

CONTENT

FRANCESCA SCALISI (EDITORIAL)	<i>Connettere persone, luoghi e cose</i> Connecting people, places and things	2
MONTSERRAT BOSCH GONZÁLEZ, TIZIANA CAMPISI	<i>Collegamenti per un'identità culturale comune nel bacino del Mediterraneo</i> Links for a common cultural identity in the Mediterranean Basin	12
GUIDO CIMADOMO, RENZO LECARDANE MARÍA ISABEL ALBA DORADO	<i>Territori trasversali. Centri minori rurali e industriali in Sicilia e Spagna</i> Transversal territories. Rural and industrial small towns in Sicily and Spain	24
MASSIMO PERRICCIOLI, ROBERTO RUGGIERO MICHAEL SALKA	<i>Ecologia e tecnologie digitali. L'architettura alla piccola scala come luogo di connessioni</i> Ecology and digital technologies. Small-scale architecture as a place of connections	36
MARCO TRISCIUOGGIO	<i>Diy-City e internet of things. Un'ipotesi di ricerca intorno alla progettazione urbana interattiva</i> Diy-City and internet of things. A research hypothesis around interactive urban design	46
GIUSEPPE CANESTRINO	<i>Dialettica analogico-digitale nel progetto di architettura. Per rinnovate ipotesi di metodo</i> Analogue-digital dialectics in architectural design. Towards renewed hypotheses of method	56
GIUSEPPE DI BENEDETTO	<i>Nuove frontiere museografiche. Immaterialità e multimedialità del museo narrativo</i> New museographic frontiers. Immateriality and multimediality of the narrative museum	68
BIANCA ANDALORO	<i>Il corpo fisico dell'architettura interattiva. Approcci scenario-based e generativo</i> The body of interactive architecture. Scenario-based and generative approaches	76
RICCARDO POLLO, MATTEO GIOVANARDI MATTEO TRANE	<i>Smart construction object. Strumenti per riprogrammare la città</i> Smart construction object. Tools for reprogramming the city	84
FRANCESCA SCALISI, CÉSARE SPOSITO	<i>Strategie e approcci 'green'. Un contributo dall'off-site e dall'upcycling dei container marittimi dismessi</i> 'Green' strategies and approaches. A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers	92
MARINA RIGILLO, SERGIO RUSSO ERMOLLI GIULIANO GALLUCCIO	<i>Processi digitali di conformità normativa. La rigenerazione urbana della ex-Corradini a Napoli</i> Digital rule-based compliance processes. The urban regeneration of ex-Corradini, Naples (IT)	120
RAFFAELLA RIVA, CLAUDIO GNESSI	<i>Strutturare connessioni per la cura del paesaggio. Il caso dell'Ecomuseo Casilino a Roma</i> Structuring connections for landscape care. The case of Casilino Ecomuseum in Rome	132
MASSIMILIANO LO TURCO ELISABETTA CATERINA GIOVANNINI, ANDREA TOMALINI	<i>Fisico, digitale, virtuale, immateriale. Esperienze di ricerca in ambito museale</i> Physical, digital, virtual, intangible. Research experiences in Museums	140
LAURA ANSELMi, MARITA CANINA, CARMEN BRUNO DAVIDE MINIGHIN	<i>Nuovi approcci del design per scenari tecnologici del domani. Connessioni tra presente e futuro</i> New design approaches for future technological scenarios. Connections between present and future	150
DAVIDE PACIOTTI, ALESSANDRO DI STEFANO	<i>Design generativo e prodotto industriale. Connettere la dimensione fisica/digitale del progetto</i> Generative design and industrial product. Connecting physical/digital dimensions of the project	158
MATTEO O. INGARAMO, MILA STEPANOVIC	<i>Quando le luci si spengono. Prospettive future per la progettazione della casa intelligente</i> When lights turn off. Future perspectives to design smart homes	168
SABRINA LUCIBELLO, LORENA TREBBI CHIARA DEL GESSO	<i>Interfacce materiche. Il biologico incontra il digitale</i> Material interfaces. Biological meets digital	180
ELEONORA LUPO	<i>Design e innovazione del Patrimonio culturale. Connessioni phygital per un Patrimonio di prossimità</i> Design and innovation for the Cultural Heritage. Phygital connections for a Heritage of proximity	186
FEDERICA DAL FALCO, SILVIA BONOMI	<i>Comunicare il museo tra analogico e digitale. Un'esperienza di progettazione multimediale interattiva</i> Communicating the museum between analogue and digital. Interactive multimedia design experience	200
CLAUDIO GERMAK, LORENZA ABBATE	<i>Disegnare robot. Verso una cultura etica del progetto estetico</i> Designing robots. Towards an ethical culture of the aesthetic product	210
LUCIA PIETRONI, JACOPO MASCITTI DANIELE GALLOPPO	<i>Arredi salva-vita in caso di sisma. Intelligenti, interconnessi e interagenti</i> Life-saving furniture during an earthquake. Intelligent, interconnected and interacting	218
RHETT RUSSO	<i>Creare legami digitali con i materiali di terra. Il T-Stool</i> Forming digital kinships with earthen materials. The T-Stool	230
SILVIA GASPAROTTO, ALESSANDRA BOSCO MARGO LENGUA, PIETRO BARUZZI	<i>MEET. Un percorso espositivo interattivo tra co-design e valorizzazione del territorio</i> MEET. An interactive exhibition itinerary between co-design and enhancement of the territory	242
CARLOTTA BELLUZZI MUS, ALESSIO CACCAMO RICCARDO FAZI, VINCENZO MASELLI	<i>Socialità digitale e Covid-19. Service Design per l'analisi del coinvolgimento emotivo nella città digitale</i> Digital sociability in Covid-19 era. Service Design for the analysis of emotional involvement in the digital city	250
DANIELA ANNA CALABI, BEATRICE BORGHI CLORINDA SISSI GALASSO	<i>Educazione e memoria. Pedagogia del ricordo e design della comunicazione</i> Education and memory. Pedagogy of remembrance and communication design	262

10

International Journal of Architecture Art and Design

10 | 2021

CONNESSIONI – FISICHE, VIRTUALI, DIGITALI | LINKS – PHYSICAL, VIRTUAL, DIGITAL

AGATHÓN

CONNESSIONI
FISICHE, VIRTUALI, DIGITALI

LINKS
PHYSICAL, VIRTUAL, DIGITAL

STRATEGIE E APPROCCI ‘GREEN’

Un contributo dall’off-site e
dall’upcycling dei container marittimi dismessi

‘GREEN’ STRATEGIES AND APPROACHES

A contribution from the off-site and
upcycling of discarded shipping containers

Francesca Scalisi, Cesare Sposito

ABSTRACT

La Terra versa oggi in una condizione di vulnerabilità che gran parte degli studiosi attribuisce a un modello di crescita infinita inseguita su un pianeta con risorse limitate. In relazione a questo contesto ambientale critico il contributo si propone di stimolare nuove prassi per il settore delle costruzioni suggerendo una visione sistemica che faccia ricorso contemporaneamente a più approcci sostenibili e circolari e che, combinando tecniche e tecnologie tradizionali e innovative, consenta l’eliminazione di scarti e rifiuti. In particolare, l’articolo illustra le potenzialità della prefabbricazione nel contenimento degli impatti ambientali diretti e indiretti rispetto a un’equivalente costruzione convenzionale e una recente ricerca sull’upcycling dei container marittimi dismessi assumendoli come buona pratica per valorizzare un prodotto industriale giunto a fine vita (e per questo considerato un rifiuto) re-inserendolo in una economia ‘circolare’ con un uso diverso da quello originario, attraverso un riciclo non distruttivo e migliorandone al contempo valore, qualità e prestazioni.

The Earth is in a vulnerable state that most scholars attribute to a model of infinite growth on a planet with limited resources. Taking into account this critical environmental context, the paper wants to stimulate new practices for the building industry by suggesting a systemic vision that simultaneously uses multiple sustainable and circular approaches and allows eliminating scraps and waste, by combining traditional and innovative techniques and technologies. In particular, the article shows the potential of off-site in reducing environmental direct and indirect impacts compared to an equivalent conventional construction and recent research on the upcycling of discarded sea containers: they are used as a good practice to enhance an industrial end-of-life product (therefore considered a waste) by re-inserting it into a ‘circular’ economy with a different use than its original one, through non-destructive recycling and, at the same time, improving its value, quality and performance.

KEYWORDS

sostenibilità, approcci progettuali, prefabbricazione, riuso, container marittimi dismessi

sustainability, design approaches, off-site, reuse, discarded shipping containers

Francesca Scalisi, Architect and PhD, is the Research Manager at the Research Department of DEMETRA Ce.Ri.Med. (Euro-Mediterranean Documentation and Research Center), Palermo, Italy. Her research areas concern the sustainability of the built environment for energy conservation of buildings, green materials, and nanotechnologies. E-mail: demetracerimed.scalisi@gmail.com

Cesare Sposito, Architect and PhD, is an Associate Professor of Building Technology at the Department of Architecture, University of Palermo (Italy). His research mainly focuses on environmental sustainability, innovative materials for architecture, nanomaterials, energy saving in buildings, and the conservation process focusing on sheltering systems for archaeological sites. Mob. +39 328/00.89.765. E-mail: cesare.sposito@unipa.it

Viviamo in un uno dei momenti storici più critici per il nostro pianeta e per l'umanità, nel cosiddetto Antropocene, termine con il quale alla fine degli anni Settanta del Novecento il geologo sovietico E. V. Shantser (cit. in Foster, Holleman and Clark, 2019) individua un'era geologica caratterizzata da grandi cambiamenti territoriali e climatici dipendenti non solo dall'azione geologica ma soprattutto da quella sociale, economica, produttiva e insediativa dell'essere umano. Quale data di inizio per l'Antropocene Crutzen e Stoermer (2000) hanno proposto la seconda metà del XVIII secolo evidenziando come, da allora, le attività antropiche e il progresso (scientifico e tecnologico) abbiano prodotto effetti tangibili ed esponenzialmente accelerati sul nostro pianeta, da un lato, rendendo precario l'equilibrio del suo ecosistema, dall'altro, incidendo su sicurezza, salute, benessere nonché sulla disponibilità di beni e mezzi di sussistenza dei suoi abitanti (Meadows et alii, 1972; Aprea, D'Ambrosio and Di Martino, 2019). Anche Thomas L. Friedman (2016) rileva una condizione in continua e veloce evoluzione: il pianeta che popoliamo già nel 2030 sarà molto diverso da quello che conosciamo perché soggetto alle tre 'forze' della Legge di Moore con la tecnologia, del Mercato con la globalizzazione e di Madre Natura con il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità che pressano tutte contemporaneamente sul costruito, dalle città al paesaggio.

Il cambiamento climatico non è però solo un pericolo in sé ma rappresenta – per dirla alla Amitav Ghosh (2017) – un 'moltiplicatore di minacce' che stressa e amplifica l'instabilità e l'insicurezza già presenti in alcune aree del mondo, compreso l'economia: secondo il World Economic Forum (WEF, 2021) a livello globale, lo scenario più catastrofico con un aumento della temperatura fino a 3,2 °C potrebbe spazzare via fino al 18% del PIL mondiale già entro la metà del secolo. Tutto questo, naturalmente, con costi paurosi anche in termini di vite umane. Secondo un recente rapporto sui disastri da cambiamenti climatici della World Meteorological Organization (WMO, 2021), tra il 1970 e il 2019 oltre 2 milioni di persone sono morte a causa di eventi climatici estremi e le perdite economiche sono state pari a 3,64 trilioni di dollari. In Europa, le morti per caldo estremo potrebbero aumentare da 2.700 a 90.000 ogni anno entro il 2100. Causa ed effetto dei suddetti fenomeni sono da ricondurre, secondo la Commissione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change delle Nazioni Unite (IPCC, 2018), al costante aumento del surriscaldamento atmosferico che potrebbe comportare un innalzamento delle temperature medie globali di circa 5,8 °C entro la fine del secolo corrente. Nel complesso, è evidente che l'impronta ecologica collettiva di molti Paesi abbia già superato notevolmente la relativa 'biocapacità' (Beyers and Wackernagel, 2019): questa condizione odierna fa sì che la maggior parte dei Paesi industrializzati siano identificati come 'creditori ecologici' (Świąder et alii, 2020).

Studi e report ci consegnano scenari allarmanti e dati che dimostrano come uno dei principali responsabili della cattiva salute del nostro pianeta sia individuabile nel settore delle costruzioni: nel 2018 esso ha assorbito il 35% del consumo energetico mondiale e prodotto il 38%

delle emissioni annue di gas serra, dati certamente preoccupanti ma nulla in confronto alle previsioni del 2050 quando la domanda di energia aumenterà di circa il 50% e quella per il raffrescamento degli edifici triplicherà rispetto ai valori del 2010 (IEA, 2021; Figg. 1, 2). Un recente report dell'European Environment Agency (EEA, 2019) riferisce poi che nei Paesi europei il settore delle costruzioni produce circa un terzo dei rifiuti totali¹, mentre dal punto di vista delle risorse è all'origine di circa il 50% delle estrazioni di materie prime²; tra le ricadute negative sull'ambiente del processo produttivo dei Paesi nel vecchio continente sono da segnalare le emissioni nazionali di GHG³ comprese tra il 5 e il 12% (European Commission, 2020a) e la notevole quantità di energia (di difficile calcolo) necessaria per la dismissione di materiali e componenti, oggi prevalentemente conferiti in discarica (Crawford, Mathur and Gerritsen, 2017).

Anche il tema dell'abitare si trova in uno stato di grave emergenza, da un lato, perché all'aumento esponenziale della popolazione è corrisposto un proporzionale incremento nella difficoltà di trovare alloggi e servizi adeguati a prezzi accessibili, dall'altro, perché l'incontrollato fenomeno dello spostamento di massa verso le città più grandi ha innescato una crescita dei ritmi di urbanizzazione spesso senza un'adeguata pianificazione. L'accrescimento della domanda abitativa nelle grandi città (insieme alla citata stima di dieci miliardi di individui sul pianeta entro il 2050) è un fenomeno che interessa tutte le fasce di reddito e che sembra lontano dal trovare una battuta d'arresto. Non sono poi da trascurare gli effetti della globalizzazione sulla mobilità per alcune categorie di lavoratori (ad esempio i liberi professionisti) o per gli studenti che hanno necessità di alloggi temporanei e il modello emergente dello smart working che richiede flessibilità degli spazi e adattabilità delle funzioni. A queste criticità si sovrappongono altre questioni che amplificano gli effetti della crisi economica globale la quale porta con sé emergenza sociale, disoccupazione e precarietà; solo per citarne alcune, uno sviluppo finanziario incentrato sulla disuguaglianza, un crescente divario tra redditi e prezzi di mercato degli alloggi, una diversificazione della domanda abitativa (come ad esempio quella richiesta dall'invecchiamento della popolazione), l'aumento dei flussi migratori di massa e le numerose calamità naturali.

La Homelessness World Cup Foundation (HWCF, 2019) riferisce di una condizione di emergenza abitativa variegata, in relazione ai contesti geografici in esame, ma sostanzialmente allarmante sotto molti aspetti. Se nella sola Hong Kong, ad esempio, circa 200.000 abitanti vivono nelle cosiddette 'case-bara' (unità abitative delle dimensioni di un armadio; Fig. 3), nel continente europeo la situazione di alcuni Stati è altrettanto critica: in Austria, il 70% delle persone senza fissa dimora si trova a Vienna; la Grecia ha visto aumentare gli sfratti del 70% dall'inizio della crisi economica del 2008, mentre in Francia il numero dei senzatetto è aumentato del 50% in dieci anni. Situazione tutt'altro che rosea anche oltreoceano: in Venezuela, dal 2014 è iniziato un processo di sfollamento forzato che ha visto 3,4 milioni di persone lasciare la propria terra per rifugiarsi in Paesi vicini come il Perù, nel quale 700.000

persone nel 2017 sono rimaste senza casa a causa di frane e inondazioni. Questi solo alcuni dei dati che descrivono un quadro universalmente instabile ulteriormente aggravato dalla pandemia in atto (Rogers and Power, 2020).

Se da un lato durante i lockdown del 2020 si è verificata una, seppur contenuta, contrazione delle emissioni di CO₂, la pandemia da Covid-19 ha però amplificato la condizione di crisi e vulnerabilità ambientale in cui versa il nuovo millennio incidendo anche su politiche economiche e sociali, su relazioni e aspettative individuali e collettive, su accessibilità a beni e servizi, benessere, salute e sicurezza degli individui aumentandone le disuguaglianze. Nella complessità di tale nuova condizione, le interdipendenze e le interazioni tra le diverse crisi divengono fattori moltiplicatori di rischio determinando quella che recentemente Edgar Morin (2020) ha definito 'policrisi' (ambientale, sanitaria, economica, sociale, ecc.).

In questo contesto emergenziale, dal carattere globale e strutturale, il contributo si propone di attivare nuove prassi fondate su una visione sistemica che faccia ricorso contemporaneamente a più filosofie progettuali sostenibili e circolari con un approccio più consapevole e adeguato alla transizione ecologica che ci troviamo a mettere in atto e che, combinando tecniche e tecnologie tradizionali e innovative, consenta di eliminare scarti e rifiuti del settore delle costruzioni. Nello specifico il contributo, dopo aver illustrato le potenzialità della prefabbricazione nel contenimento degli impatti ambientali diretti e indiretti rispetto a un'equivalente costruzione convenzionale, riporta gli esiti di una recente ricerca sull'upcycling dei container marittimi dismessi: attraverso l'esame dei punti di forza e delle criticità dei progetti sperimentali presi in esame, la ricerca indica come sia possibile valorizzare un prodotto industriale giunto a fine vita, e per questo considerato un rifiuto, re-inserendolo in una economia 'circolare' con uso diverso da quello originario, attraverso un riciclo non distruttivo e migliorandone al contempo valore, qualità e prestazioni.

Pensiero, politiche, strategie e approcci per superare la crisi ambientale

Per attivare possibili riflessioni sui complessi processi antropici e mitigare gli effetti ambientali che caratterizzano la nostra era appare opportuno delineare il quadro di riferimento ripercorrendo le tappe che hanno segnato non solo l'evoluzione del pensiero 'ecologista' ma anche le politiche in atto, le strategie e gli approcci teorizzati per affrontare la policrisi con la quale il nostro presente non può non confrontarsi. La consapevolezza che l'incontrollata attività antropica generi irreversibili conseguenze in termini di impatto ambientale sul nostro pianeta non è recente ma databile all'inizio della seconda metà dello scorso secolo. Tra i pionieri che hanno stimolato le coscienze sulla questione ambientale sono da citare Rachel Carson (1962), la quale solleva i primi interrogativi sulla liceità per l'uomo di avocare a sé il controllo della natura e denuncia al contempo i rischi dell'uso indiscriminato in agricoltura di sostanze chimiche inquinanti e letali per l'uomo e la natura, Barnett e Morse (1963) che teorizzano i primi principi dell'economia ambientale e Victor

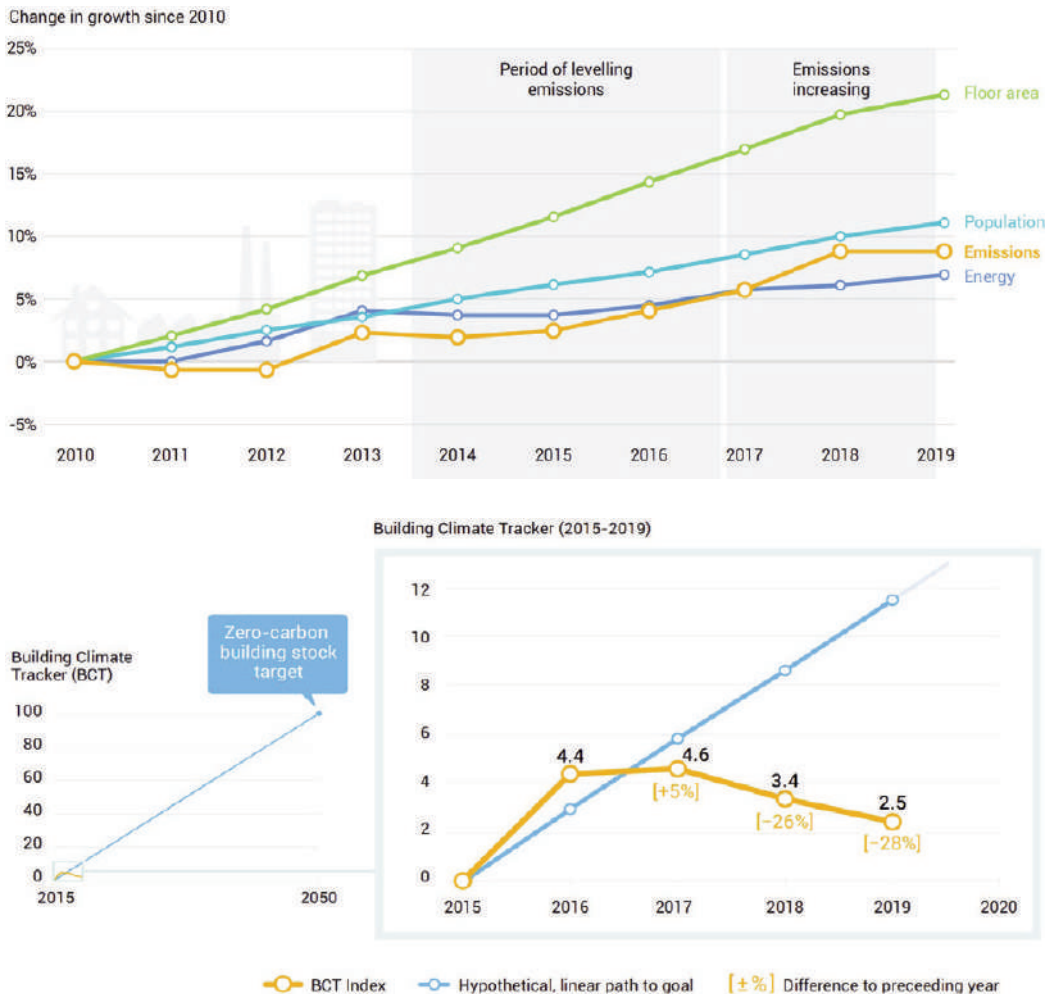


Fig. 1, 2 | Change in global drivers of trends in buildings energy and emissions 2010-2019 (source: IEA, 2020). The Buildings Climate Tracker (BCT) by Global-ABC tracks the building industry's progress all over the world to decarbonise using data from seven global indicators to show progress made since 2015. The index includes indicators on actions and impact and highlighted that the annual progress to decarbonise is slowing down and has almost halved from 2016 to 2019. While the actions to reduce CO₂ emissions in the building industry are growing, the annual rate of improvement is decreasing. To be carbon-neutral by 2050, all the stakeholders of the building process must increase decarbonisation actions and their impact by 5 points (source: EEA, 2021).

Next page

Fig. 3 | Looking upward at the Yick Cheong Building in Hong Kong (credit: B. Lieu Song, 2019); A typical subdivided flat in Hong Kong (credit: Tyrone Siu/Reuters, 2019).

Papanek (1971) che fa appello a un design caratterizzato dall'inclusione, dalla giustizia sociale e dalla sostenibilità rigettando ogni forma di consumismo e ponendo le basi per una progettazione sensibile e responsabile in un mondo carente di risorse.

A questi contributi seguono poi il rapporto *The Limits of Growth* (Meadows et alii, 1972; Meadows, Meadows and Randers, 2004), nel quale si evidenzia l'insostenibilità di un modello di crescita improntato sull'utilizzo sconsiderato delle risorse e sull'inquinamento ambientale e la prima Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano a Stoccolma – all'interno della quale si istituisce lo United Nations Environment Programme – tutti prodomi che ispirano il noto rapporto *Our Common Future* (noto anche come Rapporto Brundtland) nel quale viene formulata la prima definizione di 'sviluppo sostenibile': «[...] Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs» (WCED, 1987, p. 15). Tale definizione è più volte citata e integrata con nuove e specifiche declinazioni da numerosi documenti istituzionali di indirizzo strategico che si susseguono fino ai nostri giorni a ritmo sempre più incalzante, a partire dall'Agenda 21 (UN, 1992), un articolato Programma (una sorta di manuale) scaturito dalla Conferenza di Rio che individua le azioni da intraprendere a livello globale e locale in ogni area interessata dalle emergenze climatico-ambientali e socio-economiche e specifica i mezzi di ese-

cuzione del programma stesso (strumenti scientifici, finanziari e giuridici, formazione, informazione, cooperazione internazionale).

Con l'inizio del nuovo millennio vengono messe a punto nuove indicazioni che mirano a colmare alcune lacune presenti nelle precedenti linee guida e l'Unione Europea assume un ruolo di primo piano con il pacchetto Clima-Energia 20-20-20 (European Commission, 2009) attraverso il quale promuove nuove iniziative in diversi settori per raggiungere ambiziosi traguardi ambientali orientati a uno scenario di 'futuro preferibile'. Tra i documenti che hanno maggiormente inciso sulle attuali politiche governative sono da citare *The Future We Want* (UN, 2012) con nuovi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (accordo siglato nel 2015 dai Governi dei 193 Paesi membri dell'ONU), un Programma d'Azione per l'umanità e il pianeta con 17 Obiettivi e 169 traguardi «[...] integrated and indivisible and balance the three dimensions of sustainable development: the economic, social and environmental» (UN – General Assembly, 2015, p. 1); questo importante documento dimostra come la transizione verso la sostenibilità passi non solo attraverso azioni sul costruito ma anche per valori che pongono l'uomo al centro del processo. Nello stesso anno l'Unione Europea adotta il Piano d'Azione dal titolo *L'Anello Mancante*, un pacchetto di misure finalizzato a guidare la transizione verso un'economia circolare attraverso la competitività e la crescita di un'economia sostenibile incentrata su riuso e riciclo di

materiali in una logica di rifiuto come 'risorsa' (European Commission, 2015).

Parallelamente prendono corpo nuovo approcci e teorie economiche come la Biomimicry (Benyus, 1997), il Cradle to Cradle (McDonough and Braungart, 2002), l'Economia della Felicità (Kahneman, 2007), la Blue Economy (Pauli, 2009), la Circular Economy (Ellen MacArthur Foundation, 2010), la Sharing Economy (Botsman and Rogers, 2010), la Crescita Qualitativa (Capra and Henderson, 2013) e la Decrescita Serena (Latouche, 2015; Raworth, 2017), incentrati sulla sobrietà, sul senso del limite e sulle '8 R' (Rivalutare, Riconcettualizzare, Ristrutturare, Ridistribuire, Rilocalizzare, Ridurre, Riusare, Riciclare) come possibili risposte alle emergenze del pianeta, ma anche sulle sei aree di azione RESOLVE (REgenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise e Exchange; Ellen MacArthur Foundation 2015a) per le imprese e i Paesi che intendono muoversi verso l'economia circolare, in un'ottica di sviluppo sostenibile e salvaguardia delle generazioni future (European Commission, 2018). L'economia circolare emerge quindi come un nuovo modello che ripensa uno sviluppo economico del tutto indipendente dal consumo di risorse finite non rinnovabili (Ellen MacArthur Foundation, 2015b), così come suggerito prima da Walter R. Stahel (1976) che delinea i caratteri di un'economia in 'loop' con maggiori benefici sul lavoro, sullo sviluppo economico, sul risparmio di risorse e sul controllo dei rifiuti, poi da Frosch and Gallopoulos (1989) promotori di un 'ecosistema biologico' nel quale gli scarti dei pro-



About 10 feet



About 6 feet

By Jin Wu/The New York Times; Photograph by Tyrone Siu/Reuters

To shared
toilet and
kitchen

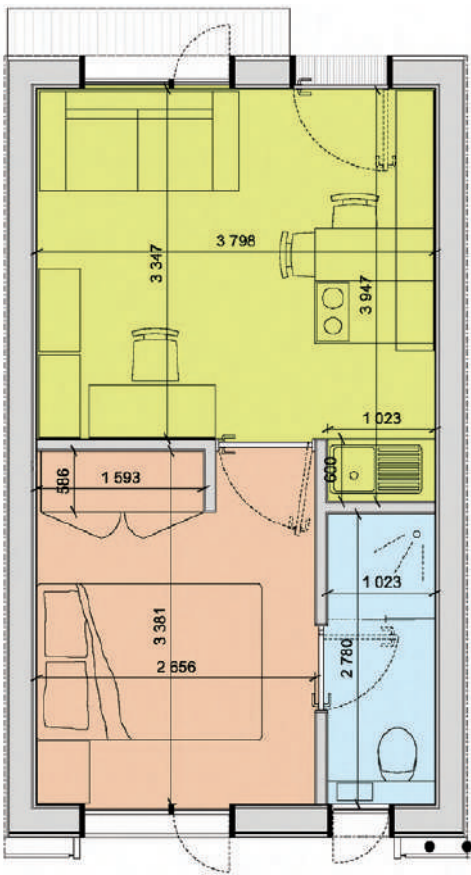
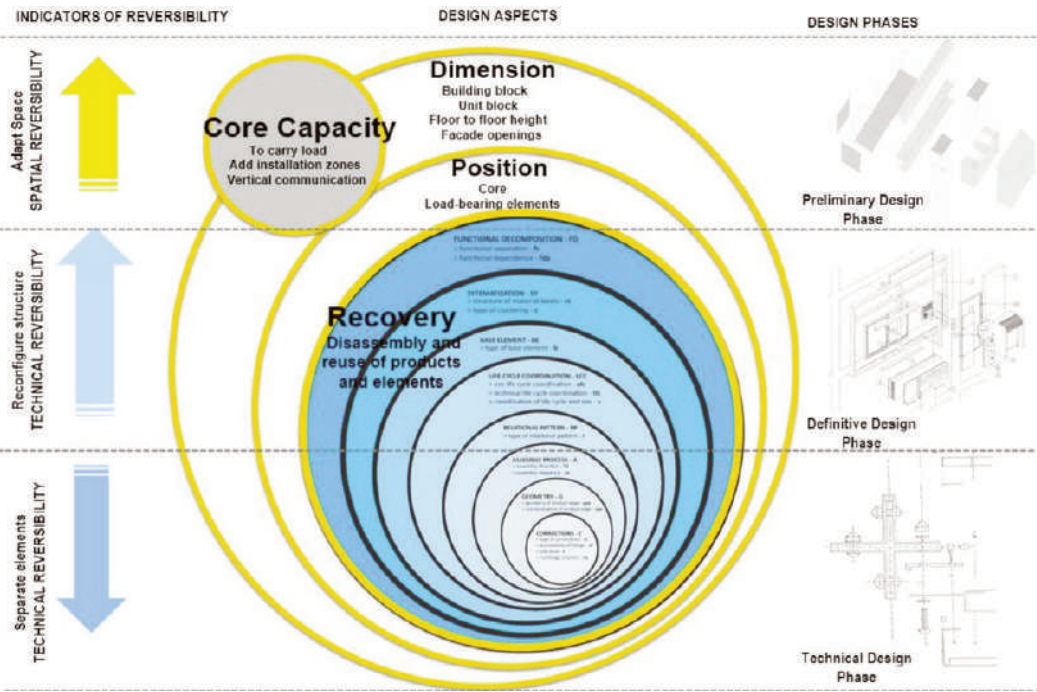


Fig. 4 | Reversible building protocol integrating spatial and technical aspects of reversibility (source: Durmisevic, 2018).

Fig. 5 | Y-Cube by Rogers Stirk Harbour + Partners (2015): The cluster with 20 modules; The module during the laying stage; The floor plan of the housing unit (credit: G. Smith, 2015).

HOT CLIMATE AREA

	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Container of Hope Detached house Saxe Architecture / 2011 San José, Costa Rica 90 sqm / 1 2 (40') 36.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Container House Detached house TRS Studio Architects / 2019 Lima, Peru 60 sqm / 2 2 (40') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Container House Detached house Plannea Arquitectura / 2019 La Compania, Chile 95 sqm / 1 2 (40') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	WFH House Detached house Arcgency Architecture / 2012 Wuxi, China 180 sqm / 2 3 (40') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Container 1 House Detached house S. Irarrazaval / 2010 Santiago, Chile 93 sqm / 1 2 (40') + 2 (20') 73.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	House CH-O Detached house LAD Studio / 2018 Perugia, Italy 200 sqm / 2 4 (40') + 1 (20') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Incubo House Detached house + studio Maria José Trejos / 2013 San José, Costa Rica 400 sqm / 2 8 (40') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Oruga House Detached house S. Irarrazaval / 2012 Santiago, Chile 350 sqm / 2 6 (40') + 6 (20') 402.500 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Squirrel Park Detached townhouses Hall & Morris / 2017 Oklahoma City, USA 540 sqm / 2 16 (40') 885.700 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Tony's Farm Accommodation Playze Studio / 2011 Shangai, China 1.060 sqm / 3 41 (40') + 30 (20') 3.200.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Medical Compound Medical accommodation TAMassociati / 2010 Soba, Khartoum, Sudan 2.310 sqm / 1 7 (40') + 95 (20') 1.376.750 €

COLD CLIMATE AREA

	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Upcycle House Detached house Lendager Arkitekter / 2013 Nyborg, Denmark 129 sqm / 1 2 (40') 140.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	House 28 Detached house Edwards Architecture Studio / 2018 Wye River, Australia 70 sqm / 1 1 (40') + 1 (20') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Urban Rigger Student housing Bjarke Ingles Group / 2016 Copenhagen, Denmark 680 sqm / 2 9 (40') 1.500.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	EBA51 Student housing Holzer Kobier Architekturen / 2014 Berlin, Germany 650 sqm / 4 20 (40') 1.187.940 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Carroll House Townhouse LOT-EK Architecture / 2016 New York, USA 465 sqm / 4 15 (40') + 6 (20') 2.448.902 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Stow-Away Hotel Apart-Hotel Doone Silver Kerr / 2019 London, UK 685 sqm / 5 25 (30') 753.500 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Cité a'Docks Student housing Atelier Cattani Architetti / 2010 Le Havre, Francia 3.880 sqm / 4 100 (40') 4.800.000 €
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	Drivelines Studio Apartments Residential building LOT-EK Architecture / 2017 Johannesburg, South Africa 7.000 sqm / 7 140 (40') N.d.
	<i>Project</i> <i>Building type</i> <i>Designer / Year</i> <i>Location</i> <i>Floor area / No. of levels</i> <i>No. of containers</i> <i>Building cost</i>	CPH Village Student housing Arcgency Architecture / 2018 Copenhagen, Danimarca 7.200 sqm / 2 180 (40') N.d.

Tab 1 | Synoptic overview of the twenty projects selected for the first phase of the research (credit: research group, 2020).

tegie e finanziamenti che favoriscono una 'equa transizione' anche per i cittadini più vulnerabili. Prime colonne portanti dell'European Green Deal sono la Renovation Wave (European Commission, 2020a), finalizzata a stimolare la ristrutturazione degli edifici a favore della neutralità climatica e della ripresa, il Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020b) e il NextGenerationEU, uno strumento finanziario che mette a disposizione circa 750 miliardi di euro per l'attuazione della transizione ecologica e digitale degli Stati membri.

Tuttavia, fino ad oggi gli sforzi globali si sono prevalentemente concentrati sulla riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso una maggiore efficienza energetica e l'impiego di energia da fonti rinnovabili. Efficienza delle risorse e crescita circolare sono state indicate come base del programma di sviluppo promosso dalla New Climate Economy (NCE, 2018) e dal World Resources In-

stitute (WRI, 2020) secondo i quali la 'crescita' può essere 'disaccoppiata' dai suoi impatti negativi sull'ambiente. Ciononostante laddove si tende alla sostenibilità si da prevalenza a un'economia circolare con circuiti del riciclo 'chiusi', trascurando le indicazioni di esperti e ricercatori secondo i quali per raggiungere gli ambiziosi obiettivi posti da Parigi è ormai indispensabile ridurre quantità/volume di risorse naturali non rinnovabili impiegate ma soprattutto quella degli scarti derivati (Hickel, 2019; EEB, 2020). La European Environment Agency (EEA, 2021) ha recentemente rilevato che l'auspicato 'disaccoppiamento' non sta avvenendo e potrebbe anche non essere mai realizzato, supportando tale affermazione con dati secondo i quali l'Europa risulta tra le prime regioni al mondo per consumi e 'pressione' sull'ambiente e l'economia circolare alimenta una strategia di crescita indirizzata al consumo di risorse: durante il 2019 soltanto il 12%

del materiale è stato riciclato nell'Unione Europea mentre nel resto del mondo la circolarità è in calo (Circle Economy, 2021).

In un recente contributo David Ness (2021, p. 24) sottolinea come l'Unione Europea abbia recentemente «[...] riconosciuto l'inadeguatezza degli approcci tradizionali a promuovere i cambiamenti richiesti [e che una consistente riduzione] delle pressioni e degli impatti sull'ambiente [esige] trasformazioni radicali verso una diversa tipologia di economia e di società». Per rilanciare il 'patto verde' la European Commission (2021) ha infatti promosso il New European Bauhaus attraverso un concorso di idee⁴ per il Patrimonio costruito e naturale indirizzato a designer, architetti, artigiani, ingegneri, scienziati e creativi che hanno sottoposto progetti in grado di declinare le tre dimensioni chiave di uno dei Programmi portanti del prossimo settennio europeo: sostenibilità, estetica e inclusione. In una seconda fase del programma, che terminerà entro il 2023, si realizzeranno i progetti pilota, mentre nell'ultima fase (che si concluderà entro il 2024) si dissemineranno i risultati verso il più ampio pubblico possibile in Europa e nel mondo.

Sempre David Ness (2021, p. 25) si chiede se la nostra società sia matura per affrontare questa fase di transizione ecologica e per «[...] svilupparsi e prosperare in termini di qualità (ad esempio propositi, solidarietà, empatia), piuttosto che di quantità (ad esempio durata dei materiali), in modo più equo [e se possa] aiutare allo scopo 'la ragion d'essere' del Nuovo Bauhaus e la sua ambizione ispiratrice». Christian Bason et alii (2020) sono positivi al riguardo interpretando il New European Bauhaus come un innovativo vettore di una vasta gamma di obiettivi interconnessi, a ognuno dei quali è richiesto di essere audace, ispiratore negli ambiti sociale, culturale e politico, costruire identità condivise trasformando un'avanguardia in una 'nuova ondata' di cambiamento sistemico per le necessarie transizioni ecologica e digitale. Secondo Mario Lo-sasso e Simona Verde (2020) le politiche in atto per contrastare la condizione ambientale di poliscrisi in cui versa il nostro pianeta richiede per il prossimo futuro urgenti azioni locali – a partire dagli interventi in un'ottica di Green City Approach (OECD, 2016) di riqualificazione e rigenerazione urbana e ambientale – inserire però in una strategia globale capace, da un lato, di affrontare senza esitazione questioni di natura socioeconomica, dall'altro, di intervenire con azioni multiple consentano di realizzare scenari futuri positivi e rendano l'ambiente costruito più sostenibile (in termini di impatto), più resiliente e meno esposto ai rischi ambientali, trasformando le crisi in opportunità.

Se l'Unione Europea fa appello alla creatività di tecnici e scienziati e alla interdisciplinarietà dei saperi, è utile ricordare che esistono già approcci e metodi progettuali che consentono di misurare la sostenibilità dell'intervento e il benessere degli utenti con indicatori di tipo qualitativo e quantitativo. Oltre alle certificazioni ambientali, al Life Cycle Assessment, all'Extended Life



Figg. 6, 7 | Container House 1 in Santiago (Cile), designed by Sebastián Irarrázaval, 2010 (image processing: C. La Pietra and S. Militello, 2021).

Cycle Costing, alla Environmental Product Declaration, etc.), uno degli approcci a cui occorre fare riferimento è quello dello Zero Waste, fondato sul crescente quantitativo di rifiuti e scarti prodotto dal pericoloso combinato di sfruttamento estensivo delle risorse naturali e utilizzo inefficiente dei materiali nella fase di fine vita (Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017; Baratta, 2021). Nell'ultimo ventennio, dopo aver promosso prodotti più ecologici con la Integrated Product Policy (European Commission, 2001) e un processo edilizio ambientalmente virtuoso attraverso il Life-Cycle Thinking (European Commission, 2003), la Commissione Europea ha varato una serie di disposizioni utili a favorire il recupero, trattamento e riuso dei prodotti (European Commission, 2008, 2016) introducendo l'Extended Producer Responsibility: al produttore è demandata la responsabilità e la gestione della fase del ciclo di vita nella quale il prodotto diviene un rifiuto. Ma se alcuni Paesi Europei 'virtuosi' hanno attivato norme⁵, meccanismi e processi che consentono una discreta percentuale di riuso o riciclo dei rifiuti prodotti (Germania, 56%; Austria, 54%; Corea del Sud, 54%, Galles, 52%; European Environmental Bureau and Eunomia, 2019) molti altri sono ancora sotto la soglia del 30% (Portogallo, 29%; Grecia, 21%; Cipro, 15%; Romania, 11%; Statista, 2021); tutte percentuali comunque ancora troppo basse per il raggiungimento degli obiettivi di Parigi che ci inducono a sostenere che è necessario passare a un approccio strategico più ambizioso, quello appunto dello Zero Waste, trasformando il rifiuto da problema a risorsa, eliminandolo dal processo di produzione, sistematicamente e preventivamente, senza demandare alla fase di fine vita la risoluzione dei problemi.

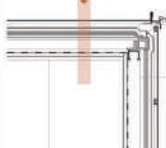
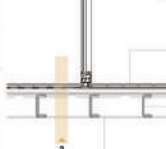
Una possibile strategia ‘multi approccio’ per l’edilizia | Nel settore delle costruzioni, al fine di valorizzare le risorse materiali e garantirne l’efficienza nell’uso riducendone consumo e spreco, un approccio ‘consolidato’ è individuabile nel Life Cycle Design che tiene conto dell’intero ciclo di vita di sistemi, materiali e componenti valorizzandone i requisiti del ‘riuso adattabile’, della durabilità, della decostruzione e dell’upcycling in vista di un suo reinserimento nei processi produttivi (Gruppo di Lavoro Economia Circolare di GBC Italia, 2020). Nello specifico, il Design for Longevity si caratterizza per durabilità di materiali e componenti, elevati standard costruttivi, possibilità di miglioramento, aggiornamento, rifunzionalizzazione e reimpiego (con l’upcycling), riduzione dei costi e facilità di manutenzione, tutti requisiti che prolungano la vita utile di un fabbricato e diminuiscono la produzione di rifiuti nel breve e medio periodo (Wang, Li and Tam, 2015, ARUP, 2016). A confronto lo Zero Waste è un approccio più ‘estremo’ che elimina il rifiuto dall’intero ciclo produttivo e può ridurre sensibilmente la pressione sull’ambiente introducendo un nuovo paradigma che vede coinvolti tutti i settori produttivi (anche se apparentemente poco affini) in termini di ‘permeabilità’ affinché i flussi del bilancio di materia siano pari a zero, ovvero affinché i rifiuti e i sottoprodotti di un settore possano essere reimpiegati integralmente in altri. Altro approccio è quello dell’upcycling, un recente paradigma ‘ecologico’ riferibile ai molte

plici percorsi ‘circolari’ oggi praticabili, con il quale si migliorano (o al limite si mantengono) valore, qualità e prestazioni di un componente attraverso un riciclo non distruttivo e senza restituire il componente alla materia prima (Worrell and Reuter, 2014).

Di particolare interesse strategico è anche l'Open Building, declinazione 'circolare' di una progettazione che tiene conto delle eventuali necessità di modifiche o adattamenti durante il ciclo di vita di un edificio in relazione ai cambiamenti sociali, funzionali e tecnologici del momento. Il promotore del concetto di 'edificio aperto' è John N. Habraken (1972) a cui seguono altri studiosi e ricercatori che definiscono teorie e metodologie progettuali per rendere le architetture flessibili, adattabili, modulari, ampliabili. Tra quelli più rilevanti si ricorda S. Brand (1994) con i Shearing Layers of Change: all'interno del sistema edilizio, l'eclettico statunitense individua una

struttura principale ed elementi secondari che classifica come 'strati più lenti' e 'strati più veloci' nel processo di obsolescenza, per poi sostenere che agli utenti vanno consegnate abitazioni che possono facilmente adattarsi al cambiamento di usi e funzioni con componenti e materiali poco costosi e che per aumentare la vita di un edificio, il cambiamento degli strati più 'veloci' non deve essere ostacolato da quelli più 'lenti'. Si creano così le basi per soluzioni costruttive flessibili, dinamiche, differenziate, interscalari, incentrate sulla separabilità dei componenti che hanno cicli di vita differenti.

Costola dell'Open Building è il Design for Disassembly che impiega prevalentemente sistemi costruttivi a secco e prefabbricati e consente di separare e disassemblare, senza ricorrere a demolizione, gli elementi tecnici, i componenti e i materiali che compongono il manufatto in ogni sua fase del ciclo di vita (Cruz Rios, Chong and

COMPONENTE	PROVENIENZA	SECONDA VITA	DATI RILEVANTI	MESSA IN OPERA	STRATIFICAZIONE	ICONDORRATA
Rivestimento esterno in LAMIERA DI ACCIAIO  sp. 2 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Possibilità di lacerazione • Impermeabilità • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo	La lamiera che costituisce il rivestimento esterno viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm Profilatura in C per il supporto del rivestimento interno	
Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR  sp. 30 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Compatibilità con ogni tipo di superficie • Impermeabilità • Accoppiamento degli spessori di materiali	La schiuma viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR  sp. 3 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Dissomiglianza • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo • Impermeabilità	La pila di cemento viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Rivestimento esterno in LAMIERA DI ACCIAIO  sp. 2 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Possibilità di trasporto manuale • Impermeabilità • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo	La lamiera che costituisce il rivestimento esterno viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm Profilo a U per il supporto del rivestimento interno	
Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR  sp. 30 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Compatibilità con ogni tipo di superficie • Impermeabilità • Accoppiamento degli spessori di materiali	La schiuma viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR  sp. 3 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Dissomiglianza • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo • Impermeabilità	La pila di cemento viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Rivestimento esterno in LAMIERA DI ACCIAIO  sp. 2 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Possibilità di trasporto manuale • Impermeabilità • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo	La lamiera che costituisce il rivestimento esterno viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm Profilo a U per il supporto del rivestimento interno	
Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR  sp. 30 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Compatibilità con ogni tipo di superficie • Impermeabilità • Accoppiamento degli spessori di materiali	La schiuma viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Isolante termico in PIR/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR sp. 3 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Dissomiglianza • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo • Impermeabilità	La pila di cemento viene posata sulla struttura e viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Pavimento in cemento in ACCIAIO/PIR/PIR/PIR Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm	
Rivestimento esterno in LAMIERA DI ACCIAIO sp. 2 mm	• Densità di materiale prima non rinnovabile • Alto valore di energia incorporata • Densità di componenti dissimulati	• Non dissomiglianza • Riciclabilità • Non riciclabilità	• Possibilità di trasporto manuale • Impermeabilità • Resistenza ai mezzi di attraversamento passivo	La lamiera che costituisce il rivestimento esterno viene appoggiata in modo sovrapposto sul sottopavimento, generandosi una cavità che favorisce il raffreddamento interno.	 Profilo tubolare in acciaio Ø 60x2 mm Profilo a U per il supporto del rivestimento interno	

ipotetica, ma la dimensione concreta di un'esistenza ancora in larga parte in divenire e che a noi spetta di tutelare» (Santolini, 2021).

Le potenzialità 'green' delle costruzioni 'off-site' | Gli obiettivi della Renovation Wave for Europe – raddoppiare nell'arco di dieci anni gli interventi di riqualificazione sul patrimonio esistente tramite efficientamento energetico, con recupero e riuso dei materiali – includono in sé l'implicita finalità di salvaguardare il consumo di suolo indirizzando verso approcci di tipo circolare e a zero rifiuti (TRL and WRAP, 2010); non sempre però è possibile assicurare una 'seconda vita' agli edifici esistenti indipendentemente dal programma funzionale, così come è impensabile che l'impatto sull'ambiente del settore delle costruzioni si possa risolvere senza realizzare nuova edilizia. In questo caso, la combinazione di più approcci progettuali, dallo Zero Waste al Life Cycle Design e al Design for Longevity, dall'Open Building al Design for Disassembly e al Reversible Building Design, rappresenta una soluzione che può rispondere alle tre inderogabili istanze della sostenibilità (ambientale, sociale ed economica) minimizzando le emissioni di CO₂ e garantendo alloggi di qualità a prezzi accessibili a tutti.

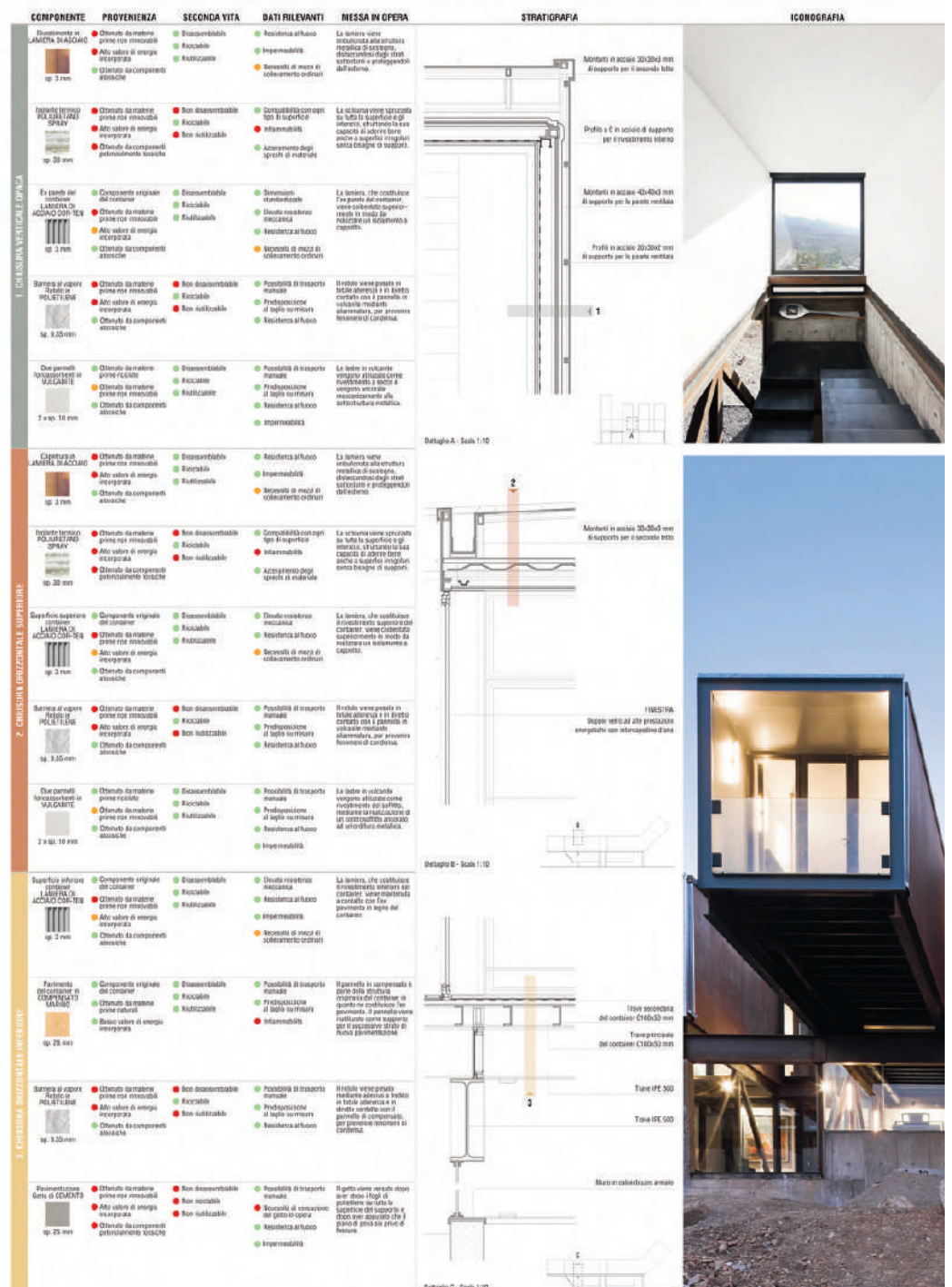
Tra i sistemi costruttivi che più si prestano ad accogliere nel processo edilizio tutti gli approcci citati vi sono sicuramente quelli a secco basati sulla prefabbricazione di componenti ed elementi edilizi. Se la prima ondata di prefabbricazione della seconda metà del Novecento si è caratterizzata per una grande quantità di alloggi costituiti da grandi edifici che hanno prodotto la standardizzazione del linguaggio architettonico, una mancata integrazione con le culture abitative locali ed effetti che negli anni hanno determinato un'emergenza sociale, urbana e tecnologica, la seconda ondata del nuovo Millennio (in ambito internazionale denominata 'off-site') non solo riesce a esprimere una varietà del linguaggio architettonico prima impensabile ma impiega tecnologie digitali e materiali/elementi/componenti sostenibili ed efficienti, che rispondono pienamente agli attuali standard di qualità e non tradiscono le aspettative di un'utenza che ha ormai maturato una 'cultura ecologica dell'abitare'. Contesti ad alta industrializzazione con una consolidata tradizione nella prefabbricazione edilizia, come Stati Uniti, Giappone, Olanda, Germania, Svezia e Regno Unito, rifiutando la logica della 'taglia unica' dimostrano che oggi è possibile produrre una nuova generazione di alloggi a un prezzo accessibile, temporanei o permanenti, e in tempi contenuti, pur offrendo una vasta gamma di soluzioni di alta qualità per contesti ed esigenze diversi: l'abitazione prefabbricata è pertanto concepita come un prodotto industriale 'su misura' (Smith and Quale, 2017) grazie all'innovazione digitale che ha reso possibile, nei processi di progettazione e di produzione, standard qualitativi e controlli più rigorosi per ridurre sensibilmente errori e difetti.

Rispetto all'accessibilità, un esempio degno di nota è Y-Cube (Fig. 5), progettato nel 2015 da Rogers Stirk Harbour + Partners per conto della YMCA London South West a Mitcham (UK) per risolvere la crisi degli alloggi nella metropoli londinese. Y-Cube è un sistema 'modulare volu-

metrico' la cui posa in opera in situ avviene indifferentemente con aggregazione orizzontale o verticale; con la stessa facilità e velocità con cui i moduli sono posizionati possono essere delocalizzati. Ogni unità è realizzata e assemblata in fabbrica con materiali di alta qualità, ecologici (la struttura ad esempio è in legno proveniente da foreste sostenibili) ed energeticamente efficienti (il modulo è ben isolato per ridurre i costi di esercizio sia in regime estivo sia invernale). I cluster prevedono aggregazioni da 24 a 40 unità: i moduli di 26 mq hanno i servizi tecnologici del tipo 'plug and play', quindi già integrati e pronti a essere collegati con le reti esterne. Il costo di realizzazione, grazie alla prefabbricazione e al preassemblaggio, è abbastanza basso e produce benefici sia allo sviluppatore che al locatario: il primo può rientrare dell'investimento in conto capitale entro 10 anni, il secondo può risparmiare

circa il 35% del canone del mercato londinese. Sebbene il sistema abbia nella rigidità compositiva il proprio limite, la giustapposizione dei blocchi consente la possibilità di configurare spazi interstiziali (ad esempio corti e cortili) che favoriscono le relazioni di vicinato e la convivialità tra gli abitanti.

Un altro punto di forza delle costruzioni 'off-site' è rappresentato dalla sensibile riduzione delle emissioni di CO₂ e dei costi energetici in fase di esercizio, oltre che di scarti di produzione e sprechi. Una recente ricerca di due studiosi cinesi (Sandanayake and Zhang, 2019) ha messo a confronto due realizzazioni a Chengdu, situata nel sud-ovest della Cina, per indagare gli impatti diretti e indiretti di una costruzione 'off-site' rispetto a un'equivalente convenzionale. I risultati dello studio, condotto tramite un'analisi LCA e prendendo in esame le emissioni incorporate dai



La tesi secondo la quale i container possano essere riutilizzati per l'edilizia all'interno di un'economia circolare con considerevoli benefici ambientali è avvalorata da diversi studi e ricerche. Secondo Vijayalaxmi (2010) lo smaltimento di un singolo contenitore da 40 piedi richiede circa 8.000 KWh di energia per la fusione dell'acciaio impiegato, mentre per il riutilizzo potrebbe essere sufficiente lo sfruttamento di circa il 5% della suddetta energia; inoltre il riuso dell'acciaio, in termini di benefici ambientali, consente un risparmio di circa 1.130 Kg di minerale di ferro, 450 Kg di carbone e 55 Kg di calcare. Un altro recente progetto di ricerca (Giorgi, Lavagna and Ginelli, 2021), finanziato dal bando SmartLiving del-

Figg. 10, 11 | Stow-Away Hotel in London (UK), designed by Doone Silver Kerr Architects, 2019 (image processing: C. La Pietra and S. Militello, 2021).

la Regione Lombardia e che ha visto coinvolti BFC Sistemi, Whiteam, il Politecnico di Milano, UNI e 20 aziende nazionali ed internazionali, ha applicato il metodo Life Cycle Assessment (allineandosi per approccio metodologico ad alcuni studi già presenti in letteratura) al prototipo cHOMgenius per valutare gli impatti derivanti dal riuso di container in cinque scenari differenti: 1) container nuovi e acciaio 100% riciclato; 2) container riutilizzati e acciaio 59% riciclato; 3) container nuovi e acciaio 59% riciclato; 4) container riutilizzati e acciaio vergine; 5) container nuovi e acciaio vergine. In aggiunta è stata condotta una valutazione LCA comparativa tra le soluzioni di progetto e le soluzioni con tecnologie convenzionali per i subsistemi tecnologici della chiusura orizzontale inferiore, della chiusura orizzontale superiore e della chiusura verticale opaca, definendo come confine del sistema 'from cradle to site' e ipotizzando gli impatti di fine vita vicino allo zero, poiché il prototipo oggetto di valutazione interamente disassemblabile e tutti i componenti e i materiali riutilizzabili o riciclabili, non vengono conferiti in discarica.

Lo studio rivela che con il riuso di un container in acciaio riciclato al 100% è possibile ridurre del 51% le emissioni di CO₂ rispetto all'impiego di container nuovi e acciaio vergine la cui struttura portante incide sull'embodied carbon per il 54% e sull'embodied energy per il 41%, mentre nel prototipo cHOMgenius ha un'incidenza solo del 7% per entrambi gli impatti.

Anche le valutazioni sui subsistemi tecnologici a secco (interamente reversibili) del prototipo confrontati con soluzioni a umido di tipo convenzionale ci riportano dati interessanti. Il sistema di chiusura verticale proposto (composto dallo strato resistente verticale del container, da un isolamento in vetro cellulare e dal sistema di rivestimento misto in laminato, fibrocemento e in alluminio con sottostruttura anch'essa in alluminio) evita il 35% delle emissioni di CO₂, ma solo l'1,3% del consumo di energia a causa dell'elevata embodied energy dell'isolante e della sottostruttura, compensabile comunque con una maggior durata e una manutenzione dei materiali notevolmente ridotta. Il sistema di chiusura orizzontale superiore del prototipo (costituito dalla parte superiore del container e dagli strati di isolamento e di impermeabilizzante, anche questa volta posato a secco) rispetto alla equivalente soluzione convenzionale (struttura di solaio in latero cemento 16+4, cordolo in c.a., strato di isolamento di 20 cm in XPS, massetto di pendenza e finitura interna in intonaco) garantisce una riduzione dell'impatto dell'87% in termini di emissioni di CO₂ e del 68% in termini di energia incorporata, valori simili a quelli riscontrati nel sistema di chiusura orizzontale inferiore.

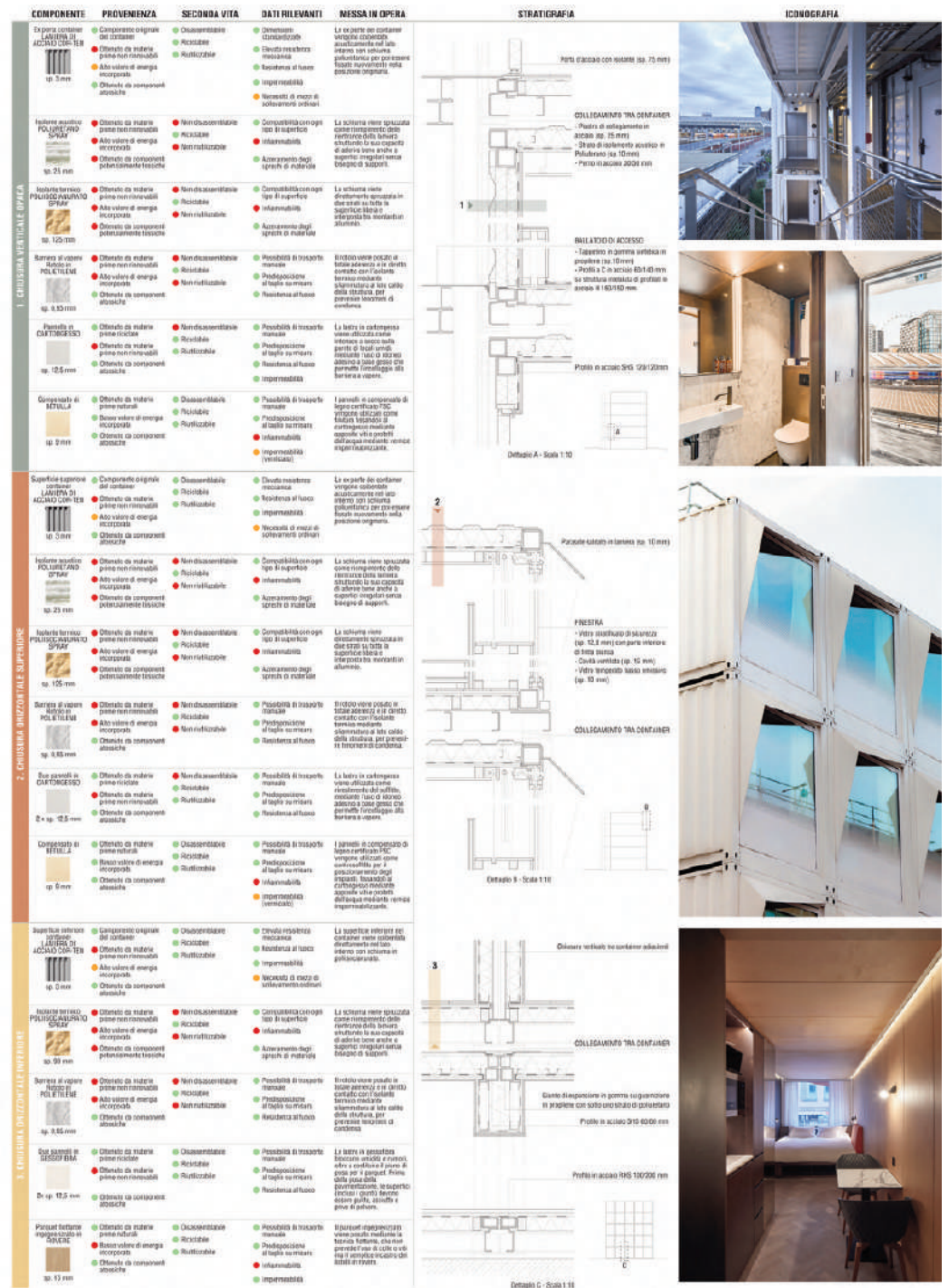
Sebbene questi dati sembrano sufficienti a giustificare il riutilizzo a fine vita di un container da trasporto nell'edilizia residenziale, ad oggi il suo impiego è stato piuttosto sporadico, prevalentemente frenato da pregiudizi di natura culturale (perché associato a un carattere temporaneo), estetica e 'compositiva'. Progettisti e committenti illuminati hanno invece saputo valorizzare, con interventi di riuso, i punti di forza del container: materiali durevoli, tempi di costruzione certi e con una riduzione dal 40% al 60% rispetto ai sistemi tradizionali (Elmokadem et alii, 2019),

facile trasportabilità, modularità e flessibilità aggregativa, costi di realizzazione contenuti.

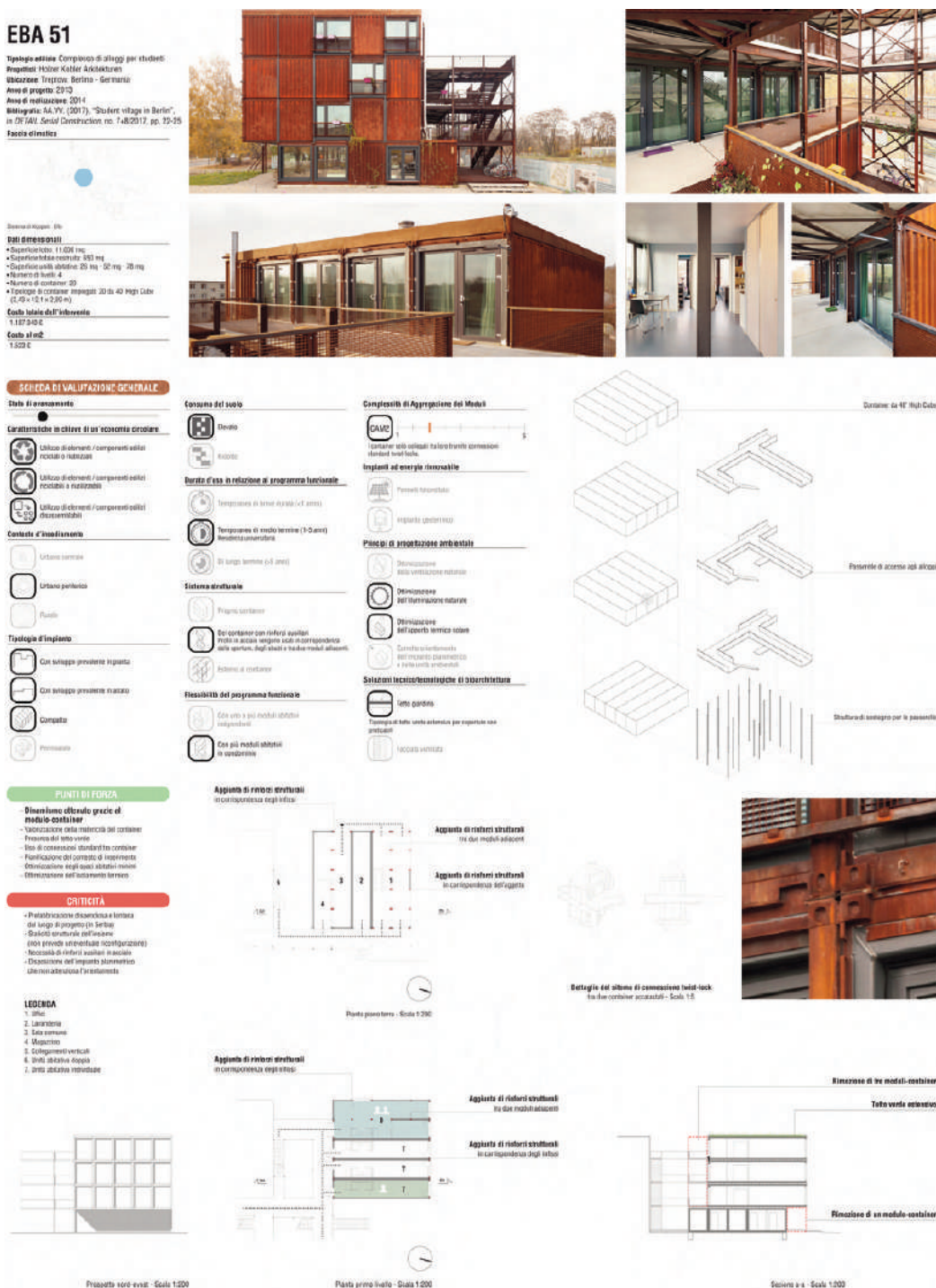
La ricerca e l'approccio metodologico | In questo contesto ambientale critico e culturale complesso, caratterizzato da politiche, strategie e approcci diversi ma tutti finalizzati alla sostenibilità del settore delle costruzioni, un gruppo di ricercatori⁶, tra cui gli autori del presente contributo, ha condotto una ricerca autofinanziata nel biennio 2020-21 dal titolo Il Riuso dei Container nell'Edilizia Residenziale – Buone Pratiche Sostenibili e Criticità finalizzata a fornire linee guida e soluzioni costruttive (in particolare quelle tecniche conformi dei nodi) flessibili, sostenibili e accessibili attraverso il riuso/upcycling dei container dismessi come moduli abitativi. Lo studio ha interessato venti opere già realizzate, presentate dagli autori come 'sostenibili' e pubblicate su

riviste specializzate (Arkétipo, Detail, ARQ Portfolio, Divisare, L'Industria delle Costruzioni, Architecture Australia, Arquitectura Viva, SteelDoc, DBZ, Materia, ecc.) nel periodo 2010-2021 (Tab. 1). I casi studio sono stati selezionati perché rappresentano vere e proprie opere di architettura contemporanea (e non il risultato di una produzione industriale in serie) ma anche perché sono stati ritenuti significativi rispetto ad aspetti insediativi/tipologici e alle soluzioni tecniche adottate nel loro contesto geografico/climatico.

Non essendo entrati in possesso di certificati energetici o certificazioni ambientali che attestassero il livello di efficienza e sostenibilità ambientale dei progetti in questione, lo studio si è basato sull'individuazione di pregi e criticità degli involucri edilizi, sull'analisi dei loro componenti e dei relativi sistemi di posa in opera analizzando il materiale pubblicato (piante, sezioni, particolari



La Casa Oruga (Figg. 8, 9) anch'essa a Santiago, in Cile, è il secondo caso studio, un'abitazione unifamiliare progettata nel 2011 dall'architetto Sebastián Irrarázaval. I dodici container sono collocati trasversalmente alle curve di livello in uno schema di fasce parallele opportunamente distanziate per permettere ai flussi d'aria di raffreddare naturalmente i volumi sfruttando la ventilazione incrociata. I volumi sono prevalentemente illuminati da grandi aperture nei container di testa con un arretramento rispetto al filo esterno che



Figg. 12, 13 | EBA51, student housing complex in Berlin (Germany), designed by Holzer Kobler Arkitekturen, 2013 (image processing: C. La Pietra and S. Militello, 2021).

schermata dall'irraggiamento solare. Dal punto di vista dell'efficienza termica dell'involucro, la presenza di una parete e di un tetto ventilati, realizzati con una sottostruttura metallica, rappresentano una soluzione conforme rispetto al contesto climatico. Diverse le criticità riscontrate: i moduli sono sostenuti da una struttura ausiliaria in acciaio che incide negativamente sulla sostenibilità del progetto, incrementando la quantità di energia incorporata del sistema, criticità riscontrabile anche nel piano seminterrato per la presenza di una struttura in cemento armato che non rientra nella logica dell'upcycling; l'uso di schiuma poliuretanica per l'isolamento a cappotto garantisce perfetta aderenza alle superfici ma allo stesso tempo non garantisce la disassemblabilità e il riuso di alcuni componenti; l'organismo architettonico risulta avere un carattere monolitico che non lascia spazio a eventuali riconfigurazioni, poiché la scelta di alcuni materiali utilizzati e l'assenza di connessioni meccaniche tra i moduli ne pregiudicano la flessibilità; i nodi strutturali evidenziano la presenza di ponti termici in corrispondenza del solaio inferiore.

Il terzo caso studio è lo Stow-Away Hotel (Figg. 10, 11) di Londra, un aparthotel progettato nel 2019 dallo studio Doone Silver Kerr Architects. L'impianto prevede l'utilizzo di venticinque container collegati, in orizzontale e in verticale mediante connessioni plug-in appositamente progettate. Ogni container funziona come una struttura autonoma indipendente, in modo che, a seconda delle necessità future, possa essere sbulonato e trasferito in un altro sito, al pari del sistema di distribuzione verticale realizzato con un telaio di travi e pilastri in acciaio imbullonati. Il fronte principale occidentale si caratterizza per la presenza di oggetti in acciaio con funzione di schermatura dei raggi solari e di infissi con la parte inferiore opaca per assicurare la privacy degli ospiti. L'efficienza energetica è garantita dai pannelli fotovoltaici in copertura e da scambiatori di calore e recuperatori entalpici; anche in questo caso si rileva una scarsa attenzione alla disassemblabilità dei componenti (per l'impiego del poliuretano spray) e la presenza di ponti termici in facciata determinata dagli elementi di connessione lasciati a vista.

Il quarto caso studio è EBA51 (Figg. 12, 13), un complesso di alloggi per studenti a Berlino, progettato dallo studio Holzer Kobler Arkitekturen nel 2013. Dal punto di vista compositivo, i venti container impiegati si configurano come due blocchi, uno dei quali comprende i tre piani superiori con asse ortogonale e in aggetto rispetto al piano terra. I progettisti hanno posto maggiore attenzione alla sostenibilità dell'edificio in fase di esercizio piuttosto che in fase di realizzazione, da un lato, eliminando i ponti termici in corrispondenza dei nodi tramite la collocazione dello strato isolante all'interno delle unità abitative (scelta adeguata alla collocazione geografica dell'intervento), dall'altro, prevedendo grandi aperture per favorire l'ingresso di luce e calore e un tetto verde estensivo per ridurre le dispersioni termiche. Due le criticità principali rilevate: la particolare aggregazione dei blocchi ha richiesto rinforzi ausiliari in acciaio in corrispondenza di sbalzi e aperture, pregiudicando possibili riconfigurazioni del sistema; la scelta di alcuni componenti, come i massetti gettati in ope-

ra, non risultano conformi ai principi di sostenibilità ambientale e di economia circolare.

I Cité a-Docks a Le Havre (Figg. 14, 15) in Francia sono alloggi per studenti, progettati nel 2010 dall'Atelier Cattani Architetti, frutto della volontà di riqualificare l'area portuale della città integrandovi cento container con la nuova destinazione residenziale: al semplice accatastamento, tuttavia, viene preferita un'immagine di leggerezza e permeabilità raggiunta con l'impiego di una sovrastruttura in acciaio sulla quale sono fissati i container e che genera nuovi spazi di socialità tramite corridoi, terrazze e balconi. I container sono posizionati sulla nuova griglia strutturale con aggetti differenti che conferiscono dinamismo alla composizione dell'impianto e ottimizzano le prestazioni energetiche dei moduli grazie alle zone d'ombra e ai canali di ventilazione che si determinano. Nonostante la nuova struttura in acciaio

contribuisca ad aumentare l'impronta di carbonio e l'energia incorporata del sistema, quest'ultimo si arricchisce di un alto grado di flessibilità nello scomporre e riaggregare singole unità abitative nel tempo.

L'ultimo caso studio è la Carroll House (Figg. 16, 17), abitazione unifamiliare realizzata dallo studio LOT-EK Architecture and Design nel 2016 a Brooklyn, New York, in un lotto di testata con due fronti su strada. I progettisti hanno caratterizzato la costruzione in risposta all'esigenza di privacy dei proprietari senza però rinunciare all'illuminazione naturale e alla dotazione di spazi esterni, realizzando una struttura a terrazzamenti che nasconde una serie di piattaforme a cascata poste sul retro dell'edificio. Il fabbisogno di energia della costruzione è soddisfatto dall'integrazione di pannelli fotovoltaici in alcune porzioni delle pareti dei container ma tale intervento ha causato il fra-

1 - CURVATURA VERTICALE (DAPCA)

2 - CURVATURA ORIZZONTALE (SUPERFICIE)

3 - CURVATURA ORIZZONTALE (INTERFACCIA)

COMPONENTE	PROVENIENZA	SECONDA VITA	DATI RILEVANTI	MESSA IN OPERA	STRATEGIA
PROFILATO DI ACCIAIO CON TUBO ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Dimensioni - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina che costituisce il rivestimento esterno del componente viene fissata, collegata meccanicamente e sigillata, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo angolare del componente esterno
Isolante termico POLIURETANO PUR sp. 30 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La schiuma viene spazzata sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Isolante termico POLIURETANO PUR sp. 30 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	Il rivestimento in schiuma viene spazzato sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Infisso in muratura
Isolante termico POLIURETANO PUR sp. 30 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	Il rivestimento in schiuma viene spazzato sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	RINVESTITA Esposizione all'esterno, protezione termica e acustica.
Barra di acciaio FORATA PER POLIURETANO sp. 0,51 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	Il rivestimento in schiuma viene spazzato sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Rivestimento in tutto il sistema
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 11,5 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Rivestimento in tutto il sistema
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	TETTO GIACENTE Sistema per l'isolamento termico e acustico.
Isolante termico POLIURETANO PUR sp. 30 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La schiuma viene spazzata sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Isolante termico POLIURETANO PUR sp. 30 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La schiuma viene spazzata sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Barra di acciaio FORATA PER POLIURETANO sp. 0,51 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	Il rivestimento in schiuma viene spazzato sulla superficie della lamina, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 12,1 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie inferiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 78 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO sp. 75 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Superficie superiore LAMINA DI ACCIAIO CON TUBO sp. 3 mm	- Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno - Struttura di sostegno	- Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile - Non dissuadibile	- Compatibilità con ogni tipo di superficie - Resistenza - Resistenza - Resistenza - Resistenza	La lamina è collegata alla struttura di sostegno, formando un rivestimento continuo e sigillato, per poi essere montata e fissata in un sistema di sostegno.	Profilo in acciaio di sostegno
Profilo in acciaio CON TUBO</					

zionamento di parte dei ventuno moduli container che, riassamblati in altri punti dell'edificio, hanno richiesto rinforzi ausiliari in acciaio per assicurare la stabilità strutturale complessiva, compromettendo il riuso dei moduli in nuove configurazioni.

Discussione delle risultanze e sviluppi futuri

Dal quadro sinottico riportato nella Figura 18 – riferito ai soli sei casi riportati nel presente contributo – è possibile identificare due differenti approcci da parte dei progettisti: un gruppo si è concentrato sull'ottimizzazione del sistema costruttivo a secco e/o sull'impiego di materiali eco-compatibili mentre altri hanno privilegiato l'efficienza energetica in fase di esercizio, sfruttando l'interazione con l'ecosistema locale in termini di esposizione e soleggiamento/ventilazione naturale e integrando impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili con l'efficienza ener-

getica dell'involucro. Nello specifico, tra i progetti del primo gruppo si segnalano i Cité A-Docks, pensati e realizzati secondo la filosofia del DfD con soluzioni costruttive interamente a secco e connessioni meccaniche che non compromettono il futuro riutilizzo dei singoli componenti; tuttavia, la stessa attenzione non è stata riservata all'impronta ecologica di tutti i materiali utilizzati, come nel caso dei pannelli isolanti in polistirene espanso che, seppur riciclabili, hanno un'elevata energia incorporata. Tra i progetti del secondo gruppo sono invece da segnalare per l'elevata efficienza energetica la Casa Oruga (contesto climatico caldo) con il suo cappotto e involucro (tetti e pareti) ventilato e l'EBA51 (contesto climatico freddo) nel quale è stato previsto un isolamento sullo strato interno dell'involucro; in entrambi i casi però si ricorre a materiali altamente energivori come il poliuretano spray e i pannelli

isolanti sottovuoto VIP oppure a massetti gettati in opera che limitano la disassemblabilità dei componenti.

Rispetto alla collocazione geografico/climatica dei casi studio e all'efficienza delle soluzioni tecniche adottate si può dedurre che l'uso residenziale del modulo container risulta più conveniente nei Paesi a clima freddo, in quanto il posizionamento dello strato isolante sul lato interno dell'involucro permette, da un lato, un'adeguata risposta ai requisiti di comfort abitativo, dall'altro, il mantenimento delle pareti originali del container senza la necessità di integrare ulteriori elementi di rivestimento, scelta questa che oltre a produrre importanti economie di realizzazione consente anche il riuso di tutte le componenti del contenitore. Tuttavia, seppur inserite in un contesto a clima caldo (in Cile), la Casa Container 1 e la Casa Oruga hanno raggiunto una buona efficienza energetica grazie a un involucro ventilato e un isolamento a cappotto. Dal punto di vista del rapporto sostenibilità/accessibilità, il costo di costruzione al metroquadrato di ogni caso studio ha evidenziato come non vi sia una corrispondenza proporzionale tra gli edifici con costo di realizzazione più elevato e il loro effettivo grado di sostenibilità: infatti, la Casa Container 1, la cui realizzazione ha un costo di 784,90 €/m², ha ottenuto un punteggio maggiore rispetto alla Carroll House, il cui costo è circa 4,5 volte più oneroso. Dall'analisi fatta emerge altresì come non sia possibile determinare un evidente legame di proporzionalità tra una specifica strategia di sostenibilità e il suo costo di realizzazione, al contrario di ciò che ci si potrebbe aspettare, per esempio, nei casi studio con impianti a energia rinnovabile integrati.

Rispetto poi alla flessibilità d'uso – nella sua declinazione di 'open building' e nella sua applicazione con il Design for Disassembly – si rileva come la stessa non emerga come requisito individuato dai progettisti nella fase di ideazione, ad eccezione fatta per lo Stow-Away di Londra – che rifiuta il concetto di obsolescenza dell'intero organismo architettonico (più che in termini di materiali e componenti) prevedendo futuri sviluppi del manufatto a cui rispondere con una logica di facile scomposizione e ri-aggregazione dei singoli moduli – e per i Cité A-Docks, nei quali l'approccio DfD è riscontrabile sia nei sottosistemi costruttivi (ad esempio nei pannelli di chiusura dell'involucro) sia nella presenza di una sovrastruttura alla quale i moduli dei container (in composizione libera) sono vincolati con connessione meccanica.

In sintesi, dal quadro sinottico (Fig. 18) emerge che, nonostante i progetti fossero stati dichiarati come 'buone pratiche sostenibili', alla sostenibilità dichiarata dai progettisti non corrisponde una sostenibilità effettiva, poiché rispetto ai criteri definiti dallo studio nessuno dei casi indagati ha ottenuto il massimo punteggio. Pertanto, al termine dell'indagine il gruppo di ricerca ha ipotizzato una proposta di retrofitting dell'involucro sullo Stow-Away Hotel strumentale a dimostrare come sarebbe stato possibile per i pro-



Figg. 14, 15 | Cité a-Docks in Le Havre (France), designed by Atelier Cattani Architetti, 2010 (image processing: C. La Pietra and S. Militello, 2021).

gettisti risolvere le criticità riscontrate in termini di sostenibilità ambientale senza compromettere l'aspetto estetico-formale del progetto. Uno sviluppo successivo della ricerca, che rappresenta anche il suo limite nell'attuale stesura, può riguardare degli approfondimenti su due dei casi studio che sono risultati più sostenibili (la Casa Container per le zone a clima caldo e i Cité A-Docks per quelle a clima freddo) in termini di LCA dei materiali impiegati e di efficienza energetica dell'involucro anche in relazione al soleggiamento e all'azione dei venti nel loro contesto.

Riflessioni conclusive | Traguardare la transizione ecologica per superare la crisi ambientale è oggi una priorità ineludibile per la quale non possiamo permetterci di temporeggiare, poiché abbiamo visto che essa agisce come fattore moltiplicatore di crisi minando le aspettative delle generazioni future alle quali abbiamo il dovere di lasciare un pianeta sano e un ecosistema armonico in cui l'artificiale si deve relazionare con il naturale, l'uomo con l'ambiente, in una logica 'dinamica' di reciproca adattività. Dopo aver maturato in oltre mezzo secolo questa consapevolezza, abbiamo oggi a disposizione, da un lato, politiche, strategie e risorse finanziarie adeguate, grazie anche all'Unione Europea che è stata capace di coniugare etica ambientale, sviluppo e sostegno sociale, dall'altro, approcci progettuali (dallo Zero Waste al Life Cycle Design e al Design for Longevity, dall'Open Building al Design for Disassembly e al Reversible Building Design) condivisi e dibattuti dalla comunità scientifica internazionale che offrono ampi margini di sperimentazione e operatività in chiave di sostenibilità del costruito ma rispetto ai quali la ricerca, non sempre con un ruolo di primo piano, è stata spesso condotta con il limite della settorialità disciplinare.

Gli ingenti stanziamenti europei (NextGenerationEU) e del Governo italiano (PNRR) sull'innovazione ecologica (così come su quella digitale) confermano il ruolo strategico della ricerca e l'importanza di sperimentazioni e scambi di buone pratiche in un'economia 'green' basata sull'uso efficiente di risorse non rinnovabili e sull'eco-innovazione di processi e prodotti per abbattere la produzione di emissioni di CO₂ e di rifiuti. Questo obiettivo può essere raggiunto, in tutti gli ambiti del costruito, superando il limite attuale rappresentato da una mancata azione coordinata da una 'regia illuminata' priva di una visione sistemica e non fondata su una prassi metodologica di tipo multi e interdisciplinare, ascalare e intersettoriale capace di integrare contemporaneamente saperi, professionalità, discipline e settori di produzione differenti (talvolta apparentemente poco affini) per razionalizzare e ottimizzare, combinando tecnologie tradizionali e innovative, da un lato, tutti gli aspetti che entrano in gioco nell'intervento trasformativo e nelle sue dimensioni di processo, di progetto e di prodotto, dall'altro, i flussi di materia in entrata e in uscita perché siano equivalenti, ovvero affinché i rifiuti e i sottoprodotti di un settore possano essere reimpiegati integralmente in altri.

Abbiamo presentato alcune esperienze di architetture residenziali 'off-site' e altre realizzate tramite l'upcycling dei container marittimi i quali costituiscono un valido esempio di come sia pos-

sibile valorizzare un prodotto industriale giunto a fine vita, e per questo considerato un rifiuto, reinserendolo in una economia 'circolare' con uso diverso da quello originario. Dei casi studio abbiamo evidenziato pregi e criticità ma soprattutto le potenzialità offerte qualora l'approccio progettuale miri contestualmente all'eliminazione totale di rifiuti e scarti nelle fasi di produzione e di realizzazione dell'opera, all'ottimizzazione della sua sostenibilità ambientale e alla riduzione della sua energia incorporata, alla massima durabilità dei materiali, pur senza limitare la variabilità linguistica e compositiva del progetto, la sua flessibilità d'uso, l'accessibilità per le classi meno abbienti e la smontabilità e riasssemblabilità del manufatto, tutte potenzialità che devono trovare luce sin dalle prime fasi di progettazione e ideazione dell'opera a cui si deve, secondo il VII General Union Environment Action Programme dal

titolo Living Well, within the Limits of Our Planet (European Parliament and the Council of European Union, 2013), la responsabilità dell'80% dell'impatto ambientale del prodotto.

Già quindi nelle prime fasi di progettazione e ideazione, tanto dell'opera architettonica quanto di un qualunque prodotto, è importante prevedere la figura di un regista che svolga un complesso lavoro di coordinamento tra i diversi saperi; a tale scopo l'area della Tecnologia dell'Architettura può offrire un primo significativo contributo dal punto di vista metodologico nella strutturazione dei processi produttivi ed edilizi, mettendo a disposizione anche la propria consolidata esperienza nell'ambito delle valutazioni predittive ex-ante ed ex-post degli impatti in un'ottica sistemica, da un lato, attraverso una vasta gamma di strumenti⁷ informatizzati, database, indicatori e indici già a disposizione che consentono



Un secondo significativo contributo può riguardare la definizione di una dimensione meta-progettuale che metta a sistema i punti di forza degli 'approcci sostenibili' citati, in particolare per la prefabbricazione e l'upcycling, tramite la

formulazione di indicazioni, schemi e abachi con una vasta gamma di soluzioni aggregative e tecniche conformi (con particolare attenzione ai nodi e alle connessioni) per l'involucro edilizio in ragione del contesto climatico di riferimento, prevedendo l'impiego di elementi e componenti da posare in opera a secco secondo le logiche e il protocollo del DfD (Durmisevic, 2018) ma capaci di garantire un elevato livello di flessibilità (materica, geometrica e di linguaggio architettonico) tale da non incorrere nel rischio di una prefabbricazione 'anonima' e 'uniformante' già superata dalle recenti sperimentazioni.

Nonostante diversi studi e ricerche consentano di affermare che i sistemi 'off-site' rappresentino una valida alternativa ai sistemi costruttivi convenzionali a umido (Oliveira et alii, 2018, Rics, 2020, WBDG Sustainable Committee, 2021) e lo studio sull'upcycling dei container marittimi dismessi mostri, in un'ottica 'zero rifiuti', che è

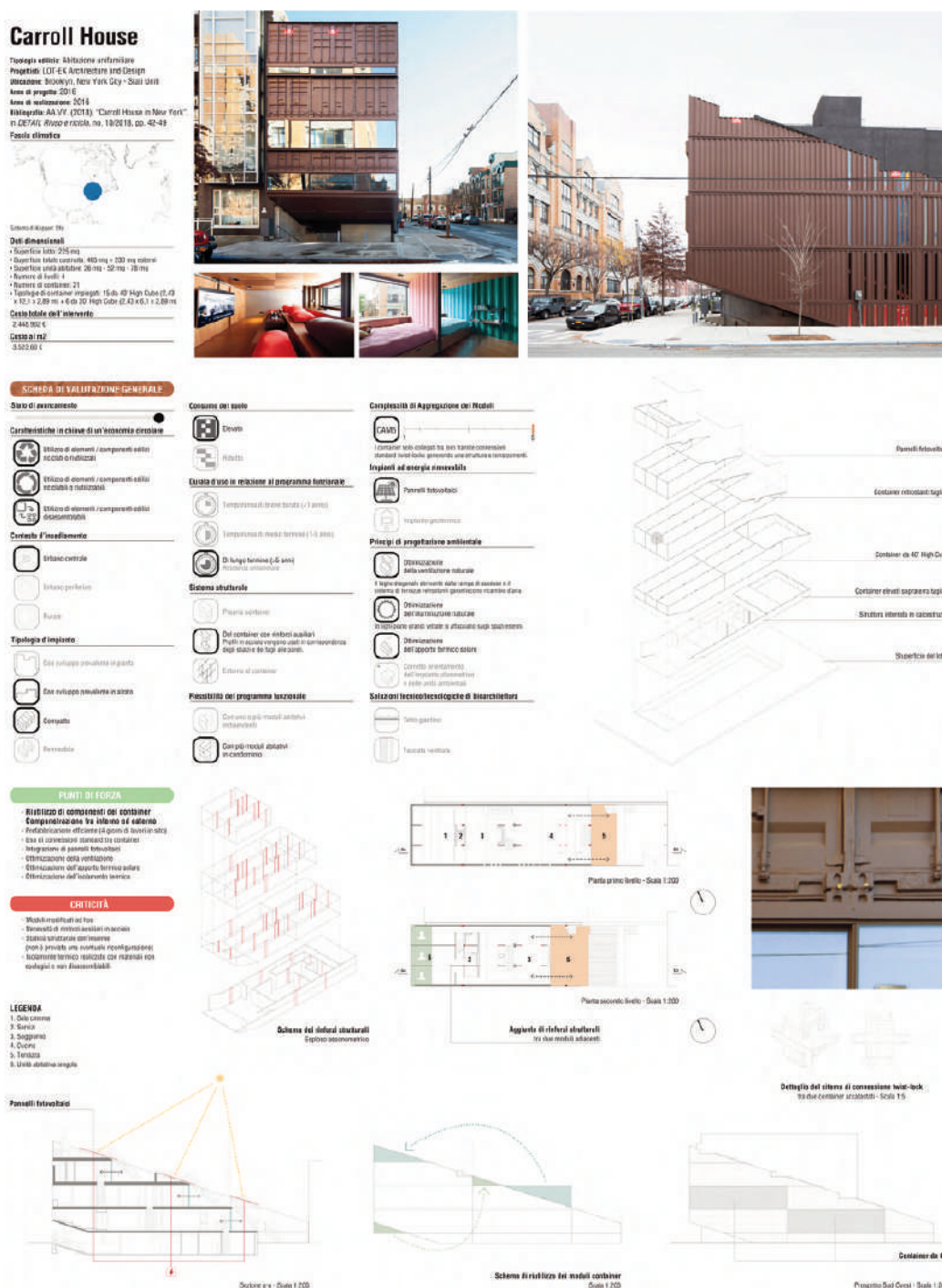
possibile un loro riuso a fine vita attraverso un riciclo ‘non distruttivo’, per un’ampia diffusione di questi due approcci è necessario, da un lato, fare ricorso alle tecnologie digitali e a nuove competenze professionali per affrontare complessità e dinamiche proprie dell’Industria 4.0 e sfruttarne appieno potenzialità e opportunità, dall’altro, superare le barriere – non tutte fondate – che la NHBC Foundation (2016) ha fatto emergere con una ricerca sulle costruzioni ‘off-site’ volumetriche.

L'indagine ha evidenziato che gli utenti percepiscono la prefabbricazione come un sistema costruttivo non familiare, poco flessibile nel soddisfare richieste 'su misura', economico e poco durevole e pertanto lontano dalla solidità di una costruzione tradizionale, mentre le imprese hanno il timore degli elevati costi iniziali dell'impianto di produzione, di logistiche di trasporto e cantiere, di non riuscire a reperire manodopera specializzata e, soprattutto, di una mancata risposta dal mercato. Lo stesso studio conclude suggerendo alcune azioni che possano abbattere queste barriere e favorire l'impiego di sistemi costruttivi prefabbricati come, ad esempio, diffondere, da parte dei produttori di Modern Methods of Construction, analisi su costi/benefici e casi di studio di buone pratiche, incoraggiare i fornitori di elementi e componenti edilizi a entrare nel mercato; a questi aggiungiamo una inadeguata formazione dei tecnici ma anche in datati modelli d'impresa e mancanza di relazioni tra i diversi attori del processo (e tra i settori produttivi) nella gestione dei flussi di risorse.

In definitiva, se la strada verso la neutralità climatica è ancora lunga da percorrere possiamo comunque essere ottimisti perché abbiamo – per tutti gli ambiti del costruito – sia gli strumenti per pensare e operare in un’ottica circolare ‘estrema’ (chiudendo il ciclo della materia attraverso la definizione di strategie di progettazione ‘sistemiche’ e ‘multi approccio’) sia la conoscenza delle barriere che ne frenano lo sviluppo. È tuttavia presumibile che il nuovo modello ‘multi approccio’ prenderà campo e si consoliderà definitivamente come prassi operativa quando le materie prime non rinnovabili diventeranno difficilmente reperibili e molto costose, mentre i materiali provenienti da riciclo saranno largamente disponibili e con costi accessibili, ma soprattutto quando si diffonderà la consapevolezza che la riduzione dei livelli di carbonio e dei consumi non può essere misurata con parametri matematici e che il valore di un edificio accresce se può essere facilmente rinnovato e trasformato acquisendo costantemente nel tempo nuovi livelli di cultura e identità (Macchi, 2017).

We are living in one of the most difficult historic moments for our planet and humanity, the so-called Anthropocene. In the late 1970s, the Soviet geologist E. V. Shantser (quoted in Foster, Holleman and Clark, 2019) identified a geological era characterized by great territorial and climatic changes depending not only on the geological

Figg. 16, 17 | Carroll House in New York (US), designed by LOT-EK Architecture and Design, 2016 (image processing: C. La Pietra and S. Militello, 2021).



action but above all on the social, economic, productive and settlement action of the human being. Crutzen and Stoermer (2000) have proposed the second half of the 18th century as a start date for the Anthropocene. They highlighted that, since then, human activities and (scientific and technological) progress have produced tangible and exponentially accelerated effects on our planet, on the one hand, making the balance of its ecosystem precarious, and on the other, affecting safety, health, well-being as well as the availability of goods and livelihoods for its inhabitants (Meadows et alii, 1972; Aprea, D'Ambrosio and Di Martino, 2019). Thomas L. Friedman (2016) also observed a continuous and quickly changing condition. The planet we live on, in 2030 will already be very different from the one we know, because it will be affected by the three 'forces' of Moore's Law for technology, by the Market for globalization and by Mother Nature for climate change and the loss of biodiversity. The three forces simultaneously push on buildings, from cities to the landscape.

However, climate change alone is not dangerous but is – as Amitav Ghosh (2017) would say – a 'threat multiplier' stressing and amplifying the instability and insecurity already present in some areas of the world, including the economy. According to the World Economic Forum (WEF, 2021), at a global level, the most catastrophic scenario with a temperature increase up to 3.2 °C could wipe out up to 18% of the global GDP by the middle of the century. Of course, this has high costs also in terms of human lives. According to a recent report on climate change disasters made by the World Meteorological Organization (WMO, 2021), between 1970 and 2019 more than 2 million people have died because of extreme weather events and economic losses amounted to 3.64 trillion dollars. In Europe, deaths due to extreme heat could increase from 2,700 to 90,000 every year by 2100. According to the Intergovernmental Panel Commission on Climate Change of United Nations (IPCC, 2018), the causes and effects of these phenomena are due to the constant increase in global warming which could lead to a rise in global average temperatures of about 5.8 °C by the end of the current century. In general, the collective ecological print has already significantly exceeded the 'biocapacity' of many Countries (Beyers and Wackernagel, 2019). This current condition makes most industrialized countries 'ecological creditors' (Świąder et alii, 2020).

Studies and reports present alarming scenarios and data that show that the building industry is one of the main causes of the poor health of our planet. In 2018 it absorbed 35% of global energy consumption and produced 38% of annual greenhouse gas emissions. These data surely are very alarming, but are nothing compared to the 2050 outlook, when the energy demand will increase by about 50% and the demand for building cooling will triple compared to 2010 (IEA, 2021; Figg. 1, 2). A recent report made by the European Environment Agency (EEA, 2019) reveals that in the European countries the building industry produces a third of the total waste¹, while from a resources point of view it originates about 50% of raw materials extraction². Among the negative effects on the environment from the production process of the countries in Europe, there

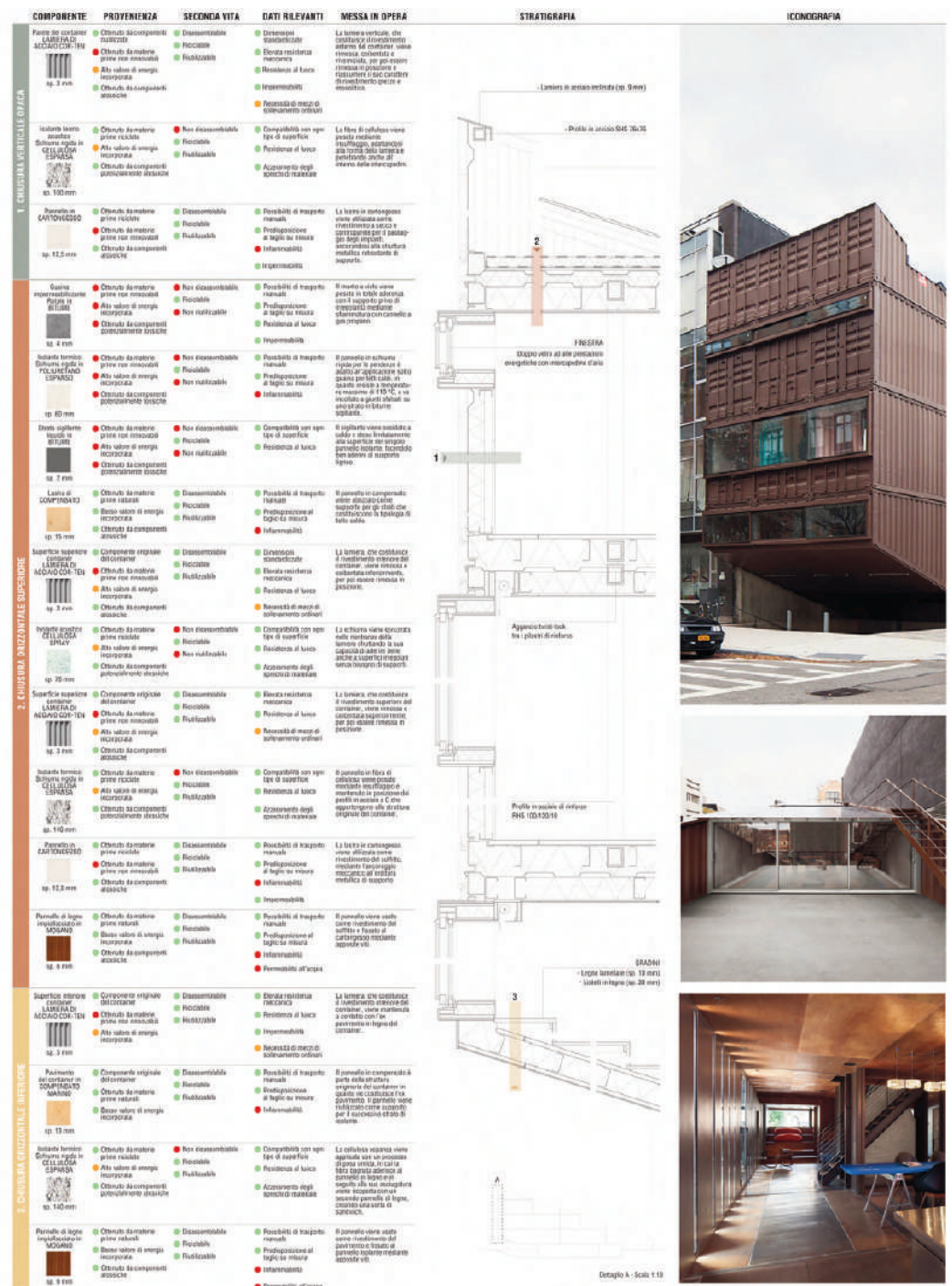
are the national GHG emissions³ between 5 and 12% (European Commission, 2020a) and the impressive energy quantity (difficult to measure) necessary for the disposal of materials and components, today mainly disposed of in landfills (Crawford, Mathur and Gerritsen, 2017).

Even the housing situation is in a serious emergency, on the one hand, because the exponential increase in the population is matched by a proportional increase in the difficulty of finding adequate accommodation and services at affordable prices. On the other, because the uncontrolled mass migratory flows towards bigger cities have triggered a growth in urbanization often without adequate planning. The increase of the housing demand in big cities (together with the aforementioned estimate of ten billion humans on the planet by 2050) affects all income brackets and seems far from coming to a stop. We should not overlook the effects of globaliza-

tion on mobility for some categories of workers (for example freelancers) or for students who need temporary accommodation and the emerging model of remote working that requires flexibility of spaces and adaptability of functions.

These critical issues overlap with other issues that amplify the effects of the global economic crisis. The latter carries social emergency, unemployment and precariousness – just to name a few – a financial development centred on inequality, a growing gap between income and housing market prices, diversification of housing demand (such as the houses required by an ageing population), an increase in mass migration flows and numerous natural disasters.

The Homelessness World Cup Foundation (HWCF, 2019) highlights a diverse emergency housing condition, concerning the geographical contexts under consideration, but substantially alarming. In Hong Kong alone, for example, about



200,000 citizens live in the so-called 'coffin homes' (housing units the size of a wardrobe; Fig. 3). In Europe, the situation of some Countries is also critical: in Austria, 70% of homeless people are in Vienna, Greece has seen evictions increase by 70% since the beginning of the 2008 economic crisis, while in France the number of homeless people has increased by 50% in ten years.

The situation is far from being good even overseas. Since 2014, in Venezuela, a process of forced displacement has begun: 3.4 million people had to flee their homeland to take refuge in neighbouring countries: in Peru, in 2017, 700,000 people became homeless due to landslides and floods. These are some of the data showing a universally unstable overview, further worsened by the ongoing pandemic (Rogers and Power, 2020).

During the 2020 lockdowns there was a limited contraction of CO₂ emissions, but the Covid-19 pandemic has increased the environmental crisis and vulnerability conditions of the new millennium also affecting economic and social policies, individual and collective relationships and expectations, accessibility to goods and services, well-being, health and safety of individuals, and increased inequalities. In the complexity of this new condition, the interdependencies and interactions between the various crises become risk multiplying factors, determining what Edgar Morin (2020) has recently called 'polycrisis' (environmental, health, economic, social, etc.).

In this emergency context, with global and structural characteristics, the paper proposes to implement new practices based on a systemic vision that simultaneously uses multiple sustainable and circular design philosophies and with a more aware and adequate approach to the ecological transition that we are implementing, and which, by combining traditional and innovative techniques and technologies, allow eliminating scraps and waste in the building industry. In particular – after having dealt with the potential of off-site in reducing environmental direct and indirect impacts compared to an equivalent conventional building – the article reports the results of recent research on the upcycling of discarded sea containers. By examining the strengths and problems of the experimental projects examined, the research shows how it is possible to enhance an industrial end-of-life product – therefore considered a waste – by re-inserting it into a 'circular' economy with a different use than its original purpose, through non-destructive recycling and, at the same time, improving its value, quality and performance.

Thoughts, policies, strategies and approaches to overcome the environmental crisis | To implement possible thoughts on complex human processes and mitigate environmental effects that characterize our era, it seems appropriate to outline the reference framework by retracing the steps that have marked not only the evolution of the 'ecological' thought but also the current policies, the strategies and approaches theorized to face the polycrisis ahead. The awareness that uncontrolled human activity generates irreversible consequences for the environmental impact on our planet is not recent but can be dated to the beginning of the second half of the last century. Among the pioneers that have promoted aware-

ness on environmental issues were Rachel Carson (1962) who was the first one to question the legitimacy for man to claim control over nature and at the same time denounced the risks for man and nature to indiscriminate using polluting and lethal chemicals in agriculture, Barnett and Morse (1963) who theorized the first principles of environmental economy, and Victor Papanek (1971) who appealed to a design characterized by inclusion, social justice and sustainability, rejecting all forms of consumerism and laying the foundations for sensitive and responsible design in a world lacking resources and energy.

After these contributions, The Limits of Growth report followed (Meadows et alii, 1972; Meadows, Meadows and Randers, 2004). It highlighted the unsustainability of a growth model based on the reckless use of resources and environmental pollution and the first United Nations Conference on the Human Environment in Stockholm – when the United Nations Environment Program was established – forerunners that inspired the well-known Our Common Future report (also known as the Brundtland Report) in which the first definition of 'sustainable development' was created: «[...] Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs» (WCED, 1987, p. 15). This definition was quoted multiple times and was integrated with new and specific variations from numerous institutional documents of strategic aim that came in succession up to the present day at an increasingly fast pace, starting with Agenda 21 (UN, 1992). It was a complex Program, (a sort of manual) originating from the Rio Conference which identifies the actions to be taken at a global and local level in each area affected by climatic-environmental and socio-economic emergencies and specifies the means of implementation of the program (scientific, financial and legal, training, information, international cooperation).

At the beginning of the new millennium, new indications were developed, aiming to fill some gaps of the previous guidelines and the European Union took on a leading role with the Climate and Energy 20-20-20 Package (European Commission, 2009). It promoted new initiatives in different sectors to reach ambitious environmental goals aimed at a 'preferable future' scenario. Some of the worth-mentioning documents having had the greatest impact on current government policies are The Future We Want (UN, 2012) with new Sustainable Development Goals and the 2030 Agenda for Sustainable Development (signed in 2015 by 193 UN member states), an Action Program for humanity and the planet with 17 Goals and 169 targets «[...] integrated and indivisible and balance the three dimensions of sustainable development: the economic, social and environmental» (UN – General Assembly, 2015, p. 1). This important document shows that the shift towards sustainability takes place not only through actions on buildings but also through values that place man at the centre of the process. In the same year, the European Union adopted the Action Plan called Closing the Loop, a package of measures aimed at guiding the transition towards a circular economy through competitiveness and growth of a sustainable econo-

my focused on reuse and recycling of materials, seeing waste as a 'resource' (European Commission, 2015).

At the same time, new economic approaches and theories were formed, such as Biomimicry (Benyus, 1997), Cradle to Cradle (McDonough and Braungart, 2002), Economics of Happiness (Kahneman, 2007), Blue Economy (Pauli, 2009), Circular Economy (Ellen MacArthur Foundation, 2010), Sharing Economy (Botsman and Rogers, 2010), Qualitative Growth (Capra and Henderson, 2013) and Serene De-growth (Latouche, 2015; Raworth, 2017), focused on sobriety, on the idea of limits and on the '8 R' (Re-evaluate, Reconceptualize, Restructure, Redistribute, Relocate, Reduce, Reuse, Recycle) as possible responses to the planet's emergencies, but also on the six areas of the ReSOLVE action (REgenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise e Exchange; Ellen MacArthur Foundation 2015a) for companies and Countries aiming to shift towards a circular economy, with the aim of sustainable development and of safeguarding future generations (European Commission, 2018). Therefore, the circular economy is a new model rethinking an economic development completely separated from the use of non-renewable limited resources (Ellen MacArthur Foundation, 2015b), as it was suggested first by Walter R. Stahel (1976) – who outlined the characteristics of a 'loop' economy with greater benefits on work, economic development, resource-saving and waste control – then by Frosch and Gallopoulos (1989) – who promoted a 'biologic ecosystem' where the waste of industrial processes become raw materials for other projects/objects – and finally, by McDonough and Braungart (1998, 2002, 2013): according to them, the design should be based on two looping cycles, a technical and a biological one, where resources are kept for as long as possible with minimal loss of quality and waste.

Concerning the environmental subject, the whole world takes the European Union as a model for its many programs, activities, actions and funds promoted and implemented over the last twenty years. The European Green Deal (European Commission, 2019), presented as 'innovative, transformative and revolutionary' (Ossewaarde and Ossewaarde-Lowtoo, 2020) proposed a 'new growth strategy' to build a 'modern economy, efficient in resource management and competitive'. It envisages not only the reduction of CO₂ emissions but also an increase in living standards and new opportunities for work linked to new production, consumption, social and built organization models, all through specific strategies and funds that promote a 'fair transition' even for the most vulnerable citizens. The first pillars of the European Green Deal are the Renovation Wave (European Commission, 2020a) – aimed at stimulating the renovation of the buildings towards climate neutrality and recovery – the Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020b) and the NextGenerationEU, a financial tool that provides about 750 billion euros for the implementation of the ecological and digital transformation of the Member States.

However, up to date, the global efforts were mostly focused on the reduction of CO₂ emissions, through greater energy efficiency and the

use of energy from renewable sources. Resource efficiency and circular growth were the basis of the development program fostered by the New Climate Economy (NCE, 2018) and the World Resources Institute (WRI, 2020): according to them, the 'growth' can be 'separated' from its negative impacts on the environment. However, when sustainability is the aim, a circular economy with 'closed' recycling circuits is prevalent and ignores the indications of experts and researchers saying that to achieve the ambitious objectives set by Paris it is essential to reduce the quantity/volume of non-renewable natural resources used, but above all of the derived waste (Hickel, 2019; EEB, 2020). The European Environment Agency (EEA, 2021) has recently affirmed that the hoped 'separation' is not happening and might never be implemented, supporting this idea with data showing Europe as one of the first areas in the world for consumption and 'stress' on the environment and where the circular economy fuels a growth strategy aimed at the consumption of resources: in 2019, only 12% of materials were recycled in the European Union, while in the rest of the world circularity is decreasing (Circle Economy, 2021).

In a recent contribution, David Ness (2021, p. 28) underlined how the European Union has recently recognised «[...] that conventional approaches are insufficient to make the major shifts required, [and that a considerable reduction] of environmental pressures and impacts would require fundamental transformations to a different type of economy and society». To resume the 'green pact' the European Commission (2021) has launched the New European Bauhaus with a call for projects⁴ for the built and natural heritage meant for designers, architects, artisans, engineers, scientists and creatives who have submitted projects capable of describing the three key dimensions of one of the main programs of the next seven years in Europe: sustainability, aesthetics and inclusion. The second stage of the program, which will end by 2023, will create pilot projects. In the last stage, which will end by 2024, the results will be disseminated to the widest possible audience in Europe and around the world.

David Ness (2021, p. 29) wonders if our society is ready to face this stage of ecological transition to «[...] develop and grow in quality (e.g. purpose, solidarity, empathy), rather than in quantity (e.g. material standards of living), in a more equitable way [and if it could help] the 'raison d'être' for the New Bauhaus and its driving ambition». Christian Bason et alii (2020) have a positive opinion on it, interpreting the New European Bauhaus as an innovative medium for a wide range of interconnected objectives. Each one needs to be bold, inspiring in the social, cultural and political areas, to build shared identities by transforming an avant-garde into a 'new wave' of systemic change for the necessary ecological and digital transitions. According to Mario Losasso and Simona Verde (2020), the current policies to fight against the environmental condition of polycrisis of our planet need urgent local actions in the near future, starting from the projects with a Green City Approach (OECD, 2016) to urban and environmental redevelopment and regeneration, added in a global strategy capable, on the one hand, to tackle socio-economic issues without hesitation, and on the other, to work with multiple actions to

create positive future scenarios and make the built environment more sustainable (in terms of impact), more resilient and less exposed to environmental risks, transforming a crisis into an opportunity.

If the European Union calls upon the creativity of technicians and scientists and the interdisciplinary nature of knowledge, it is useful to recall that there are already design approaches and methods that allow measuring the sustainability of the work and the well-being of the users with qualitative and quantitative markers. In addition to environmental certifications, Life Cycle Assessment, Extended Life Cycle Costing, Environmental Product Declaration, etc. one of the reference approaches is Zero Waste: it is based on the growing quantity of waste produced by the dangerous combination of extensive exploitation of natural resources and inefficient use of materials in the end-of-life stage (Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017; Baratta, 2021). Over the last twenty years, after launching more ecological products with the Integrated Product Policy (European Commission, 2001) and a more virtuous building process with the Life-Cycle Thinking (European Commission, 2003), the European Commission has adopted a series of provisions useful for promoting the recovery, treatment and reuse of products (European Commission, 2008, 2016); it introduced the Extended Producer Responsibility: the producer is asked to take on the responsibility and management of the life cycle stage when the products become waste. Some 'virtuous' European Countries have implemented regulations⁵, mechanisms and processes allowing a fair percentage of reuse or recycling of waste (Germany, 56%; Austria, 54%; South Korea, 54%, Wales, 52%; European Environmental Bureau and Eunomia, 2019) while many other Countries are under the threshold of 30% (Portugal, 29%; Greece, 21%; Cyprus, 15%; Romania, 11%; Statista, 2021); however, these percentages are too low to reach the Paris goals. This leads us to believe that it is necessary making a more ambitious strategic approach, the Zero Waste, transforming waste from a problem to a resource, eliminating it from the production process, systematically and in advance, without delegating to the end-of-life stage to solve all the problems.

A possible 'multi approach' strategy for the building industry | In the building industry, in order to enhance the material resources and ensure their use efficiency by reducing consumption and waste, a 'consolidated' approach can be the Life Cycle Design: it considers the whole life cycle of systems, materials and components, enhancing the requirements of 'adaptable reuse', durability, deconstruction and upcycling to reintegrate them into production processes (Gruppo di Lavoro Economia Circolare di GBC Italia, 2020). In particular, Design for Longevity is characterized by the durability of the materials and components, high building standards, possibility to improve, update, repurpose, and reuse (with the upcycling), reduce the costs and ease of maintenance; these requirements extend the service life of a building and decrease the production of waste in the short and medium-term (Wang, Li and Tam, 2015, ARUP, 2016).

In comparison, Zero Waste is a more 'extreme' approach that eliminates waste from the whole

production cycle and can significantly reduce the stress on the environment by introducing a new paradigm that involves all production sectors (even if apparently not very similar) in terms of 'permeability' so that the material balance flows are net-zero, or so that the waste and by-products of a sector can be fully reused in others. Another approach is the upcycling, a recent 'ecological' paradigm, concerning the many 'circular' paths viable to date, useful to improve (or maintain) values, quality and performance of a component, through non-destructive recycling and without returning the component to the raw material (Worrell and Reuter, 2014).

The Open Building is also of special strategic interest, a 'circular' variation of a design taking into account any need for changes or adaptations during the life cycle of a building, concerning the current social, functional and technological changes. The promoter of the 'open building' concept is John N. Habraken (1972), followed by other scholars and researchers that established theories and design methods to make architecture flexible, adaptable, modular, expandable. One of the most important was Brand (1994), with his *Shearing Layers of Change*: within the building system, the eclectic American identified the main structure and secondary elements that he classified as 'slower layers' and 'faster layers' in the process of obsolescence; moreover, he argued that users must receive homes that can easily adapt to changing uses and functions with affordable components and materials and that to increase the life of a building, the change of the 'faster' layers must not be hindered by the 'slower' ones. This creates the basis for flexible, dynamic, differentiated, inter-scalar building solutions, focused on the separability of components that have different life cycles.

Part of the Open Building is Design for Disassembly (DfD) that uses mostly dry building systems and off-site construction and allows separating and disassembling, without resorting to demolition, the technical elements, components and materials that make up the artefact in each stage of its life cycle (Cruz Rios, Chong and Grau, 2015; Akinade et alii, 2017). In the Maintenance Plan (technical report of detailed design) specific graphics can explain the methods of disassembly (Baiani and Altamura, 2021): as a result, the sub-systems used, including the services, will always be easily accessible, replaceable and adaptable to the new regulations or needs of use, while the functional layers of the different components will be easily separable thanks to fastenings and connection systems for which it will be established the necessary level of dimensional tolerance. The aim is always to reuse and recycle the building materials, elements and components that maintain the initial characteristics and performances also in different layouts; therefore, the use of new natural resources is limited and the embodied energy and the formal integrity of what is already produced are enhanced.

Building Design is a design approach aimed at reversibility and flexibility of spaces. For it, Durmisevic (2018; Fig. 4) highlighted the three dimensions that define the transformability nature and allowed to get new opportunities for a wide range of new qualitative proposals for buildings and their systems, products and materials: 1) the

building spatial flexibility; 2) the technical flexibility of the systems and the product; 3) the material flexibility that can change the nature of a building from linear to circular. The interfaces establish the freedom level between the components, by designing the product profile and the specification of the type of 'connection'. Exemplified by Peter Rice (1994) as the 'essence of detail', the 'joint', or 'connections' has fueled the debate of Modern and Contemporary Architecture (De Giovanni and Sposito, 2019) and today is again under the spotlight, since from a technical point of view, it influences both its thermal resistance and the disassembly potential of the artefacts. In this context, the Reversible Building Design prefers 'dry connections' and an assembly logic according to which the elements with a long-life cycle and made of long-lasting materials are assembled first and disassembled last (Durmisevic, 2019).

The approaches mentioned so far can be un-

derstood as the result of an 'ecological cultural process' started fifty years ago, when the 1970s energy crisis exposed the fragility of a development model based on 'infinite growth' and 'ecological' thinking started to emerge, by questioning not only the scientific and economic principles consolidated in the previous two centuries but also the man-environment dialectic and the concept of anthropocentrism. From the 1987 Brundtland Report, the building industry has started to think about different subjects, and to process the subjects of the theoretical debate on the sustainable building to overcome the oxymoron 'sustainable development' and the energy dependence on fossil sources, gradually aiming at an economic model based on degrowth, circularity and urban ecology. Over time, the ecologic transition has enriched the 'green' concept with the principles of social inclusion and universality, while a new systemic vision was being consolidated. It con-

siders the buildings as part of a harmonic ecosystem where artificial must connect to nature, and man to the environment, in a 'dynamic' logic ruled by the principle of mutual adaptivity (Scalisi, 2020).

In theory, the 'ecological vision' now seems ready to face the great climate crisis and allows us to hope for a better future, thanks also to the potential coming from the current digital transition and its enabling technologies, but, in practice, we have to consider two problems: the first one is the high and intolerable impact of man on the environment, and in which the building sector has a large share of responsibility since it is among the few industries chronically late in updating their processes and products; the second one is the not fully expressed potential of (human and financial) policies and resources available, resulting in mainly sporadic actions, as in the case of the Queen Elizabeth Olympic Park in London (Jiménez-Rivero and García-Navarro, 2017; Sposito and Scalisi, 2020), or having a too slow pace. We should remind those affirming that the ecological transition has a high cost and that requires huge financial resources that could be used in other sectors, how much it would cost humanity and the planet not to do it: climate change is an important passive voice in the budgets of every nation and 'mostly for the new generations; for them, the future is not a hypothetical variable, but a concrete dimension of existence mostly in progress and that we need to protect' (Santolini, 2021).

The 'green' potential of 'off-site' buildings
The goals of the Renovation Wave for Europe – to double renovation projects on the existing heritage for energy efficiency, by recovering and reusing materials, in the next ten years – include the implicit purpose of safeguarding soil consumption by aiming at circular and zero-waste approaches (TRL and WRAP, 2010). However, it is not always possible to provide a 'new life' to existing buildings regardless of the functional program, just as it is unthinkable that the impact on the environment of the building industry can be solved by avoiding creating new buildings. In this case, the combination of different design approaches, Zero Waste, Life Cycle Design, Design for Longevity, Open Building, Design for Disassembly and Reversible Building Design, is a solution that can answer the three mandatory requirements of sustainability (environmental, social and economic) by minimizing CO₂ emissions and ensuring quality accommodation at affordable prices.

Some of the most suitable building systems for using all the aforementioned approaches in the building process are certainly dry ones, based on off-site building components and elements. The first wave of off-site projects in the second half of the 1990s was characterized by a large number of dwellings made up of big buildings that have caused the standardization of the architectural language, a lack of integration with local living cultures and effects that, over the years, have determined a social, urban and technological emergency. The second wave of the new millen-

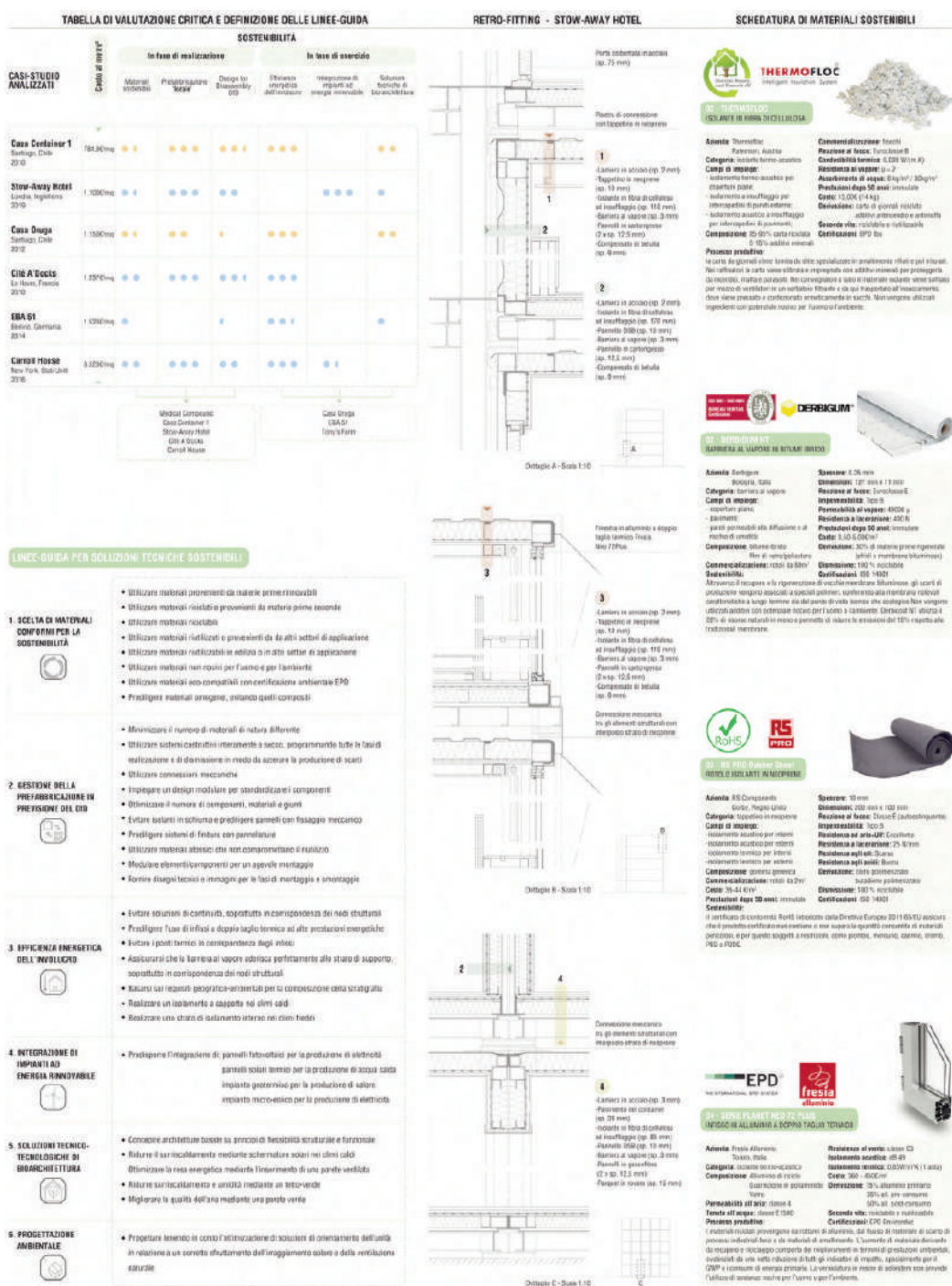


Fig. 18 | Synoptic overview with the evaluation of the six projects presented in the paper; a proposal for retrofitting the Stow-Away Hotel envelope (credit: research group, 2020).

nia (internationally called 'off-site') not only can express a previously unthinkable varied architectural language but uses digital technologies and sustainable and efficient materials / elements / components, which fully meet current quality standards and do not betray the expectations of users who now appreciate an 'ecological living culture'. Highly industrialized countries with a well-established tradition of the off-site building – such as the United States, Japan, Holland, Germany, Sweden and the United Kingdom – by refusing the logic of 'one-size-fits-all' show that today is possible to produce a new generation of houses at an affordable price, temporary or permanent, and in short times while offering a wide range of high-quality solutions for different contexts and needs. The off-site home was conceived as an industrial 'customized' product (Smith and Quale, 2017) thanks to digital innovation that has made it possible, in the design and production processes, quality standards and more rigorous controls to significantly reduce errors and flaws.

For accessibility, an example worth mentioning is the Y-Cube (Fig. 5), designed in 2015 by Rogers Stirk Harbour + Partners on behalf of YMCA London South West in Mitcham (UK) to solve the housing crisis in London. Y-Cube is a 'volumetric modular' system, whose installation took place equally with horizontal or vertical assembly. The modules can be relocated with the same ease and speed as their installation. Each unit was made and assembled in the factory with high quality, ecological materials (the structure, for example, is made of wood from sustainable forests) and energy-efficient materials (the module is well insulated to reduce operating costs both in summer and in winter). The clusters provide aggregations from 24 to 40 units: the modules of 26 square meters have 'plug and play' technological services, therefore, they are already integrated and ready to be connected with external networks. The cost of construction, thanks to off-site and pre-assembly, is quite affordable and provides both the developer and the tenant with benefits: the former can return on their initial investment within 10 years, the latter can save about 35% in the London market rent. Although the limit of the system is its rigid layout, the juxtaposition of the blocks allows creating interstitial spaces (for example courtyards and yards) that favour neighbourly relations and conviviality between the residents.

Another strength of off-site buildings is the remarkable reduction of CO₂ emissions and the energy costs during operation, as well as production scraps and waste. A recent research carried out by two Chinese scholars (Sandanayake and Zhang, 2019) has compared two artefacts in Chengdu (located in southwest China) to investigate the direct and indirect impacts of an 'off-site' building compared to a conventional building. The results of the study carried out with an LCA analysis and examining the emissions embodied in the materials and the emissions due to transport and the creation of the artefact, show how in China an 'off-site' building can reach a saving in greenhouse gas emissions of 41.05 kg-CO₂-eq/m² with a reduction of 8.40% compared to conventional construction, a percentage that can account for 11.35% in case of an optimized production process. Moreover, the study highlights that the availability of local materials and

transport are crucial in defining environmental sustainability as both can reduce greenhouse gas emissions by an additional 16-20% if sustainable materials are used and the distance between the factory and the site of construction is less than 112 Km. Although the results of the study need to be referred to the Chinese production context, known to be not so sensitive to environmental issues, the values testify that 'off-site' construction can significantly increase the sustainability of the buildings.

Upcycling discarded shipping containers

Many discarded artefacts can have a 'new life' by being reintroduced in the economy with different functions, increasing in value, quality, and performance through a 'non-disruptive' recycling. One category of these artefacts is sea shipping containers. Although it is not possible to accurately date the first reuse of the containers in the building industry, we can imagine that their new housing function was a spontaneous response to their constant accumulation in warehouses around the world. They represented a great opportunity to experiment with alternative building systems, far from being temporary, and capable of contributing to solving the aforementioned crises. What are the reasons and conditions for their disuse?

A generic container is designed to guarantee a nominal life of over 30 years, according to its use, location, and maintenance; however, the average service life worldwide is about 20 years (Hosney Radwan, 2015). After the container has reached its destination, it should be emptied and returned to the place of departure but the 'return' stage often is more expensive than shipping them with a 'load' because the container has not got new goods to transport (Elrayies, 2017). Over the years, this condition caused the problematic accumulation phenomenon in the ports (Cabrera Vergara, 2016). Consultantsea Ltd. estimated that in 2016 – together with 23 million units in service and 6 million newly produced – the quantity of unused containers has reached 14 million (Hoffmann, Stahlbock and VoB, 2020); they are mostly accumulated in Countries with an economy based on importation. This polarization worsened during the pandemic emergency when big exporters, such as China, stopped exporting or when large quantities of fully loaded containers arrived at their destination but were no longer shipped due to pandemic restrictions (Costas, 2021). Logistics and operating costs determine a 'linear' life cycle for containers, in which the final phase is a problem both from an economic and environmental point of view.

Shipping containers are parallelepipeds made of Corten steel whose construction and sizes are established by the ISO 668:2020, ISO 1161:2016 and ISO 14963:2003 standards. The modules more suited to be used in the building industry are High Cubes, 244 cm wide, 1220 cm long and 290 cm tall. The shipping container structure has a casing made of steel profiles, vertical and horizontal panels in corrugated steel sheets (2 mm thick), a marine plywood floor (28 mm thick), and mechanically fastened on a grid of steel crossbeams, and has swinging doors. Next to the joints of the container, there are standard corner fittings, hollow cubes, that allow vertical and horizontal assembling of the modules and to anchor them to the

ground through the use of specific elements also made of steel.

The thesis affirming that containers can be reused for construction within a circular economy with considerable environmental benefits is supported by various studies and researches. According to Vijayalaxmi (2010), the disposal of a single 40 feet tall container needs about 8,000 kWh of energy to melt the steel used, while for its reuse it could be used only 5% of that energy. Moreover, the reuse of steel, in terms of environmental benefits, saves about 1,130 kg of iron ore, 450 kg of coal and 55 kg of limestone. Another recent research project (Giorgi, Lavagna and Ginelli, 2021), funded by the SmartLiving competition of the Lombardy Region, involved BFC Sistemi, Whiteam, the Polytechnic University of Milan, UNI and 20 national and international companies, has used the Life Cycle Assessment method (aligning to some studies already in the literature for the methodological approach) to the prototype cHOMgenius to evaluate the impacts deriving from the reuse of containers in five different scenarios: 1) new containers and 100% recycled steel; 2) reused containers and 59% recycled steel; 3) new containers and 59% recycled steel; 4) reused containers and virgin steel; 5) new containers and virgin steel. Moreover, it was carried out a comparative LCA evaluation between the design solutions and the solutions with conventional technologies for the technological subsystems of the lower horizontal cladding, and the opaque vertical cladding, defining 'from cradle to site' as the boundary of the system and guessing net-zero end-of-life impacts since the evaluated prototype can be fully disassembled and all the components and reusable or recyclable materials are not sent to landfills.

The study shows that reusing a container in 100% recycled steel can reduce CO₂ emissions by 51%, as opposed to using new containers and virgin steel, whose load-bearing structure accounts for 54% of embodied carbon and 41% of embodied energy, while the cHOMgenius prototype accounts only 7% for both impacts. The evaluations on the dry technological subsystems (entirely reversible) of the prototype compared with conventional wet solutions also provide interesting data.

The proposed vertical cladding system (consisting of the vertical resistant layer of the container, cellular glass insulation and the mixed laminated cladding system, fibre cement and aluminium cladding system with an aluminium substructure) avoids 35% of CO₂ emissions, but only 1.3% of energy consumption due to the high embodied energy of the insulation and the substructure, counterbalanced by a longer service life and a significantly reduced maintenance of the materials. The upper horizontal cladding system of the prototype (consisting of the upper part of the container and the insulation and waterproofing layers, once again laid dry) compared to the equivalent conventional solution (16+4 concrete and masonry flooring system, reinforced concrete seam, 20 cm insulation layer in XPS, sloping screed and internal plaster finish) guarantees an 87% reduction of CO₂ emissions and a 68% reduction of embodied energy, similar values are found in the lower horizontal cladding system.

Although these data seem sufficient to justify

the reuse of a shipping container at its end-of-life stage in home buildings, currently its use has been rather sporadic, mainly held back by cultural (because associated with temporality), aesthetic and 'compositional' prejudices. Enlightened designers and clients have been able to enhance, with reuse projects, the strengths of the container: durable materials, certain construction times with a reduction ranging from 40% to 60% compared to traditional systems (Elmokadem et alii, 2019), ease of transport, aggregative modularity and flexibility, low construction costs.

Research and methodological approach | In this critical and complex environmental and cultural contexts, characterized by different policies, strategies and approaches all aimed at the sustainability of the building industry, a group of researchers⁶, including the authors of this paper, has carried out a self-funded research in 2020-21 called *Riuso dei Container nell'Edilizia Residenziale – Buone Pratiche Sostenibili e Criticità*. The research was aimed at providing guidelines and building solutions (in particular the compliant techniques of the joints) flexible, sustainable and accessible through the reuse/upcycling of discarded containers as housing modules. The study dealt with twenty works already created and presented by the authors as 'sustainable' on specialized magazines (Arkétipo, Detail, ARQ Portfolio, Divisare, L'Industria delle Costruzioni, Architecture Australia, Arquitectura Viva, SteelDoc, DBZ, Materia, etc.) from 2010-2021 (Tab. 1). The case studies were selected because they are veritable works of contemporary architecture (and are not the result of an industrial assembly production) but also because they have been considered relevant compared to settlement/typological aspects and the technical solutions used in their climatic context.

Not having energy certificates or environmental certifications attesting the level of efficiency and environmental sustainability of the projects in question, the study was based on the identification of the qualities and problems of the building envelopes, on the analysis of their components and their installation systems by analysing the published material (maps, sections, construction details, photographs and construction costs), while in some cases additional documentation provided by the designers was also used.

Therefore, on the one hand, we selected projects with different compositional solutions and with high levels of flexibility and complexity of the structure, in order to highlight the various architectural-expressive possibilities that can be created with the container. On the other hand, we grouped them by geographical/climatic zones, taking into account the living comfort requirements that the container must satisfy. Therefore, model files have been produced. The data of the project and the criteria and parameters identified to determine and measure its quality and overall sustainability are reported on them.

The evaluation criteria taken into consideration, which were given the same 'weight' and a score from 1 to 3, concern: the project (architectural quality, compactness and permeability of volumes, flexibility of composition and functional program); foreseeing the duration of the functional program; construction cost per square meter

of built surface area; distance between off-site and the location of the container; structural system (use of the container structure, presence of auxiliary supports or external structure); dry building solutions and capacity of materials disassembly, elements and components (without losing material and performance) for subsequent reuse; energy efficiency of the envelope (correct positioning of the insulation, natural ventilation gaps and absence of thermal bridges); integration of renewable energy systems; natural, ecological, local, recycled or recyclable building materials, elements or components; bio-architecture in terms of soil consumption and interaction with the local ecosystem for exposure and natural light/ventilation.

The analysis of the strengths and problems of each case study allowed drafting a synoptic framework accompanied by the most symbolic images (maps, sections, perspective drawings, axonometries) for the project examined, while the replication of the building joints to the detailed scale (scale 1:10) provided the support to draft a chart of the materials, elements and components of the envelope, evaluated based on their 'green' characteristics and tendency to recycle, reuse and ease of disassembly, but also based on any critical issues in terms of energy efficiency.

Case studies | For the sake of brevity, of the twenty case studies examined we will mention the six that are emblematic of the most common values and problems in the cases analysed concerning the aforementioned evaluation parameters and the geographic areas with hot and cold climates. The first case study is the Container House 1 (Figg. 6, 7) in Santiago in Chile, a single-family house designed in 2010 by the architect Sebastián Irrarázaval. The project used four containers and spreads horizontally on two parallel levels, one in corten steel and the other in pinewood, distant but connected by a central body in steel, multipurpose, divided by a single sliding wall that separates the night area in the south-east and the living area in the north-west. The rooms are lit by large glass windows placed at the ends of the units and protected from solar radiation thanks to their position, set back from the external plan of the containers. The containers are anchored with metal plates to the foundations, which consist of discarded concrete road barriers that ensure a minimum impact on the soil and allow the ventilation of the foundations. To tackle the overheating of the housing unit during the warmer months both windows and doors have been installed with upper and lower openings that exploit the cross-ventilation and an envelope with a ventilated wall, being welded to a substructure of vertical pillars and external insulation. For the sustainability of the intervention, two issues were found: the polyurethane foam for the insulation is not an ecological material, it compromises the disassembly and reuse of different elements of the envelope and the presence of thermal bridges on the lower slab.

The Oruga House (Figg. 8, 9), the second case study, is also in Santiago in Chile. It is a single-family house designed in 2011 by the architect Sebastián Irrarázaval. The twelve containers were placed transversely to the contour lines in a pattern of parallel levels suitably spaced to allow the air flows to naturally cool the volumes by using

cross ventilation. The volumes are mostly illuminated by big windows in the corner containers, set back from the external plan that shields from solar radiation. Regarding the thermal efficiency of the envelope, the presence of ventilated wall and roof, made with a metal substructure, represents a perfect solution for the climatic context. Several critical issues were found: the modules are supported by a retaining steel structure that negatively affects the sustainability of the project, increasing the amount of embodied energy in the system. The same problem can be found in the basement due to the presence of a reinforced concrete structure that does not fit into the logic of upcycling. The use of polyurethane foam to external insulation guarantees perfect adhesion to surfaces but does not guarantee the disassembly and reuse of some components. The architecture system has monolithic characteristics which leave no room for reconfiguration because some materials used and the absence of mechanical joints between the modules affect their flexibility. The structural joints highlight the presence of thermal bridges on the lower slab.

The third case study is the Stow-Away Hotel (Figg. 10, 11) in London, an apart-hotel designed in 2019 by Doone Silver Kerr Architects. The project envisaged the use of twenty-five containers, linked horizontally and vertically via specially designed plug-in connections. Each container works as an independent structure, therefore, according to future needs, it could be unbolted and moved to another location, like the vertical load distribution system made with a frame of bolted steel beams and pillars. The main western façade is characterized by the presence of steel overhangs with the function of shielding the sun's rays and window frames with an opaque lower part to ensure the privacy of guests. The energy efficiency is guaranteed by photovoltaic modules on the roofing and by heat exchangers and enthalpy recuperators. Also, in this case study, there is little attention to the disassembly of the components (due to the use of polyurethane spray to acoustically insulate the rooms from the nearby railways), and the presence of thermal bridges on the façade determined by visible joints.

The fourth case study is the EBA51 (Figg. 12, 13), a student housing complex in Berlin, designed in 2013 by Holzer Kobler Arkitekturen. Concerning its layout, the twenty containers used were set as two blocks, one including the three upper floors with an orthogonal axis protruding from the ground floor. The designers have focused more on the sustainability of the building in the use stage than in the creation stage. On the one hand, by eliminating the thermal bridges at the joints by placing the insulating layer inside the housing units (suitable for the geographical location of the project), on the other, by providing large windows to facilitate the lighting and heat, and an extensive green roof to reduce heat loss. Two main problems were detected: the particular aggregation of the blocks required auxiliary steel supports on the overhangs and openings, jeopardizing a possible reconfiguration of the system. Some of the components chosen, such as cast in place screeds, do not comply with the principles of environmental sustainability and circular economy.

The Cité a-Docks in Le Havre (Figg. 14, 15), France, is a student accommodation, designed

in 2010 by Atelier Cattani Architetti, originating from the will to requalify the port of the city, by integrating into it one hundred containers with a new residential intended use. However, instead of simply stacking them, an image of lightness and permeability was preferred and was achieved by using a steel superstructure on which the containers were fastened and which created new spaces for social relations thanks to hallways, terraces and balconies. The containers were placed on a new structural grid with different overhangs that give dynamism to the configuration of the system and optimized the energy performance of the modules thanks to the recesses and the ventilation ducts created. Although the new steel backbone contributed to improving the carbon footprint and the embodied energy of the system, the latter gained high flexibility in breaking down and re-aggregate individual housing units over time.

The last case study is the Carroll House (Fig. 16, 17), a single-family house made in 2016 by LOT-EK Architecture and Design in Brooklyn, New York, corner lot with two sides on the road. The designers have defined the building by answering the privacy need of the owners, without giving up on natural lighting and outdoor spaces, creating a terraced building, hiding a series of cascade platforms located at the back of the building. The energy demand of the building was fulfilled by the integration of photovoltaic modules in some areas of the walls of the containers. However, this operation has caused the fractioning of part of the twenty-one container modules that, reassembled in other parts of the building, required auxiliary steel supports to ensure overall structural stability, compromising the reuse of the modules in new layouts.

Discussion on results and future developments | From the synoptic overview shown in Figure 18 – referring only to the six cases mentioned in this paper – it is possible to identify two different approaches used by designers: one group has focused on the improvement of the dry building system and/or on the use of environmentally friendly materials while others have focused on energy efficiency in the operation stage, using the interaction with the local ecosystem, in terms of exposure and natural light/ventilation and integrating systems to produce energy from renewable sources with an energy-efficient envelope. In particular, among the projects of the first group, there is the Cité A-Docks, designed and created following the DfD philosophy, with completely dry construction solutions and mechanical connections which do not compromise the future reuse of individual components; however, the ecological footprint did not get the same attention on all the materials used, as in the case of expanded polystyrene insulation panels, although recyclable, they have a high embodied energy. Among the projects of the second group, we want to highlight the Oruga House (warm climate) for its high energy efficiency with its ventilated insulation and envelope (roofs and walls) and the EBA51 (cold climate) in which insulation has been provided for the inner layer of the envelope. In both cases, highly energy-intensive materials were used, such as polyurethane spray, VIP vacuum insulating panels or cast in place screeds that limit the disassembly of the components.

Concerning the geographical/climatic location of the case studies and the efficiency of the technical solutions adopted, it can be deduced that the residential use of the container module is more convenient in cold climate countries, as the location of the insulating layer on the internal side of the envelope allows, on the one hand, an adequate response to the living comfort requirements, and on the other, to keep the original container walls without the need to integrate additional cladding elements. In addition, to create significant savings in construction, this choice also allows the reuse of all the components of the container. However, even if located in a context with warm weather (Chile), Container House 1 and Oruga House have gained a good energy efficiency thanks to a ventilated envelope and external insulation.

Concerning the relation sustainability/access, the building cost per square meter of each case study has shown that there is no proportional correspondence between the buildings with the highest building cost and their actual sustainability level. The Container House 1 – building cost of 784.90 €/m² – has a higher score than the Carroll House, whose cost was approximately 4.5 times more. From the analysis, it emerged also that it is not possible to establish a clear proportional connection between a specific sustainability strategy and its implementation cost, contrary to what one might expect, for example, in case studies with integrated renewable energy systems.

Concerning use flexibility (in the sense of ‘open building’ and applied with Design for Disassembly) it is noted that it does not emerge as a requirement identified by the designers in the design phase. An exception is the Stow-Away in London since it refuses the concept of obsolescence of the entire architectural structure (more than in terms of materials and components) by foreseeing future developments of the artefact to be countered with an easy decomposition and re-aggregation logic of the individual modules. Another exception is the Cité A-Docks, where the DfD approach can be found in the building subsystems (e.g. envelope cladding panels) and in a superstructure to which the container modules (with a free layout) are connected with mechanical joints.

In a nutshell, from the synoptic overview (Fig. 18) it emerged that, even if the projects were ‘good sustainable practices’, to the sustainability declared by the designers does not correspond an actual sustainability, since, compared to the criteria set by the study, none of the studied cases obtained the maximum score. Therefore, at the end of the analysis, the research group has suggested retrofitting the envelopes on the Stow-Away Hotel, useful to show how the designers could have solved the problems detected on environmental sustainability without compromising the aesthetic-formal aspect of the project. A later development of the research, that currently is also its limit, can concern the detailed studies on two of the case studies that proved to be more sustainable (Container House for warm climates and Cité A-Docks for cold climates) for the LCA of the materials used and the energy efficiency of the envelope, and also for the amount of sunshine and the action of the winds in their specific context.

Final considerations | Aiming at the ecological

transition to overcome the environmental crisis is today an unavoidable priority for which we cannot afford to wait. We have seen that it becomes a multiplier of crisis, undermining the expectations of future generations to whom we must leave a healthy planet and a harmonious ecosystem, in which the artificial must connect to nature, man to the environment, in a ‘dynamic’ logic of mutual adaptivity. In over half a century, we have reached this awareness, and today, we have at our disposal, on the one hand, adequate policies, strategies and financial resources, thanks also to the European Union which has been able to combine environmental ethics, development and social support. While, on the other, design approaches (Zero Waste, Life Cycle Design, Design for Longevity, Open Building, Design for Disassembly, Reversible Building Design) shared and discussed in the international scientific community, offer ample room for experimentation and operation in terms of sustainability of the buildings but on which research – not always with an important role – has often been carried out limited by disciplinary sectoriality.

The considerable funds from the European Union (NextGenerationEU) and the Italian Government (PNRR) on the ecological (and digital) innovation confirm the strategic role of research and the importance of experimentation and of the exchange of good practices in a ‘green’ economy based on the efficient use of non-renewable resources and on the eco-innovation of processes and products to reduce the CO₂ emissions and waste. This objective can be reached, in all the building fields, by overcoming the current limit represented by the lack of action coordinated by an ‘enlightened direction’ without a systemic vision and not based on a multi and interdisciplinary, ascalar and intersectoral methodological practice capable of simultaneously integrating knowledge, professionalism, disciplines and different production sectors (sometimes apparently not very similar) to rationalize and optimize, by combining traditional and innovative technologies. On the one hand, all the aspects that come into play in the transformative intervention and its process, project and product dimensions, and on the other, the material flows incoming and outgoing so that they are equivalent, or so that the waste and by-products of one sector can be fully reused in others.

We have presented some examples of ‘off-site’ residential architectures and others made by upcycling shipping containers, that show well how to enhance an industrial product that has reached its end-of-life stage and is considered a waste, by putting it back into a ‘circular’ economy with a different use from its original purpose. We have highlighted the strengths and problems of the case studies, but mostly the potential offered if the design approach aimed to fully eliminate waste in the production and creation of the work, to optimize its environmental sustainability and to reduce its embodied energy, to get fully durable materials; these aims should not limit the linguistic and compositional variability of the project, its flexibility of use, accessibility for the lower-income classes and the disassembly and reassembly of the building. These potentialities should be implemented from the earliest stages of design and creation of the work, which accounts for 80% of

the product's environmental impact according to the VII General Union Environment Action Programme entitled Living Well, within the Limits of Our Planet (European Parliament and the Council of European Union, 2013).

Already in the first design and creation phases of the architectonic work and of any product it is important to envisage a supervisor that coordinates the different pieces of knowledge. To this purpose, Building Technology can give a first important contribution from a methodological point of view in structuring production and construction processes in making available its consolidated experience in the field of foreseeing evaluations before and after the impacts in a systemic logic on the one hand, through a wide range of computerized tools⁷, databases, indicators and indices already available that allow assessing the environmental, social and economic problems of sustainability (Mussinelli and Tartaglia, 2016), and on the other, making full use of the new enabling technologies and machine learning algorithms that allow, for example, to estimate the amount of construction and demolition waste already in the design phase.

Moreover, it is worth mentioning an experimental research by André Nagalli (2021) that has highlighted how an artificial neural network with algorithms based on Bayesian regularization, using only two training cycles, can obtain excellent results in 43.3% of the 330 case studies, on forecasting the quantity of waste generated by the building process.

A second significant contribution can concern the definition of a meta-design dimension that systemizes the strengths of the 'sustainable approaches' mentioned, in particular, for off-site and upcycling, by formulating indications, diagrams and charts with a wide range of aggregative and compliant technical solutions (particularly focusing on joints and connections) for the building envelope based on the climatic context of reference, providing for the use of elements and components to be dry installed pursuant the logic and protocol of the DfD (Durmisevic, 2018). However, they should be able to provide for a high level of flexibility (material, geometric and architectural language) such as not to risk an 'anonymous'

and 'uniform' off-site building already overcome by recent experiments.

Although the different studies and research allow affirming that 'off-site' systems are a valid alternative to wet conventional building systems (Oliveira et alii, 2018, Rics, 2020, WBDG Sustainable Committee, 2021) and the study on the upcycling of discarded sea containers shows, with the aim of 'net zero waste', that is possible to reuse them at their end-of-life stage through a 'non-disruptive' recycle, for the wide dissemination of these approaches, we need, on the one hand, to make use of digital technologies and new professional skills to address the complexity and dynamics of Industry 4.0 and take full advantage of its potential and opportunities, and on the other, overcoming the barriers – not all justified – that NHBC Foundation (2016) made emerge thanks to a research on volumetric 'off-site' buildings.

The survey has shown that users see off-site as an unfamiliar building system, inflexible in satisfying 'custom' requests, cheap and not very durable, therefore, far from the solidity of traditional construction, while, the companies are afraid of the high initial costs of the production plant, transport and building site logistics, of not being able to find skilled workers and, above all, of a lack of response from the market. The study ends by suggesting some actions that could break down barriers and favour the use of off-site building systems, for example, the creators of Modern Methods of Construction could publish cost/benefit analysis and case studies of good practices, encourage suppliers of building elements and components to enter the market. Moreover, we add the inadequate training of technicians but also old business models and lack of relationships between the different players in the process (and between production sectors) to manage resource flows.

In conclusion, there is still a long road ahead for climate neutrality, but we can be optimistic because we have – for all areas of construction – the tools to think and work both in a circular 'extreme' practice (closing the cycle of matter by defining 'systemic' and 'multi-approach' design strategies) and knowing the obstacles that hinder their development. It can be assumed that the new

'multi-approach' development model will diffuse and consolidate as an operational practice when the non-renewable raw materials will become difficult to find and very expensive, while the recycled materials will be widely available and affordable, but mostly when the awareness that the reduction of carbon levels and consumption cannot be measured with mathematical parameters and that the value of a building increases if it can be easily renovated and transformed, constantly gaining new levels of culture and identity over time (Macchi, 2017).

Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be assigned in equal parts to both Authors.

Notes

1) Other studies help to focus on the main health problems of our planet. Most countries of the world, especially developing countries, have to face the problem of waste management. It is directly linked to a philosophy based on

consumption, although it often neglects the consequences on the environment and human health 'in the long run, more insidious and, therefore, more dangerous' (Baratta, 2021, p. 35). The close connection between climate change and economic inequality within and between different Countries was highlighted by the Oxfam (2015) report – a network of 18 organizations with offices in 90 different countries. According to it, the poorest half of the world's population is responsible for only about 10% of global emissions and lives mainly in the most vulnerable countries to climate change, while the richest 10% of the world

population is responsible for about 50% of global emissions. The average footprint of those who are in the richest category (1%) could be 175 times higher than those belonging to the poorest 10%. The developing countries, with 97% of the world's population growth (approximately 80 million per year), continuously request energy to try to match the standard of living of Western countries. For this reason, to rebalance the per capita impact and respect the objective of the Paris Agreement, according to the United Nations (UNEP, 2020) the richest 1% should decrease its emissions by at least 30 times so that the poorest

50% could increase theirs by about three times. Moreover, according to the United Nations (UN, 2019), in 2050, we will have to deal with a population growth that will reach ten billion people, of which 75% are concentrated in cities and urban areas. If the cities of the future will become crucial metropolises for the sustainability of the whole planet, the increase in the population will determine a greater demand for energy and higher CO₂ emissions in the atmosphere, which have already increased between 2010 and 2019 respectively by 6% and 8% (IEA, 2021).

2) Another scenario that is anything but promising was laid out in the study carried out by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2018) on the estimates on the global consumption of materials. It has increased by eight times in the last century compared to the previous one, reaching in 2011 about 79 billion tons of materials produced, of which about 40% is used in the building industry. The study hypothesizes that in 2060 the global extraction of raw materials will double up to 167 billion tons and above all that the demand for metal extraction will grow faster, rising from 7 to 19 billion tons per year. Today, the greenhouse gas emissions due to iron and steel production, together with cement, sand and gravel production, account for nearly a quarter of all global emissions and a sixth of the energy demand, making these materials highly energy-intensive.

3) Although the 2010/31/EU Directive has indicated the end of 2020 as the deadline to create Zero Energy Building (nZEB), the 2020 report by the International Environmental Agency (IEA, 2021) certified an alarming delay in its implementation. In 2019, compared to the previous year, the total amount of global energy consumed remained unchanged while CO₂ emissions (direct and indirect) resulting from the operation of the buildings have increased up to 10 GtCO₂, the highest level ever recorded, mainly due to the use of fossil fuels in the homes. Moreover, the report shows that the consumption of electricity required by the buildings is almost 55% of the global electricity consumption. It estimates that to achieve the goal of a net-zero carbon building stock by 2050, the direct CO₂ emissions of buildings should decrease by 50% by 2030 and indirect emissions, linked to energy production, should decrease by 60%. To make it clear what it means to reach these objectives, just think that during the Covid-19 pandemic and its lockdowns, the CO₂ emissions of the global energy sector decreased only by 7%.

4) The New European Bauhaus is a 'bridge' between science and technology, and art and culture worlds, laying the bases for a cultural educational project with an evolving programmatic system. The issues addressed concern climate change, through the use of traditional building techniques and the reuse of materials considering the circular economy, the solutions for the co-evolution of the built environment and the protection of biodiversity, as processes for the regeneration of spaces and social inclusion (physical, social and economical accessibility), products and processes that can contribute to a sustainable lifestyle, circular economy and transformation of the Cultural Heritage for the life of the community, mobilization of culture for building a sustainable community, innovative housing solutions and educational models that integrate the values of sustainability, inclusion and aesthetics both in content and in learning processes. It all goes through networking and sharing complex and widespread knowledge, such as architecture, engineering, design, craftsmanship, new technologies and renewable energy pieces of knowledge (European Commission, 2021).

5) In Italy, to spread an approach to buildings life cycles and sustainability and circularity criteria, the Minimum Environmental Criteria (CAM) were regulated by the ministerial decree n. 259 dated 06/11/2017 and applied by the article n. 34 of Legislative Decree 50/2016, concerning Green Public Procurements (GPPs). There are many obligations envisaged by the CAMs, and among these: at least 50% of the total weight of the building components and off-site elements must be disassembled and

therefore must guarantee, at the end-of-life, selective demolition and the reuse or recycling process of materials; the building must contain in its weight at least 15% of recovered or recycled material. Moreover, there are the verification criteria provided by the CAMs, which stimulate the use of certifications that make the environmental Life Cycle profile of a product transparent, promoting, for example, type III environmental labels compliant with the UNI EN 15804 standard, including the Environmental Product Declarations (EPDs).

6) The research team is made up of Professor C. Sposito (University of Palermo), Architect F. Scalisi (Head of Department of Research – DEMETRA Ce.Ri.Med., Euro-Mediterranean Documentation and Research Center) and two young Designers, C. La Pietra and S. Militello.

7) For more information see the webpage: sftool.gov [Accessed 03 December 2021].

References

- Akinade, O. O., Lukumon, O. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Bello, S. A., Jaiyeobac, B. E. and Kadiric, K. O. (2017), "Design for Deconstruction (DFD) – Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills", in *Waste Management*, n. 60, pp. 3-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017 [Accessed 16 October 2021].
- Apreda, C., D'Ambrosio, V. and Di Martino, F. (2019), "A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems", in *Environmental Science & Policy*, vol. 93, pp. 11-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.016 [Accessed 10 November 2021].
- ARUP (2016), *The Circular Economy in the Built Environment*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment [Accessed 16 October 2021].
- Baiani, S. and Altamura, P. (2021), "Reversible design in the reuse of the existing buildings – Experiments on public housing districts in Rome", in Scalisi, F. (ed.), *A new life for landscape, architecture and design*, Palermo University Press, Palermo, pp. 136-157.
- Baratta, A. F. L. (2021), "Dalle politiche per la circolarità delle risorse alla strategia zero rifiuti | From resource circularity policies to the zero-waste strategy", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 32-41. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/932021 [Accessed 10 November 2021].
- Barnett, H. J. and Morse, C. (1963), *Scarcity and Growth – The Economics of Natural Resource*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Bason, C., Conway, R., Hill, D. and Mazzucato, M. (2020), *A new Bauhaus for a Green Deal*. [Online] Available at: ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/sites/public-purpose/files/new_bauhaus_cb_rc_dh_mm_0.pdf [Accessed 20 October 2021].
- Benyus, J. M. (1997), *Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*, Harpercollins, New York.
- Beyers, B. and Wackernagel, M. (2019), *Ecological Footprint, managing our biocapacity budget – Global Footprint Network*, New Society Publishers, Gabriola Island (Canada).
- Botsman, R. and Rogers, R. (2010), *What's mine is yours*, Harper Business, London.
- Brand, S. (1994), *How Buildings Learn – What Happens After They're Built*, Viking, New York.
- Cabrera Vergara, M. (2016), "La cargotectura como herramienta de exploración arquitectónica colectiva", in *Revista de arquitectura*, vol. 21, n. 31, pp. 47-54. [Online] Available at: doi.org/10.5354/0719-5427.2016.42545 [Accessed 22 September 2021].
- Capra, F. and Henderson, H. (2013), *Crescita qualitativa – Per un'economia ecologicamente sostenibile e socialmente equa*, Aboca Edizioni, Arezzo.
- Carson, R. (1962), *Silent Spring*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- Circle Economy (2021), *The Circularity Gap Report 2021*. [Online] Available at: circle-economy.com/resources/circularity-gap-report-2021 [Accessed 20 October 2021].
- Costas, P. (2021), "Shipping Options Dry Up as Businesses Try to Rebuild from Pandemic", in *The Wall Street Journal*, newspaper online, 12/09/2021. [Online] Available at: [wsj.com/articles/shipping-options-dry-up-as-businesses-try-to-rebuild-from-pandemic-11631439002](https://www.wsj.com/articles/shipping-options-dry-up-as-businesses-try-to-rebuild-from-pandemic-11631439002) [Accessed 12 September 2021].
- Crawford, R. H., Mathur, D. and Gerritsen, R. (2017), "Barriers to improving the environmental performance of construction waste management in remote communities", in *Procedia Engineering*, n. 196, pp. 830-837. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.014 [Accessed 16 October 2021].
- Crutzen, P. J. and Stoemer, E. F. (2000), "The Anthropocene", in *IGBP Newsletter*, n. 41, pp. 17-18. [Online] Available at: igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf [Accessed 30 October 2021].
- Cruz Rios, F., Chong, W. K. and Grau, D. (2015), "Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities", in *Procedia Engineering*, n. 118, pp. 1296-1304. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485 [Accessed 16 September 2021].
- De Giovanni, G. and Sposito, C. (2019) "Dettagli d'autore – Dal disegno manuale dei grandi Maestri a quello digitale delle Archistar | Master's details – From hand-made drawing of the great masters to the digital drawing of Starchitects", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 99-109. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7516 [Accessed 15 October 2021].
- Durmisevic, E. (2019), *Circular economy in construction design strategies for reversible buildings*, BAMB, Netherlands. [Online] Available at: bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf [Accessed 18 October 2021].
- Durmisevic, E. (2018), *Reversible Building Design Guidelines and Protocol*, BAMB, report code WP3101/UT. [Online] Available at: bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf [Accessed 19 September 2021].
- EEA – European Environment Agency (2021), *Growth without economic growth – Narratives for Change*. [Online] Available at: eea.europa.eu/downloads/bee0c89209641548564b046abcaf43e/1617707707/growth-without-economic-growth.pdf [Accessed 20 October 2021].
- EEA – European Environment Agency (2019), *The European Environment – State and outlook 2020 – Knowledge for transition to a sustainable Europe*. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/soer-2020 [Accessed 17 October 2021].
- EEB – European Environmental Bureau (2020), *A circular economy within ecological limits – Why we need to set targets to reduce EU resource consumption and waste generation in the new Circular Economy Action Plan*. [Online] Available at: mk0eeborgicupctuf7e.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2020/02/A-circular-economy-within-ecological-limits.pdf [Accessed 26 October 2021].
- Ellen MacArthur Foundation (2015a), *Delivering the Circular Economy – A Toolkit for Policymakers*. [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicyMakerToolkit.pdf [Accessed 18 October 2021].
- Ellen MacArthur Foundation (2015b), *Growth Within – A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf [Accessed 16 October 2021].
- Ellen MacArthur Foundation (2010), *Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf [Accessed 13 September 2021].

- Elmokadem, A., Abo Eleinen, O. M., Aly, R. H. and Ezz-Eldien, D. A. (2019), "Shipping Container as flexible components for sustainable buildings in coastal zone – Egypt", in *IJIRSET | International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, vol. 8, issue 6, pp. 6814-6822. [Online] Available at: ijirset.com/upload/2019/june/47_SHIPPING_NEW.pdf [Accessed 22 September 2021].
- Elayies, G. M. (2017), "Thermal performance assessment of shipping container architecture in hot and humid climates", in *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 7, n. 4, pp. 1114-1126. [Online] Available at: doi.org/10.18517/ija-seit.7.4.2235 [Accessed 22 September 2021].
- European Environmental Bureau and Eunomia (2019), *Recycling – Who really leads the world? Identifying the world's best municipal waste recyclers*, issue 2. [Online] Available at: mk0eeborgicuytctuf7e.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/06/Recycling_who-really-leads-the-world-REPORT.pdf [Accessed 22 September 2021].
- European Commission (2021), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: europa.eu/new-european-bauhaus/index_en [Accessed 18 October 2021].
- European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 13 October 2021].
- European Commission (2020b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new EU Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN [Accessed 10 November 2021].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 10 November 2021].
- European Commission (2018), *Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings – EU Construction and Demolition Waste Management*. [Online] Available at: ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en [Accessed 18 October 2021].
- European Commission (2016), *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol*. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773 [Accessed 16 October 2021].
- European Commission (2015), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*, document 52015DC0614, 614 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614 [Accessed 16 October 2021].
- European Commission (2009), *Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community*, document 32009L0029, L 140/63. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0029 [Accessed 10 November 2021].
- European Commission (2008), *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*, document 32008L0098. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj [Accessed 16 October 2021].
- European Commission (2003), *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament – Integrated Product Policy – Building on Environmental Life-Cycle Thinking*, document 52003DC0302, 302 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52003DC0302 [Accessed 16 October 2021].
- European Commission (2001), *Green paper on integrated product policy*, document 52001DC0068, 68 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52001DC0068 [Accessed 16 October 2021].
- European Parliament and the Council of European Union (2013), *Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet' – Text with EEA relevance*, document 32013D1386, L 354/171. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dec/2013/1386/oj [Accessed 16 October 2021].
- Foster, J. B., Holleman, H. and Clark, C. (2019), "Imperialism in the Anthropocene", in *Monthly Review*, vol. 71, issue 3, pp. 70-88. [Online] Available at: doi.org/10.14452/MR-071-03-2019-07_5 [Accessed 12 October 2021].
- Friedman, T. L. (2016), *Thank You for Being Late – An Optimist's Guide to Thriving in the Age of Accelerations*, Picador, New York.
- Frosch, R. A. and Gallopoulos, N. E. (1989), "Strategies for manufacturing", in *Scientific American*, vol. 261, n. 3, pp. 144-153. [Online] Available at: jstor.org/stable/24987406 [Accessed 15 October 2021].
- Ghosh, A. (2017), *La grande cecità – Il cambiamento climatico e l'impensabile*, Neri Pozza, Vicenza.
- Giorgi, S., Lavagna, M. and Ginelli, E. (2021), "Valutazione LCA di un edificio realizzato con container per trasporti marittimi riusati | Life Cycle Assessment of a building built with reused shipping containers", in *Ingegneria dell'Ambiente*, vol. 8, n. 2, pp. 124-136. [Online] Available at: doi.org/10.32024/ida.v8i2.346 [Accessed 15 October 2021].
- Gruppo di Lavoro Economia Circolare di GBC Italia (2020), *Linee Guida per la progettazione circolare di edifici*. [Online] Available at: gbcitalia.org/documents/20182/565254/GBC+Italia_Linee+Guida+Economia+Circolare.pdf [Accessed 10 October 2021].
- Habraken, N. J. (1972), *Supports – An alternative to mass housing*, Architectural Press, London.
- Hickel, J. (2019), "Degrowth – A theory of radical abundance", in *Real-World Economics Review*, issue 87, pp. 54-68. [Online] Available at: paecon.net/PAEReview/issue87/whole87.pdf#page=54 [Accessed 20 October 2021].
- Hoffmann, N., Stahlbock, R. and VoB, S. (2020), "A decision model on the repair and maintenance of shipping containers", in *Journal of Shipping and Trade*, vol. 5, issue 22, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s41072-020-00070-2 [Accessed 22 September 2021].
- Hosney Radwan, A. (2015), "Containers Architecture – Reusing shipping containers in making creative architectural spaces", in *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, issue 11, pp. 1562-1577. [Online] Available at: doi.org/10.14299/ijser.2015.11.012 [Accessed 22 September 2021].
- HWCF – Homelessness World Cup Foundation (2019), *Global Homelessness Statistics*. [Online] Available at: homelessnessworldcup.org/homelessness-statistics [Accessed 26 October 2021].
- IEA – International Energy Agency (2021), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y [Accessed 08 October 2021].
- IEA – International Energy Agency (2020), *Energy Technology Perspectives 2020*. [Online] Available at: iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf [Accessed 11 November 2021].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), *Global warming of 1.5 °C – An IPCC Special Report*. [Online] Available at: ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf [Accessed 25 March 2021].
- Jiménez-Rivero, A. and García-Navarro, J. (2017), "Best practices for the management of end-of-life gypsum in a circular economy", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 167, pp. 1335-1344. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.068 [Accessed 15 October 2021].
- Kahneman, D. (2007), *Economia della felicità*, Il Sole 24 Ore, Milano.
- Latouche, S. (2015), *Breve trattato sulla decrescita serena e come sopravvivere allo sviluppo*, Bollati Borinighieri, Milano.
- Losasso, M. and Verde, S. (2020), "Strategie progettuali di adattamento urbano ed edilizio in scenari di multirischio ambientale | Design strategies for urban and building adaptation in environmental multi-risk scenarios", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 64-73. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/862020 [Accessed 10 November 2021].
- Macchi, G. (2017), "System separation – A fitting strategy for future development", in *Architectural Design*, vol. 87, issue 5, pp. 76-83. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.2219 [Accessed 23 September 2021].
- McDonough, W. and Braungart, M. (2013), *The Upcycle – Beyond Sustainability – Designing for Abundance*, North Point Press, USA.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to Cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, USA.
- McDonough, W. and Braungart, M. (1998), "The next Industrial Revolution", in *The Atlantic Monthly*, October 1998 issue. [Online] Available at: theatlantic.com/magazine/archive/1998/10/the-next-industrial-revolution/304695/ [Accessed 15 October 2021].
- Meadows, D. H., Meadows, D. L. and Randers, J. (2004), *I nuovi limiti dello sviluppo – La salute del pianeta nel terzo millennio*, Oscar Mondadori, Milano.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972), *The limits to Growth*, Universe Books, New York.
- Morin, E. (2020), "Per l'uomo è tempo di ritrovare sé stesso", interview by Scialoja A., in *Avvenire.it*, 15/04/2020. [Online] Available at: avvenire.it/agora/pagine/per-luomo-tempo-di-ritrovare-se-stesso [Accessed 10 November 2021].
- Mussinelli, E. G. and Tartaglia, A. (2016), "Environmental Quality – Design Strategies and Tools for Anticipation", in Fanzini, D. (ed.), *Project Anticipation – When design shapes futures in architecture and urban design*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, pp. 59-69.
- Nagalli, A. (2021), "Estimation of construction waste generation using machine learning", in *Waste and Resource Management*, vol. 174, issue 1, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.1680/jwarm.20.00019 [Accessed 17 October 2021].
- NCE – New Climate Economy (2018), *Unlocking the inclusive growth story of the 21st century – Accelerating climate action in urgent times*. [Online] Available at: newclimateeconomy.report/2018/ [Accessed 28 October 2021].
- NHBC Foundation (2016), *Modern methods of construction – Views from the industry – Primary research*. [Online] Available at: buildoffsite.com/content/uploads/2016/07/NF70-MMC-WEB.pdf [Accessed 28 October 2021].
- Ness, D. (2021), "Dalla nuova edilizia alla rigenerazio-

ne – Può il Nuovo Bauhaus ridefinire l'architettura e dare risposte ai cambiamenti globali? | The shift from new build to regeneration – Can the New Bauhaus transform architecture and design to meet global challenges?", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/922021 [Accessed 16 November 2021].

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2018), *Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic Drivers and Environmental Consequences*, OECD Publishing, Paris. [Online] Available at: doi.org/10.1787/9789264307452-en [Accessed 12 October 2021].

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2016), *Green Cities Programme Methodology, ICLEI Local Governments for Sustainability, European Bank for Reconstruction and Development*, EBRD Publishing, London-Paris. [Online] Available at: ebrd.com/documents/technical-cooperation/green-city-action-plan-in-tirana.pdf [Accessed 12 October 2021].

Oliveira, S., Burch, J., Hutchison, K., Adekola, O., Jaradat, S. and Jones, M. (2018), *Making modular stack up – Modern methods of construction in social housing – Report*, Centre for Architecture and Built Environment Research, Department of Architecture and the Built Environment, University of the West of England. [Online] Available at: core.ac.uk/download/pdf/195265013.pdf [Accessed 03 December 2021].

Ossewaarde, M. and Ossewaarde-Lowtoot, R. (2020), "The EU's Green Deal – A third alternative to Green Growth and Degrowth?", in *Sustainability*, vol. 12, issue 23, article 9825, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12239825 [Accessed 20 October 2021].

Oxfam (2015), *Extreme carbon inequality – Why the Paris climate deal must put the poorest, lowest emitting and most vulnerable people first*, 02/12/2015. [Online] Available at: www.cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/mb-extreme-carbon-inequality-021215-en.pdf [Accessed 20 March 2021].

Papanek, V. (1971), *Design for the Real World*, Thames and Hudson, London.

Pauli, G. (2009), *Blue Economy*, Edizioni Ambiente, Milano.

Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D. and Medeiros, J. F. (2017), "Benefits, challenges and critical factors of success for ZW – A systematic literature review", in *Waste Management*, vol. 67, pp. 324-353. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.004 [Accessed 11 October 2021].

Raworth, K. (2017), *Doughnut Economics – Seven ways to think like a 21st-century economist*, Random House, London.

Rice, P. (1994), *An Engineer Imagines*, Artemis, London.

Rics (2020), *Modern Methods of Construction – A forward-thinking solution to the housing crisis?*, September 2018. [Online] Available at: rics.org/globalassets/rics-website/media/news/news--opinion/modern-methods-of-construction-paper-rics.pdf [Accessed 12 October 2021].

Rogers, D. and Power, E. (2020), "House policy and the Covid-19 pandemic – The importance of housing research during the health emergency", in *International Journal of Housing Policy*, vol. 20, issue 2, pp. 177-183. [Online] Available at: doi.org/10.1080/19491247.2020.1756599 [Accessed 17 October 2021].

Sandanayake, M., Luo, W. and Zhang, Z. (2019), "Direct and indirect impact assessment in off-site construction – A case study in China", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, 101520, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2019.101520 [Accessed 10 November 2021].

Santolini, F. (2021), "Ambiente, il prezzo da pagare – Il surriscaldamento farà perdere il 4% del Pil all'anno all'Italia – Il Paese al sesto posto per numero di vittime causate da eventi climatici estremi", in *La Stampa*, newspaper online, 31/10/2021. [Online] Available at: lastampa.it/politica/2021/10/31/news/ambiente_il_prezzo_da_pagare_il_

surriscaldamento_fara_perdere_il_4_del_pil_all_anno_all_italia-353166/ [Accessed 17 October 2021].

Scalisi, F. (2020), "Adaptive facade and Phase Change Materials (PCMs) – A sustainable approach for building construction", in Scalisi, F. (ed.), *From Mega to Nano | The Complexity of a Multiscalar Project*, Palermo University Press, Palermo, pp. 44-69. [Online] Available at: doi.org/10.19229/978-88-5509-189-3/432020 [Accessed 17 October 2021].

Smith, R. E. and Quale, J. D. (2017), *Offsite Architecture – Constructing the future*, Routledge Taylor&Francis Group, London-New York.

Sposito, C. and Scalisi, F. (2020) "Ambiente costruito e sostenibilità – Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability – Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 17 October 2021].

Stahel, W. R. (1976), *The Potential for Substituting Manpower for Energy*, Battelle Memorial Institute, Geneva.

Statista (2021), "Recycling rate of municipal waste in the European Union (EU-28) in 2019, by country", in *statista.com*, n.d. [Online] Available at: statista.com/statistics/1219551/municipal-waste-recycling-eu-by-country/ [Accessed 16 September 2021].

Świąder, M., Lin, D., Szymon, S., L. Kazak, J. K., Iha, K., van Hoof, J., Belčáková, I. and Altiok, S. (2020), "The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment – A new approach for European cities", in *Environmental Science and Policy*, vol. 105, pp. 56-74. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2019.12.010 [Accessed 10 June 2021].

TRL and WRAP (2010), *Designing out Waste – A design team guide for civil engineering*. [Online] Available at: modular.org/marketing/documents/Designingout-Waste.pdf [Accessed 09 October 2021].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [Accessed 10 November 2021].

UN – United Nations (2019), *World Population Prospects 2019 – Highlights*. [Online] Available at: population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf [Accessed 23 September 2021].

UN – United Nations (2012), *The Future We Want – Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development – Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf [Accessed 23 September 2021].

UN – United Nations (1992), *Agenda 21*. [Online] Available at: sdgs.un.org/sites/default/files/publications/Agenda21.pdf [Accessed 23 September 2021].

UNEP – United Nations Environment Program (2020), *Emissions Gap Report 2020*. [Online] Available at: unep.org/emissions-gap-report-2020 [Accessed 20 October 2021].

Vijayalaxmi, J. (2010), "Towards sustainable architecture – A case with Greentainer", in *Local Environment*, vol. 15, issue 3, pp. 245-259. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13549830903575596 [Accessed 22 September 2021].

Wang, X., Li, Z. and Tam, V. W. Y. (2015), "Identifying best design strategies for construction waste minimization", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, pp. 237-247. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.076 [Accessed 16 October 2021].

WBDG Sustainable Committee (2021), "Optimize Building Space and Material Use", in *wbdg.org*, 08/09/2021. [Online] Available at: wbdg.org/design-objectives/sustainable/optimize-building-space-material-use [Accessed 03 December 2021].

WCED – World Commission for Environment and De-

velopment (1987), *Our Common Future World*, Rapporto Brundtland. [Online] Available at: are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html [Accessed 14 October 2021].

WEF – World Economic Forum (2021), "This is how climate change could impact the global economy", in *weforum.org*, 28/06/2021. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2021/06/impact-climate-change-global-gdp/ [Accessed 25 September 2021].

WMO – World Meteorological Organization (2021), "Weather-related disasters increase over past 50 years, causing more damage but fewer deaths", in *public.wmo.int*, 31/08/2021. [Online] Available at: public.wmo.int/en/media/press-release/weather-related-disasters-increase-over-past-50-years-causing-more-damage-fewer [Accessed 13 September 2021].

Worrell, E. and Reuter, M. A. (eds), *Handbook of Recycling – State-of-the-Art for Practitioners, Analysts, and Scientists*, Elsevier. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2011-0-07046-1 [Accessed 15 October 2021].

WRI – World Resources Institute (n.d.), *Zero Carbon Buildings for All*. [Online] Available at: wrirosscities.org/ZeroCarbonBuildings [Accessed 28 September 2021].