo “intensivo” o “in altezza” ed “estensivo” o “in superficie” (Tagliaventi, 1962). La tipologia intensiva presenta delle luci strutturali inferiori per sostenere i carichi sui solai dei piani superiori, mentre quella estensiva è caratterizzata da luci ed altezze nettamente maggiori. La ricerca si è focalizzata sull'analisi dei fabbricati industriali intensivi, in quanto caratterizzati da maggiori limitazioni dimensionali, sia in altezza che in pianta, ma anche a causa della loro maggiore diffusione territoriale.

Questi edifici accoglievano prevalentemente industrie leggere, tessili, agrarie, magazzini in cui si svolgevano lavorazioni, con macchinari dalle dimensioni modeste. La tecnologia costruttiva maggiormente impiegata era il telaio in calcestruzzo armato con tamponamento in mattoni pieni.

La distribuzione planimetrica era scandita da un'intelaiatura di travi e pilastri con una maglia modulare a passo ripetuto, le cui luci dipendevano dai macchinari impiegati e dalla tipologia di impianto di produzione; inoltre i fabbricati avevano solitamente una forma rettangolare con una delle due dimensioni prevalente, in modo tale da fornire una buona illuminazione naturale (Utz and Campazzi, 1926).

a different way to the existing structure: the first type traces the internal volumes with accuracy, supporting the original building, whose function is downgraded to mere coating (Malighetti, 2016); the latter weigh on the existing structures, operating only a functional recovery, but at the same time they allow greater flexibility of intervention by being self-supporting and independent (Grecchi and Malighetti, 2008). Both can be accompanied by partial demolition of the building, such as roofing, floors or internal partitions.

Among the construction technologies used for the realisation of the new volumes, we can find structures made by reinforced concrete, steel, glass or wood, aiming for recognisability through the use of materials in contrast with the historic building (Malighetti, 2016; Valluzzi *et al.*, 2021). The technological solutions mentioned above

have both pros and cons (Tab. 1).

The application of housing modules to the industrial building's renovation is reported in the scientific literature through limited examples of individual case studies, showing the clear lack of methodological guidelines (Fig. 1). For all the cases analysed, the primary purpose of the intervention was to improve the functional layout and solve energy deficiencies through the insertion of non-structural modules. Moreover, this strategy matches with the high structural capacity and large indoor spaces typical of industrial buildings (Riva, 2008), which grant high flexibility and adaptability to the nested-building addition.

The systems used are generally light, dry, reversible and completely autonomous from the existing structure, as well as suitable for different types of function within them.

Un'analisi della manualistica dell'epoca validata da rilievi in situ ha permesso di ricavare l'interasse delle campate utilizzate in 48 differenti tipologie di manifattura. In questo modo è stato possibile individuare le dimensioni di campata maggiormente diffuse attraverso la distribuzione Gaussiana equivalente, riscontrate nei valori tra i 4 e i 6,5 metri in entrambe le direzioni (Fig. 2).

### Definizione della “scatola interna”

Per lo sviluppo di un modulo standard, adattabile alla eterogeneità degli edifici industriali, in primis sono state individuate le esigenze dei diversi ambiti di interesse coinvolti, per poi tradurle nei relativi criteri operativi (Fig. 3) secondo un approccio esigenziale-prestazionale (UNI, 1983). La metodologia adottata per la definizione della *nested-cell* si è articolata in cinque sotto-fasi (Fig. 4).

La prima di queste è l'analisi dimensionale (Fig. 4a) che risulta strettamente correlata con la tecnologia costruttiva. La struttura scelta utilizza il legno, materiale con basso valore di energia incorporata e alte prestazioni strutturali in rapporto al peso, organizzato in un sistema *Platform Frame*, ovvero un telaio controventato attraverso l'uso di *Oriented Strand Board* (OSB), che garantisce una costruzione a secco limitatamente invasiva, oltre che di rapido montaggio/smontaggio, nel rispetto del criterio di reversibilità.

L'interasse del telaio è di 1,25 m, corrispondente alla lunghezza standard di un pannello OSB, al fine di limitare scarti di lavorazione e di garantire la modularità del sistema. Tale dimensione assicura anche la trasportabilità degli elementi, in quanto rientra nella sagoma limite di 2,55 m x 4 m dei mezzi eccezionali (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 1992). Per garantire

Finally, all the different nested cells share a reduced dimensional variability, due to the modularity of the structural mesh in industrial buildings, and have no repeatability and/or standardisation characteristics.

### Methodology

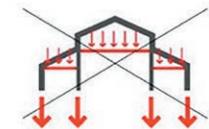
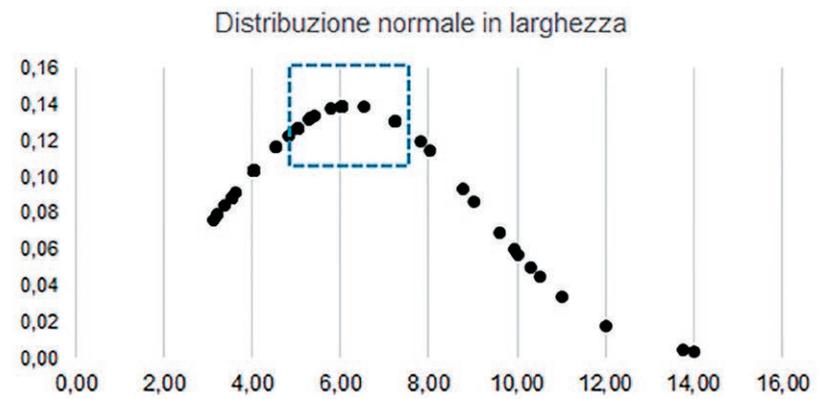
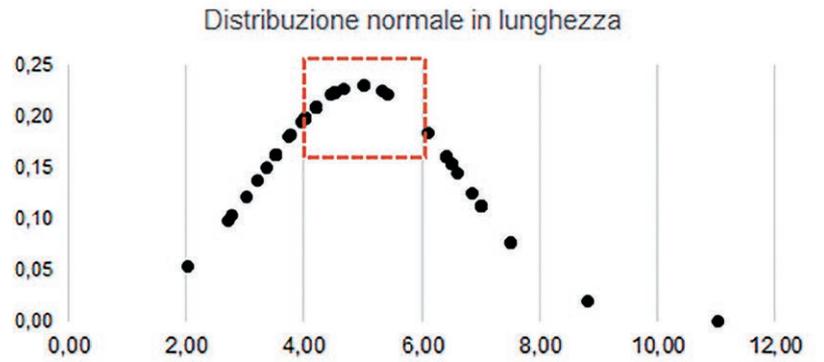
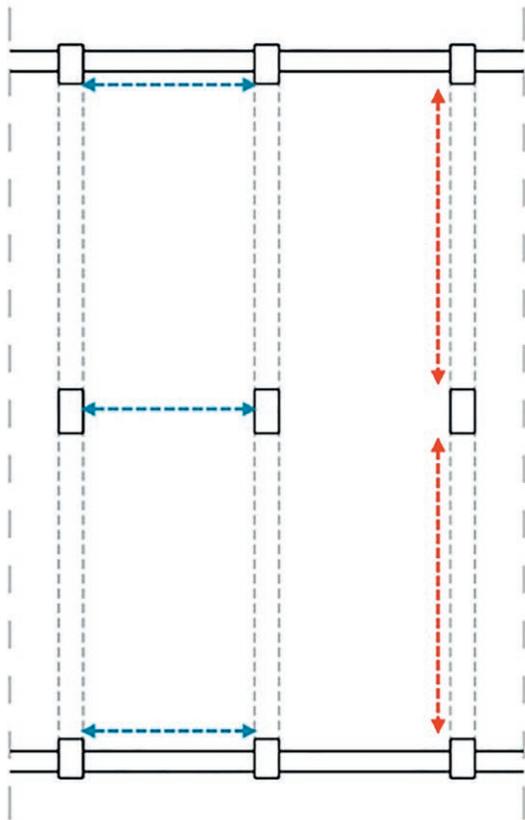
Because of the above, in order to encourage a large-scale redevelopment in line with the principles of the circular economy, the research's objective is to develop a standardised housing module, whose dimensions and construction technology derive from the typological analysis of the 900 industrial buildings concrete “frame”.

The operating methodology includes the identification of guidelines and intervention criteria, for the nested-cell development and its volumetric insertion.

The research has been divided into

three phases, aimed at identifying an efficient recovery strategy for the “box in the box” technology (Malighetti, 2016):

1. Analysis of the “outer box” (pre-existence): in this phase, the study and critical analysis of 900 industrial buildings allowed the typological dimensional constraints to be identified;
2. Analysis of the “inner box”, (living modules): in the second phase, the dimensional, functional, structural and energy study of the typological module aimed to outline operational intervention guidelines;
3. Analysis of the “box-in-box”: during the third and last phase, the application to the case study of the ex-Tobacco Manufactory's “Greggi Warehouse” led to the recursive validation of the guidelines.

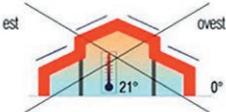


### Esigenze

- Compatibilità strutturale

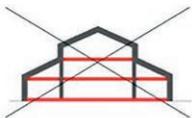
### Criteri

- Leggerezza
- Indipendenza strutturale



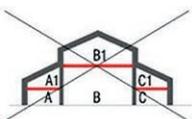
- Miglioramento energetico ed acustico
- Comfort e sostenibilità ambientale

- Dimensionamento e scelta dell'isolante
- Impianti a basso consumo
- Materiali riciclabili, con basso valore di energia incorporata



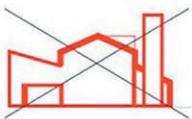
- Qualità relazionale

- Compatibilità formale e dimensionale
- Accessibilità



- Flessibilità spaziale
- Adattamento funzionale

- Modularità
- Aggregabilità



- Conservazione dell'assetto originario
- Salvaguardia di significato e significante

- Minimo intervento
- Reversibilità

infine la compatibilità geometrica il modulo ha dovuto rispettare gli interessi delle campate individuati dall'analisi antecedente, ovvero nei valori compresi tra 4,5 e 6 metri. Tali dati sono stati incrociati con quelli relativi agli spazi minimi di passaggio nel rispetto del requisito di accessibilità (Presidente della Repubblica italiana, 1989). Le dimensioni finali del modulo standard sono di 5,1 x 2,9 x 3,4 m, permettendo il suo inserimento nell'80% dei casi studio analizzati.

In seguito, si è proceduto con lo studio della destinazione d'uso. Per le tre funzioni (direzionale-produttivo, turistico-ricettivo e commerciale) sono state individuate le normative che riportano requisiti dimensionali e servizi minimi (Fig. 4b), elaborando inoltre possibili combinazioni aggregative delle *nested-cells* idonee a ciascuna di esse (Fig. 4c).

Il dimensionamento degli elementi strutturali e delle connessioni è avvenuto tramite la verifica dei comportamenti statico e sismico del singolo modulo tipo e delle sue aggregazioni. La struttura finale si presenta come una combinazione di *Cross Laminated Timber* (CLT) in copertura con il sistema costruttivo a *Platform Frame* per le pareti. L'unico punto di contatto tra modulo ed edificio ha luogo in corrispondenza dell'ancoraggio al solaio esistente delle pareti intelaiate, attraverso apposite connessioni legno-calcestruzzo opportunamente dimensionate (Fig. 4d).

Allo studio strutturale è seguita la progettazione architettonica di stratigrafie e dettagli costruttivi (Fig. 4e). In risposta all'esigenza di miglioramento energetico sono stati definiti i pacchetti di involucro nel rispetto dei requisiti minimi di trasmittanza (DM 26 giugno 2015): gli spessori dovranno essere validati dalle simulazioni energetiche sul caso studio.

## Results

### *Analysis of the "outer box"*

To determine the binding parameters for the intervention methodology definition, the research focused on the analysis of the fundamental typological characteristics (geometric, material, structural, plant, etc.) of the 900 industrial buildings.

In the first place, the construction typology was critically analysed, showing a prevalent distinction between multi-storey buildings with vertical development and mono-storey buildings with horizontal development, also called "intensive" or "in height" and "extensive" or "on the surface" respectively (Tagliaventi, 1962).

The intensive type has lower structural lights to support the floor loads of the upper storeys, while the extensive one is characterised by higher lights and heights.

The research focused on the analysis of intensive industrial buildings because of their greater dimensional limitations, both in height and depth, but also because of their greater territorial diffusion. These buildings mainly housed light industries such as textiles, agriculture or warehouses with machines of modest size. The most commonly used construction technology was the reinforced concrete frame with masonry infill-walls.

The planimetric distribution was marked by a framework of beams and pillars with a modular and regular mesh, whose lights depended on the machines used and the type of production plant; in addition, the shape was rectangular with one prevailing dimension to provide good natural lighting (Utz and Campazzi, 1926).

An analysis of the historical manuals, validated by surveys in situ, has al-

lowed the identification of the distance lengths used for 48 different types of manufacture. In this way, it was possible to identify the most widespread span dimensions through the equivalent Gaussian distribution, corresponding to values between 4 and 6.5 metres in both directions (Fig. 1).

### *Caso studio "scatola nella scatola"*

A seguito dello sviluppo dell'unità abitativa standardizzata se ne è verificata l'applicabilità su di un caso reale. Il fabbricato scelto si localizza geograficamente all'interno del complesso della Manifattura Tabacchi (Fig. 5a), in una posizione strategica nell'area di Verona Sud, all'esterno del perimetro delle mura storiche e vicino alla rete infrastrutturale.

L'edificio Greggi, realizzato negli anni '60, è riconducibile alla tipologia studiata in fase di analisi. Si tratta di un organismo intelaiato in calcestruzzo armato, con tamponamenti in laterizio a vista, avente una forma rettangolare allungata di 112,5x15,0 m e caratterizzato da cinque piani fuori terra e un interrato.

Seguendo le linee guida (Tab. 2), dal punto di vista strutturale l'edificio è scandito da una maglia di pilastri di dimensione notevole in 29 campate longitudinali di 4,00 x 6,25, che rientrano nel *range* della tipologia edilizia (Fig. 5b). Il piano terra ha un'altezza di 5,8 m mentre i piani superiori di 3,80 m. Le aperture presenti risultano sufficientemente ampie per un buon apporto di luce naturale, senza presentare impedimenti al trasporto dei componenti all'interno del fabbricato.

Lo studio preliminare dell'edificio si è concluso con l'analisi del piano della trasformabilità, orientando la scelta della destinazione d'uso verso la funzione direzionale.

La fase di inserimento volumetrico è avvenuta verificando la compatibilità del modulo standard con l'edificio esistente, il cui

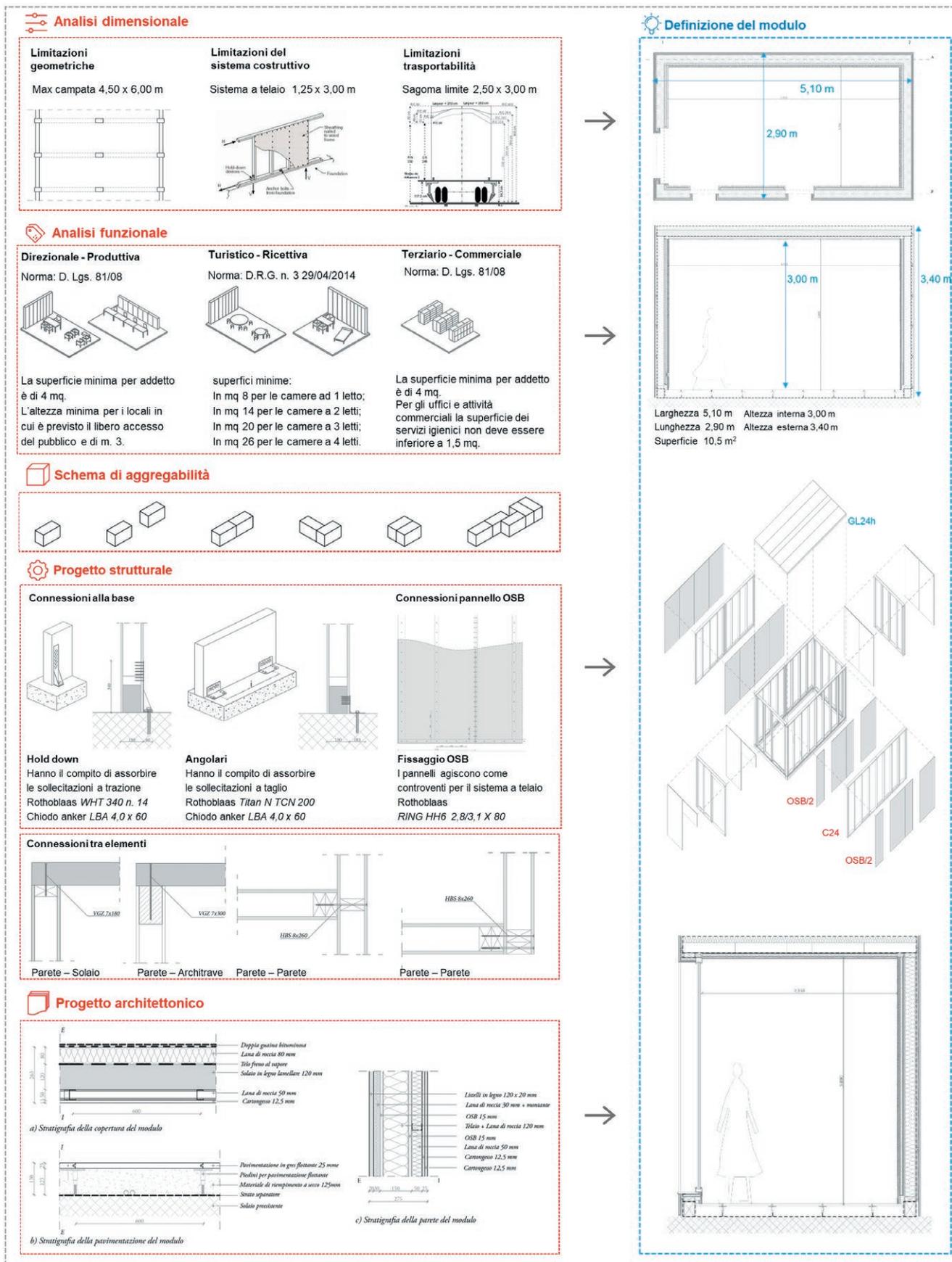
to the construction technology. The chosen structure uses wood, which has a low embodied energy value and high structural performance in relation to weight, organised in a platform frame system, which is a frame braced through oriented strand board (OSB). This solution ensures a minimally invasive dry construction, as well as quick assembly/ disassembly, in compliance with the criterion of reversibility. The span of the frame is 1.25 m, corresponding to the standard length of an OSB panel, in order to limit machining waste and to ensure the modularity of the system. This dimension also ensures the transportability of the elements, as it falls within the limit of 2.5 m x 3 m of exceptional vehicles (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 1992).

### *Design of the "inner box"*

The development of a standard module, adaptable to the industrial buildings' heterogeneity, started from the identification of all the multi-disciplinary needs involved and then translated into relevant operational criteria (Fig. 3), according to the need-performance approach (UNI, 1983).

The methodology adopted for the definition of nested cell was divided into five subphases (Fig. 4). The first of these is the dimensional analysis (Fig. 4a) which is closely related

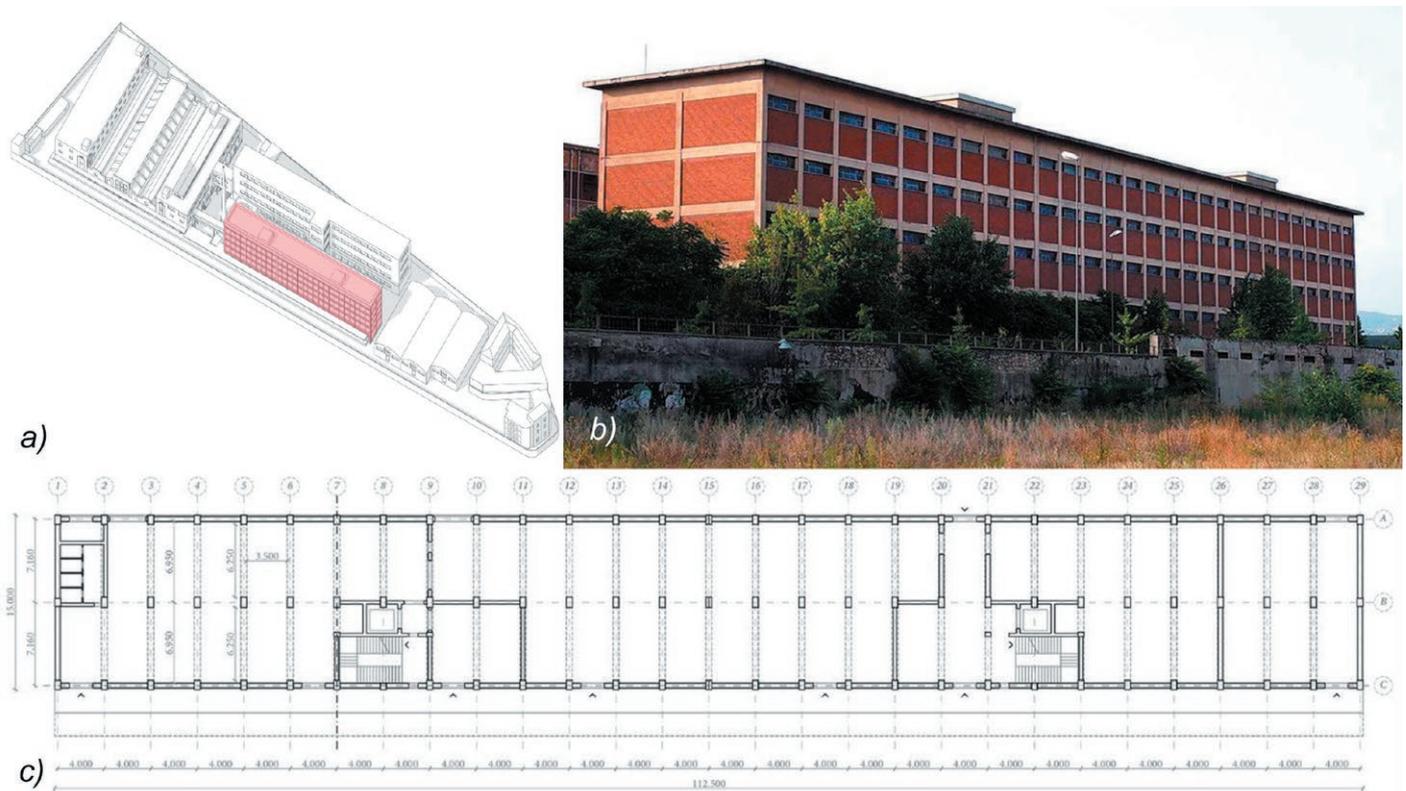
Finally, in order to ensure geometric compatibility, the module had to re-



Tab. 02 |

<b>Metodologia operativa</b>	
<b>Fasi metodologiche</b>	<b>Studio preliminare dell'edificio</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifica della capacità strutturale residua</li> <li>2. Verifica degli interassi di campata e delle altezze utili</li> <li>3. Verifica delle aperture esistenti per l'illuminazione e la trasportabilità</li> <li>4. Studio dell'area per l'individuazione di vincoli urbanistici e destinazione d'uso</li> <li>5. Valutazione dell'eventuale demolizione di tramezzature interne e/o riqualificazione degli spazi esistenti</li> </ol>
	<b>Inserimento volumetrico</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Studio dell'aggregabilità dei moduli nel rispetto degli spazi minimi, dell'accessibilità e dell'illuminazione naturale</li> <li>2. Studio della configurazione equilibrando il rapporto tra il pieno dei moduli e il vuoto dell'edificio circostante</li> <li>3. Analisi energetica e progetto impiantistico</li> </ol>

05 |



spect the dimension identified by the previous analysis, between 4.5 and 6 metres. These data have been cross-referenced with those relating to minimum passage spaces, answering the accessibility requirement (Presidente della Repubblica italiana, 1989). The final dimensions of the standard module were 5.1 x 2.9 x 3.4 m, allowing its inclusion in 80% of previous cases. Various destinations of use conforming to such dimensions have been found: directional-productive, tourist-receptive, and commercial (Fig. 4b). For these three functions, the regulations indicating dimensional requirements and minimum services have been identified, elaborating the nested cells' aggregative combinations suitable for each of them (Fig. 4c).

The dimensioning of the structural elements and connections was conducted through the verification of the static and seismic behaviour of the module type and its aggregations. The final structure is a combination of cross-laminated timber (CLT) for roofing with the platform frame construction system for walls. The only point of contact between the module and the building takes place in correspondence with the anchorage of the framed walls to the existing slab through appropriate wood-concrete connections (Fig. 4d). The structural study was followed by the architectural design of stratigraphies and construction details (Fig. 4e). In response to the need for energy improvement, the envelope packages

were defined in compliance with the minimum transmittance requirements (DM 26 giugno 2015): the thicknesses will have to be validated by the energy simulations on the case study. The definition of the module ended with the elaboration of operational guidelines for its application in industrial buildings (Tab. 2), to be verified recursively in the application to the case study.

*Case study "box in the box"*  
Following the development of the standardised housing unit, the research verified its applicability to a real case. The chosen building is located geographically within the complex of the "Manifattura Tabacchi" (Fig. 5a), in a strategic position in the South of Verona, outside the perimeter of the

historic walls and close to the infrastructure network. The "Greggi Warehouse", built in the 1960s, can lead back to the typology studied during the analysis phase. It is a framed reinforced concrete organism, with brick infill walls, having an elongated rectangular shape of 112.50 x 15.00 m and characterised by five floors above ground and a basement. Following the guidelines (Tab. 2), the building structure is divided into 29 longitudinal spans of 4.00 x 6.25 m by a grid of significant size pillars, falling within the range of the building typology (Fig. 5b). The ground floor has a height of 5.8 m and the upper floors 3.80 m. The openings are large enough for a good contribution of natural light, without

posizionamento in pianta risulta possibile a tutti i piani. Tuttavia, l'altezza del modulo di 3,38 m non risulta compatibile con il sotto-trave dei piani superiori al primo, a quota 3,1 m. In questi piani si propone pertanto una collocazione perpendicolare alla campata, evitando l'aggregazione trasversale delle celle. La disposizione finale ai piani è avvenuta in molteplici configurazioni aventi l'ambiente nervato come filtro per la distribuzione dei singoli uffici, contenuti nei moduli (Fig. 6c,d). Il loro posizionamento ha dovuto tener conto di accessibilità e illuminazione (Fig. 6a), cercando allo stesso tempo di garantire un elevato interesse planivolumetrico e un equo confronto tra spazio pubblico e semi-privato (Fig. 6b).

La verifica delle performance energetiche è stata condotta in regime stazionario. L'edificio nelle simulazioni è stato suddiviso in un ambiente parzialmente climatizzato, per la zona filtro, e in più locali climatizzati, corrispondenti ai moduli.

La scelta impiantistica si è basata su diversi requisiti come la qualità dell'aria, il ridotto consumo energetico e la flessibilità di configurazione. Quest'ultima è dovuta alla necessità di prevedere l'eventuale smontaggio dei moduli o di possibili modifiche al layout distributivo che implicherebbero una variazione dei parametri di affollamento o dei carichi interni.

Per tale ragione ci si è orientati sulla disposizione di Unità di trattamento aria (UTA) a ciascun piano, permettendo al contempo l'eliminazione dell'ingombro delle canalizzazioni verticali.

All'interno dei moduli, dove è necessario garantire prestazioni maggiori, sono stati inseriti pavimenti radianti connessi a pompe di calore aria-acqua geotermiche. La potenza di progetto per il riscaldamento dell'edificio è risultata della somma delle perdite per trasmissione e le perdite per ventilazione, per un totale di

presenting obstacles to the transport of components inside the building.

The preliminary study of the building ended with the analysis of the urbanistic plan, orienting the functional choice towards directional purposes.

The volumetric insertion started by verifying the standard module compatibility with the existing building, ensuring the plant positioning on all floors. However, the module height of 3.38 m is not compatible with the 3.1 m sub-beam quotas of the upper planes. On these floors, therefore, a perpendicular placement to the span is proposed, avoiding cross aggregation of cells.

The final plant arrangement was implemented in multiple configurations where the exposed-beam environment works as a filter for the distribution of offices contained in the modules (Fig. 6c,d). Their positioning had to take

into account accessibility and lighting (Fig. 6a), ensuring at the same time a high volumetric interest and a fair comparison between public and semi-private space (Fig. 6b).

The energy performance verification was conducted in stationary conditions. The building in the simulations was divided into a partially air-conditioned environment for the filter area and into several air-conditioned rooms, corresponding to the modules. The MEP choice was based on several requirements such as air quality, reduced energy consumption and configuration flexibility. The latter is related to the possibility of the future disassembly of modules or the change of the layout of the modules, which would involve a change in the parameters of crowding and/or internal loads. For this reason, the focus has been on the arrangement of air handling units

374,20 kW, a cui vanno sommati i carichi per il raffreddamento dei moduli climatizzati, per un totale di 381,45 kW.

## Conclusion

Il tema del patrimonio industriale dismesso risulta attuale e di fondamentale importanza come catalizzatore di sviluppo e rigenerazione urbana e per il ruolo che può rivestire nel recupero della memoria storica industriale.

Il principale risultato della presente ricerca è stato la definizione di una *nested-cell* modulare da inserire all'interno degli edifici industriali per il loro recupero e riutilizzo.

L'aspetto più innovativo del sistema sviluppato è la sua replicabilità, che permette di incrementare la sostenibilità economica dell'intero processo di riqualificazione. Il progetto, infatti, non nasce dall'applicazione ad un singolo caso studio ma dall'analisi tipologica del patrimonio manifatturiero del '900, definendo requisiti prestazionali, tecnologie costruttive e dimensioni minime atti a garantire la compatibilità su larga scala. Il modulo-tipo, definito poi nei suoi singoli componenti dal punto di vista architettonico e strutturale, si è mostrato adatto all'inserimento nell'80% degli edifici studiati nella precedente fase di definizione dei vincoli. Le linee guida operative elaborate per il suo inserimento negli edifici produttivi sono inoltre state validate con successo nell'applicazione al caso studio del Magazzino Greggi dell'Ex-Manifattura Tabacchi di Verona, con l'adozione di alcuni accorgimenti configurativi ai piani per evitare l'ingombro delle travi fuori spessore.

I possibili sviluppi futuri della ricerca riguardano la verifica delle linee guida tramite l'inserimento delle *nested-cell* in altri contesti industriali e la costruzione di un prototipo in scala reale con il

(AHU) on each floor, while allowing the elimination of the encumbrance of vertical ducting.

Inside the modules, where it is necessary to guarantee higher performance, radiant floors connected to air-water geothermal heat pumps have been inserted. The project power for the heating was the sum of the losses for transmission and the losses for ventilation, for a total of 374.20 kW, to which must be added the loads for cooling the air-conditioned modules, for a total of 381.45 kW.

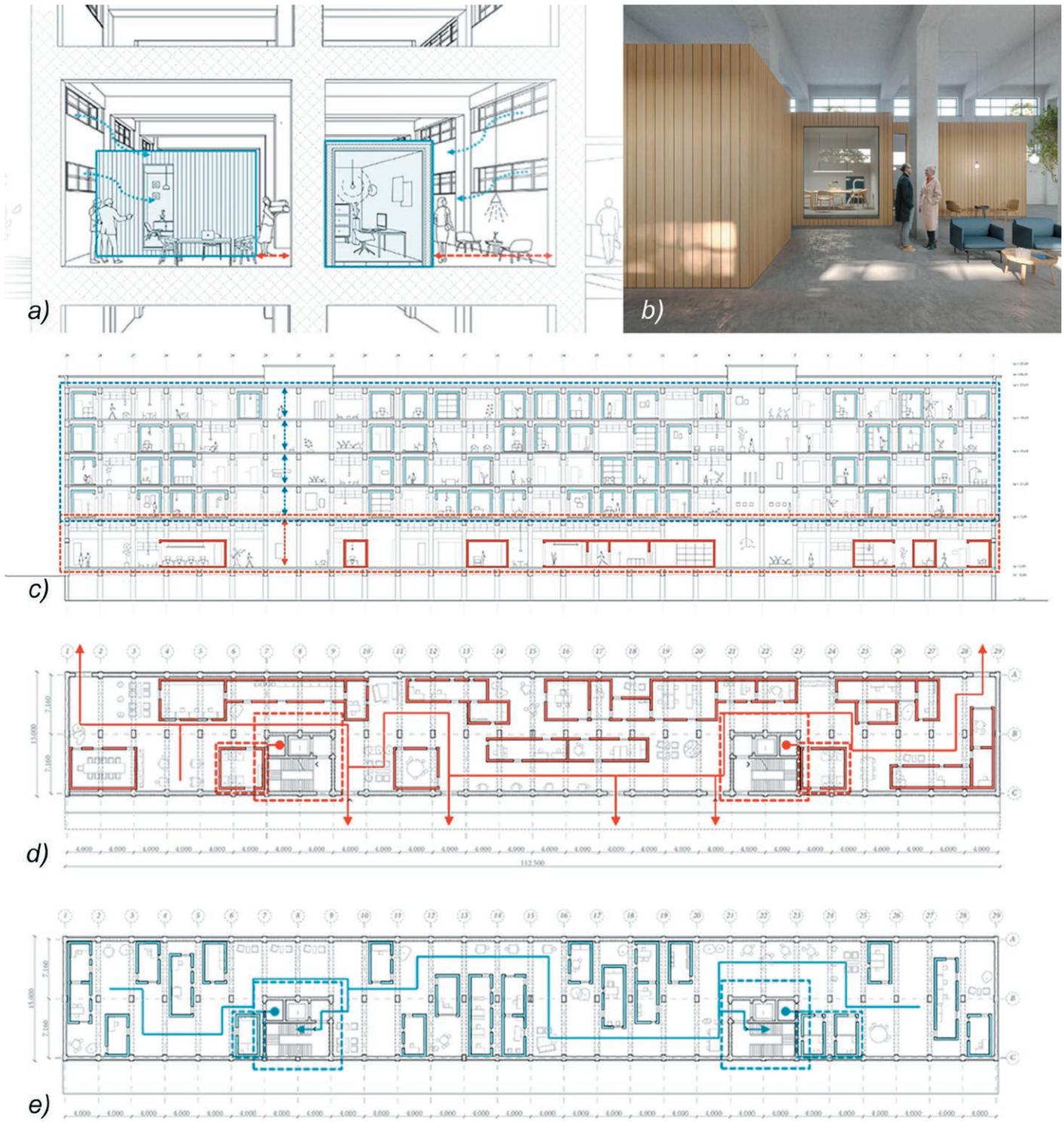
## Conclusion

The theme of abandoned industrial heritage is a topical issue of fundamental importance for the role it can play in the process of improving the urban, social and economic quality of the territory. The main result of the research was the definition of a modular nested cell to

be inserted inside industrial buildings for their recovery.

The most innovative aspect of the research is the replicability of the system developed through aggregating standard modules, increasing the economic sustainability of the redevelopment process. The project is born from the typological analysis of the manufacturing heritage of the 900, which has allowed the definition of performance requirements, construction technologies and minimum dimensions to ensure large-scale compatibility. The typological module, defined in its individual components from an architectural and structural point of view, has been shown to be suitable for inclusion in 80% of the buildings studied in the previous phase of constraints definition. The operational guidelines elaborated for its insertion in the productive buildings have also been validated

06 |



with success in the application to the case study of the Gregg Warehouse of the Ex-manifattura Tabacchi di Verona, with the adoption of some plan configurations compatible with the footprint of the existent beams. The possible future developments of the research concern the verification

of the guidelines through the insertion of nested cells in other industrial buildings and the construction of a prototype with which to investigate more deeply the energetic and structural interaction between building and module. Besides, the research introduces a general reflection about the building

stock, paying particular attention to the principles of the circular economy of raw material, energy and soil consumption. The prerequisite for the application of the proposed strategy must also be accompanied by a cultural change: the industrial suburbs, infrastructure and buildings in a state

of decommissioning must no longer be considered waste, but a resource with which to open new social and economic scenarios.

quale indagare più a fondo l'interazione energetica e strutturale tra edificio e modulo.

La ricerca introduce inoltre a un livello più generale una riflessione sul costruito con un'attenzione particolare ai principi dell'economia circolare. Il presupposto poter applicare questo intervento, riducendo i consumi di materie prime, energia e suolo, deve essere accompagnato anche da un cambiamento culturale: le periferie, gli edifici industriali attivi e dismessi, le infrastrutture devono essere considerati non più uno scarto, ma una risorsa con cui aprire nuovi scenari sociali ed economici.

#### REFERENCES

- Antoniadis, S. and Redetti, E. (2019), *iWRECKS. Questioni, metodi, scenari di trasformazione per i relitti industriali*, Il Poligrafo, Padova, Italia.
- Bondonio, A., Gallegari, G. and Franco, C. (2005), *Stop&Go. Il riuso delle aree industriali dismesse in Italia. Trenta casi studio*, Alinea, Firenze, Italia.
- Donnarumma, G. (2013), "Il fenomeno della dismissione dell'edilizia industriale e le potenzialità di recupero e riconversione funzionale", *International Conference on History of Engineering - V Convegno di Storia dell'Ingegneria*, Vol. II, Cuzzolin, Napoli, Italia.
- Ellen Macarthur Foundation (2015), *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*.
- Grecchi, M. and Malighetti, L. (2008), *Ripensare il costruito. Il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, Italia.
- Malighetti, L.E. (2016), "Metodi e strategie per il recupero nuclei storici minori. Architettura tra tradizione e innovazione: il caso Svizzero di Wespi de Mueron Romeo Architetti", *Techne, Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 12, Firenze University Press, Firenze, Italia, pp. 112-121.
- Mellis, A. (1953), *Gli edifici per le Industrie: evoluzione dell'edificio industriale, organizzazione, distribuzione, circolazioni gli impianti, i servizi generali, i servizi ausiliari, urbanistica ed estetica delle costruzioni industriali*, S. Lattes & C. editori, Torino, Italia.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (1992), *D.L. 30 aprile 1992, n.285. Nuovo Codice della strada*.
- Ministro dello sviluppo economico di concerto con i Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare delle infrastrutture e dei trasporti e per la semplificazione e la pubblica amministrazione (2015), *DM 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*.
- Piemontese, F. (2008), *Aree dismesse e progetto urbano: architettura, territorio, trasformazione*, Gangemi Editore, Roma, Italia.
- Presidente della Repubblica italiana (1989), *L. 13/89. Disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici privati*.
- SNPA (2020), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*.
- Tagliaventi, I. (1962), *Caratteri delle costruzioni industriali*, C.E.L. I, Bologna, Italia.
- Turrini, U. (2013), *Edifici storici in cemento armato. Dal recupero reversibile di volumetrie alle problematiche strutturali. Ricerca ed attività sperimentale operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, Italia.
- UNI (1983), *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti*.
- Utz, L. and Campazzi, E.N. (1926), *Fabbricati ed impianti industriali moderni. Costruzione dei fabbricati, distribuzione dei locali e del macchinario*, Hoepli, Milano, Italia.
- Valluzzi, M.R. et al. (2021), "Nested Buildings : An Innovative Strategy for the Integrated Seismic and Energy Retrofit of Existing Masonry Buildings with CLT Panels", *Sustainability*, Vol. 13.