

## RESILIENZA E CIRCOLARITÀ NEL PROGETTO EDILIZIO SOSTENIBILE

Strumenti di valutazione integrata preliminare

## RESILIENCE AND CIRCULARITY IN SUSTAINABLE BUILDING DESIGN

Integrated tools for pre-intervention assessment

Paola De Joanna, Elisabetta Bronzino, Virginia Lusi

### ABSTRACT

Le nuove istanze rispetto alla tutela ambientale e all'efficienza energetica dei Beni architettonici aprono nuove frontiere agli studi per lo sviluppo di tecnologie per il controllo del processo edilizio. Obiettivo dello studio qui presentato è individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia quali moderatori dei processi di obsolescenza, in grado di stabilizzare il prodotto edilizio nella crescita ecosistemica. Il lavoro integra gli esiti di due ricerche dottorali in itinere che affrontano il tema del controllo della resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la riduzione di impatto ambientale individuando metodologie specifiche per gli interventi sul patrimonio costruito e per il processo progettuale digitale di nuove costruzioni.

The new demands on environmental protection and the energy efficiency of architectural assets open new frontiers to studies for the development of technologies for the control of the building process. The study presented here aims to identify criteria and tools for the control of resilience and circularity factors in construction as moderators of obsolescence processes, capable of stabilizing the construction product in ecosystem growth. The work integrates the results of two ongoing doctoral types of research that address the issue of controlling resilience and circularity in construction as a strategy for reducing environmental impact by identifying specific methodologies for interventions on the built heritage and the digital design process of new buildings.

### KEYWORDS

resilienza, design parametrico, ecosistemi, ambiente costruito, economia circolare

resilience, parametric design, ecosystems, built environment, circular economy

**Paola De Joanna**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architecture Technology at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). She carries out research on the issues of environmental sustainability, and the protection and enhancement of heritage and territorial resources; she is the Scientific Manager of agreements with local and international bodies. Mob. +39 328/91.72.833 | E-mail: dejoanna@unina.it

**Elisabetta Bronzino**, Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy), carries out research activities related to CIT-TAM (Interdepartmental Research Centre for the Study and Traditional Techniques of the Mediterranean Area). Mob. +39 333/461.52.19 | E-mail: elisabetta.bronzino@unina.it

**Virginia Lusi**, Architect and PhD Candidate at the Department of Civil, Construction-Architectural and Environmental Engineering of the University of L'Aquila (Italy). Her studies concern the sustainability of the built environment, with a focus on the evaluation of the circular economy and resilience for building recovery. Mob. + 39 345/60.50.900 | E-mail: virginia.lusi@graduate.univaq.it



Nello scenario contemporaneo di maturata consapevolezza sui rischi connessi alle emergenze ambientali, sanitarie e geopolitiche, la ricerca europea individua l'ambiente costruito come ambito preferenziale di sperimentazione per la transizione verso un habitat antropico più resiliente (CSIRO, 2007; Azzurro, 2016) e strategie di circolarità più efficaci attraverso un'economia low-carbon e l'uso efficiente delle risorse (Tucci et alii, 2020; Verda, 2015). In quest'ottica i modelli di sviluppo sostenibile necessitano di approcci integrati per raggiungere obiettivi strategici di resilienza e circolarità in grado di assicurare l'attivazione di efficaci circuiti di riuso e riciclo (Monsù Scolaro, 2017) e garantire adeguate capacità di adattamento 'ai mutamenti macroclimatici e agli impatti micro-ambientali' (UNEP, 2011). A livello edilizio, sebbene caratterizzate da un profilo transdisciplinare, resilienza e circolarità risultano ancora 'oggetti non propriamente progettabili' (Schipper and Langston, 2015), riscontrando uno scarso coordinamento tra documenti di indirizzo che pongono le due strategie in stretta relazione e strumenti attuativi, connotati da un carattere specialistico e frammentato.

In tale scenario l'approccio parametrico alla progettazione trova un ampio e proficuo margine di applicabilità consentendo la gestione di parametri per il controllo dell'impatto ambientale, prefigurando le indeterminanze e le possibili variazioni dell'ambiente durante il ciclo di vita dell'edificio e migliorando, di conseguenza, la capacità di conferire stabilità nel tempo ai parametri di sostenibilità. Si deve considerare che vi sono indicatori 'non energetici' che non vengono di solito presi in considerazione dai più diffusi metodi di valutazione e che, invece, possono significativamente incidere sulla resilienza del costruito quali, ad esempio, le relazioni col contesto e l'integrazione con l'economia territoriale. Ad oggi la prassi del settore edilizio è orientata a individuare soluzioni costruttive finalizzate al risparmio energetico trascurando l'adeguatezza al contesto delle scelte effettuate.

In quest'ottica, il contributo illustra due ricerche che condividono il comune obiettivo di individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la mitigazione dell'impatto ambientale. Gli studi delineano approcci disciplinari distinti ed elaborano metodologie differenti finalizzando gli strumenti elaborati all'applicazione di una metodologia 'agile', nel primo studio e parametrica, nel secondo. Il lavoro è dunque strutturato secondo il criterio di definizione per ciascuna ricerca dei presupposti scientifici di riferimento; quindi sono illustrati gli aspetti metodologici e applicativi e infine gli sviluppi prevedibili e gli esiti.

**Limiti e proiezioni della valutazione pre-intervento per la sostenibilità edilizia** | Il primo studio che si presenta riassume gli esiti della ricerca condotta in ambito dottorale dal titolo 'Tra circolarità e resilienza, strumenti agili per la sostenibilità dell'ambiente costruito'<sup>1</sup>. Adottando un approccio integrato al tema della sostenibilità nel settore edilizio si arriva alla definizione di parametri di valutazione dei paradigmi di resilienza e circolarità, proponendo la messa a punto di uno strumento 'agile' (Viscuso, 2020), in grado di analizzare e controllare il potenziale di tali criteri in fase di progett-

tazione preliminare al fine di indirizzare le scelte progettuali e gli esiti finali atti ad elevare la qualità ambientale del costruito esistente.

Gli studi che collegano operativamente l'economia circolare e la resilienza risultano ancora carenti, lasciando senza risposta alcune questioni critiche su come, ad esempio, il perseguire l'economia circolare possa influenzare la resilienza socio-ecologica e come i principi di resilienza possano essere integrati nelle pratiche circolari (Kennedy and Linnenluecke, 2022). Si evidenzia, di fatto, una scarsa correlazione tra la dimensione strategica, caratterizzata da una cospicua letteratura che declina la sostenibilità nei paradigmi di circolarità e resilienza – l'Agenda 2030 (UN, 2015), le proposte di Green Building Council Italia per un ambiente costruito sostenibile (GBC Italia, 2020), il rapporto tra resilienza ed economia circolare (Circle Economy, 2020), il Manifesto della Green Economy per l'architettura e l'urbanistica (SGCE, 2017), l'European Green Deal (Fetting, 2020), il Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) – e la dimensione operativa che mostra invece condizioni di complessità e disomogeneità negli strumenti di valutazione. Di fatto, i protocolli di certificazione ambientale (LEED, BREEAM, ITACA, DGNB) prediligono la misurazione degli aspetti energetici, di gestione efficiente delle risorse e di salubrità degli spazi abitati (Dall'Ò, 2016), mentre la valutazione della circolarità si riduce prevalentemente alla scala del prodotto (EDP, LCA, Ecolabel) e quella della resilienza, tuttora in fase di sperimentazione (Martin-Breen and Anderies, 2011; Suárez-Eiroa, Fernández and Méndez, 2021), viene applicata quasi esclusivamente a scala urbana (ARUP, 2013; CSIRO, 2007; Rockefeller Foundation, 2019).

Alla luce della rilevata 'mancanza di narrazione' (Rifkin, 2011) tra livello strategico e operativo, la prima ricerca si colloca in una dimensione intermedia, definita 'tattica' (Ciribini, 1978), configurandosi come una sorta di guida per l'azione. Si intende, pertanto, definire una metodologia di valutazione 'agile' che, partendo dall'individuazione di uno strumento di carattere conoscitivo, possa sviluppare una valutazione ex-ante in grado di trasformare il quadro informativo in un'indicazione decisionale. L'originalità della proposta è data dall'adozione di un approccio transcalare e interdisciplinare al tema della sostenibilità dell'ambiente costruito. La proposta di sviluppare uno strumento agile, inteso come quadro di valutazione speditivo del patrimonio costruito, consente di implementare i criteri di misurazione, non solo nella fase post-intervento (come i principali protocolli di certificazione ambientale) ma anche in quella preliminare.

**Limiti e proiezioni del progetto parametrico per la sostenibilità edilizia** | Il secondo studio, complementare alle finalità del presente contributo, è riferito alla ricerca dottorale dal titolo 'La valutazione della qualità ambientale nel progetto di fattibilità in campo BIM'<sup>2</sup>. L'approccio Building Information Modeling, come supporto per l'archiviazione e la gestione ottimizzata di tutte le informazioni, può aiutare a gestire una grande quantità di informazioni e può essere opportunamente integrato con analisi LCA, LCC, EPD e SLCA (EU BIM Task Group, 2017), per supportare il concetto di sostenibilità non solo ambientale ma anche

economica e sociale; ne derivano notevoli vantaggi quali, ad esempio, un controllo più rapido e preciso degli aspetti sia prestazionali sia economici dei lavori eseguiti sin dalle fasi iniziali (Mondini, 2016; Acampa et alii, 2019).

In linea di principio, il progettista dovrebbe essere in grado di condurre il LCA utilizzando i BIM, tuttavia, i modelli di edificio non contengono tutti i componenti e gli elementi materiali che diventeranno parte dell'edificio<sup>3</sup>. I plug-in attualmente sviluppati per i software BIM sono in grado di supportare la progettazione in fase conclusiva, quando il progetto è ben delineato e oramai in stato avanzato nel percorso decisionale; qui gli spazi di modifica per variare e correggere il comportamento di una costruzione, così come valutati tramite metodologia LCA, si limitano soprattutto alla scelta di tecniche e materiali, ma non incidono, se non in modo marginale, sulle scelte formali e spaziali che tanto concorrono a elevare la qualità, soprattutto ambientale, di una costruzione.

Nell'ambito dello stato attuale degli studi orientati a implementare gli strumenti di progettazione parametrica per migliorare il controllo del progetto in rapporto all'impatto ambientale della costruzione, l'originalità del lavoro qui presentato vuole essere riferita allo studio per lo sviluppo di un protocollo che possa supportare la fase preliminare, di approccio al progetto di fattibilità, in grado di fornire un ausilio nelle prime scelte progettuali in Qualità Edilizia e Ambientale, quando cioè vengono adottate soluzioni formali e spaziali che poi influenzano notevolmente il comportamento della costruzione nella fase di utilizzo.

**Aspetti metodologici per la valutazione pre-intervento** | Nel primo studio condotto, la metodologia adottata per la definizione del quadro di valutazione pre-intervento ha dapprima seguito un 'approccio sinergico', rispondendo all'ipotesi di dimostrare l'integrabilità tra i paradigmi di circolarità e resilienza. Partendo dall'indagine sullo stato dell'arte dei principali strumenti di valutazione, si individuano due documenti di indirizzo che indagano i due paradigmi e ne definiscono gli indicatori per la valutazione: il Quadro Pilota Level(s), promosso dalla European Commission (2017), per la circolarità e il City Resilience Index (ARUP, 2013) e dalla Fondazione Rockefeller, per la resilienza. Posti a confronto i due documenti selezionati, si rileva una rete di relazioni esistenti tra i rispettivi indicatori (Fig. 1) i quali vengono riassunti secondo quattro ambiti di riferimento, a verifica di una prima possibile integrabilità tra i paradigmi di circolarità e resilienza: Comfort ed Energia, Materiali e Risorse, Gestione del Rischio, Governance e Pianificazione (Fig. 2).

Il primo ambito integra tutti gli aspetti relativi alla fornitura di energia elettrica e idrica, al comfort indoor ed outdoor dell'utenza; il secondo comprende l'analisi del ciclo di vita, le azioni di recupero, riuso e manutenzione; il terzo concerne la gestione delle vulnerabilità che insistono sul costruito, quali il rischio idrogeologico, sismico e incendio; l'ultimo ambito rappresenta invece un asse trasversale di gestione e pianificazione di tutti i processi che regolano l'ambiente costruito, da quelli economici a quelli sociali e quelli ambientali.<sup>4</sup>

Successivamente la ricerca ha adottato un 'approccio sistemico' per la definizione della matrice operativa che andrà a costituire il quadro di

## RESILIENZA

City Resilience Index - ARUP & Rockefeller Foundation

## CIRCOLARITÀ

Level(s) - Built Circular - EU

1.1.	Rendimento energetico in fase di utilizzo	4
1.2.	Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita	3
2.1.	Conto di quantità, materiali e durata	5
2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
3.1.	Consumo di acqua in fase d'utilizzo	5
4.1.	Qualità dell'aria interna	2
4.2.	Tempo al di fuori del range di comfort termico	3
4.3.	Illuminazione e comfort visivo	4
4.4.	Comfort acustico e protezione dal rumore	5
5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
5.2.	Incremento del rischio di fenomeni atmosferici estremi	10
5.3.	Incremento del rischio di alluvioni	5
6.1.	Costo del ciclo di vita	7
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6

Num. di riferimento  
indicatore

Peso in termini  
di numero di  
relazioni

1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
1.2.	Fornitura di energia adeguata	5
1.3.	Accesso inclusivo ad acqua potabile sicura	1
1.4.	Servizi igienico-sanitari efficaci	3
2.2.	Competenze e formazione pertinenti	3
2.3.	Sviluppo e innovazione dinamica del business locale	1
2.5.	Protezione dei mezzi di sussistenza a seguito di uno shock	3
3.4.	Servizi efficaci di risposta alle emergenze	3
4.3.	Forte identità e cultura	2
4.4.	Impegno attivo dei cittadini	1
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3
7.1.	Mappatura completa dell'esposizione al rischio	6
7.2.	Codici, standard e controlli adeguati	6
7.3.	Ecosistemi protettivi gestiti efficacemente	2
7.4.	Infrastruttura di protezione robusta	3
8.1.	Gestione efficace degli ecosistemi	2
8.2.	Infrastruttura flessibile	1
8.3.	Capacità ridondante mantenuta	3
8.4.	Equilibrio tra domanda e offerta di risorse	3
8.5.	Manutenzione continua e accurata	2
8.6.	Adeguate continuità per beni e servizi essenziali	2
9.1.	Reti di trasporto eterogenee	2
9.2.	Operazioni di trasporto e manutenzione efficaci	3
9.4.	Sicurezza delle reti tecnologiche	2
10.3.	Collaborazione proattiva con più stakeholder	2
10.4.	Monitoraggio completo dei pericoli e valutazione dei rischi	2
10.5.	Gestione completa delle emergenze	2
11.2.	Diffusa consapevolezza e preparazione della comunità	3
12.1.	Monitoraggio completo della città e gestione dei dati	4
12.2.	Processo di pianificazione consultiva	2
12.3.	Uso del territorio e suddivisione in zone appropriate	2
12.4.	Robusto processo di approvazione della pianificazione	1

### COMFORT ED ENERGIA

1.1.	Rendimento energetico in fase di utilizzo	4
3.1.	Consumo di acqua in fase d'utilizzo	5
4.1.	Qualità dell'aria interna	2
4.2.	Tempo al di fuori del range di comfort termico	3
4.3.	Illuminazione e comfort visivo	4
4.4.	Comfort acustico e protezione dal rumore	5
5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
1.2.	Fornitura di energia adeguata	5
1.3.	Accesso inclusivo ad acqua potabile sicura	1
1.4.	Servizi igienico-sanitari efficaci	3

### MATERIALI E RISORSE

1.2.	Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita	3
2.1.	Conto di quantità, materiali e durata	5
2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
6.1.	Costo del ciclo di vita	7
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3
7.2.	Codici, standard e controlli adeguati	6
8.2.	Infrastruttura flessibile	1
8.5.	Manutenzione continua e accurata	2
8.6.	Adeguate continuità per beni e servizi essenziali	2
9.1.	Reti di trasporto eterogenee	2
9.2.	Operazioni di trasporto e manutenzione efficaci	3

### GESTIONE DEL RISCHIO

5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
5.2.	Incremento del rischio di fenomeni atmosferici estremi	10
5.3.	Incremento del rischio di alluvioni	5
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6
1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
2.5.	Protezione dei mezzi di sussistenza a seguito di uno shock	3
3.4.	Servizi efficaci di risposta alle emergenze	3
7.1.	Mappatura completa dell'esposizione al rischio	6
7.3.	Ecosistemi protettivi gestiti efficacemente	2
7.4.	Infrastruttura di protezione robusta	3
8.3.	Capacità ridondante mantenuta	3
9.4.	Sicurezza delle reti tecnologiche	2
10.4.	Monitoraggio completo dei pericoli e valutazione dei rischi	2
10.5.	Gestione completa delle emergenze	2
11.2.	Diffusa consapevolezza e preparazione della comunità	3
12.1.	Monitoraggio completo della città e gestione dei dati	4

### GOVERNANCE E PIANIFICAZIONE

2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6
2.2.	Competenze e formazione pertinenti	3

2.3.	Sviluppo e innovazione dinamica del business locale	1
4.3.	Forte identità e cultura	2
4.4.	Impegno attivo dei cittadini	1
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3

8.1.	Gestione efficace degli ecosistemi	2
8.4.	Equilibrio tra domanda e offerta di risorse	3
10.3.	Collaborazione proattiva con più stakeholder	2
12.2.	Processo di pianificazione consultiva	2
12.3.	Uso del territorio e suddivisione in zone appropriate	2
12.4.	Robusto processo di approvazione della pianificazione	1

Fig. 1 | The diagram shows the relations between the indicators of circularity and resilience (credit: V. Lusi, 2022).

Fig. 2 | The figure shows four thematic areas in which circularity and resilience can be integrated (credit: V. Lusi, 2022).

	Settlement System	Building System	Technical-material System
Sustainability	ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities Indicators for smart cities	ISO 21931-1 Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works	ISO 21930 Environmental declaration of building products
Circularity	ISO/CD 59020 Circular Economy Measuring and assessing circularity	ISO 20887:2020 Design for disassembly and adaptability	ISO 14040:2020 Life cycle assessment Principles and framework
Resilience	UNI ISO 37123:2019 Indicators for resilient cities	ISO/TR 22845:2020 Resilience of buildings and civil engineering works	ISO 22383:2020 Security and resilience Authenticity, integrity and trust for products

**Tab. 1** | Standards and guidelines promoted by international standards; the matrix is divided into different scales of the built environment according to objectives of sustainability, circularity and resilience (credit: V. Lusi, 2022).

valutazione rispondendo così all'ipotesi di valutabilità di resilienza e circolarità a livello edilizio. Sono state quindi definite le gerarchie dello strumento agile: dagli ambiti di riferimento individuati nella fase precedente si declinano delle sottocategorie di sintesi che prendono il nome di fattori di riferimento corrispondenti all'articolazione tematica specifica di ciascun ambito, in modo che ogni categoria assunta possa essere analizzata e descritta nei suoi molteplici aspetti. Ciascuna sottocategoria viene poi riorganizzata in fattori di controllo che costituiscono i criteri di valutazione secondo normative e standard di riferimento (Tab. 1); infine, per ciascun fattore di controllo sono definiti i parametri che rappresentano gli elementi di misura dello strumento.

Si rintracciano così le metriche di valutazione di ciascun parametro di controllo all'interno del quadro normativo, garantendo la coerenza dei processi proposti rispetto alle linee guida di carattere regolatorio e un'effettiva operabilità tra i documenti di programmazione strategica e i riferimenti normativi. Il quadro normativo così strutturato permette di superare la condizione di estrema settorializzazione degli apparati regolamentari a favore di una visione complessiva in grado di 'rapportare costantemente la norma al contesto' (Gangemi, 1991). La diversa natura quali-quantitativa dei valori individuati ha richiesto poi l'adozione di tecniche di analisi multicriterio come metodo per riportare a omogeneità le valutazioni di ordine qualitativo e quantitativo relative ai parametri di controllo volti a ottenere i valori confrontabili e sommabili tra loro.

La ricerca segue, infine, un approccio agile nella configurazione del quadro di sintesi della valutazione. Lo strumento si configura come una matrice, inserita in software che generano fogli di calcolo, organizzata secondo differenti livelli di approfondimento, dal particolare al generale. Lo strumento consente infatti: una lettura specifica di ciascun parametro di controllo e del relativo punteggio; una lettura intermedia dei fattori di controllo e dei fattori di riferimento; una lettura d'insieme relativa agli ambiti di riferimento e al punteggio globale attribuibile all'oggetto della valutazione. La predisposizione dello strumento in un software di calcolo permette, una volta predisposte le formule, oltre che la definizione di tutti i punteggi medi e finali in automatico, anche la restituzione grafica dei valori in tabelle e grafici, op-

portunamente predisposti per garantire una visualizzazione agile dei risultati.

**Aspetti metodologici per il controllo della resilienza nel progetto di fattibilità** | Il secondo studio è orientato alla definizione di un modello digitale di edificio, funzionale a supportare le scelte in fase di fattibilità, attraverso la selezione di indicatori significativi e la definizione della misurabilità degli stessi. Lo scopo è, dunque, quello di perimetrare un ambito di progettazione pre-orientato verso un prodotto edilizio resiliente in grado di incrementare la sostenibilità della costruzione attraverso l'adattabilità nel tempo a diverse esigenze insediative e quindi prolungarne il ciclo di vita utile.

Nella fase del progetto di fattibilità vengono infatti stabilite soluzioni formali e spaziali, vengono definite le principali caratteristiche dimensionali degli ambienti e degli elementi tecnici che li conformano, la forma e l'esposizione della costruzione, la posizione e la dimensione delle aperture, tutti fattori che contribuiscono in modo sostanziale a determinare l'ambiente fisico degli interni e quindi la necessità o meno di intervenire con strategie progettuali correttive che influenzano notevolmente il comportamento della costruzione nella fase di utilizzo e limitano lo spazio delle trasformazioni che potrebbero rendersi necessarie in seguito.

Lo studio è mirato alla definizione dell'area dei possibili interventi intesa quale intersezione tra i requisiti di progetto e il sistema costruttivo per la garanzia della sostenibilità dell'edificio; tale intersezione vuole rappresentare l'effettivo spazio delle potenzialità di resilienza dell'oggetto edilizio. La metodologia proposta per orientare le scelte progettuali nella fase di studio di fattibilità verso soluzioni resilienti si fonda sul confronto tra diversi modelli insediativi per localizzare le componenti costanti in termini di relazioni tra configurazione dello spazio e attività svolte e le componenti variabili che diversificano e specializzano le forme di abitazione.

La Fase 1 prevede la definizione dei 'modelli occupativi campione' con differenti destinazioni d'uso o differenti modalità abitative in rapporto a: composizione dei nuclei familiari, stabilità o temporaneità nell'abitazione e stabilità nella destinazione d'uso dell'immobile. Nello studio qui presentato ci si riferisce i modelli per 'abitazione' e per 'abitazione e lavoro'. Per ogni modello inse-

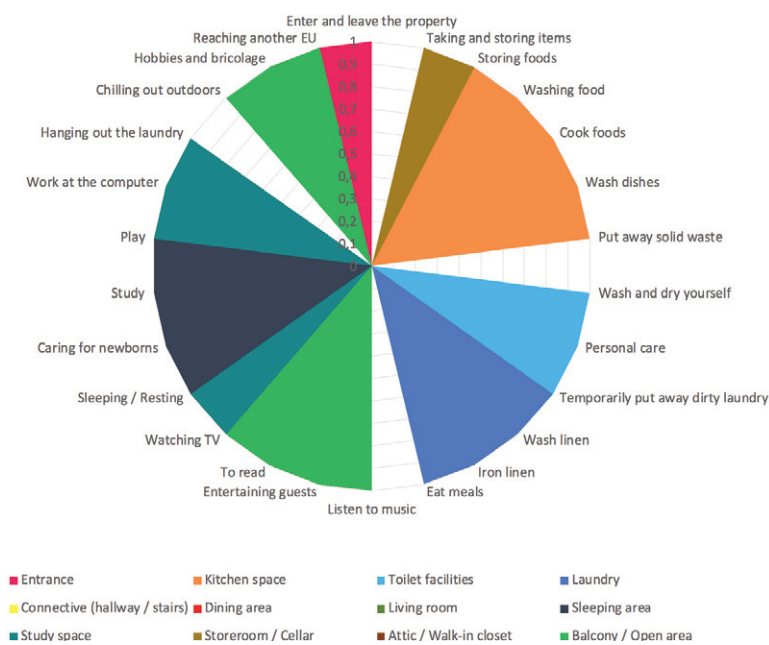
diativo individuato viene svolta l'analisi delle Azioni Elementari e dei raggruppamenti in Unità Ambientali, in considerazione anche delle indicazioni implicitamente contenute nella legislazione vigente e, in particolare modo, nei Decreti relativi all'edilizia residenziale (Zaffagnini, 1994).

La Fase 2 sulla resilienza dell'organismo edilizio è descritta attraverso la struttura di tre matrici. La Matrice delle Unità Ambientali è uno strumento elaborato mettendo in relazione le unità ambientali con le attività dell'abitare. Dalla matrice delle attività possono essere estratti grafici della distribuzione e ricorrenza delle azioni dell'abitare in rapporto alle unità del sistema ambientale (Tabb. 2, 3). Questa schematizzazione rispecchia abitudini e usi legati al contesto culturale e sociale ed è suscettibile di molte trasformazioni, basti pensare all'uso dello spazio esterno che cambia al variare della regione geografica e del contesto climatico, così come raggruppamenti diversi potrebbero risultare in rapporto alla condizione sociale ed economica, o ancora in rapporto a destinazioni d'uso eterogenee che coniugano l'abitare con attività lavorative. Si potrebbe dunque utilizzare il solo raggruppamento per dare luogo a modelli funzionali diversi.

La Matrice dei Requisiti (Tab. 4), che rappresenta il legame tra il comfort ambientale per le attività residenziali (termoigrometrico, visivo e acustico) e il sistema tecnologico, descrive la corrispondenza tra i requisiti tecnologici del progetto e il sistema costruttivo. La ricorrenza di più connessioni tra alcuni requisiti e alcune componenti dell'edificio esplicita i legami più forti all'interno dei quali devono potersi sviluppare ipotetici differenti layout di progetto. Infine la Matrice delle Attività (Tab. 5), che rappresenta il legame tra attività elementari e il sistema tecnologico, descrive le connessioni tra caratteristiche costruttive e svolgimento delle attività individuando così eventuali punti di attrito o scollamento che potrebbero verificarsi in scenari di progetto alternativi.

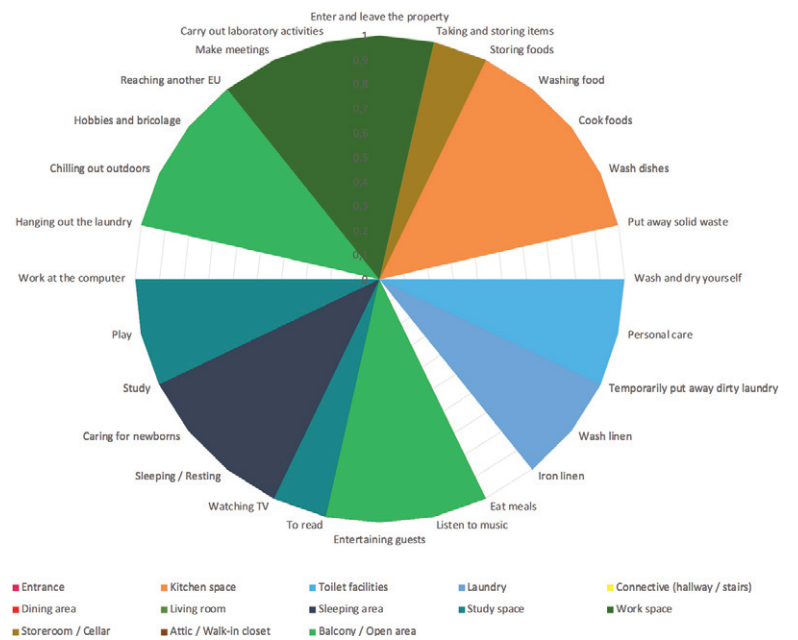
I grafici delle Tabelle 4 e 5 sono sviluppati per il modello residenziale e il modello ibrido abitazione/lavoro; la sovrapposizione dei grafici prodotti dalle matrici di ciascun modello evidenzia lo scostamento e quindi l'ambito degli adattamenti che incrementano l'impatto ambientale della costruzione in caso di passaggio da un modello all'altro. Iterando il processo per più destinazioni d'uso,

	Entrance	Kitchen space	Toilet facilities	Laundry	Connective (hallway / stairs)	Dining area	Living room	Sleeping area	Study space	Storeroom / Cellar	Attic / Walk-in closet	Balcony / Open area
Enter and leave the property	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taking and storing items	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storing foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Washing food	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cook foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Wash dishes	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Put away solid waste	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash and dry yourself	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal care	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash linen	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Iron linen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Eat meals	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Listen to music	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Entertaining guests	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
To read	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Watching TV	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Sleeping / Resting	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Caring for newborns	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Study	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Play	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Work at the computer	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Hanging out the laundry	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Chilling out outdoors	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
Reaching another EU	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Tab. 2 | Matrix of environmental units for the dwelling model, shows the relationships between environmental units and living activities. Graph of the Ratio of Elementary Actions and Environmental Units (credit: P. De Joanna, 2022).

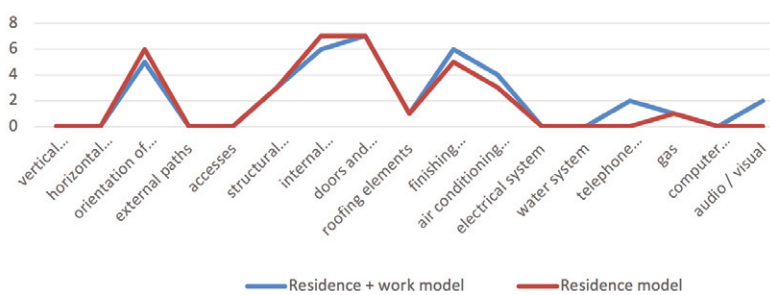
	Entrance	Kitchen space	Toilet facilities	Laundry	Connective (hallway / stairs)	Dining area	Living room	Sleeping area	Study space	Work space	Storeroom / Cellar	Attic / Walk-in closet	Balcony / Open area
Enter and leave the property	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Taking and storing items	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storing foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Washing food	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cook foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wash dishes	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Put away solid waste	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Wash and dry yourself	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal care	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash linen	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iron linen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eat meals	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Listen to music	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Entertaining guests	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
To read	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1
Watching TV	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Sleeping / Resting	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Caring for newborns	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Study	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Play	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Work at the computer	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Hanging out the laundry	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Chilling out outdoors	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Reaching another EU	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Make meetings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Carry out laboratory activities	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0



Tab. 3 | Matrix of environmental units for the dwelling/work model, shows the relationships between environmental units and living activities and a graph of the Ratio of Elementary Actions and Environmental Units (credit: P. De Joanna, 2022).

WELL-BEING Requirement Class			connection system					building system					installations					
			vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks
Thermohygro-metric comfort	Internal air temperature control	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Relative humidity control	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Ventilation	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air quality	Control of the emission of harmful substances	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	Natural lighting control	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Visual comfort	Darkening	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Sound pressure control	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Acoustic comfort	Sound reverberation control	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1

	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold / hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Residence + work model	0	0	5	0	0	3	6	7	1	6	4	0	0	2	1	0	2
Residence model	0	0	6	0	0	3	7	7	1	5	3	0	0	0	1	0	0



**Tab. 4** | Requirements matrix shows the link between environmental comfort for residential activities and the technological system and a graph of the connections between comfort requirements and construction systems in residential and hybrid home/work models (credit: P. De Joanna, 2022).

possono essere prodotti grafici diversi che pongano in evidenza in che misura i diversi scenari progettuali incidono sull'edificio rispetto alle esigenze di adattamento della struttura esistente a nuovi usi o attività.

La costruzione di questi modelli attraverso un plug-in consente di sovrapporre ad esso ipotetici modelli diversi (perché relativi a diversi usi come residenza integrata con lavoro, attività di ufficio, attività commerciali, formazione, esposizione, eventi, o perché appartenenti a contesti diversi come clima, spazio urbano, presenza di servizi, etc.) e tracciare così il 'nucleo' di resilienza, cioè lo spazio delle relazioni comune a più modelli che consente il passaggio a destinazioni d'uso diverse nel tempo limitando al massimo gli adattamenti e quindi il minor consumo di energia e allungamento dell'ammortamento dell'impatto energetico della costruzione. Si individua, così, il sistema di relazioni che maggiormente accomuna diversi modelli, una sorta di minimo comune multiplo che rappresenta la versatilità dell'organismo; quanto più è ampio il sistema resiliente tanto più è facile passare da un modello a un altro: l'esito di questo confronto conduce alla individuazione delle aree stabili e delle aree più soggette a variazioni attraverso i differenti modelli presi in esame.

**Risultati e sviluppi futuri** | Gli esiti del primo studio hanno riguardato la sperimentazione dello strumento agile su un caso studio individuato nel Progetto C.A.S.E., complessi residenziali realizzati nelle aree aquilane interessate dal sisma del 2009 (Turino, 2010). La verifica è stata svolta rispetto a tre tipologie edilizie: una struttura telaio in acciaio, una struttura platform frame in legno e una struttura a telaio in calcestruzzo prefabbricato (Tab. 6); i risultati della verifica sono stati riportati graficamente in diagrammi radar (Fig. 3). Il confronto ha fatto emergere alcuni parametri costanti alla soluzione costruttiva e/o al sito di costruzione. Vale a dire che, nell'ottica di una valutazione speditiva, essere a conoscenza di quali parametri di controllo restano invariati, a fronte di stesse tipologie costruttive o stessi luoghi, può aumentare notevolmente l'agilità nella compilazione dello strumento.

Gli sviluppi futuri della ricerca potranno riguardare, in primo luogo, un'implementazione del palinsesto informativo sul costruito esistente attraverso l'integrazione tra banche dati dello strumento agile e dimensione parametrica BIM. In secondo luogo si potrà prevedere l'estensione della definizione dei parametri di valutazione integrata dalla scala edilizia a quella insediativa e tecnico-materiale, al fine di aumentare l'inter-scalarità dello strumento agile.

Il secondo studio perviene a uno strumento che consente di tracciare il perimetro del 'limite di adattabilità' di uno spazio costruito ad altri usi; in un'ipotesi di parametrizzazione acquista efficacia la possibilità di attribuire indici di adattabilità che connotino un progetto rispetto a un altro; in pratica si può pensare di generare un modello parametrizzato che controlli la percentuale di scostamento di diversi scenari rispetto al range di adattabilità ed esprimere un giudizio di sostenibilità rispetto alla maggiore o minore resilienza di un organismo edilizio. La flessibilità del modello garantisce maggiore resilienza e quindi ottimizza l'impatto ambientale in termini di ammortamento

del consumo di risorse; integrando il modello parametrizzato con i plug-in che valutano l'impatto ambientale delle risorse impiegate per la realizzazione, il valore di adattabilità stimato diventa un moltiplicatore dei valori di impatto ambientale stimati dal software.

**Conclusioni** | Gli studi citati presentano un nuovo approccio alla progettazione parametrica in termini di controllo dell'impatto ambientale del progetto orientato a definire criteri e parametri di verifica già in fase di studio di fattibilità. Lo strumento agile descritto dal primo studio propone un approccio valutativo su larga scala, fungendo da elemento conoscitivo di un vasto patrimonio costruito. Di fatto la possibilità di ottenere una valutazione speditiva consente agli attori chiave del processo decisionale di effettuare analisi sul potenziale di sostenibilità del patrimonio esistente, con un ridotto impiego di risorse in termini di tempi e costi, e di avere a disposizione una mappatura del costruito esistente implementando così banche dati e quadri informativi utili a futuri interventi.

La metodologia, sviluppata nel secondo studio, è in grado di anticipare la fase di analisi del comportamento energetico della costruzione rispetto alla prassi corrente rivolta a sviluppare l'impronta ambientale dei manufatti solo a valle di scelte progettuali definitive o comunque di difficile e onerosa revisione. Introdurre parametri di controllo di impatto ambientale ex-ante rispetto alla fase di fattibilità della progettazione, può costituire un'importante acquisizione scientifica e metodologica in grado di pre-orientare scelte progettuali conformemente al contesto ambientale ed ecosistemico. Le ricadute di un modello progettuale implementato in fase di studio di fattibilità si individuano nell'incremento degli standard internazionali di qualità.

In definitiva le due ricerche presentate, partendo da premesse comuni ma adottando approcci che differiscono nella metodologia, giungono al risultato di definire criteri e parametri di sostenibilità capaci di superare la tradizionale ed esclusiva attenzione all'efficientamento energetico, integrando anche aspetti economici e sociali per il miglioramento della qualità abitativa e ambientale.

---

In the contemporary scenario of increased awareness about the risks associated with environmental, health and geopolitical emergencies, European research identifies the built environment as a preferential testing ground for the transition to a more resilient anthropogenic habitat (CSIRO, 2007; Azzurro, 2016) and more effective circularity strategies through a low-carbon economy and efficient use of resources (Tucci et alii, 2020; Verda, 2015). In this perspective, sustainable development models need integrated approaches to achieve strategic goals of resilience and circularity that may ensure the activation of effective reuse and recycling circuits (Monsù Scolaro, 2017) and provide adequate adaptation to 'macro-climate change and micro-environmental impacts' (UNEP, 2011). At the building level, resilience and circularity are still 'objects not properly designed' (Schipper and Langston, 2015), although characterized by a transdisciplinary profile. Consequent-

ly, is to be found poor coordination between documents of address: even if these two strategies are closely linked, their implementation instruments are characterized by a specialized and fragmented nature.

In this scenario, the parametric approach to design finds a wide and profitable margin of applicability allowing the management of parameters for the control of the environmental impact, prefiguring the uncertainties and possible variations of the environment during the life cycle of the building and improving, consequently, the ability to confer stability over time of the sustainability parameters. It must be considered that there are 'non-energetic' indicators that are not usually taken into consideration by the most widespread evaluation methods and that, on the other hand, can significantly affect the resilience of the building, such as, for example, the relationships with the context and integration with the territorial economy. To date, the practice of the building sector is engaged in identifying construction solutions aimed at saving energy, neglecting the adequacy of the choices made to the context.

The contribution illustrates two studies that share the common goal of identifying criteria and tools for controlling resilience and circularity factors in construction as a strategy for mitigating environmental impact. The studies outline distinct disciplinary approaches and elaborate different methodologies, finalizing the developed tools to the application of an 'agile' methodology, in the first study, and parametric, in the second one. Therefore, the work is structured according to the criterion definition, for each research, of the reference scientific assumptions; then, the methodological and applicative aspects are developed and the foreseeable developments and outcomes are illustrated.

#### **Limits and projections of the pre-intervention assessment for building sustainability**

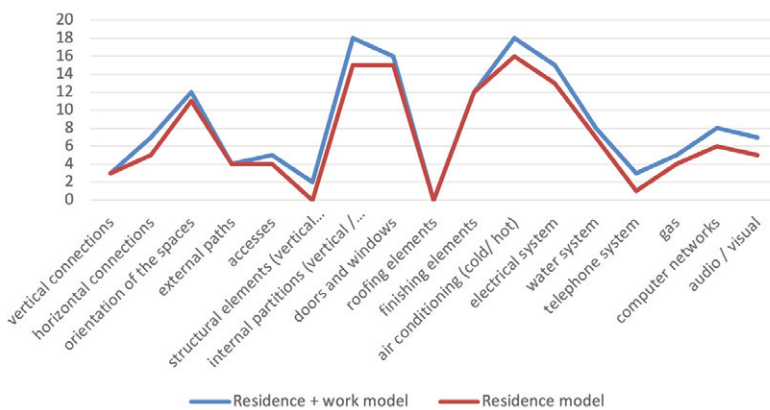
The first study summarizes the results of the doctoral research entitled 'Between circularity and resilience, agile tools for the sustainability of the built environment'<sup>1</sup>. Adopting an integrated approach to sustainability issue in the building sector, the study aims to define parameters for evaluating resilience and circularity paradigms, by proposing the development of an 'agile' tool (Viscuso, 2020), able to analyse and control the potential of these parameters in the pre-intervention phase, in order to guide the design choices and the final results and thus raising the environmental quality of the existing building.

To date, studies bridging the circular economy and resilience are sparse, leaving critical questions unanswered, including how pursuing a circular economy may influence social-ecological resilience and how principles of resilience may be integrated into circular business practices (Kennedy and Linnenluecke, 2022). Indeed, there is a poor correlation between the strategic dimension, characterized by a large literature declining sustainability in the paradigms of circularity and resilience – Agenda 2030 (UN, 2015), the proposals of Green Building Council Italy for a sustainable built environment (GBC Italy, 2020), the relationship between resilience and circular economy (Circle Economy, 2020), the Green Economy Manifesto for architecture and urbanism (SGCE,



	connection system					building system					installations						
	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Enter and leave the property	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taking and storing items	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Storing foods	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Washing food	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Cook foods	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Wash dishes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Put away solid waste	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wash and dry yourself	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Personal care	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Wash linen	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Iron linen	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Eat meals	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Listen to music	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Entertaining guests	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
To read	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Watching TV	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Sleeping / Resting	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Caring for newborns	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Study	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Play	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
Work at the computer	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
Hanging out the laundry	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
Chilling out outdoors	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
Reaching another EU	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Make meetings	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
Carry out laboratory activities	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1

	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Residence + work model	3	7	12	4	5	2	18	16	0	12	18	15	8	3	5	8	7
Residence model	3	5	11	4	4	0	15	15	0	12	16	13	7	1	4	6	5



Previous page and current page

**Tab. 5** | Activities Matrix shows the link between elementary activities and the technological system and a graph of the connections between elementary actions and construction systems in residential and hybrid home/work models (credit: P. De Joanna, 2022).

2017), the European Green Deal (Fetting, 2020), the Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) – and the operational dimension, which shows conditions of complexity and inhomogeneity in the assessment tools. Actually, environmental certifications (LEED, BREEAM, ITACA, DGNB) provide a framework to assess energy aspects, efficient management of resources and healthiness of living spaces (Dall’Ò, 2016), while the assessment of circularity is limited to product dimension (EDP, LCA, Ecolabel) and the concept of resilience, still developing (Martin-Breen and Anderies, 2011; Suárez-Eiroa, Fernández and Méndez, 2021), is applied almost on the urban scale (ARUP, 2013; CSIRO, 2007; Rockefeller Foundation, 2019).

In light of the ‘lack of narration’ (Rifkin, 2011) found between the strategic and the operational level, the research is placed in an intermediate dimension, defined as ‘tactics’ (Ciribini, 1978), becoming like a guide for action. Therefore, the proposal is to define an ‘agile’ assessment methodology that, starting from the identification of a cognitive tool, can develop a pre-intervention evaluation that may transform the information framework into a decision indication. The originality of the research is given by the adoption of an inter-scalar and interdisciplinary approach to the issue of the sustainability of the built environment. The proposal of the agile tool, as a framework for the assessment of building construction, allows the implementation of measurement parameters, not only in the post-intervention phase (as the main environmental certifications) but also in the pre-intervention one.

**Limits and projections of the parametric project for building sustainability**

The second study, complementary to the purposes of this contribution, refers to the doctoral research entitled ‘Environmental quality assessment in the feasibility project in the BIM field’<sup>2</sup>. The Building Information Modelling approach, as a support for the storage and optimized management of all information, can help in managing a large amount of information and can be suitably integrated with LCA, LCC, EPD and SLCA (EU BIM Task Group, 2017), to support the concept of not only environmental but also economic and social sustainability; considerable advantages derive from this, such as, for example, a quicker and more precise control of both the performance and economic aspects of the works carried out from the initial stages (Mondini, 2016; Acampa et alii, 2019).

In principle, the designer should be able to conduct the LCA using BIM, however, the building models do not contain all the components and material elements that will become part of the building<sup>3</sup>. The plug-ins currently developed for BIM software can support the design in the final phase when the project is well defined and now in an advanced state in the decision-making process; here the spaces for modification to vary and correct the behaviour of a building, as assessed through the LCA methodology, are mainly limited to the choice of techniques and materials but do not affect, if not marginally, the formal and spatial choices that so much contribute to raising the quality, especially that environmental, of a building.

As part of the current state of studies aimed at implementing parametric design tools to im-

prove the control of the project in relation to the environmental impact of the construction, the originality of the work presented here is referred to the study for the development of a protocol that can support the preliminary phase, of approaching the feasibility project, able to provide aid in the first design choices in Building and Environmental Quality, i.e. when formal and spatial solutions are adopted which, then, significantly influence the behaviour of the construction in the use phase.

**Methodological aspects for pre-intervention assessment for building sustainability**

The first study adopts a ‘synergistic approach’ for the definition of the pre-intervention assessment framework responding to the hypothesis of integrability between circularity and resilience paradigms. Starting from a state-of-the-art survey about the most known assessment tools, two guidance documents are selected to compare their indicators: circularity is represented by the Level(s) Pilot Framework, promoted by the European Commission (2017), while resilience is identified with the City Resilience Index (ARUP, 2013) promoted by the Rockefeller Foundation. Comparing the two selected documents, it creates a network of relationships between the respective indicators (Fig. 1). Thus, according to this network, indicators are summarized in four reference areas: Comfort and Energy, Materials and Resources, Risk Management, Governance and Planning (Fig. 2); representing fields of integration between the paradigms of circularity and resilience.

The first area covers all aspects related to the supply of electricity and water, indoor and outdoor

Reference Area	Reference Factor	Reference Factor			Control Factor	Weight	Control Factor			Control Parameter	Control Parameter		
		Steel	Wood	Concrete			Steel	Wood	Concrete		Steel	Wood	Concrete
Comfort and Energy	Energy efficiency	8.22	8.22	8.67	Energy Consumption	4	6.0	6.0	7.0	1. Energy efficiency class	6	6	7
					Energy Supply	5	10.0	10.0	10.0	2. Energy from renewable sources	10	10	10
	Water efficiency	8.75	8.75	8.75	Water Consumption	5	8.0	8.0	8.0	3. Water saving devices	8	8	8
					Water Supply	3	10.0	10.0	10.0	4. Rainwater collection	10	10	10
	Internal comfort	7.96	7.00	8.04	Thermal Comfort	3	7.8	6.7	8.2	5. Predicted Mean Vote	7.6	5.33	8.33
										6. Thermal Insulation	8	8	8
					Acoustic Comfort	5	8.0	6.0	8.0	7. Noise class	8	6	8
					Visual Comfort	4	8.0	8.0	8.0	8. Passive lighting	8	8	8
					Internal Air Quality	2	8.0	8.0	8.0	9. Passive ventilation	8	8	8
										10. Air Quality Index	8	8	8
Materials and Resources	Life Cycle Analysis	6.29	7.17	6.99	Life Cycle Assessment	3	7.0	9.3	7.0	11. Embodied Energy	8	8	7.8
										12. Global Warming Potential	5.9	7.7	6.1
					Life Cycle Cost	7	6.0	6.2	7.0	13. Cost in use phase	6	7	7
										14. Present value	6	5.5	7
	Remanufacturing	8.50	8.00	5.50	C&D waste	9	10.0	10.0	7.5	15. Selective demolition	10	10	5
										16. Dangerous material	10	10	10
					Recycle and Reuse	9	7.0	6.0	3.5	17. Recyclable/recycled components	7	7	4
	Adaptability and Maintainability	7.30	4.82	6.00	Adaptability	9	7.0	4.3	6.7	18. Reusable/reused components	7	5	3
										19. Versatility	8	4	7
										20. Convertibility	6	4	6
									21. Expandability	7	5	7	
Maintenability					2	8.7	7.0	3.0	22. Independence	8	6	4	
									23. Access to components/systems	8	5	5	
Risk Management	Hydrogeological Risk	9.62	9.62	9.25	Hydraulic Hazard	6	9.0	9.0	8.0	25. Expected water height	10	10	8
										26. Presence of protective devices	8	8	8
					Site Hydrogeological Hazard	10	10.0	10.0	10.0	27. PAI Risk Class	10	10	10
										28. PSDA Risk Class	-	-	-
	Seismic Risk	6.00	6.00	6.50	Seismic Vulnerability	6	10.0	10.0	10.0	29. Seismic Risk Class	10	10	10
					Site seismic Hazard	6	2.0	2.0	3.0	30. Peak Ground Acceleration	2	2	3
	Fire Risk	6.25	6.75	8.25	Fire Classification	5	7.5	8.5	8.5	31. REI classification	7	9	9
									32. Emergency devices	8	8	8	
Fire Hazard					5	5.0	5.0	8.0	33. Pyrological risk class	5	5	8	

comfort of the user; the second one includes life cycle assessment, recovery, reuse and maintenance; the third concerns the management of vulnerabilities that may affect building scale, such as hydrogeological, seismic and fire risk; the last area represents a transversal axis of management and planning of all processes that regulate the built environment, economic, social and environmental.<sup>4</sup>

Subsequently, the research adopted a 'systemic approach' for the definition of the operational matrix that will constitute the assessment framework, thus responding to the hypothesis of measurability of resilience and circularity at the building level. The hierarchies of the agile tool have been defined: the reference areas, identified in the previous phase, contain sub-categories named 'reference factors' corresponding to the specific thematic articulation of each area so that each category can be analysed and described in its multiple aspects. Each subcategory is then organized into 'control factors' that constitute the assessment criteria according to regulations and reference standards (Tab. 1); for each control factor, there are defined 'control parameters' representing the measuring elements of the tool.

The evaluation metrics of each control parameter are thus defined within the regulatory framework, ensuring consistency of the proposed processes between regulatory guidelines and strategic programming documents. The framework so structured makes it possible to overcome the condition of extreme sectorialisation of the regulatory apparatus in favour of an overall vision able to 'constantly relate the norm to the context' (Gangemi, 1991). The different nature of the quantitative and qualitative evaluation of the identified values required the adoption of multicriteria analysis techniques as a method to normalize the qualitative and quantitative assessments to obtain comparable and summable values.

Finally, the research follows an 'agile approach' in the configuration of the definitive framework. The tool is configured as a matrix entered into a software that generates spreadsheets and is organized according to different levels of depth, from detail to general. Indeed, the tool allows: a specific reading of each control parameter and its score; an intermediate reading of control factors and reference factors; an overview of the areas of reference and the overall score attributable to the subject of the assessment. After preparing the calculation formulas in the software, the tool allows the graphical return of the average and final scores to ensure an agile display of the results.

#### Methodological aspects for the control of resilience in the feasibility project

The second study is aimed at defining a digital building model, functional to support the choices in the feasibility phase, through the selection of significant indicators and the definition of their measurability. The aim is, therefore, to define a pre-oriented design area towards a resilient building product capable of increasing the sustainability of the construction through its adaptability over time to different settlement's needs and thus prolonging its useful life cycle.

**Tab. 6** | The table shows the results of the evaluation of three buildings of the C.A.S.E Project in L'Aquila (credit: V. Lusi, 2022).

At the feasibility project stage, formal and spatial solutions are established; the main dimensional characteristics of the environments and the technical elements that conform them, the shape and exposure of the building, and the position and size of the openings are defined; all these factors substantially contribute to determining the physical environment of the interiors and, therefore, the need or not to intervene with corrective design strategies that greatly influence the behaviour of the building in the use phase and limit the space for transformations that may be necessary later on.

The study is aimed at defining the area of possible interventions intended as the intersection between the project requirements and the construction system for ensuring the sustainability of the building; this intersection wants to represent the actual space of the resilience potential of the building object. The proposed methodology to guide design choices in the feasibility study phase towards resilient solutions is based on the comparison between different settlement models to locate the constant components in terms of relationships between the configuration of the space and the activities carried out and the variable components that diversify and specialize the housing forms of a building.

Phase 1 provides for the definition of 'sample occupancy models' with different uses or different housing methods in relation to: the composition of households, stability or temporariness in the home and stability in the intended use of the property. The study presented here refers to the models for 'home' and for 'home and work'. For each identified settlement model, the analysis of the Elementary Actions and groupings in Environmental Units is carried out, also taking into account the indications implicitly contained in current legislation and, in particular, the Decrees relating to residential construction (Zaffagnini, 1994).

Phase 2 on the resilience of the building organism is described through the structure of three matrices. The Matrix of Environmental Units is a tool developed by relating the environmental units with the activities of living. From the Matrix of Activities, graphs of the distribution and recurrence of housing actions can be extracted in relation to the units of the environmental system (Tabb. 2, 3). This schematization reflects habits and uses linked to the cultural and social context and is susceptible to many transformations, just think of the use of the external space that changes with the variation of the geographical region and the climatic context, as well as different groupings could result in relation to the social condition and economic, or even in relation to heterogeneous uses that combine living with work activities. Therefore, grouping alone could be used to give rise to different functional models.

The Requirements Matrix (Tab. 4), which represents the link between the environmental comfort for residential activities (thermohygrometric, visual and acoustic) and the technological system, describes the correspondence between the technological requirements of the project and the construction system. The recurrence of multiple connections between some requirements and some components of the building makes clear the strongest links within which hypothetical different project layouts must be able to develop. Finally, the Matrix of Activities (Tab. 5), which repre-

sents the link between elementary activities and the technological system, describes the connections between construction characteristics and performance of the activities, thus identifying any points of friction or disconnect that could occur in alternative project scenarios.

The graphs in Tables 4 and 5 are developed for the residential model and the hybrid home/work model, the superposition of the graphs produced by the matrices of each model highlights the deviation and therefore the scope of the adaptations that increase the environmental impact of the construction in case of transition from one model to another. By iterating the process for multiple uses, different graphics can be produced that highlight the extent to which the different design scenarios affect the building with respect to the adaptation needs of the existing structure to new uses or activities.

The construction of these models through a plug-in allows to superimpose hypothetical different models on it (because they relate to different uses such as residence integrated with work, office activities, commercial activities, training, exhibition, and events, or because they belong to different contexts such as climate, urban space, presence of services, etc.) and thus trace the core of resilience, i.e. the space of relations common to several models that allows the transition to different uses over time, limiting adaptations to the maximum, and therefore the lower energy consumption and longer amortization of the building's energy impact. Thus, the system of relationships that most unites different models is identified, a sort of least common multiple that represents the versatility of the organism; the larger the resilient system, the easier it is to switch from one model to another: the outcome of this comparison leads to the identification of stable areas and areas most subject to variations through the different models examined.

**Results and further development** | The results of the first study concerned the testing of the agile tool on a case study identified in the 'Progetto C.A.S.E.', residential complexes built in the areas of L'Aquila affected by the earthquake of 2009 (Turino, 2010). The tool has been applied to three building typologies: a steel frame building, a wooden frame system and a prefabricated structure in reinforced concrete (Tab. 6); the results of the testing have been graphically reported in diagrams radar (Fig. 3). The comparison revealed some constant parameters to the construction solution and/or the construction site. With a view to an expeditious evaluation, this result can greatly increase the agility in the compilation of the tool, being aware of which control parameters remain unchanged, compared to the same types of construction or the same places.

The future developments of the research will concern, firstly, an implementation of the information program on the existing built through the integration between databases and parametric BIM. Secondly, it will be possible to extend the definition of evaluation parameters integrated from the building scale to the settlement and technical material to increase the inter-scaling of the agile tool.

The second study arrives at a tool that allows you to trace the perimeter of the 'limit of adapt-



**Fig. 3 |** The radar graphs are configured as an agile visualization of the results that emerged from the evaluation: the three diagrams above show the single results of the three buildings, while the diagram below overlaps the three results (credit: V. Lusi, 2022).

ability' of a space built for other uses; in a parameterization hypothesis, the possibility of attributing adaptability indices that characterize one project over another becomes effective; in practice, one can think of generating a parameterized model that controls the percentage of deviation of different scenarios with respect to the range of adaptability and expressing a judgment of sustainability with respect to the greater or lesser resilience of a building organism. The flexibility of the model ensures greater resilience and therefore optimizes the environmental impact in terms of amortization of resource consumption; by integrating the parameterized model with plug-ins that evaluate the

environmental impact of the resources used for the construction, the estimated adaptability value becomes a multiplier of the environmental impact values estimated by the software.

**Conclusions |** The presented studies introduce a new approach to parametric design in terms of controlling the environmental impact of the project aimed at defining criteria and verification parameters already in the feasibility study phase. The agile tool described by the first study proposes a large-scale evaluation approach, acting as a cognitive element of a vast built heritage. In fact, the possibility of obtaining a rapid evaluation allows

the key players in the decision-making process to carry out analyses on the sustainability potential of the existing heritage, with reduced use of resources in terms of time and costs, and to have a mapping of the built structure available, thus implementing databases and information frameworks useful for future interventions.

The methodology developed in the second study is able to anticipate the phase of analysis of the energy behaviour of the building as opposed to the current practice which is aimed at developing the environmental footprint of the artefacts only downstream of definitive design choices or in any case of difficult and costly revision. Introduc-

ing ex-ante environmental impact control parameters with respect to the feasibility phase of the design can constitute an important scientific acquisition and methodology capable of pre-orienting design choices in accordance with the environmental and ecosystem context. The repercussions of a design model implemented in the fea-

sibility study phase are identified in the increase in the possibility of achieving international quality standards.

Ultimately, the two studies presented, starting from common premises but adopting approaches that differ in methodology, arrive at the result of defining sustainability criteria and parameters ca-

pable of overcoming the traditional and exclusive attention to energy efficiency, also integrating economic and social aspects for the improvement of housing and environmental quality.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors; despite the introductory paragraph, 'Results and further development' and 'Conclusions' have to be attributed to all the authors, the paragraphs 'Limits and projections of the pre-intervention assessment for building sustainability' and 'Methodological aspects for pre-intervention assessment for building sustainability' to V. Lusi, the paragraphs 'Limits and projections of the parametric project for building sustainability' and 'Methodological aspects for the control of resilience in the feasibility project' to P. De Joanna and E. Bronzino.

## Notes

1) The research is conducted by Virginia Lusi as part of the PhD in Civil Engineering, Construction-Architecture, Environmental, XXXV cycle, University of L'Aquila (Italy).

2) The research is conducted by Elisabetta Bronzino as part of the PhD in Architecture in Sustainable Technologies, Recovery and Representation of Architecture and the Environment, XXXV cycle, 'Federico II' University of Naples (Italy).

3) The processing in this phase involves a meticulous compilation by the designer, to be able to guarantee fidelity to the real model; the properties of the single material must be entered manually, defining all its parameters. The program tries to offer tools that can speed up the compilation of similar items.

4) In the following phases of the research, the field 'Governance and Planning' will be excluded from the evaluation as an aspect mainly concerning the design and planning phase; the agile tool proposed in this research is placed in the pre-intervention phase. Therefore, a predictive assessment in this area is considered impracticable.

## References

Acampa, G., Ordonez Garcia, J., Grasso, M. and Diaz-Lopez, C. (2019), "Progettazione sostenibile – Criteri da integrare al BIM", in *Valori e Valutazioni*, vol. 23, pp. 119-128. [Online] Available at: [siev.org/wp-content/uploads/2020/02/23\\_14\\_-\\_ACAMPA-et-al.pdf](http://siev.org/wp-content/uploads/2020/02/23_14_-_ACAMPA-et-al.pdf) [Accessed 22 September 2022].

ARUP (2013), *City Resilience Index – Understanding and Measuring City Resilience*, Rockefeller Foundation. [Online] Available at: [arup.com/perspectives/publications/research/section/city-resilience-index](http://arup.com/perspectives/publications/research/section/city-resilience-index) [Accessed 22 September 2022].

Azzurro, P. (2016), "La prevenzione degli sprechi dopo la legge 166/2016", in *Ecoscienza*, n. 5, pp. 10-13. [Online] Available at: [academia.edu/29789678/Azzurro\\_P\\_2016\\_La\\_prevenzione\\_degli\\_sprechi\\_dopo\\_la\\_legge\\_166\\_2016\\_ECOSCIENZA\\_Numero\\_5\\_2016\\_pagg\\_10\\_13](http://academia.edu/29789678/Azzurro_P_2016_La_prevenzione_degli_sprechi_dopo_la_legge_166_2016_ECOSCIENZA_Numero_5_2016_pagg_10_13) [Accessed 22 September 2022].

Circle Economy (2020), *Resilience & the Circular Economy – Opportunities and risks*. [Online] Available at: [assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5f55fe6a1294188a3073a730\\_20200907%20-%20CJI%20-%20resilience%20-%20297x210mm.pdf](https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5f55fe6a1294188a3073a730_20200907%20-%20CJI%20-%20resilience%20-%20297x210mm.pdf) [Accessed 22 September 2022].

Ciribini, G. (1978), *Introduzione alla tecnologia del design – Metodi e strumenti logici per la progettazione del-*

*l'ambiente costruito*, FrancoAngeli, Milano.

CSIRO (2007), *Urban Resilience – Research Prospectus – A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures*, Resilience Alliance. [Online] Available at: [vdocument.in/urban-resilience-research-prospectus.html?page=1](http://vdocument.in/urban-resilience-research-prospectus.html?page=1) [Accessed 22 September 2022].

Dall'Ò, G. (ed.) (2016), *Leadership in Green Building – I progetti certificati LEED in Italia*, Edizioni Ambiente, Milano.

EU BIM Task Group (2017), *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector – Strategic action for construction sector performance – Driving value, innovation and growth*. [Online] Available at: [eubim.eu/wp-content/uploads/2017/07/EU-BIM\\_Handbook\\_Web\\_Optimized-1.pdf](http://eubim.eu/wp-content/uploads/2017/07/EU-BIM_Handbook_Web_Optimized-1.pdf) [Accessed 22 September 2022].

European Commission, Directorate-General for Communication (2020), *Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe*, Publications Office of the European Union. [Online] Available at: [data.europa.eu/doi/10.2779/05068](http://data.europa.eu/doi/10.2779/05068) [Accessed 10 October 2022].

European Commission (2017), *Level(s) – A guide to Europe's new reporting framework for sustainable buildings*. [Online] Available at: [ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level\\_publication\\_EN.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level_publication_EN.pdf) [Accessed 22 September 2022].

Fetting, C. (2020), *The European Green Deal*, ESDN Report, December 2020, ESDN Office, Vienna. [Online] Available at: [esdn.eu/fileadmin/ESDN\\_Reports/ESDN\\_Report\\_2\\_2020.pdf](http://esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf) [Accessed 22 September 2022].

Gangemi, V. (ed.) (1991), *Norma e recupero – Strumenti per la qualificazione dei centri storici in Campania – Gli Aspetti Tecnologici*, Liguori Editore, Napoli.

GBC Italia – Green Building Council Italia (2020), *Un ambiente costruito sostenibile per l'Italia del futuro – Le proposte di GBC Italia*. [Online] Available at: [gbcitalia.org/documents/20182/1400845/GBC+Italia\\_Advocacy+Manifesto\\_Website.pdf](http://gbcitalia.org/documents/20182/1400845/GBC+Italia_Advocacy+Manifesto_Website.pdf) [Accessed 10 October 2022].

Kennedy, S. and Linnenluecke, M. K. (2022), "Circular economy and resilience – A research agenda", in *Business Strategy and the Environment*, vol. 31, issue 6, pp. 2754-2765. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/bse.3004](https://doi.org/10.1002/bse.3004) [Accessed 10 October 2022].

Martin-Breen, P. and Anderies, J. M. (2011), *Resilience – A literature review*, Rockefeller Foundation, New York. [Online] Available at: [opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/3692](http://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/3692) [Accessed 10 October 2022].

Mondini, G. (2016), "Valutazioni integrate per la gestione delle nuove sfide sociali", in *Valori e Valutazioni*, vol. 17, pp. 15-17.

Monsù Scolaro, A. (2017), *Progettare con l'esistente – Riuso di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare*, FrancoAngeli, Milano.

Rifkin, J. (2011), *La terza rivoluzione industriale*, Mondadori, Milano.

Rockefeller Foundation (2019), *Resilient Cities, Resilient Lives – Learning from the 100RC Network*. [Online] Available at: [resilientcitiesnetwork.org/downloadable\\_resources/UR/Resilient-Cities-Resilient-Lives-Learning-from-the-100RC-Network.pdf](http://resilientcitiesnetwork.org/downloadable_resources/UR/Resilient-Cities-Resilient-Lives-Learning-from-the-100RC-Network.pdf) [accessed 10 October 2022]

Schipper, E. L. F. and Langston, L. (2015), *A comparative Overview of Resilience Measurement Frameworks – Analysing Indicators and Approaches*, Working paper, 422, Overseas Development Institute, London. [Online] Avail-

able at: [cdn.odi.org/media/documents/9754.pdf](http://cdn.odi.org/media/documents/9754.pdf) [Accessed 22 September 2022].

SGGE – Stati Generali della Green Economy (2017), *Verso l'attuazione del Manifesto della Green Economy per l'architettura e l'urbanistica – Obiettivi, ambiti di indirizzo, strategie prioritarie*, SUSDEF Pubblicazioni, Roma. [Online] Available at: [statigenerali.org/wp-content/uploads/2017/11/ssge\\_2017\\_documento\\_gdl\\_architettura\\_urbanistica.pdf](http://statigenerali.org/wp-content/uploads/2017/11/ssge_2017_documento_gdl_architettura_urbanistica.pdf) [Accessed 10 October 2022].

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E. and Méndez, G. (2021), "Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative – Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 322, article 129071, pp. 1-13. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129071](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129071) [Accessed 22 September 2022].

Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A. and Turchetti, G. (2020), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architettura e città green – Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito*, FrancoAngeli, Milano.

Turino, R. (2010), *L'Aquila – Il Progetto C.A.S.E.*, IUSS Press, Pavia.

UNEP – United Nations Environment Programme (2011), *Towards a Green Economy – Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. [Online] Available at: [unep.org/resources/report/towards-green-economy-pathways-sustainable-development-and-poverty-eradication-10](http://unep.org/resources/report/towards-green-economy-pathways-sustainable-development-and-poverty-eradication-10) [Accessed 22 September 2022].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: [sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-21254](http://sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-21254) [Accessed 22 September 2022].

Verda, M. (ed.) (2015), *Energia e geopolitica – Attori e tendenze del prossimo decennio*, ISPI, Milano. [Online] Available at: [ispionline.it/sites/default/files/publicazioni/isp\\_i\\_energia\\_0\\_0.pdf](http://ispionline.it/sites/default/files/publicazioni/isp_i_energia_0_0.pdf) [Accessed 22 September 2022].

Viscuso, S. (2020), *La progettazione agile dell'architettura – Riflessioni per un nuovo codice tecnologico per progettare e costruire*, LetteraVentidue Edizioni, Siracusa.

Zaffagnini, M. (ed.) (1994), *Architettura a misura d'uomo*, Pitagora, Bologna.