

LIFE CYCLE THINKING PER L'ORGANISMO EDILIZIO: IL VALORE DEL PROCESSO PROGETTUALE NELLA CIRCOLARITÀ

Giulia Vignati*, Gianluca Pozzi, Elisabetta Ginelli

¹Politecnico di Milano, Dipartimento ABC Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito.

Sommario

La produzione ordinaria di organismi edilizi è caratterizzata da una impostazione che stenta a trovare strade innovative rispetto a processi e metodi costruttivi tradizionali. Questa inerzia si scontra con il rilevante peso ambientale del settore delle costruzioni, che chiede un cambio di paradigma del processo progettuale e della produzione edilizia, secondo la logica della circolarità, attraverso la diminuzione degli sprechi, la prefabbricazione e l'industrializzazione.

Il presente contributo indaga le modalità realizzative dei beni edilizi, che devono modificare i propri paradigmi verso alti impatti qualitativi, applicando modelli e processi industrializzati, incentivando interazioni e sinergie con settori anche esterni a quello delle costruzioni.

La vera innovazione edilizia passa attraverso tecniche e, soprattutto, processi (intesi nell'interesse dello sviluppo dell'opera di architettura, soprattutto nelle sue fasi realizzative) che siano realmente coerenti nel loro sviluppo e siano trasferibili su larga scala, per poter incidere

sulla massa della produzione corrente. A partire dalla transizione ecologica, la ricerca dovrebbe investire, insieme all'innovazione di prodotti e tecniche, sull'innovazione nell'approccio culturale così che tecniche e prodotti "straordinari" possano essere accettati dal mercato, dimostrando come la sinergia tra sistemi e gestione possa portare un elevato valore aggiunto per una qualità sostenibile dell'abitare.

L'innovazione tecnologica, infatti, si attiva solo se l'innovazione tecnica si combina con nuove strategie e nuovi approcci nell'organizzazione, nel marketing e nella gestione post-vendita. Attraverso casi studio e dati della letteratura scientifica, questo contributo propone prospettive di innovazione capaci di superare gli ostacoli progettuali e decisionali ai sistemi industrializzati.

Parole chiave: *ciclo di vita, progetto, innovazione, industrializzazione dei processi, anticipazione delle decisioni.*

LIFE CYCLE THINKING FOR BUILDINGS: DESIGN PROCESS VALUE FOR CIRCULARITY

Abstract

In the construction sector, the significant environmental impact involves a change of paradigm in the design process and building production, towards circular construction with the reduction of waste, prefabrication and industrialization. The ordinary production of buildings is characterized by an approach that limits innovative ways, compared to traditional construction processes and methods. While using cutting-edge components and manufacturers open to innovation in terms of circularity and carbon neutrality in its production interior, this sector struggles to find innovative paths for the production and ordinary redevelopment of buildings. An example is given by the traditional wet construction methods: a technology far from the logic of reduction, reuse, recycling and control

of resources used at the time of construction, reuse and management throughout the life of a building. In this perspective, European policies for the energy transition of the building stock (such as the Renovation Wave and the Green Deal) allow us to imagine strategies applying industrialized models and operating processes, for a concrete satisfaction of collective environmental needs. This contribution investigates the construction methods of building assets, which must modify their paradigms towards high qualitative impacts, applying industrialized models and processes, and encouraging interactions and synergies with sectors also external to that of construction. Building innovation passes through techniques and, above all, processes (understood in the entirety of the development of the work of architecture, especially in its construction phases) that are coherent in their development and are transferable on a large scale, in order to affect the mass of current production.

* Per contatti: Via Ponzio 31, 20133 Milano. Tel 02.23995479
giulia.vignati@polimi.it

Ricevuto il 15-5-2023; Correzioni richieste il 23-6-2023;
Accettazione finale il 4-7-2023

Starting from the ecological transition, research should invest, together with the innovation of products and techniques, in innovation in the cultural approach so that “extraordinary” techniques and products can be accepted by the market, demonstrating how the synergy between systems and management can bring a high added value for a sustainable quality of living.

Technological innovation, in fact, is activated only if technical innovation is combined with new strategies and new approaches in organization, marketing and after-sales management. Through case studies and data from the scientific literature, this contribution proposes perspectives of innovation capable of overcoming design and decision-making obstacles to industrialized systems.

It is identified in the design process and in the tightening methods of industrialized and pre-assembled products (rather than individual products), a preferential way to

enhance buildings in the re-generation phases, through circular strategies and processes. This approach can reintroduce most components into the production cycle, once their use in a given building has ended. Secondly, preassembly and a certain type of industrialization can add value and quality of use to buildings, improving their performance and extending their useful life.

Thirdly, the technological process has immediate repercussions on the practical/implementation choices for the designer, the economic operator and the end user, bypassing the strictly economic aspect but as claimed by Latur, with a transition that makes the ecological aspect “material” compared to the “virtual” economic dimension.

Keyword: *life cycle, project, innovation, industrialization of processes, anticipation of decisions*

1. Scenario introduttivo

Come indicato dal CRESME (2022), il mercato italiano delle costruzioni è entrato nel “Primo ciclo dell’ambiente costruito”, in cui il peso ambientale del sistema edilizio è centrale. Ciò comporta un necessario cambio di paradigma del processo progettuale e della produzione edilizia verso la circolarità, che sappia diminuire gli sprechi e si orienti verso la prefabbricazione e l’industrializzazione. In parallelo occorre considerare che il settore edilizio è responsabile del 40% della domanda di energia primaria nell’Unione Europea e del 36% delle emissioni di gas serra. In Italia il settore residenziale contribuisce per il 27,9% alla domanda di energia e per il 24,2% alle emissioni climateranti. Inoltre, il Green Building Council stima che oltre il 50% delle emissioni totali di carbonio a livello globale tra il 2020 e il 2050 saranno riconducibili ai materiali utilizzati nelle fasi di costruzione o ristrutturazione degli edifici (Legambiente 2022).

Nonostante la consapevolezza di questo ruolo cruciale sulla qualità dell’ambiente, il settore edilizio, pur avvalendosi di componenti all’avanguardia e di produttori aperti all’innovazione in termini di circolarità e *carbon neutrality*, stenta a trovare percorsi innovativi per la produzione e la riqualificazione ordinaria di organismi edilizi su larga scala. In particolare, il riferimento principale del settore sono le modalità costruttive tradizionali ad umido: una tecnologia distante dalle logiche di riduzione, riuso, riciclo e controllo delle risorse utilizzate nel momento della realizzazione, riutilizzo e gestione in tutto l’arco di vita di un organismo edilizio.

In questa prospettiva, le politiche europee per la transizione energetica del patrimonio edilizio (come il *Renovation Wave* e il *Green Deal*) costituiscono (o dovrebbero costituire) il presupposto per poter imma-

ginare un cambio di paradigma nelle strategie di intervento sugli organismi edilizi, applicando modelli e processi operativi industrializzati, che soddisfino in concreto le esigenze collettive ambientali, ormai imprescindibili. La tesi qui sostenuta è che l’innovazione edilizia passa soprattutto attraverso tecniche costruttive e processi progettuali coerenti con l’economia circolare, trasferibili su larga scala, per poter incidere sulla massa della produzione edilizia corrente: esse sono in particolare strategie che consentono una smontabilità per facilitare il disassemblaggio, il riuso, la manutenibilità per ridurre al minimo gli sprechi, gli scarti e l’obsolescenza di prodotti e sistemi.

L’ambito di riferimento di questo contributo è il settore delle costruzioni e il relativo peso ambientale: la Figura 1 riassume tale ambito (in cui il GHG – impronta carbonica – esprime in CO₂ equivalente il totale delle emissioni di gas ad effetto serra associate al settore delle costruzioni) ed evidenzia gli aspetti caratterizzanti l’innovazione per tale settore, che passa attraverso tecniche realizzative e processi, verso un’edilizia circolare attraverso la diminuzione degli sprechi, la prefabbricazione e l’industrializzazione.

1.1 Cambio di strategia per il settore delle costruzioni

Il settore delle costruzioni e della produzione è istituzionalmente chiamato ad agire in uno scenario scandito da tematiche ambientali che richiedono una robusta sensibilizzazione delle azioni di progetto e realizzazione degli interventi edilizi, specialmente abitativi, capaci di concretizzare corrispondenze tra le dimensioni sociale, ambientale ed economica coinvolte. La legislazione assume e rende cogenti alcuni requisiti e la ricerca scientifica si adopera per trovare le linee di buone pratiche, metodi, strumenti e soluzioni ai pro-

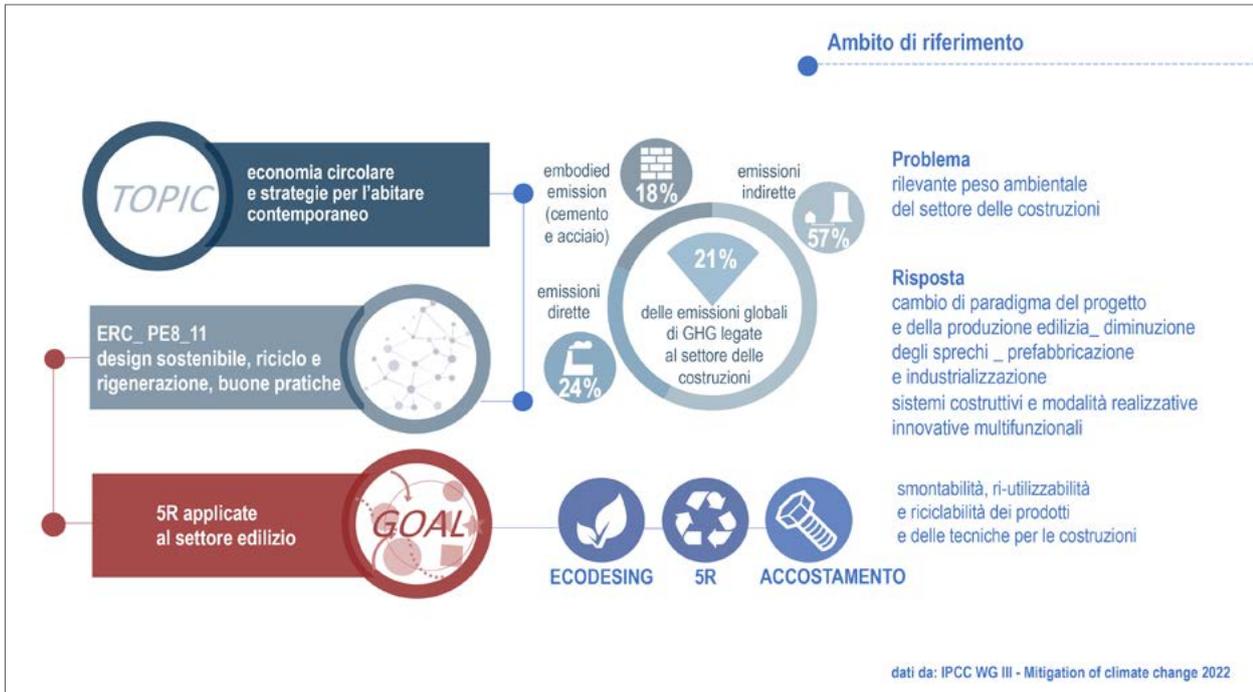


Figura 1. Ambito di riferimento, il settore delle costruzioni e l'elevato impatto ambientale.

blemi ambientali emergenti che non vengono, purtroppo, considerati adeguatamente.

Il peso ambientale (a livello globale, il settore delle costruzioni impiega il 40% delle risorse globali e produce il 39% delle emissioni di gas serra e del 40% dei rifiuti. UNEP 2020) richiede, anche in edilizia, approcci circolari e di ecodesign. Ovvero approcci che riducano materiale vergine, riutilizzino e recuperino i materiali all'interno dei processi costruttivi e prolunghino la durata funzionale di edifici e infrastrutture (Circle Economy 2021), anche attraverso un riuso di componenti e sistemi. Questo cambio di strategia è anche auspicato dall'IPCC WG III – *Mitigation of climate change* (2022) che, accanto alla fase di progetto

(*design stage*, che comprende: pianificazione urbana, progettazione efficiente e uso di spazio, energia, materiali, incorporando l'uso di fonti rinnovabili), la fase di utilizzo (*use stage*, che prevede l'ottimizzazione dell'uso dell'edificio) e la fase di smaltimento (*disposal stage*, che prevede il riciclo e riutilizzo dei materiali), considera la fase di costruzione e riconversione (*construction and reconversion stage*) un caposaldo della riconversione sostenibile dell'edilizia, che deve comprendere materiali da costruzione a bassa emissione, a cui devono essere necessariamente aggiunti i termini di progettazione per layer (*design by layer*) e costruzione tramite pre-assemblaggio, come anche specificato dalla Figura 2.

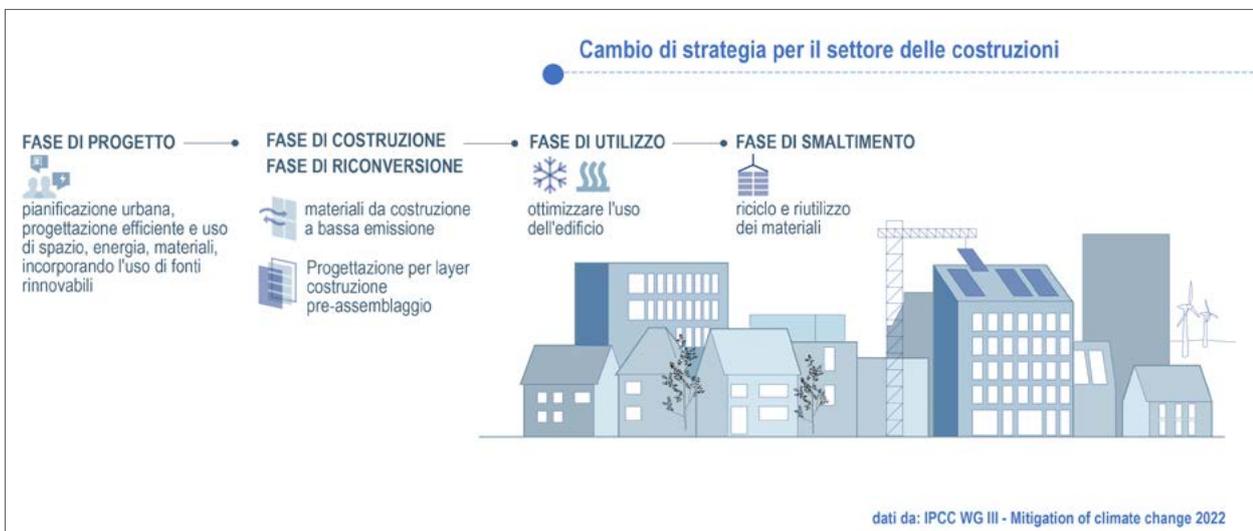


Figura 2. Cambio di paradigma del processo progettuale e della produzione edilizia, verso approcci circolari.

Le principali leve in termini di sostenibilità sono di tipo legislativo ed economico: uno dei principali riferimenti, a livello nazionale, per il settore edilizio sono i CAM nel Green Public Procurement (Criteri Ambientali Minimi 2022, recentemente implementati), quali criteri progettuali obbligatori e premianti per gli appalti pubblici, in parte necessari per l'accesso alle detrazioni fiscali del superbonus 110%. Tali criteri rendono cogenti e premianti gli aspetti legati al riuso e all'allungamento della vita utile di prodotti ed organismi edilizi: forniscono indicazioni per l'esecuzione dei lavori, per l'efficientamento energetico e acustico, sulle specifiche per i prodotti da costruzione, come il contenuto di materiale riciclato o recuperato, la Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD (*Environmental Product Declaration*), che descrive gli impatti ambientali legati alla produzione di un prodotto o di un servizio, come i consumi energetici e di materie prime, produzione di rifiuti, emissioni ...), le certificazioni di prodotto e tracciabilità dei materiali e, in termini di fine vita, sul disassemblaggio.

Il disassemblaggio a fine vita dei componenti dell'organismo edilizio, ovvero la possibilità di decostruire l'edificio separando gli elementi impiegati nel progetto per sottoporli a riutilizzo, riciclo o recupero, costituisce uno dei criteri per la valutazione dell'impatto ambientale di un edificio all'interno dei CAM (criterio 2.4.14). Esso riguarda almeno il 70% del peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati (esclusi gli impianti), ed è stato sviluppato sulla base della norma ISO 20887 "Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance" e della UNI/PdR 75 "Decostruzione selettiva – Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare". È più che evidente che un sistema costruttivo "umido", basato su calcestruzzo e laterizi, pur se utilizza materiali certificati CAM e/o EPD (per il loro contenuto di energia e materiali riciclati/riciclabili), non può essere inserito a pieno nell'economia circolare, in quanto la sua demolizione può produrre al massimo materiali inerti, quando, non così raramente, rifiuti speciali.

In edilizia i CAM vengono applicati all'interno del Codice degli Appalti per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. Nel 2018 per tali interventi era previsto il piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita (Bollettino di Legislazione Tecnica, 2018). Facendo riferimento alla produzione (o recupero) di organismi edilizi, i processi e i metodi tradizionali a secco, al contrario di quelli tradizionali ad umido, non prevedono l'utilizzo di acqua durante il processo di assemblaggio in cantiere e l'impiego di collanti e sigillanti per la po-

sa; ma la fase di assemblaggio dei componenti avviene tramite incastro e/o fissaggi meccanici. Alcuni esempi di processi costruttivi ad umido sono ad esempio i mattoni in laterizio o calcestruzzo armato, per le strutture portanti, e gli intonaci, il cartongesso, la posa di pavimenti incollati per le finiture, che non garantiscono certo un'effettiva sostenibilità a fine vita.

1.2 Le "R" della sostenibilità

Le strategie circolari implicano un modello di produzione e consumo legato ai termini di condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento, riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile (Parlamento Europeo 2023).

Superando il concetto di "rifiuto" e di approcci "usa-e-getta" (contro l'obsolescenza programmata dei prodotti, tipica del modello economico lineare), in funzione della prevenzione degli sprechi, sono state emanate le direttive europee alla base della gestione dei rifiuti (Direttiva 2008/98/CE; Direttiva di modifica (UE) 2018/851) e sulla transizione verso l'economia circolare attraverso il *Green Deal* europeo (Commissione europea, marzo 2020).

Queste direttive prefigurano una nuova strategia industriale, con un Piano d'Azione per l'Economia Circolare (aggiornato a febbraio 2021), che include proposte sulla progettazione di prodotti più sostenibili (in coerenza con l'*eco-design*, prevedendo disposizioni per la riciclabilità e riparabilità dei prodotti) e sulla riduzione dei rifiuti, in particolare per i settori ad alta intensità di risorse (come elettronica e tecnologie dell'informazione e della comunicazione, plastiche, tessile e costruzioni).

In questo senso risulta evidente la relazione con quanto enunciato dalle 3R della sostenibilità, che sintetizzano:

- **Ridurre:** utilizzare meno risorse e dunque creare meno rifiuti.
- **Riutilizzare:** utilizzare i materiali più di una volta nella loro forma originale invece di gettarli via dopo ogni utilizzo.
- **Riciclare:** convertire i materiali di scarto in nuovi prodotti, cambiandoli dalla loro forma originale, mediante processi fisici e chimici.

Nella letteratura e nel dibattito contemporaneo, si segnala l'aumento del numero delle "R" che rende esplicito come l'approccio all'economia circolare non è solo una pratica materiale, visibile, ma un approccio culturale: aggiungendo l'azione del Recuperare (4R); l'azione del Rigenerare (5R); Risparmiare energia e risorse (6R); sino alle 8R dichiarate da Serge Latouche (2007) per innescare un processo di decrescita sostenibile (Rivalutare; Ricontestualizzare; Ristrutturare; Rilocalizzare; Ridistribuire; Ridurre; Riutilizzare; Riciclare).

Partendo da questo presupposto culturale, il presente contributo riflette sui percorsi innovativi per la produzione edilizia. La tesi qui sostenuta è che debbano essere perseguite linee strategiche per il progetto di architettura, identificando nel processo progettuale e nelle modalità realizzative a secco (ad esempio a serraggio, incastro, accostamento) e nell'industrializzazione (di prodotti con un certo livello di prefabbricazione e pre-assemblaggio) una via preferenziale per valorizzare gli edifici, attraverso strategie e processi controllati e circolari. Questa tesi è anche sostenuta dalla "Strategia Nazionale per l'Economia Circolare" (Ministero della Transizione Ecologica MITE 2022), per l'economia circolare applicata all'edilizia, che propone cinque modelli di business:

1. Filiera circolare "fin dall'inizio" (ecodesign fin dalle prime fasi di progettazione del prodotto).
2. Recupero e riciclo (fabbricare materia prima seconda e altre strategie *near zero waste*).
3. Estensione della vita del prodotto (durabilità del prodotto, lavorando su economie di servizi e non di consumo di beni > *product-as-a-service*).
4. Piattaforma di condivisione (usare cosa serve e quando serve).
5. Prodotto come servizio (che si lega indissolubilmente alla durabilità dei beni).

Inoltre, lo stesso documento (MITE 2022) elenca i principi dell'ecodesign: disassemblabilità e modularità; riciclabilità; riparabilità e manutenzione; sostituzione e gestione delle sostanze pericolose; riutilizzo; raccolta post consumo; rigenerazione; qualità del riciclaggio; eco-progettazione dei processi produttivi.

2. Approccio metodologico

Indagando lo stato dell'arte della produzione edilizia, nell'ambito della promozione di approcci circolari e dell'influenza che l'evoluzione degli stili di vita della popolazione (in termini lavorativi, abitativi e familiari, che comporta un quadro complesso e differenziato di esigenze e requisiti da soddisfare) ha sulla necessità di innovare tale settore, sono evidenti i vantaggi insiti nelle soluzioni che adottano la prefabbricazione e l'industrializzazione dei processi.

Questa parte del contributo è sviluppata dall'indagine di letteratura e restituisce i vantaggi legati ai processi e alle modalità realizzative industrializzate degli organismi edilizi; le principali definizioni terminologiche adottate in relazione alle modalità realizzative e gli ostacoli legati ai processi di innovazione.

2.1 Spinte innovative per il settore residenziale dell'edilizia

Il settore delle costruzioni è in forte evoluzione sia in Europa che in Italia, sospinto dagli incentivi del PN-

RR (CRESME 2022) e si stanno configurando nuove tendenze nel mercato delle abitazioni, sia in termini di richieste prestazionali e forme d'uso dello spazio abitativo, sia di costi che di giro d'affari che comportano un ripensamento della prassi costruttiva, soprattutto in relazione alla sostenibilità.

Il repentino cambiamento della popolazione e la composizione dei nuclei familiari, infatti, determinano uno scenario in continua evoluzione: nel report pubblicato da Cassa Depositi e Prestiti (GDP 2018) vengono evidenziate nuove fasce di popolazione che presentano redditi troppo elevati per poter accedere all'ERP (Edilizia residenziale pubblica, la cui realizzazione prevede la partecipazione dello Stato per alloggi destinati ad una fascia di popolazione con bassi redditi e in situazioni di difficoltà; tali interventi si distinguono in edilizia sovvenzionata, convenzionata ed agevolata) ma troppo contenuti per accedere al mercato privato. Si vengono quindi a definire nuove categorie sociali di fruitori, non ancora del tutto esplorate dal mercato: i giovani, non rilevanti numericamente ma caratterizzati da un elevato dinamismo abitativo, e gli anziani, in numero maggiore. Per queste categorie la gestione dell'abitazione è un aspetto determinante nei modelli abitativi, in cui si privilegia l'idea di casa come servizio (*house as a service*), che coinvolge una serie di soggetti per mediare il rischio commerciale legato all'affitto e gestire l'investimento, con una dinamica che conduce verso una gestione simile a quella alberghiera. Per soddisfare queste richieste, il mercato richiede condizioni più fluide, specialmente in relazione alla variabile tempo (Bergan et al., 2020) e questa esigenza può essere soddisfatta sia dall'innovazione dei sistemi costruttivi, sia da nuovi modelli di gestione, ma anche da procedimenti che ne supportino intrinsecamente il valore.

Affinché ricerche e sperimentazioni costruttive possano fattivamente diffondersi ad una scala sufficiente per fare un salto di qualità e incidere realmente nel mercato diffuso, è necessario che si sovrappongano tre condizioni simultaneamente (Lehmann and Fitzgerald 2013; Losasso 2010; Lu, Chen et al., 2018; Russo Ermolli 2007). La prima è la sostenibilità tecnica, ovvero la necessità di innovazioni tecniche capaci di migliorare la qualità e la sostenibilità (non da ultima economica) delle costruzioni. La seconda è la volontà politica di guidare e sostenere un'adeguata innovazione edilizia. La terza è la spinta del mercato in relazione alla sostenibilità economica, che deve accogliere l'innovazione e le istanze politico/sociali.

La letteratura scientifica contemporanea (Tab. 1) e numerosi reports internazionali (vedasi: Fortune Business Insight 2021; GVR 2021; Allied Market Resear-

Tabella 1. I principali vantaggi dell'industrializzazione *off-site* in relazione alle tre dimensioni della sostenibilità desunti dalla letteratura scientifica internazionale.

Sostenibilità	Vantaggio	Vantaggio prestazionale	Riferimento
Ambientale	riduzione dei consumi energetici e degli scarti	- minore impatto ambientale - riduzione di materie prime	(Elnaas 2014; Jaillon and Poon 2008)
	riduzione dell'inquinamento in fase produttiva	- minore impatto ambientale del sito	(Elnaas 2014; Jaillon and Poon 2008; Jiang et al., 2018; Tam et al., 2007)
	riduzione della CO2 complessiva dell'edificio	- minore impatto ambientale - minore <i>carbon footprint</i>	(Elnaas 2014; Goodier et al., 2007)
	maggiore smontabilità e reversibilità dell'edificio	- allungamento della vita utile - minore impatto ambientale	(Benros and Duarte 2009; Noguchi and Hernández-Velasco 2005)
Economica	riduzione dei costi di realizzazione, a parità di prestazioni	- economicità	(Goodier and Gibb 2005; Haas et al., 2000; Housing Communities and Local Government Committee 2019; Jaillon and Poon 2008; Jiang et al., 2018)
	riduzione dei tempi di realizzazione	- economicità	
	innesco di economie di scala, specialmente in progetti modulari e seriali	- economicità - produttività	(Benros and Duarte 2009; Noguchi and Hernández-Velasco 2005)
	costruzione più rapida migliora le prestazioni finanziarie	- redditività - valorizzazione	(Elnaas 2014)
	maggiore controllo sulla qualità dell'opera	- qualità - affidabilità - continuità prestazionale	(Goodier and Gibb 2005; Jaillon and Poon 2008; Jiang et al., 2018)
Sociale	maggiore sicurezza per i lavoratori	- sicurezza	(Elnaas 2014; Jaillon and Poon 2008; Jiang et al., 2018)
	maggiore velocità nella produzione di abitazioni	- produttività	(Elnaas 2014; Švajlenka et al., 2017)
	minori disagi nel cantiere	- sicurezza - produttività	(Elnaas 2014)
	minore durata del cantiere	- minore impatto ambientale	
	maggiore manutenibilità	- gestione facilitata - manutenibilità facilitata - durabilità	(Luther et al., 2007)

ch 2022; Roland Berger 2018), affermano che i sistemi industrializzati, specialmente realizzati con tecniche a secco e *off-site*, contribuiscono in maniera significativa alla sostenibilità dei sistemi costruttivi, anche residenziali, per ciascuna delle sue tre dimensioni. Nella Tabella 1 seguente si evidenzia una sintesi dei principali vantaggi ricavati dalla letteratura internazionale ed elaborati in relazione agli aspetti di sostenibilità economica, ambientale e sociale, estratti dalla letteratura scientifica internazionale degli ultimi 20 anni.

2.2 Principali definizioni dei processi costruttivi

All'interno dei processi progettuali e della produzione edilizia, spesso l'ambiguità terminologica contribuisce ad una poca chiarezza che ostacola la condivisione di obiettivi, in coerenza con la dimensione della sostenibilità. Nella Tabella 2 vengono restituiti i principali significati terminologici in relazione ai processi di prefabbricazione e l'industrializzazione.

2.3 Gli ostacoli ai processi di innovazione

Accanto agli indubbi vantaggi, la stessa letteratura scientifica precedentemente citata nella Tab. 1 e la comprovata modesta diffusione di questi sistemi evidenziano piuttosto chiaramente i fattori che limitano l'accettazione e la crescita dei sistemi industrializzati *off-site*. Poiché il vero nodo del problema risiede nell'attore che compie la scelta del sistema da utilizzare (Arif et al., 2012; Goodier and Gibb 2005; Tam et al., 2007), questi fattori contrari si possono suddividere, a seconda del decisore, in: fattori della committenza, del costruttore e del progettista.

Da punto di vista della committenza (intesa sia come fruitore finale che come investitore), si può affermare che questa abbia molto spesso una scarsa e frammentata conoscenza dei sistemi e una scarsa capacità di recepire il valore aggiunto delle soluzioni innovative, legata più a percezioni individuali che a ricerche sistemiche di mercato, specialmente se essa coincide con il fruitore, è privata e di modeste dimensioni e non

Tabella 2. Principali definizioni dell'industrializzazione *off-site* desunti dalla letteratura scientifica internazionale.

Parola chiave	Definizione	Riferimento
Assemblaggio a secco	Sistema di relazione tra i componenti che prevede la loro coesione senza l'utilizzo di malte e colle, attraverso sistemi a serraggio/avvitaggio/incastro. Progettate per essere smontabili e riutilizzabili alla fine della vita utile dell'edificio.	(Building a Circular Future 2018)
Fabbricazione <i>Off-site</i>	È un processo che include prefabbricazione e pre-assemblaggio. Il processo riguarda la progettazione e la costruzione di unità o moduli realizzati a distanza rispetto al sito di costruzione, luogo nel quale avviene la loro installazione all'interno del sistema. Nella sua applicazione più radicale, la fabbricazione <i>off-site</i> richiede una strategia di progetto che cambia l'orientamento del processo dalla progettazione alla manifattura, passando per l'installazione. Il processo di manifattura è solitamente altamente automatizzato, ciò si riflette nell'utilizzo di componenti prefabbricati e preassemblati, unità di pannelli (2D) o sistemi modulari (3D). Le unità e i moduli prefabbricati e preassemblati sono trasportati verso il sito ed utilizzati all'interno della maglia strutturale. Si tratta principalmente di un metodo di costruzione a secco, nonostante in alcune circostanze possano essere utilizzate delle tecnologie in umido per completare l'edificio.	(Gibb 1999; Emmitt 2018; Pozzi 2021)
Pre-assemblaggio	Processo attraverso il quale i materiali, i componenti prefabbricati e/o le tecnologie sono assemblati in fabbrica in vista di una loro installazione come sub-unità. Il processo consiste nell'assemblaggio di componenti all'interno di sottoassiemi, prima dell'installazione finale, eseguendo alcune fasi produttive in un ambiente di lavoro controllato – come l'officina.	(Tatum et al., 1986; Winch 2010)
Pre-fabbricazione	Produzione dei componenti in un luogo diverso rispetto a quello di assemblaggio. Ciò porta ad un migliore controllo degli imprevisti all'interno dei processi di costruzione.	(Björnfort & Sardén 2006)
Sistema di costruzione industrializzato	Combinazione tra produzione in fabbrica e produzione in loco, integrando produzione <i>off-site</i> e <i>on-site</i> . Processo di produzione che deve far fronte ad un flusso importante di domanda e che si realizza nei principi di standardizzazione, alti in livelli di integrazione dell'intero processo e di organizzazione del lavoro dove la meccanizzazione rimpiazza parzialmente il lavoro dell'uomo. Si serve di componenti prefabbricati, spediti verso il sito di costruzione per la fase di assemblaggio. La componente "industriale" di questo approccio nella produzione riguarda anche le operazioni di assemblaggio che, essendo effettuate in buona parte in officina (si parla in questo caso di componenti pre-assemblati), sono ridotte al minor numero possibile in cantiere.	(Matt et al., 2015; Salihudin et al., 2009; Rahman & Omar 2006; Badir et al., 2002; Trikha 1999; Warszawski 1999)

dispone di un proprio ufficio tecnico. Inoltre, la committenza teme la possibile serialità dell'industria quale difficoltà di personalizzazione (Boafo et al., 2016) e ritiene che la necessità di anticipare tutte le decisioni nelle fasi iniziali della progettazione sia un ostacolo non superabile (Elnaas 2014).

Il mondo della produzione (intendendo le imprese edili) è restio ad accettare sistemi industrializzati per l'intero edificio, soprattutto perché essi richiedono, almeno all'inizio, notevoli investimenti di tempo e di risorse economiche nella progettazione, prototipazione, per i macchinari di produzione e per lo stoccaggio dei componenti (Elnaas 2014). Inoltre, per le imprese edili con una dimensione medio piccola sarebbe impossi-

bile realizzare sistemi evoluti in proprio, ma dovrebbero affidarsi ad aziende esterne, vedendo pertanto ridotti i propri margini di guadagno (Chao et al., 2015; Jiang et al., 2018). Inoltre, una produzione industrializzata *off-site* ha un luogo fisso di produzione e quindi i costi di realizzazione dell'opera sono direttamente legati alla distanza dal cantiere (Elnaas 2014), restringendo quindi il possibile bacino di utenza dell'impresa. Inoltre, un sistema industrializzato rischia di avere uno scollamento tra i tempi della produzione (che sono tendenzialmente continui e omogenei) ed il cantiere (che è invece disomogeneo e ciclico). Da ultimo, sistemi evoluti richiedono manodopera specializzata (Chao et al., 2015; Jiang et al., 2018) e accuratamente

formata e difficilmente si possono affidare a subappalti generalisti, richiedendo investimenti importanti in formazione e addestramento del proprio personale.

Il progettista in genere non accetta sistemi innovativi in quanto teme possano limitare la sua creatività (Boafo et al., 2016) e l'*early freeze design* (anticipazione delle decisioni alle prime fasi della progettazione, prima di qualunque fase costruttiva. Elnaas 2014) non gli consente di svolgere azioni progettuali in parallelo alle fasi realizzative del progetto, richiedendo pertanto notevoli investimenti di tempo in una accurata progettazione, per i quali gli studi professionali non sono attrezzati e per cui non vedrebbero riconosciuti gli extra costi di progettazione.

Un altro aspetto che ostacola la diffusione dei sistemi industrializzati *off-site* è da ricercare nella scarsa sostenibilità istituzionale, intesa come mancanza di caratterizzazione della norma per permettere e sostenere l'innovazione: l'industrializzazione *off-site* fatica a volte a trovare una adeguata accettazione dalle autorità locali (Elnaas 2014) e una collocazione precisa dentro norme pensate per la realizzazione tradizionali *on-site* (Jiang et al., 2018). Inoltre, spesso non ne vengono riconosciuti gli aspetti di "valorizzazione plus",

come nel caso dei CAM (Criteri Ambientali Minimi) o della UNI PdR13 (Prassi di riferimento per valutare la sostenibilità ambientale di un edificio, aggiornata nel 2019) (Ginelli et al., 2019).

Alcuni fattori di non accettabilità dei processi di innovazione sono di natura congiunturale e strutturale, legati pertanto al sistema-Paese e alla struttura stessa dell'economia generale. Su questi fattori possono avere influenza solo politiche mirate ed investimenti a lungo termine, soprattutto pubblici. Ci sono però fattori di non accettabilità, specialmente quelli legati ad una errata e timorosa visione dell'innovazione, che possono essere superati attraverso un'adeguata veicolazione delle informazioni, una progettazione in team e la diffusione di esempi virtuosi e paradigmatici di realizzazioni.

Le linee di trasformazione del mercato, inoltre, stanno facendo emergere approcci innovativi all'abitare, che stanno stimolando il mercato e l'interesse anche di settori prima estranei all'innovazione, per cui il trinomio "progetto/processo/produzione" sta emergendo come nuova corrispondenza e l'anticipazione delle decisioni sta divenendo un caposaldo dell'approccio progettuale.

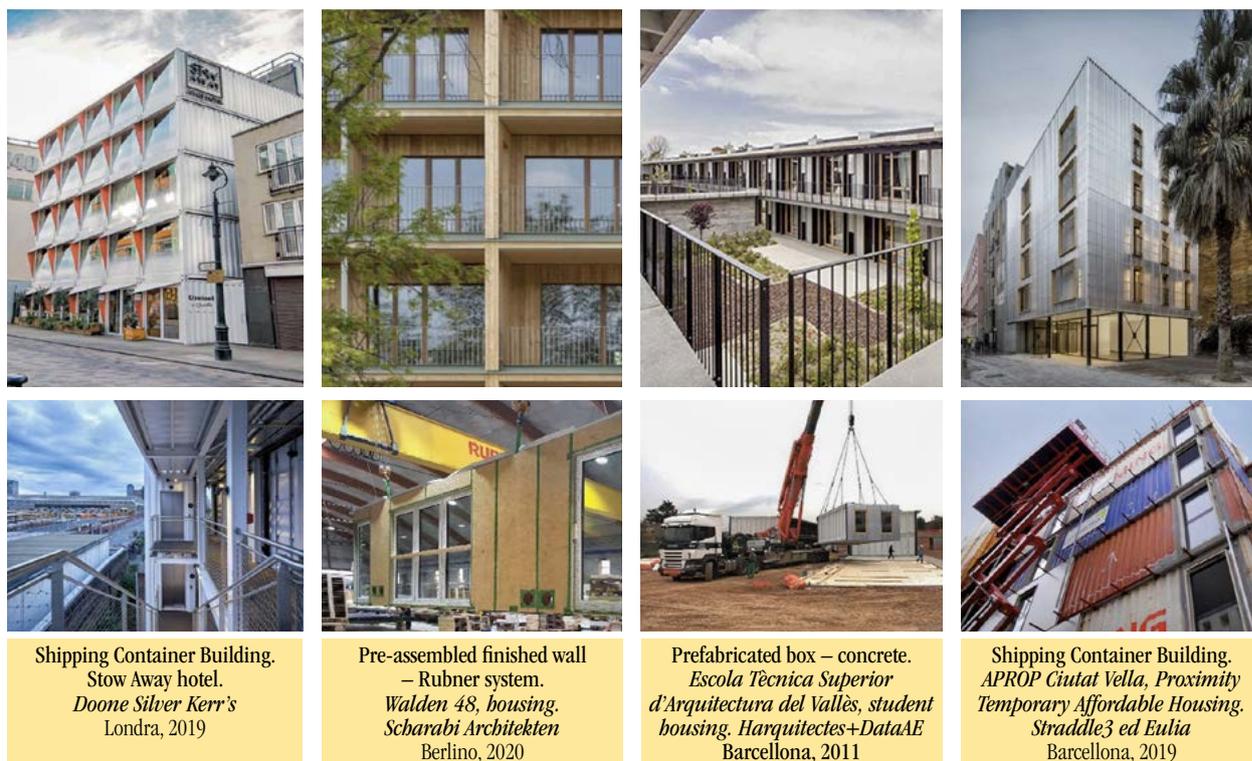


Figura 3. Esempi di architetture realizzate attraverso l'industrializzazione del processo edilizio.

Fonte immagini.

https://ideoli.com/industry_view/the_stowaway_hotel_in_london_made_out_of_rescued_shipping_containers

<https://www.dezeen.com/2019/10/18/stow-away-hotel-doone-silver-kerr-london-shipping-container/>

<https://www.heinze.de/architekturobjekt/walden-48/13098451/>

<https://www.rubner.com/it/holzbau/soluzioni/involucri-edilizi/elementi-per-pareti/>

<https://www.teknoring.com/news/progettazione/social-housing-uno-studentato-prefabbricato-per-gli-architetti-del-futuro/>

<https://2021.prizes.new-european-bauhaus.eu/node/269392>

Questi nuovi approcci delineano un “processo” progettuale sempre più “piattaforma” di processi e di attori, intesa come luogo virtuale di incontri e connessioni capaci di generare il progetto. Il progetto, a sua volta, deve essere in grado di accogliere il concetto di anticipazione delle decisioni come determinate per la trasformabilità della risultante progettuale, assecondando potenziali mutazioni nel tempo, in relazione alle mutevoli esigenze contemporanee dei fruitori e alle fasi del ciclo di vita (Vignati et al., 2022).

3. Risultati e Discussione

L'esito di questa richiesta di innovazione, che richiede edifici performanti, reversibili, a costi di gestione contenuti, ad alta manutenibilità e durevoli, si incontra con le richieste del mercato immobiliare, il quale si sta spostando verso forme di abitare meno stanziali che privilegiano una locazione temporanea a breve durata.

I casi riportati nella Figura 3 costituiscono alcuni esempi di interventi edilizi realizzati attraverso l'industrializzazione del processo edilizio e sono esemplificativi di quattro modelli di abitare: l'albergo (caratterizzato da una permanenza ridotta in termini di tempo, solitamente qualche giorno o settimana), la residenza (con una permanenza più lunga, anni o decenni), lo *student housing* (con una permanenza mensile, o annuale) e le abitazioni temporanee per rispondere ad un'emergenza abitativa (con una permanenza mensile).

Il primo caso, Stow Away hotel, è uno *Shipping Container Buildings* (riutilizza container da trasporto merci) costituito da unità strutturali ricavati da n. 25 impilati (n. 5 in fila per n. 5 piani di altezza), ad ogni container corrisponde uno spazio abitativo e gli spazi di distribuzione (scale e ascensori) si trovano all'esterno realizzati con una struttura in acciaio che ospita anche i balconi. Nel panorama dell'edilizia contemporanea lo *Shipping Container Buildings* è un sistema emergente e la lavorazione dei container può avvenire con un approccio industrializzato *off-site*, oppure con modalità più tradizionali direttamente nel cantiere.

Il secondo caso, Walden 48, è un edificio residenziale di 40 appartamenti realizzato con il sistema costruttivo in legno Rubner di parete pre-assemblata in officina, con struttura portante a telaio in legno e stratificazione di pannelli isolanti (nel caso studio di Berlino i solai hanno una struttura in legno-calcestruzzo, le scale e il seminterrato sono in cemento armato).

Il terzo caso, lo *student housing* per l'Escola del Valès, è realizzato tramite moduli tridimensionali prefabbricati realizzati in calcestruzzo armato, assemblati a secco. I moduli ospitano n. 57 spazi abitativi e i servizi condivisi, i moduli sono stati lavorati in of-

ficina e sono arrivati in cantiere dotati di serramenti esterni, finiture e facciata di rivestimento.

L'ultimo caso è stato realizzato all'interno di un programma per abitazioni temporanee di emergenza, destinate a famiglie sfrattate. Come il primo caso riutilizza i container da trasporto (n. 16 in totale), che vengono utilizzati come elemento strutturale, non visibile esternamente, e gli elementi principali dell'edificio sono stati realizzati *off-site* in tre mesi.

3.1 Esempi di innovazione dei modelli abitativi

Il mercato residenziale ha, infatti, in parte diversificato la domanda di spazi abitativi, specialmente su quattro segmenti emergenti (ANCE 2019): *student housing* e *micro-living* con localizzazione di breve durata e alloggi ridotti con spazi comuni; *multi-family* e *senior living* (con una localizzazione più lunga rispetto alle precedenti), dove sono determinanti spazi e servizi comuni flessibili, dinamici e di alta qualità.

Dal punto di vista della gestione, questi modelli introducono tipologie abitative ibride tra ambiente domestico e servizi, per soddisfare dei bisogni transitori per un tempo determinato, in cui sono richieste elevate prestazioni a costi di gestione contenuti, in un unico “pacchetto” che preveda l'arredo, i contratti di fornitura energia, la manutenzione, la gestione (Glumac and Islam 2020) con una semplificazione e flessibilità dei contratti. Ne sono un esempio i modelli di *micro-living*, con micro-appartamenti e spazi comuni (coworking, ristorazione, minimarket) con servizi opzionali a richiesta (lavanderia, pulizia) gestibili via app (prenotazione, consumi, gestione servizi), indirizzati a lavoratori che si spostano in maniera frequente, studenti e coppie per brevi periodi. Un ulteriore esempio sono le tecnologie di *Ambient Assisted Living* nel *senior living* (Nomisma, 2019), per gestire le funzioni dell'ambiente in cui vivono gli ospiti e monitorare le attività vitali, abbinate ai servizi collettivi, quali pulizia, spesa e gestione dei pasti (alcuni esempi sono: www.seniorhousingitalia.it e www.amatilive.com).

La Figura 4 riporta i principali segmenti emergenti all'interno del mercato delle abitazioni in affitto. Diferenti categorie di fruitori (come turisti, studenti, giovani lavoratori...) risultano accomunate da una serie di aspetti legati alla scelta dell'abitazione, come la localizzazione (rispetto al centro della città e ai principali servizi urbani), le modalità di gestione dell'abitazione e dei servizi ad essa collegati (come le pulizie, la disponibilità di spazi comuni).

Il futuro del mercato dell'abitare dovrà inoltre confrontarsi con le nuove modalità di lavoro a distanza

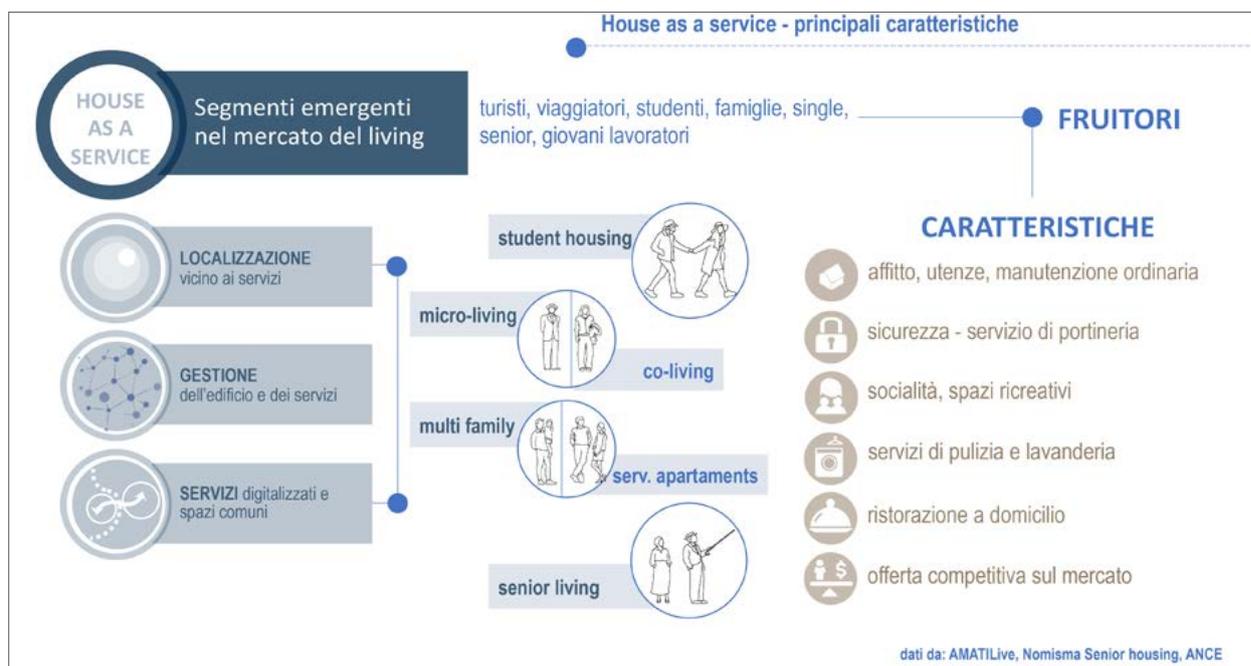


Figura 4. Principali caratteristiche dei modelli abitativi basati sul concetto di *House as a service*.

che sta diventando strutturale, con una duplice ricaduta: per gli edifici terziari un ridimensionamento e riconfigurazione degli spazi, accompagnata da una dismissione importante, e per i lavoratori la possibilità di optare per locazioni lontane dalle aziende e la necessità di spazi abitativi adeguati a sostenere lo *smart working* (Amato and Ricciardi, 2022).

Questa evoluzione del mercato sta già incidendo, oltre che sul patrimonio nuovo in costruzione, anche sul patrimonio costruito: è in atto una importante valorizzazione dell'ambiente costruito (in particolare il patrimonio dismesso), attraverso soluzioni direttamente connesse all'industrializzazione dei sistemi e dei processi. Le strategie di recupero e riconversione funzionale possono offrire al patrimonio dismesso soluzioni in accordo con il concetto di recupero, inteso come valorizzazione delle risorse esistenti.

Richiamando il cambio di strategia per il settore delle costruzioni (in riferimento al par.1.1) e il ruolo della riconversione sostenibile dell'edilizia attraverso il *design by layer* (progettare le interfacce degli elementi in base alla durabilità dei componenti) e incentivando l'industrializzazione dei processi costruttivi (favorendo livelli di pre-assemblaggio degli elementi), l'azione progettuale è in grado di soddisfare le necessità future di trasformabilità dell'edificio, in linea con il cambiamento sociale e tecnologico (a questo proposito si cita l'approccio dell'Open Building, Kendall, 2022). Riconoscendo il patrimonio esistente come risorsa potenziale, è possibile ottimizzare l'uso degli spazi, dei materiali e delle fonti

energetiche, collocandosi nell'economia circolare e nell'*eco-design* attraverso la riduzione di materiali, in termini di quantità ed energia grigia, di riciclo di prodotti e materiali attraverso l'uso della tecnologia a serraggio, per incentivare il futuro riutilizzo, diminuendo gli sprechi.

3.2 I plus della soluzione costruttiva

Questi nuovi approcci all'abitazione richiedono livelli di innovazione a cui il mercato residenziale, specialmente in Italia, è sempre stato impermeabile se non ostile. Si delineano così alcuni approcci imprescindibili, di seguito sintetizzabili.

Come sintesi del ragionamento fin qui espresso, sembra chiaro che sia le spinte del mondo dei costruttori, sia le spinte dei gestori (come conseguenza dei cambiamenti delle modalità d'uso degli alloggi) identifichino nel processo progettuale evoluto e nelle modalità realizzative a serraggio di prodotti industrializzati e pre-assemblati (più che ai singoli prodotti), una via preferenziale per valorizzare gli edifici nelle fasi di ri-generazione, attraverso strategie e processi circolari per il raggiungimento tangibile della sostenibilità. Richiamando le "R" della sostenibilità, anche in riferimento ai vantaggi riassunti dalla Tabella 1 che qui vengono riordinati secondo gli R-principi della circolarità, esse possono essere così declinabili:

1. una Riduzione di materiale in termini di quantità, energia grigia, tempo, con un miglior utilizzo dei prodotti, imprimendo loro un carattere di multifunzionalità;

2. il Riciclo di prodotti e materiali, attraverso l'utilizzo della tecnologia a serraggio e prodotti disaccoppiabili, per evitare costi di separazione e cicli industriali inquinanti per il loro riciclo;
3. il Riutilizzo/riuso come plus della filiera circolare, sinonimo di moltiplicazione della vita dei prodotti;
4. la Raccolta finalizzata al riciclo o al recupero, con un risparmio energetico e indagando (più che l'energia incorporata dei singoli prodotti, pratica associata dalla valutazione LCA) l'energia incorporata relativa alla soluzione costruttiva;
5. il Recupero con valorizzazione di prodotti che, anziché rifiuti, diventano "materia seconda", implicando per aziende e progettisti la modifica del proprio *know-how* produttivo.

Questo tipo di approccio è in grado di reimmettere nel ciclo produttivo gran parte dei componenti, una volta terminato il loro uso in un determinato edificio. In secondo luogo, il pre-assemblaggio e un certo tipo di industrializzazione sono in grado di aggiungere valore e qualità d'uso agli edifici, migliorandone le prestazioni e allungandone la vita utile.

Inoltre, il processo tecnologico ha ricadute immediate sulle scelte pratiche/realizzative per il progettista, l'operatore economico e il fruitore finale.

Infine, rispetto alla necessità di una effettiva transizione ecologica, risulta fondamentale la responsabilità di intravedere nuove traiettorie di pensiero: in questo senso il ruolo del progetto (inteso come processo progettuale) richiama un'ulteriore "R" di Rivoluzione culturale.

3.3 Riflessioni conclusive

Le spinte contemporanee richiedono, da un lato, un aumento del valore d'uso dello spazio abitativo in relazione alle prestazioni ambientali, sociali e tecnologiche; dall'altro il mercato immobiliare si sta spostando verso forme di abitare meno stanziali che privilegiano una locazione temporanea a breve durata. Queste due istanze devono trovare un punto di contatto e convergere per un mutuo beneficio, di cui la Figura 5 è una sintesi grafica.

Gli ostacoli che l'industrializzazione del settore delle costruzioni ha sempre trovato, specialmente in Italia (ma non solo), sono spesso legati all'idea di casa come bene durevole (quasi eterno) e ad una stanzialità che ha fatto della casa un'esperienza di appartenenza. La locazione, a forte vocazione di permanenza ridotta, scardina questi vincoli ridando ai costruttori la possibilità di costruire in modo "industriale" come "industriale" è l'affitto oggi richiesto (ANCE 2019).

Affinché nuovi processi e questi nuovi sistemi produttivi possano generare modelli operativi e sintassi costruttive efficaci e incisive, è imprescindibile che il legislatore crei le opportune condizioni di sostenibilità istituzionale, fornendo, tra l'altro, indicazioni chiare sulla scelta di sistemi costruttivi innovativi, incentivando una reale trasformazione del mercato. È quindi di auspicio che la revisione dei CAM e del Codice degli Appalti possa tener conto di queste istanze, inserendo obblighi e sistemi incentivanti, affinché anche le prassi costruttive diffuse possano pienamente rientrare, magari come ibridazione di sistemi, all'interno di un mercato circolare ormai imprescindibile. ■

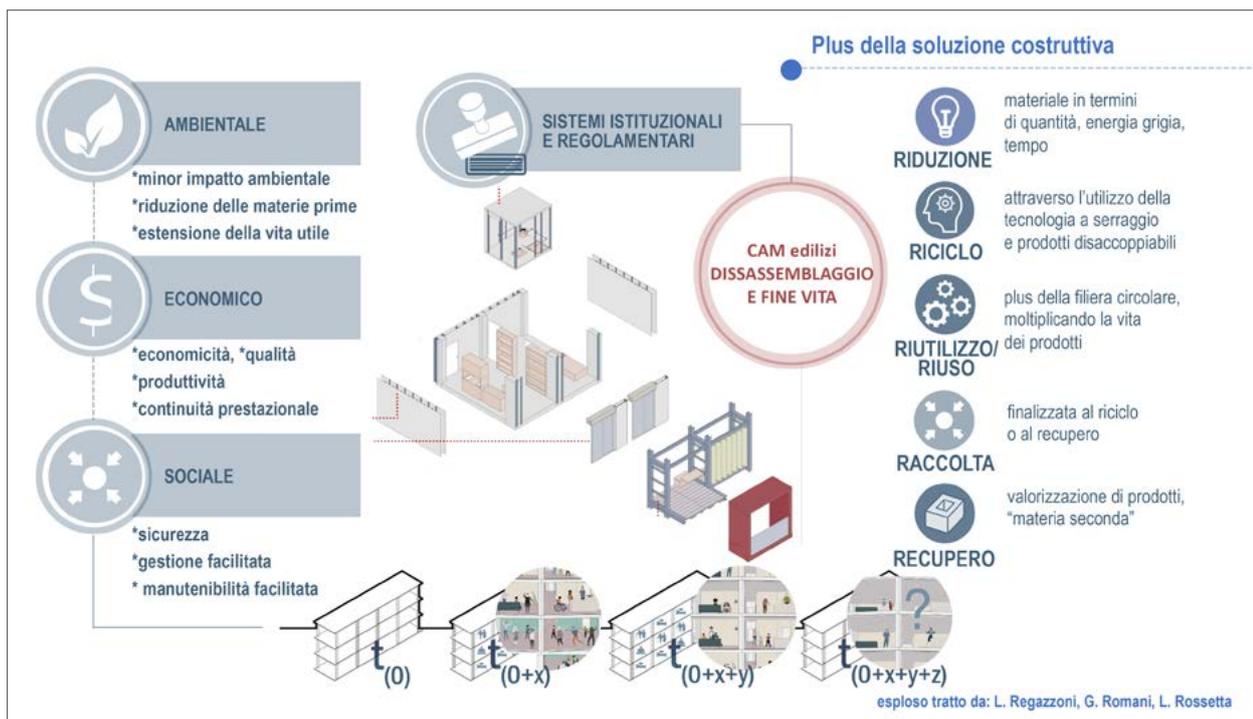


Figura 5. Il valore aggiunto dei processi progettuali e costruttivi innovativi.

Riferimenti bibliografici

- Allied Market Research (2022). *Precast Construction Market by Product Type, 2021-2030*. Report Code: A01572. <https://www.alliedmarketresearch.com/precaster-construction-market> (visited on March 2023).
- Amato R., Ricciardi R. (2022). “Contratti, orari, costi e sicurezza: lo smart working a caccia di regole”. In: *La Repubblica*, February 19th 2022. https://www.repubblica.it/economia/2022/02/19/news/smart_working_dopo_emergenza-338279408/
- ANCE (2019). *Un mercato industriale dell'affitto*. Strategic seminar June 26th, 2019. <https://www.acerweb.it/seminario-ance-un-modello-industriale-dellaffitto-disponibile-il-nuovo-e-book/>
- Arif M., Bendi D., Sawhney A., & Iyer K.C. (2012). *State of offsite construction in India: drivers and barriers*. Journal of Physics: Conference Series, 364, 012109.
- Badir Y.F. et al., (2002). “Industrialized building systems construction in Malaysia”. In *Juornal of Architectural Engineering*, n. 8(1), pp. 19-23.
- Benros D., & Duarte J.P. (2009). *An integrated system for providing mass customized housing*. Automation in Construction, 18(3), 310-320.
- Bergan T.L., Gorman-Murray A., & Power E.R. (2020). *Coliving housing: home cultures of precarity for the new creative class*. Social and Cultural Geography.
- Björnfort A. & Sardén Y. (2006). “Prefabrication: A lean strategy for value generation in construction”. In *14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC -14* Santiago.
- Boafó F.E., Kim J.H., & Kim J.T. (2016). *Performance of modular prefabricated architecture: Case study-based review and future pathways*. Sustainability (Switzerland), 8(6).
- Bollettino di Legislazione Tecnica (2018). Chiarimenti sui Criteri Ambientali Minimi per Progettazione e Realizzazione di Edifici Pubblici. <https://www.legislazionetecnica.it/4604526/news-edilizia-appalti-professioni-tecniche-sicurezza-ambiente/chiarimenti-sui-criteri-ambientali-minimi-progettazione-e-realizzazione-edifici-pubblici> (visited on June 2023).
- *Building a circular future* (2018). 3rd edition. Denmark: KLS PurePrint. https://gxn.3xn.com/wp-content/uploads/sites/4/2018/09/Building-a-Circular-Future_3rd-Edition_Compressed_V2-1.pdf (visited on March 2023).
- *CAM Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi*. (2022). Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. August 6th, 2022. <https://gpp.mite.gov.it/PDF/GURI%20183%2006.08.22%20-%20Allegato%20Edilizia.pdf>
- Circle Economy (2021). The Circularity Gap Report 2021. https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/60210bc3227314e1d952c6da_20210122%20-%20CGR%20Global%202021%20-%20Report%20-%20210x297mm.pdf
- CDP Cassa Depositi e prestiti (2018). *Smart Housing. Le nuove dimensioni dell'abitare*. Report. October 4th, 2018. https://www.cdp.it/resources/cms/documents/Smart_Housing.pdf (visited on March 2023)
- Chao M., Qiping S., Wei P., & Kunhui Y. (2015). *Major barriers to off-site construction: The developer's perspective in China*. Journal of Management in Engineering, 31(3), 04014043.
- CRESME. (2022). *XXXIII Rapporto congiunturale e previsionale CRESME. Il mercato delle costruzioni 2023*. Roma: Cresme.
- Elnaas E. (2014). *The decision to use off-site manufacturing (OMS) system for house building projects in the UK* (the University of Brighton – master thesis)
- Emmitt S. (2018). *Barry's advanced construction of buildings*. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN-10: 0470378360.
- Fortune Business Insight (2021). *The modular construction market size, 2021-2028*. Report ID: FBI101662. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/modular-construction-market-101662> (visited on March 2023).
- Gibb A.G.F. (1999). *Off-site fabrication: Prefabrication, preassembly and modularization*. London: John Wiley & Sons.
- Ginelli E., Lazzati G., Pirillo D., Pozzi G., Vignati G. (2019). *Il progetto cHOMgenius: relazioni virtuose tra progetto, prodotti e imprese*. U & C. UNIFICAZIONE E CERTIFICAZIONE, 5.
- Ginelli E., Perriccioli M. (2019). Design for living: strategy and tactics to face changes. In Lucarelli, M.T., Mussinelli E., Daglio L., Leone M.F. (Eds.), *Designing Resilience*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Glumac B., Islam N. (2020). *Housing preferences for adaptive re-use of office and industrial buildings*. Sustainable Cities and Society, 62, art. 102379.
- Goodier C.I., & Gibb A.G.F. (2005). *Barriers and opportunities for offsite in the UK*. Paper presented at the Systematic Innovation in the Management of Project and Processes, 148.
- Goodier C., & Gibb A. (2007). *Future opportunities for offsite in the UK*. Construction Management and Economics, 25(6), 585-595.
- GVR Grand View Research (2021). *Modular Construction Market Size & Share Report, 2023-2030*. Report ID: GVR-3-68038-561-8. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/modular-construction-market> (visited on March 2023).
- Haas C.T., O'Connor J.T., Tucker R.L., Eickmann J.A., & Fagerlund W.R. (2000). *Prefabrication and preassembly trends and effects on the construction workforce*. Austin TX USA: Center for Construction Industry Studies, University of Texas.
- Housing Communities and Local Government Committee. (2019). *Modern methods of construction*. 15th report of session 2017–19. London UK: House of Commons.

- IPCC WG III – Mitigation of climate change (2022). *IPCC Sixth Assessment Report – WG III Fact Sheet on Buildings*. United Nations Environment Programme (UNEP). <https://globalabc.org/resources/publications/ipcc-sixth-assessment-report-wg-iii-fact-sheet-buildings> (visited on March 2023)
- Jaillon L., & Poon C.S. (2008). *Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study*. Construction Management and Economics, 26(9), 953-966.
- Jiang R., Mao C., Hou L., Wu C., & Tan J. (2018). *A SWOT analysis for promoting off-site construction under the backdrop of China's new urbanization*. Journal of Cleaner Production, 173, 225-234.
- Kendall S. (2021). *Residential Architecture as Infrastructure, Open Building in Practice*. Routledge, London. ISBN-10: 0367863154
- Latouche S. (2007). *La scommessa della decrescita*. Feltrinelli. ISBN: 9788807171369
- Lehmann S., & Fitzgerald G.B. (2013). *Wood in the city: Social acceptance of prefabricated multi-storey timber buildings using low-carbon construction systems*. Motivating change: Sustainable design and behaviour in the built environment, 1, 385-418.
- Legambiente (2022). *Il settore edilizio verso una nuova sfida: la decarbonizzazione delle costruzioni*. www.legambiente.it/wp-content/uploads/2022/11/La-decarbonizzazione-delle-costruzioni-report-2022.pdf
- Losasso M. (2010). *Percorsi dell'innovazione. industria edilizia, tecnologie, progetto*. Napoli: CLEAN.
- Lu W., Chen K., Xue F., & Pan W. (2018). *Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework*. Journal of Cleaner Production, 201, 236-245.
- Luther M., Moreschini L., & Pallot H. (2007). *Revisiting prefabricated building systems for the future*. Paper presented at the ANZASCA 2007: Proceedings of 41st Annual Conference. Towards Solutions for a Liveable Future: Progress, Practice, Performance, People.
- MASE (2022). *Strategia Nazionale per l'Economia Circolare" (Ministero della Transizione Ecologica MITE*. www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/SEC_21.06.22.pdf
- Matt et al., (2015). "Digital transformation strategies". In *Business & Information Systems Engineering*, n.57(5), pp. 339-343.
- Noguchi M., & Hernández-Velasco C.R. (2005). *A 'mass custom design' approach to upgrading conventional housing development in Mexico*. Habitat International, 29(2), 325-336.
- Nomisma (2022). "Occorre un nuovo paradigma dell'abitare per soddisfare le esigenze delle famiglie italiane". In *Approfondimenti, Osservatori*. June 14th, 2022. <https://www.nomisma.it/occorre-un-nuovo-paradigma-dellabitare-per-soddisfare-le-esigenze-delle-famiglie-italiane-presentata-la-nuova-indagine-nomisma-sulle-famiglie/>
- Nomisma (2019). "Senior housing. Opportunità e sfide per il mercato immobiliare". Newsletter Osservatorio Immobiliare Nomisma. April 15th, 2019. https://nomisma.it/wp-content/uploads/2019/12/newsletter_OMI_n01_Senior_housing.pdf?x71344
- Parlamento Europeo (2023). *Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi*. Article, February 22th, 2023. https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2015/12/story/20151201STO05603/20151201STO05603_it.pdf
- Pozzi G. (2021). *Industrialhousing. Or the way industrialization can improve housing buildings*. Sesto San Giovanni: Mimesis. ISBN: 9788857586861.
- Rahman A.B.A. & Omar W. (2006). "Issues and challenges in the implementation of IBS in Malaysia". In *Proceeding of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference ASPEC*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Roland Berger (2018). *Prefabricated housing market in Central and Northern Europe – Overview of market trends and development*. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_prefabricated_housing_market_3.pdf (visited on March 2023).
- Russo Ermolli S. (2007). *The environmental benefits of the off-site manufacturing*. Paper presented at the Portugal SB 2007 – Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium; International Conference on Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, Portugal SB 2007, Minho. 974-981.
- Salihudin et al., (2009). "The contractor perception towers industrialized building system risk in construction projects in Malaysia". In *American Journal of Applied Sciences*, n.6.
- Tam V.W.Y., Tam C.M., Zeng S.X., & Ng, W.C.Y. (2007). *Towards adoption of prefabrication in construction*. Building and Environment, 10 (42), 3642-3654.
- Tatum C.B. et al., (1986). *Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization*. Dept. of Civil Engineering, Stanford University: Stanford.
- Trikha D. (1999) "Industrialized building systems. Prospects in Malaysia". In *Proceedings of World Engineering Congress*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- UNEP (2020). *Emissions Gap Report 2020*. December 9th, 2020. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020> (visited on March 2023)
- Vignati G., Pozzi G., Sdino L., Dell'Ovo M., Ginelli E. (2022). "Il progetto rigenerativo per edifici evolutivi ibridi. Resilienza attiva Convertibilità Valorizzazione". In *TECHNE Journal* n.24. 166-176. DOI:10.36253/techne-12870
- Warszawski A. (1999). *Industrialized and automated building systems*. London – New York: E & FN Spon.
- Warszawski A. (1999). *Industrialized and automated building systems*. London – New York: E & FN Spon.
- Winch G. (2010). *Managing construction projects*. London: John Wiley & Sons.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2023 è sostenuta da:



 INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE



N. 2/2023

