

Colloqui.AT.e 2022

Memoria e Innovazione

Memory and Innovation

Editors
Enrico Dassori, Renata Morbiducci

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

The editor, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

Enrico Dassori, Renata Morbiducci

EdicomEdizioni
Monfalcone (Gorizia)
info@edicomedizioni.com
www.edicomedizioni.com
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 978-88-945937-4-7

Prima edizione settembre 2022 / First edition September 2022

Colloqui.AT.e 2022

Memoria e Innovazione

Memory and Innovation

Editors

Enrico Dassori, Renata Morbiducci

7-10 settembre 2022

Organizing Institution:

University of Genoa – Department of Architecture and Design

EdicomEdizioni

Indice

INTRODUCTION	16
INTRODUZIONE	17
<u>A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION</u>	
LA RIQUALIFICAZIONE DELL'EDILIZIA STORICA DISMESSA E LA QUALITÀ ABITATIVA NEI CENTRI MINORI DELLE AREE INTERNE	21
E. D'Andria, C. Falce, P. Fiore	
IL PROGETTO ADRISEISMIC: RICOGNIZIONE DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE NEI CENTRI STORICI DELL'AREA ADRIATICO-IONICA	39
G. Predari, L. Stefanini	
STABILIMENTO MONACO A MISTERBIANCO. DAL PASSATO AL FUTURO	57
M. La Noce, G. Sciuto	
TYPES AND TECHNOLOGIES OF RURAL MOUNTAIN ARCHITECTURE IN THE NORTHEAST OF ITALY: THREE VALLEYS COMPARED	75
F. Chinellato, L. Petriccione	
RE-INNOVARE IL PATRIMONIO DEL '900. IL CASO DE "LA SERENISSIMA" A MILANO	87
M. Abita, R. Morganti, V. Lusi, D. Di Donato, A. Tosone	
RIGENERAZIONE URBANA. L'ESEMPIO DEL PROGETTO DI RECUPERO DELL'AREA INDUSTRIALE DEL FIUME FRIGIDO A MASSA	101
L. Secchiari	
ARCHITETTURE BIO-ISPIRATE TRA MEMORIA E INNOVAZIONE	115
F. Sommesse, G. Ausiello	
LA COPERTURA DEL TEATRO FARNESE DI PARMA. COSTRUZIONE, MEMORIA, INNOVAZIONE	131
L. Guardigli, S. Ghedini, D. Prati	
PREFABBRICAZIONE IN ALTA QUOTA: NUOVE TECNOLOGIE PER I RIFUGI ALPINI NEL SECONDO DOPOGUERRA	149
G. Dorigatti	
STRUMENTI VPL PER LA DIVULGAZIONE DELLA STORIA DELLA COSTRUZIONE METALLICA	165
D. Di Donato, R. Morganti, A. Tosone, M. Abita	
IL CONFLITTO NORMATIVO TRA LE ISTANZE ENERGETICA E DELLA CONSERVAZIONE DEGLI EDIFICI STORICI NON VINCOLATI	181
R. Castelluccio, V. Vitiello, C.A. Di Mare	
PROGETTO E COSTRUZIONE PER LA MINIERA. IGLESIAS-MONTEPONI, L'ARCHITETTURA EUROPEA IN SARDEGNA	197
G. Monni, A. Sanna	
IL CENTRO INFORMAZIONE E DOCUMENTAZIONE DI TORVISCOSA, DA ARCHITETTURA AZIENDALE A SPAZIO CULTURALE, 1961-2021	209
M. V. Santi, M. Lazzara, A. Frangipane	

ENERGETICAMENTE MODERNO: UN DIBATTITO ATTUALE G. Currò	223
INGEGNERIA DA ESPORTAZIONE. LE IMPRESE DI COSTRUZIONI ITALIANE ALL'ESTERO NELLA SECONDA METÀ DEL NOVECENTO G. Capurso, F. Martire	241
EDILIZIA PER COMPONENTI IN ITALIA NEGLI ANNI SETTANTA: IL SISTEMA S70 MESSO A PUNTO DALLA SOCIETÀ GENERALE IMMOBILIARE-SOGENE. ALCUNI CASI IN AREA LAZIALE F. Spada	253
RESTAURO CONSERVATIVO DELL'APPARECCHIATURA LAPIDEA, METODI E APPROCCI. IL CASO DI PALAZZO BISCARI A CATANIA S.M. Cascone, L. Longhitano, G.A. Longhitano	265
CORE AND SHELL: FACCIATE STORICHE E NUOVI EDIFICI. IL CASO DELL'EX CHELSEA AND FULHAM POWER STATION A LONDRA S. Pecoraro, E. Calabrò, R. Corrao	281
SERICA 1870. IPOTESI PER UN MUSEO ANTROPOLOGICO A. Catanese, T. Casale, E. Garda, F. Minutoli, R. Lione	295
RECUPERO DEL PATRIMONIO EDILIZIO ABITATIVO IN DISUSO NEL PARCO DELLE MADONIE. STRATEGIE PER LA REALIZZAZIONE DI SMART VILLAGES SICILIANI T. Campisi, S. Colajanni, L. Lombardo	313
IL RIUSO DELLA ROVINA. APPROCCI METODOLOGICI ED OPERATIVI PER INTERVENTI CON POTENZIALE IMPATTO SUL COSTRUITO STORICO F. Ribera, P. Cucco	327
BIG DATA E DATA MINING PER LE STRATEGIE DI RIQUALIFICAZIONE DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE. IL CASO DI MILANO (1945-1990) A. Bertolazzi, G. Croatto, A. Maniero, U. Turrini	345
L'ANAMNESI DEI RESTAURI COME STRUMENTO DI CONOSCENZA. IL CASO EMBLEMATICO DELLA CATTEDRALE DI TROIA L. Morero, F. Visone, V.D. Porcari, A. Guida, N. Masini	361
LA <i>FABRICA</i> DI PANNELLI: MEMORIA E INNOVAZIONE DELLE TAMPONATURE PREFABBRICATE IN CALCESTRUZZO NELL'EDILIZIA SOCIALE E. Garda, F. Minutoli	379
CONSERVAZIONE E SICUREZZA DELLE VOLTE IN CAMORCANNA APPLICATA AD UNA REALIZZAZIONE DEL XX SECOLO F. Manzone, S. Bellaz, S. Barra	395
IL PATRIMONIO INDUSTRIALE LUCANO. LA CONOSCENZA PER LA VALORIZZAZIONE DEI SERBATOI PENSILI DELL'ACQUEDOTTO DELL'AGRI A. Guida, A. Lanzolla	409
UN APPROCCIO ESTESO PER IL RECUPERO DEI BENI ECCLESIASTICI DISMESSI. LA RETE DELLE CHIESE SCONSACRATE NEL CENTRO STORICO DI SALERNO P. Cucco, G. Neri, A. Gallo	423
CULTURE MATERIALI ED ARTIGIANATO MEDITERRANEO: MAESTRANZE E PRODOTTI EDILIZI IN CAMPANIA M. Fumo, G. D'Angelo, C. Lombardi, G. Trinchese	443

MONUMENTALISMO ECLETTICO E SPERIMENTAZIONI COSTRUTTIVE D'AVANGUARDIA. IL PALAZZO DELLA PROVINCIA DI BARI A. Pagliuca, D. Gallo, P. P. Trausi	455
SUL DISEGNO TECNICO: PROGETTO E COSTRUZIONE V. Bonini, E. Dassori	469
DALLE TECNICHE COSTRUTTIVE TRADIZIONALI ALLA RIGENERAZIONE SOSTENIBILE PER L'OSPEDALE ANNUNZIATA E L'OSPEDALE ASCALESI DI NAPOLI C. Sicignano, F. Polverino	481
LE NUOVE SPONDE DEL TEVERE A ROMA: STORIA DELLA COSTRUZIONE E IL CROLLO DEI MURAGLIONI AGLI ANGUILLARA (1878-1900) I. Giannetti, V. Florio, A. Pucci, F. Casini	495
IL PRESIDIO DEL VILLAGGIO: COSTRUZIONE DI CONOSCENZA E STRATEGIE DI RIGENERAZIONE NEL CENTRO STORICO DI NEONELI M. Agus, S. Cadoni, F. Marras	511
PROGETTO TECNOLOGICO E RECUPERO NEI "BORGHI" NEL TEMPO DELLA PANDEMIA C. Atzeni, A. Dessì, F. Marras, A. Sanna	527
ECOSISTEMI PER L'INNOVAZIONE DEL MEZZOGIORNO. IL PROGETTO IT-MARE-AKIS V. Sapienza, S. D'Urso, G. M. Nicolosi, A. Monteleone, G. Rodonò	541
IL TRAVERTINO NELLA COSTRUZIONE MURARIA AD ALCAMO C. Vinci, E. Genova, G. Cacciatore	559
STRUMENTI PER IL RECUPERO EDILIZIO: UN ABACO ADATTIVO PER IL CENTRO STORICO DI CONZA DELLA CAMPANIA M. Fraiese, L. Diana	573
L'UTILIZZO DELLA TECNICA DELLA TRAVE ARMATA NEL CONSOLIDAMENTO DELLE TRAVI LIGNEE E. Zamperini	591
 <u>B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE</u>	
I CHIOSTRI E IL TESSUTO URBANO STORICO: ANALISI TIPOLOGICA E MICROCLIMATICA DI DUE CHIOSTRI A PARMA ALLA LUCE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO B. Gherri	611
MULTI-RISK MITIGATION STRATEGIES FOR INCREASING BUILT ENVIRONMENT RESILIENCE THROUGH A QUALITATIVE ASSESSMENT G. Salvalai, J.D. Blanco Cadena, I. Isacco, G. Mochi, F. Rosso, L. Bernabei, G. Bernardini, E. Quagliarini	625
SCENARI MULTI-RISCHIO NELLE PIAZZE DEI CENTRI STORICI: CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA DEI FATTORI SPAZIO-TEMPORALI LEGATI AGLI UTENTI G. Romano, G. Bernardini, M. D'Orazio, E. Quagliarini	637
ONDATE DI CALORE E POVERTÀ ENERGETICA. INDAGINE SPERIMENTALE SULLA RISPOSTA TERMICA DI EDIFICI DI EDILIZIA SOCIALE E SUL COMPORTAMENTO ENERGETICO DI FAMIGLIE A BASSO REDDITO G. Maracchini, E. Di Giuseppe, M. D'Orazio	653

ALKALI-ACTIVATED MORTARS FROM ROCK MUDS. EXPERIMENTAL MIX-DESIGN AND TESTS FOR THE PROTOTYPING OF SUSTAINABLE BUILDING PRODUCTS F. Vecchio, M. Zerbinatti	669
DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? LCA E ANALISI MULTI-CRITERIA PER IL CASO DELLA RICOSTRUZIONE POST-SISMA R. Bratti, M.A. Bragadin	683
AMBIENTI SCOLASTICI INNOVATIVI: STRATEGIE INTERNAZIONALI A CONFRONTO C. Falce, E. Sicignano, P. Fiore, E. D'Andria	699
LABORATORY STUDY ON THE USE OF RECYCLED PLASTIC GRANULE FROM AGRICULTURAL WASTE AS DRAINAGE LAYER IN GREEN ROOFS S. Cascone	715
COMPARATIVE ASSESSMENT OF URBAN HEAT ISLAND INTENSITY IN BARI (ITALY) AND IN 5 MAJOR EUROPEAN CITIES V. Sangiorgio, S. Bruno, F. Fiorito	727
ON THE CLUSTERING OF LARGE EDUCATIONAL BUILDING STOCK IN THE APULIA REGION L.M. Campagna, F. Fiorito	743
SIMULAZIONE 4D BIM DEL CANTIERE PER IL PROGETTO BENEDICT M.A. Bragadin, C. Morganti, U.M. Coraglia, K. Kähkönen, E.D.Q. Witt	761
VERSO LA DEFINIZIONE DI STRUMENTI DI SUPPORTO DECISIONALE PER LA PIANIFICAZIONE SOSTENIBILE DELLE PERIFERIE URBANE. IL CASO STUDIO DI BOLOGNA A.C. Benedetti, C. Costantino, R. Gulli	775
CONFRONTO TRA VALORI SPERIMENTALI E TEORICI DI SFASAMENTO E ATTENUAZIONE TERMICA PER UN EDIFICIO LEGGERO CON STRUTTURA INTELAIATA IN ACCIAIO N. Callegaro, R. Albatici	793
VERDE VERTICALE E COMFORT TERMICO NEGLI EDIFICI. VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI UNA PARETE VERDE IN AREA MEDITERRANEA G. Lombardo, A. Lo Faro, A. Moschella, F. Nocera, M. Detommaso, A. Salemi, G. Sciuto	807
STRATEGIE AND BEST PRACTICES PER LA RIMOZIONE IN SICUREZZA DELLE OPERE PROVVISORIALI POST-SISMA M. Rotilio, A. Di Egidio, P. De Berardinis, G. D'Alberto, M. Tritto, G. Di Giovanni	821
ANALYSIS OF THE INDUSTRIAL BUILDING STOCK OF MUGELLO IN TOSCANA: A METHODOLOGICAL FRAMEWORK USING GIS N. Banti, C. Ciacci, V. Di Naso, F. Bazzocchi	835
SISTEMA INTEGRATO PER IL MONITORAGGIO DEL PATRIMONIO COSTRUITO STORICO: LE FASI DI DOCUMENTAZIONE E DIAGNOSTICA E. Doria	853
COLLEGI UNIVERSITARI TRA TRADIZIONE ED INNOVAZIONE: IL CASO PAVESE M. Morandotti, A. Greco, D. Besana	869
VERSO LA RESILIENZA E L'ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO: METODI E STRUMENTI NELLE DIVERSE FASI E SCALE DELL'ARCHITETTURA S. Mannucci, A. Peduzzi, A. Ciardiello, O. Palusci, F. Rosso, M. Ferrero, C. Cecere	883
INDOOR AIR QUALITY DIAGNOSIS TOOL FOR RESIDENTIAL BUILDINGS. TECHNICAL AND METHODOLOGY APPROACHES L. Errante	901

RECUPERO SOSTENIBILE A BASSE EMISSIONI DI CARBONIO DI EDIFICI ABBANDONATI G. Di Ruocco, E. Catalano, R. Melella, L. Sabatano	915
ELEMENTI DI RESILIENZA DELL'EDILIZIA OSPEDALIERA ALLA LUCE DELL'ESPERIENZA COVID-19 R. Marmo, C. Falce, E. Sicignano	931
ABITARE (TEMPORANEO) E SOSTENIBILE A. Guida, I.G. Presta, G. Pacente	943
VERSO UNA METODOLOGIA PER LA CARATTERIZZAZIONE TERMO-FISICA DEL COSTRUITO ALL'INTERNO DEGLI URBAN ENERGY SIMULATION MODELS: STATO DELL'ARTE E PRIMI ELEMENTI DI UNA PROPOSTA INNOVATIVA R. Chieppa, G.R. Dell'Osso, F. Iannone	959
FORME ORGANICHE E ALGORITMI MATEMATICI NEL PROGETTO DELLE <i>GRIDSHELLS</i> M. Calvarese, G. Di Giovanni	977
NOVEL GREEN BIO-COMPOSITE GEOPOLYMERIC THERMO-PLASTERS FOR INNOVATIVE BUILDING APPLICATIONS: UPCYCLING SPENT COFFEE GROUND M. Saeli, T. Campisi, V.S. Batra, J.A. Labrincha	991
TECHNOLOGICAL AND ENERGY ASSESSMENT OF AN ORIGAMI-BASED KINETIC SHADING SYSTEM IN TYPICAL AND FUTURE CLIMATE SCENARIOS F. Carlucci, L.M. Campagna, F. Fiorito	1007
LA SEGMENTAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEL PATRIMONIO COSTRUITO DELLA CITTÀ DI CARBONIA PER LA REALIZZAZIONE DI UN MODELLO ENERGETICO URBANO G. Desogus, S. Pili, A. Sanna, A. Dessì	1023
BIO-MATERIALE PER L'EDILIZIA IN MICELIO DA UN SUBSTRATO OTTENUTO DAGLI AGRUMI S.M. Cascone, M. Vitale	1041
EUROPEAN BUILDING STOCK ASSESSMENT AND THE CHALLENGE OF RENOVATION A. Martinelli, F. Fatiguso, F. Fiorito	1053
IDENTIFICAZIONE DEI PARAMETRI MORFO-TIPOLOGICI E COSTRUTTIVI RILEVANTI PER LA RESILIENZA AL MULTI-RISCHIO E DEFINIZIONE DELLE BETS: TIPOLOGIE DI AMBIENTE COSTRUITO L. Bernabei, F. Rosso, M. Russo, A. D'Amico, M. Angelosanti, G. Bernardini, E. Currà, E. Quagliarini, G. Mochi	1069
HEALTHY BUILDINGS: CAMBIARE IL CONCETTO DI SALUTE PER UN AMBIENTE COSTRUITO SANO L. M. S. Savoca	1085
COPERTURE FOTOVOLTAICHE: INNOVAZIONE E SPERIMENTAZIONE IN UN CASO STUDIO L. Capannolo, A. Ciccozzi, P. De Berardinis, G. Di Giovanni, L. Giusti, M. Rotilio	1103
LO SPAZIO ABITATIVO: INNOVAZIONE E QUALITÀ DELL'ABITARE TRA ESIGENZE, STANDARD E NUCLEI CONTEMPORANEI C. Chiarantoni, A. Piscotti	1121
BIVACCO "ROSÀK" – IL PROGETTO INTEGRALE DI UN RIPARO ALPINO G. Falcone, C. Vite, E. Dassori	1137
PROGETTAZIONE E VERIFICA SPERIMENTALE DI UN COMPOSITO CEMENTIZIO INTELLIGENTE A BASE DI MATERIALI BIDIMENSIONALI S. Polverino, R. Morbiducci, E. Dassori	1155

C – DESIGN AND BUILDING TECHNOLOGIES

METODOLOGIA PER LA STRUTTURAZIONE E L'IMPLEMENTAZIONE DI UN PASSAPORTO DIGITALE PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE G. Salvalai, M.M. Sesana, D. Brutti	1173
LE ONTOLOGIE A COMPLEMENTO DEL GEMELLO DIGITALE PER IL PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO: MAPPATURA DELLA CONOSCENZA E STRATEGIE DI INTEGRAZIONE D. Simeone, S. Cursi, U. M. Coraglia, A. Fioravanti	1189
DEFINIZIONE DI UN FRAMEWORK SPERIMENTALE PER L'USO DI AMBIENTI VIRTUALI NELLO STUDIO DI COMFORT, EFFICIENZA LAVORATIVA E COMPORTAMENTO ENERGETICO DI UTENTI IN AMBIENTI AD USO UFFICIO A. Latini, E. Di Giuseppe, M. D'Orazio	1203
VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA CARBON FOOTPRINT NELLA FASE DI FINE-VITA DI UN ISOLATO RESIDENZIALE. ANALISI COMPARATIVA TRA DIFFERENTI SCENARI DI DEMOLIZIONE E TRATTAMENTO DEI RIFIUTI BASATA SU LCA E LCC C. Costantino, A.C. Benedetti, R. Gulli	1223
STRUMENTI E MODELLI PER LA GESTIONE DIGITALE DEL PATRIMONIO COSTRUITO A. Massafra, R. Gulli	1241
HOW CIRCULAR IS AN ITALIAN APARTMENT BUILDING? TESTING OF A WHOLE-BUILDING CIRCULARITY INDICATOR N. Khadim, R. Agliata, L. Mollo	1261
L'APPARECCHIATURA COSTRUTTIVA IN AMBIENTE BIM: IL RIGORE SEMANTICO VERSO LA DERIVA? UNA RIFLESSIONE SULLE CHIUSURE ORIZZONTALI IN CHIAVE "ANALOGICA" E NELLA TRASPOSIZIONE "DIGITALE" A. Cernaro, O. Fiandaca, R. Lione	1275
SUSTAINABLE BUILDINGS WITH LIGHT STEEL FRAME STRUCTURE: CHALLENGES AND POTENTIALITIES Marta Maria Sesana	1295
SUSTAINABILITY OF EARTHEN CONSTRUCTION IN THE ANTHROPOCENE EPOCH G. Giuffrida, R. Caponetto	1313
VERSO IL GEMELLO DIGITALE QUALE STRUMENTO DI GESTIONE E SUPPORTO ALLA CONOSCENZA E AL MONITORAGGIO DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO. IL CASO DEL CONVENTO DO CARMO A LISBONA F. Gabellone, N. Masini	1329
METODO DI VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA CIRCOLARITÀ NEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. APPLICAZIONE A QUATTRO CASI DI STUDIO IN EUROPA R. Corticelli, L. Dragonetti, C. Mazzoli, A. Ferrante	1341
MODULI ABITATIVI DISPIEGABILI E COMBINABILI A NIDO D'APE G. Di Giovanni, A. Magno	1359
ARCHITETTURA EMERGENZIALE: BUONE PRATICHE ESECUTIVE M. Bellomo, M. Saeli, S. Colajanni	1373
UN SISTEMA DI GESTIONE DELL'INFORMAZIONE PER IL PATRIMONIO COSTRUITO DELL'UNIVERSITÀ DI PAVIA C. Cecchini, E. Sella, A. Greco, M. Mericco	1391

IMPROVING BUILDING MAINTENANCE THROUGH THE NATURAL LANGUAGE PROCESSING OF END-USER'S MAINTENANCE REQUESTS AND LSTM NEURAL NETWORKS: AUTOMATIC STAFF ASSIGNMENT BY CATEGORY TYPE	1401
M. D'Orazio, G. Bernardini, E. Di Giuseppe	
TRADIZIONE E INNOVAZIONE SCRIPTING DESIGN AND CONSTRUCTION	1415
P. Fiamma, S. Biagi	
DESIGN OF AN EFFICIENT 3D PRINTED ENVELOPE SUPPORTED BY PARAMETRIC MODELLING	1427
S. Volpe, V. Sangiorgio, F. Fiorito	
AR.KNOWEB (ARCHITECTURAL KNOWLEDGE WEB) UNA PIATTAFORMA METODOLOGICA PER LA CONOSCENZA TECNICA DI ARCHITETTURE SISTEMICHE	1439
M. Lasorella, E. Cantatore, P. de Dato, F. Fatiguso	

COMMITTEES

Ar.Tec. Council

GULLI Riccardo
GUIDA Antonella
ALBATICI Rossano
CASCONI Santi Maria

D'ORAZIO Marco
FATIGUSO Fabio
GRECCHI Manuela

Scientific committee

ALBATICI Rossano
ATZENI Carlo
BAZZOCCHI Frida
CAPOMOLLA Rinaldo
CASCONI Santi Maria
CORRAO Rossella
CROATTO Giorgio
D'ORAZIO Marco
DASSORI Enrico
DE ANGELIS Enrico
FASCIA Flavia
FATIGUSO Fabio
FERRANTE Annarita
FUMO Marina
GAROFALO Ilaria
GATTI Maria Paola
GRECCHI Manuela
GUIDA Antonella Grazia Maria

GULLI Riccardo
IORI Tullia
LIONE Raffaella
LUCCHINI Angelo
MARGANI Giuseppe
MORANDOTTI Marco
MORBIDUCCI Renata
MORGANTI Renato Teofilo Giuseppe
MORNATI Stefania
MUNAFÒ Placido
POLI Tiziana
POLVERINO Francesco
QUAGLIARINI Enrico
RIBERA Federica
SICIGNANO Enrico
STAZI Francesca
TAGLIAVENTI Gabriele

ACHENZA Maria Maddalena
ARENGHI Alberto
AUSIELLO Gigliola
BASIRICÒ Tiziana
BELLICOSO Alessandra

BESANA Daniela
BRADASCHIA Maurizio
CAMPISI Tiziana
CAMPOLONGO Alessandro
CASTELLUCCIO Roberto

CATALANO Agostino
CHINELLATO Francesco
COLAJANNI Simona
CONTE Emilia
CURRÀ Edoardo
DALPRÀ Michela
DI DONATO Danilo
DI GIOVANNI Gianni
DI GIUSEPPE Elisa
DI NASO Vincenzo
FERRERO Marco
FIAMMA Paolo
FIANDACA Ornella
FIORAVANTI Antonio
FIORE Pierfrancesco
FIORI Matteo Paolo Giovanni
FIORITO Francesco
FRANGIPANE Anna
GARDA Emilia Maria
GIANNETTI Ilaria
GRECO Alessandro
GRECO Laura
GUARDIGLI Luca
IANNACCONI Giuliana
IANNONE Francesco
LODDO Gianraffaele

LOMBARDO Grazia
MALIGHETTI Laura Elisabetta
MANGOSIO Marika
MAZZUCHELLI Enrico Sergio
MECCA Ippolita
MELE Caterina
MOCHI Giovanni
MOLLO Luigi
MOSCHELLA Angela
NABONI Emanuele
PAGLIUCA Antonello
PIANTANIDA Paolo
PUGNALETTO Marina
RIGONE Paolo
RONCHI Alfredo
SALVALAI Graziano
SANJUST Paolo
SAPIENZA Vincenzo
SCIUTO Gaetano Antonio
TADI Massimo
TOSONE Alessandra
TURRINI Umberto
VINCI Calogero
VITTORINI Rosalia
ZERBINATTI Marco
ZORDAN Marcello

Organizing committee

DASSORI Enrico
MORBIDUCCI Renata
VITE Clara

POLVERINO Salvatore
BONINI Vittoria

SUPPORTERS

Patrons



Sponsors





Immagine tratta da: Atti del Convegno. La ricerca la didattica per la formazione dell'ingegnere edile.
Pavia, 9-12 settembre 1987.

C – DESIGN AND BUILDING TECHNOLOGIES



Memoria e Innovazione

Metodo di valutazione speditiva della circolarità negli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.

Applicazione a quattro casi di studio in Europa

Simplified method for assessing the circularity in the requalification of the existing building heritage.

Application to four European case studies

R. Corticelli^{1*}, L. Dragonetti², C. Mazzoli³, A. Ferrante⁴

^{1*} DA – Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, rachele.corticelli2@unibo.it

² DA – Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, lorna.dragonetti2@unibo.it

³ DA – Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, cecilia.mazzoli@unibo.it

⁴ DA – Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, annarita.ferrante@unibo.it

Abstract

The decarbonisation of the building sector is a key issue in facing the climate crisis. The concept of circularity in the built environment is becoming more and more widespread to pursue this goal. This approach proposes the design of buildings paying particular attention to the origin of the materials and energy sources used for their manufacture and transport, as well as to their ability of assembly and disassembly to adapt to future uses and to minimise the production of construction and demolition waste. Lots of methods and tools for assessing the circularity of buildings are already available, but they are scarcely employed.

One of the possible causes of the low employment of these tools lies in their complexity and difficult accessibility by stakeholders and users, in particular those not specialised in the construction sector. This reflection led to the purpose of defining a simplified method for assessing the level of circularity of buildings by evaluating the implementation of different intervention scenarios.

This contribution comes up with an overview of the state of the art of European research scenarios and the currently most widespread best practices that meet the requirements of circular design.

Subsequently, the methodology called “EASY – *Express ASsessing tool for CircularitY*”, developed by the University of Bologna in the framework of H2020 EU project “DRIVE0” is reported. This methodology is aimed at identifying a numerical index for the evaluation of the circularity level of the

overall building. This latter was compared with a cradle-to-gate LCA analysis performed using the OneClick LCA Software.

Finally, the paper reports the results obtained from applying this method to four case studies in Europe, for which the feasibility study has approved the implementation of volumetric additions.

Keywords: Circular Building, Circularity Indicator, Design for Disassembly, LCA, Building heritage

1. Introduzione

La decarbonizzazione del settore delle costruzioni acquisisce sempre maggiore rilevanza nel panorama internazionale, sia negli interventi di nuova costruzione, sia in quelli di riqualificazione dell'esistente. Si tratta di un percorso basato principalmente su tre azioni: l'abbandono dei combustibili fossili, il completo approvvigionamento di energia da fonti rinnovabili e il raggiungimento di una maggiore efficienza nella gestione dei consumi. Nel settore edile, questo percorso può essere misurato e valutato attraverso l'analisi dei seguenti fattori: la massa di materiali e componenti che costituiscono un edificio, l'energia incorporata nei materiali – *Embodied Energy* (EE) – e la CO₂ incorporata nei materiali – *Embodied Carbon* (EC).

Il progetto europeo “DRIVE 0 – *Driving decarbonization of the EU building stock by enhancing a consumer centred and locally based circular renovation process*”, Horizon 2020 (G.A. no. 841850) [1], nell'ambito del quale il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna è coinvolto per svolgere le ricerche riportate nel presente contributo, si occupa di promuovere strategie di decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente mediante la realizzazione di interventi di riqualificazione profonda (*deep renovation*). Il progetto intende incentivare l'adozione di un approccio circolare nell'ambito dei processi di riqualificazione che, per essere attrattivi ed efficaci, devono essere basati sulle effettive esigenze del cliente. Secondo l'approccio di DRIVE 0, una riqualificazione circolare si basa sull'utilizzo di energia proveniente da fonti rinnovabili e sull'impiego di materiali provenienti da cicli biologici o tecnici, in cui la produzione di scarto è ridotta al minimo e che prevedono strategie di fine vita con un impatto positivo sull'ambiente (*cradle-to-gate*) [2]. Al fine di valutare il livello di circolarità dell'intero edificio, si propone l'utilizzo di un indice numerico complessivo, che è stato ottenuto per mezzo di alcuni parametri di circolarità. Questi parametri sono stati definiti nell'ambito del progetto DRIVE 0 e, in sintesi, riguardano i seguenti fattori: tipologia dei collegamenti tra i materiali e i componenti edilizi, accessibilità di tali collegamenti, sovrapposizioni, contenimento formale, origine dei materiali e riusabilità. Tutti questi parametri contribuiscono alla definizione del *Building Circularity Indicator* (BCI), che rappresenta l'*output* finale del metodo semplificato proposto, denominato “EASY – *Express Assessing tool for CircularitY*”. Questo indice finale permette di dimostrare l'efficacia, in termini di circolarità, delle soluzioni di addizione volumetrica sviluppate e applicate a quattro casi studio individuati in vari paesi europei coinvolti in DRIVE 0. Infatti, se applicate ad edifici esistenti nell'ambito di interventi di riqualificazione profonda, queste soluzioni consentono di aumentare il livello complessivo di circolarità dell'edificio rinnovato, rispetto al suo stato di fatto.

Queste addizioni volumetriche sono state sviluppate secondo la strategia proposta dal progetto Horizon 2020 “ABRACADABRA – Assistant Buildings’ addition to Retrofit, Adopt, Cure And Develop the Actual Buildings up to zeRo energy, Activating a market for deep renovation”, finanziato dalla Comunità Europea attraverso il Programma Horizon 2020, GA n. 696126 [3], coordinato dall’Università di Bologna e concluso nel 2019.

Dopo una descrizione dello stato dell’arte a livello europeo, è stato delineato un elenco di principi e criteri di progettazione al fine di definire un metodo semplificato per valutare il livello di circolarità delle specifiche soluzioni di addizione volumetrica e dell’intero edificio.

La progettazione di queste soluzioni si è basata su un preventivo studio di fattibilità – in termini normativi e tecnici – al fine di valutare la reale possibilità di applicare le addizioni volumetriche agli edifici esistenti. Sulla base di questi studi, è stata presentata una serie di soluzioni circolari in relazione ai casi dimostrativi selezionati dal progetto DRIVE 0.

Si riporta di seguito la metodologia sviluppata per giungere all’individuazione dell’indice numerico proposto per la valutazione della circolarità dell’edificio complessivo. Infine, si riportano i risultati ottenuti dall’applicazione di questo metodo ai quattro casi di studio selezionati, per i quali lo studio di fattibilità ha dato esito positivo in merito all’effettiva possibilità realizzativa di eventuali addizioni volumetriche (Fig. 1).



Fig. 1. Casi di studio analizzati denominati secondo i paesi in cui sono rispettivamente localizzati: Paesi Bassi, Spagna, Estonia, Irlanda – © 2020, Consorzio DRIVE 0.

2. Stato dell’arte

In Europa ci sono molti esempi di strategie di riqualificazione profonda che vedono anche l’impiego di moduli di addizione volumetrica prefabbricati e preassemblati.

Le principali potenzialità della strategia di addizione volumetrica proposta dal progetto ABRACADABRA sono le seguenti:

- ottimizzazione delle risorse;
- contenimento del consumo di suolo;
- ottimizzazione del processo di costruzione in termini di tempi e costi;
- prefabbricazione di sistemi e sub-sistemi edilizi leggeri, facilmente e rapidamente assemblabili a secco;
- modularità, flessibilità e personalizzazione delle soluzioni.

Secondo la definizione di economia circolare fornita dalla Ellen MacArthur Foundation, come economia «basata sui principi della progettazione dei rifiuti e dell’inquinamento, del manteni-

mento in uso di prodotti e materiali e della rigenerazione dei sistemi naturali», è chiaro che tutti i suddetti requisiti contribuiscono ad aumentare il livello di circolarità dell'edificio interessato dall'intervento.

Sebbene questa idea alla base della strategia di addizione volumetrica (*Add-on*) proposta dal progetto ABRACADABRA possa sembrare di difficile applicazione pratica, alcuni progetti già implementati in Europa hanno dimostrato con successo che tale strategia è realizzabile in diversi contesti e che effettivamente consente di incrementare le prestazioni e il valore immobiliare dell'edificio.

Un esempio che dimostra il successo di questa strategia è l'attività condotta da “*La casa por el tejado*” [4]. I principi progettuali su cui si è basata la progettazione di questo consorzio spagnolo di architetti e professionisti del settore edile sono sostanzialmente i seguenti: gli edifici hanno un impatto ambientale ed economico significativo durante l'intero ciclo di vita; gli edifici convenzionali utilizzano molti materiali, comportano grandi quantità di energia, acqua e rifiuti (e quindi grandi quantità di consumi) e occupano anche superficie al suolo. Al fine di ridurre l'impatto ambientale delle nuove costruzioni, il consorzio propone un nuovo approccio alla riqualificazione del patrimonio esistente, attraverso la progettazione di blocchi di completamento degli edifici, volta all'incremento delle prestazioni energetiche e del loro valore estetico-architettonico.

Inoltre, il progetto ABRACADABRA si propone di coniugare la strategia *Add-on* con l'efficientamento energetico degli edifici esistenti, con l'obiettivo di raggiungere un equilibrio complessivo in termini di guadagno energetico, costi e consumo di suolo, stabilendo così un'efficace sinergia tra l'esistente e il nuovo all'interno dei comparti urbani [5].

Diversi esperimenti sono stati condotti nell'ultimo decennio in tutta Europa, dimostrando l'efficacia di questa strategia anche nei contesti storici, laddove il quadro normativo ne consente l'applicazione. Questa strategia presenta grandi potenzialità non solo in termini di prestazioni energetiche della scala architettonica dell'edificio, ma anche in termini di rimodellamento dell'ambiente urbano, poiché le aggiunte volumetriche possono colmare i vuoti generati dall'evoluzione urbana delle città nel corso dei secoli.



Fig. 2. Esempi di *Add-ons* prefabbricati e preassemblati: (da sinistra a destra) De PreFabriek (© <https://depre-fabriek.nl/>); La Casa por el Tejado (© <http://lacasaporeltejado.eu/>); EMERGO Woonmodules (© <https://www.emergo.nl/>); Ruiters Dakkapellen (© <https://www.ruiterdakkapellen.nl/>).

3. Metodologia

La metodologia proposta – denominata EASY – è stata concepita con l'obiettivo di semplificare la valutazione del livello di circolarità degli interventi su edifici esistenti, specialmente in quei

casi in cui non si hanno a disposizione informazioni dettagliate sui materiali già in opera. Infatti, mentre negli edifici di nuova costruzione è possibile conoscere l'EPD o una analoga certificazione di impatto ambientale per ogni materiale utilizzato, quando si interviene su edifici esistenti risulta impossibile conoscere l'impatto ambientale dovuto alla produzione del materiale. In questo caso, l'elaborazione di un metodo semplificato, che dia informazioni complete, efficaci e attendibili, rappresenta uno strumento decisionale utile per i produttori, i progettisti e i committenti per compiere scelte più consapevoli. L'obiettivo finale riguarda l'individuazione di un *Building Circularity Indicator* (BCI), con la finalità sia di mantenere un elevato livello di accuratezza e obiettività della valutazione, sia di fornire uno strumento facilmente comprensibile e accessibile a tutti gli operatori coinvolti nel processo edilizio.

Di seguito si presenta la descrizione della specifica metodologia adottata per l'analisi delle soluzioni prefabbricate proposte per la riqualificazione profonda. La procedura si fonda sulla preliminare selezione dei parametri più rilevanti per la valutazione del livello di circolarità delle addizioni volumetriche, sulla base della quale è stato sviluppato un metodo semplificato per misurarli e sintetizzarli tutti facilmente in un unico indice.

Coerentemente con quanto proposto da DRIVE 0 [6], un metodo efficace per l'individuazione di un prodotto che rispecchi i requisiti di circolarità prestabiliti, può essere organizzato su due livelli:

1. il livello 1 si basa su alcune semplici domande [sì/no] che offrono una panoramica del livello di circolarità generale di un prodotto;
2. il livello 2 consiste in un'analisi più approfondita della circolarità, utilizzando una quantità più consistente di dati. Per questo livello, il valutatore analizza il prodotto utilizzando l'elenco dei parametri sopracitati, di seguito meglio specificati, classificando l'ambito e le condizioni al contorno dello studio, nonché le relazioni tra gli elementi.

Il secondo livello di valutazione, sebbene più approfondito di un semplice questionario a risposta chiusa, risulta comunque estremamente più speditivo di un qualsiasi strumento di valutazione della circolarità operato per mezzo di software LCA.

Per l'individuazione di un unico indicatore di circolarità complessivo, innanzitutto è necessario identificare un elenco di *Key Process Indicators* (KPIs) ovvero una serie di parametri che siano effettivamente significativi per la valutazione della circolarità. Il punto di partenza per i KPIs sviluppati da DRIVE 0 si basa su "LEVEL(s)", il quadro europeo per gli edifici sostenibili [7]. In particolare, il più rilevante per DRIVE 0 è il macro-obiettivo n. 2 "Cicli materiali efficienti in termini di risorse e circolari". A partire da questi e da altri contributi significativi, sono stati selezionati e definiti i parametri per l'analisi della circolarità riportati in seguito.

Analisi preliminare

Per ogni prodotto che si prende in considerazione in fase di riqualificazione è richiesta al produttore la compilazione di un questionario preliminare. La scelta tra risposte chiuse [sì/no] serve per valutare rapidamente l'adeguatezza di un prodotto rispetto a tutte le alternative disponibili, senza dover effettuare un'onerosa raccolta di dati preliminari.

Al produttore di ogni componente è richiesto di indicare alcuni dati specifici per valutare il livello di circolarità, di seguito riportati:

- Stima della vita utile [anni];
- Massa dei materiali [kg];
- EE dei materiali [MJ];
- EC dei materiali [kg];
- Parametri di circolarità (definiti in seguito).

Inoltre, si richiede all'azienda di compilare un questionario che prevede i seguenti quesiti:

Domande generali:

- G1: il prodotto possiede un registro digitale (*digital logbook*)? [sì/no]
- G2: esiste un EPD o una certificazione C2C del prodotto? [sì/no]
- G3: si conosce la massa di materiali che compongono il prodotto? [sì/no]
- G4: si conosce la quantità di EE dei materiali? [sì/no]
- G5: si conosce la quantità di EC dei materiali? [sì/no]
- G6: si conosce la divisione tra materiali nuovi, riutilizzati e riciclati? [sì/no]

Materiali:

- M1: gli elementi sono fatti di materiali compatibili o omogenei? [sì/no]
- M2: ci sono opzioni predefinite di riciclo per i materiali? [sì/no]
- M3: i materiali possono essere separati facilmente? [sì/no]
- Prodotti:
- P1: gli elementi che compongono il prodotto sono facilmente separabili? [sì/no]
- P2: il numero e la complessità di passaggi per disassemblare gli elementi è basso? [sì/no]
- P3: ci sono elementi o parti prefabbricate? [sì/no]
- P4: sono presenti parti o elementi di dimensioni standard? [sì/no]

Multifunzionalità:

- F1: se applicabile, il prodotto è adattabile per future esigenze funzionali? [sì/no]
- F2: se applicabile, sono stati utilizzati moduli prefabbricati preassemblati? [sì/no]

Una volta individuato il prodotto più idoneo per la riqualificazione, attraverso la compilazione del questionario preliminare e il confronto tra i dati forniti dai vari produttori, è possibile procedere con il secondo livello di valutazione.

Raccolta dati

Il secondo passaggio della metodologia prevede la raccolta dei dati relativi ai materiali in uso, attraverso un cosiddetto *Material Passport*, ovvero un documento che raccoglie tutte le informazioni necessarie per ogni materiale presente nell'edificio esistente. Secondo la metodologia implementata in DRIVE 0 [8], per ciascun materiale sono raccolte le seguenti informazioni:

1. Classificazione del sistema o sub-sistema edilizio (*Building layer*): *site, structure, skin, services, space plan, stuff*;
2. Breve descrizione;
3. Strategia di fine vita – o *End of Life* (EoL) – per ciascun componente, detta anche “*Recovering potential*” o “Riusabilità” (classificata come: riparabile, riutilizzabile, revisionabile/ricondizionabile, riciclabile, non modificabile/non recuperabile);

4. Massa di materiali [kg];
5. EE totale [MJ] e per unità di peso [MJ/kg];
6. EC totale [kgCO₂] e per unità di peso [kgCO₂/kg].

Per evitare perdite di tempo durante la raccolta dati, si considera trascurabile l'impatto di materiali presenti in quantità poco significative o dal ridotto impatto ambientale. In particolare, si utilizza il principio di Pareto, basato sulla regola 80/20.

I valori di EE ed EC sono calcolati con il database Inventory of Carbon and Energy (ICE) [9] e i *building layers* sono classificati secondo la teoria delle 6S di Brand [10] che concepisce un edificio come suddiviso nei "sei strati" individuati da Brand: sito, struttura, involucro, servizi, spazi interni, arredo. Lo scopo di questa suddivisione è distinguere i livelli di un edificio secondo la gerarchia della composizione dei materiali e la frequenza con cui questi necessitano di essere sostituiti/manutenuti.

Il database ICE è utilizzato per calcolare la quantità di EE ed EC. È stato selezionato questo strumento perché una LCA basata sulle effettive caratteristiche di ogni materiale risulterebbe troppo specifica e dispendiosa in termini di tempo e la mancanza di informazioni precise, che spesso non sono note per gli edifici esistenti, renderebbe comunque poco attendibili i risultati. Attraverso questo inventario, si ottiene un valore di EE e EC per tutti i materiali in uso.

Valutazione dei parametri di circolarità

Il terzo passaggio della metodologia riguarda la valutazione dei parametri di circolarità, utili al fine di semplificare il calcolo che conduce all'indicatore di circolarità complessivo.

In particolare, i parametri di circolarità possono essere raggruppati in 3 categorie:

1. Capacità di disassemblaggio – o *Design for Disassembly* (DfD);
2. Origine dei materiali (MO);
3. Riusabilità (RU).

Il primo parametro DfD, che misura la capacità di disassemblaggio di un prodotto, deriva da quattro tra i numerosi criteri proposti da Alba Concept e van Schaik [11]:

1. Tipo di connessioni;
2. Accessibilità delle connessioni;
3. Sovrapposizioni;
4. Contenimento formale.

Questi quattro parametri sono legati alla conformazione e alla smontabilità degli elementi costruttivi e la loro media può essere considerata come un unico parametro DfD che ne individua, appunto, la capacità di disassemblaggio del prodotto. Più il parametro così ricavato si avvicina a 1,0, più il prodotto risulta essere facile da smontare.

Il secondo parametro MO fornisce un'indicazione sulla provenienza dei materiali, dei prodotti e dei componenti utilizzati, ed è utilizzato per attribuire un valore ponderato riferito alla fonte di provenienza del materiale esaminato. La scelta del parametro può avvenire tra varie opzioni:

- Materiale già in uso, presente nell'edificio analizzato;
- Materiale riparato localmente, materiali e componenti riusati;
- Materiale revisionato/ricondizionato, riciclato;
- Materiale vergine di origine organica;
- Materiale vergine di origine inorganica.

La provenienza di un materiale è un elemento fondamentale per determinare la circolarità di una ristrutturazione. Calcolare l'esatta quantità di materiale riciclato all'interno di ogni singolo componente di un prodotto può essere troppo complesso e rallentare notevolmente la stima della circolarità, quindi l'ottenimento di un singolo parametro come questo rappresenta un buon compromesso per valutare in modo speditivo la provenienza di un materiale.

Il terzo criterio RU rappresenta un aspetto fondamentale che indica le potenzialità di riutilizzo dei materiali al termine del loro fine vita. Anche in questo caso, si tratta di un parametro introdotto per incentivare la scelta di prodotti che siano il più possibile riutilizzabili e sfavorire, invece, la scelta di prodotti poco circolari. Più l'indice è alto, maggiore è la capacità del materiale di essere riadattato a un uso futuro.

I tre criteri di circolarità sopra citati sono riportati con i rispettivi valori pesati nella tabella seguente (Tab. 1).

Con riferimento alla Tab. 1, si riportano di seguito le definizioni dei diversi livelli di "Riusabilità dei materiali" (RU):

- Riparabile: derivato da un processo di ripristino delle funzioni, include la riparazione o miglioramento della condizione danneggiata con interventi che richiedano modifiche trascurabili;
- Riutilizzabile: derivato da un processo di riutilizzo di un oggetto, per il suo scopo originale o per svolgere una funzione diversa, senza snaturarlo o comprometterne eccessivamente l'integrità;
- Revisionabile: derivato da un processo di ripristino dell'ordine e dell'aspetto originali con nuovi materiali;
- Ricondizionabile: ottenuto combinando parti riutilizzate, riparate e nuove;
- Riciclabile: ottenuto da un processo di conversione di materiale di scarto in materiale riutilizzabile, scomponendo gli elementi per creare nuovi materiali.

Calcolo dell'indicatore di circolarità del prodotto

Dopo aver assegnato a ciascun materiale i parametri di circolarità più idonei, la valutazione della circolarità procede attraverso lo svolgimento delle seguenti operazioni:

- una prima media pesata dei quattro criteri relativi alla capacità di disassemblaggio (Tipo di Connessioni, Accessibilità delle connessioni, Sovrapposizioni, Contenimento formale) permette di ottenere il parametro denominato DfD;
- successivamente, una seconda media tra i parametri DfD, MO e RU fornisce un indicatore di circolarità applicato a ogni materiale.

<i>Parametri</i>		<i>Opzioni</i>	<i>Peso</i>
DfD	Tipo di connessione	Connessioni a secco	1,0
		Connessioni con elementi aggiuntivi	0,8
		Connessione diretta e integrale	0,6
		Composti chimici tenui	0,2
		Composti chimici forti	0,1
	Accessibilità delle connessioni	Liberamente accessibile	1,0
		Accessibile con azioni aggiuntive che non causano danni	0,8
		Accessibile con azioni aggiuntive che creano danni riparabili	0,4
		Non accessibile – danni irreparabili	0,1
	Sovrapposizioni	Zonizzazione modulare degli oggetti	1,0
		Sovrapposizioni tra uno o più oggetti	0,4
		Completa integrazione degli oggetti	0,1
Contenimento formale	Aperto, nessuna inclusione	1,0	
	Sovrapposizioni su un lato	0,8	
	Chiuso su un lato	0,2	
	Chiuso su più lati	0,1	
MO	In uso	1,0	
	Riparato localmente, materiali e componenti riusati	0,8	
	Revisionato/ricondizionato, riciclato	0,6	
	Materiale vergine di origine organica	0,4	
	Materiale vergine di origine inorganica	0,1	
RU	Riparabile	1,0	
	Riutilizzabile	0,8	
	Revisionabile/ricondizionabile	0,6	
	Riciclabile	0,4	
	Non modificabile/non recuperabile	0,1	

Tab. 1. Parametri di circolarità e rispettivi valori pesati.

$$PCI_j = (DfD_j + MO_j + RU_j)/3$$

Il parametro finale rappresenta un coefficiente che deve essere moltiplicato per la Massa, l'EE e l'EC di ogni materiale elencato, al fine di definire il *Product Circularity Indicator* (PCI) [12], ovvero l'indicatore di circolarità del prodotto, per ogni componente elencato.

Il PCI permette di ottenere tre valori distinti:

1. Massa [kg]: corrispondente alla quantità di massa indicativamente riutilizzabile in seguito alle considerazioni relative alla capacità di disassemblaggio, origine dei materiali e riusabilità dei materiali;
2. EE [MJ]: corrispondente all'*Embodied Energy* ancora inglobata nel materiale considerato;
3. EC [kgCO₂/kg]: corrispondente all'*Embodied Carbon* ancora inglobato nel materiale considerato.

$$\begin{aligned} \text{Mass}_{\text{PCI}_j} &= \text{Mass}_j \cdot \text{PCI}_j; \\ \text{EE}_{\text{PCI}_j} &= \text{EE}_j \cdot \text{PCI}_j; \\ \text{EC}_{\text{PCI}_j} &= \text{EC}_j \cdot \text{PCI}_j. \end{aligned}$$

Calcolo dell'indicatore di circolarità dell'edificio tramite il metodo "EASY"

Una volta calcolato il PCI per ogni materiale, è possibile definire un *Express Building Circularity Indicator* (EBCI) complessivo, derivato dal metodo denominato "EASY", relativo all'intero edificio. La formula utilizzata lega il PCI di ciascun materiale alla massa corrispondente, in modo da ottenere un valore medio ponderato, che rappresenta l'EBCI complessivo.

L'EBCI è quindi composto da tre indicatori che sono:

1. Massa [kg]: corrisponde alla massa ponderata del PCI per tutti i prodotti divisa per la massa totale dell'edificio;
2. EE [MJ]: corrisponde alla EE ponderata del PCI per tutti i prodotti divisa per la EE totale dell'edificio;
3. EC [kgCO₂/kg]: corrisponde alla EC ponderata del PCI per tutti i prodotti divisa per la EC totale dell'edificio.

$$\begin{aligned} \text{EBCI}_{\text{Mass}} &= \frac{\sum_{j=1}^N \text{Mass}_j}{\sum_{j=1}^N \text{Mass}_{\text{PCI}_j}}; \\ \text{EBCI}_{\text{EE}} &= \frac{\sum_{j=1}^N \text{EE}_j}{\sum_{j=1}^N \text{EE}_{\text{PCI}_j}}; \\ \text{EBCI}_{\text{EC}} &= \frac{\sum_{j=1}^N \text{EC}_j}{\sum_{j=1}^N \text{EC}_{\text{PCI}_j}}. \end{aligned}$$

Infine, per ottenere un unico indicatore finale complessivo che prenda in considerazione la massa di materiali utilizzati, l'energia inglobata e la CO₂ inglobata, si esegue la media aritmetica dei tre suddetti indicatori:

$$\text{EBCI}_{\text{TOT}} = (\text{EBCI}_{\text{Mass}} + \text{EBCI}_{\text{EE}} + \text{EBCI}_{\text{EC}})/3$$

L'EBCI finale è espresso numericamente in un intervallo da 0,1 a 1, per rappresentare il livello di circolarità di un intero edificio. Per rendere chiara la classificazione anche all'utente finale, si può individuare la seguente scala di valori:

- EBCI < 0,60 livello di circolarità basso;
- EBCI ≥ 0,60 livello di circolarità intermedio;
- EBCI ≥ 0,80 livello di circolarità elevato.

L'indice finale EBCI relativo alla massa ($\text{EBCI}_{\text{Mass}}$), *Embodied Energy* (EBCI_{EE}) ed *Embodied Carbon* (EBCI_{EC}) fornisce una panoramica approssimativa sulla quantità di EE ed EC che può essere recuperata dai vari materiali e sulla quantità che finirà in discarica dovuta a materiali a bassa circolarità. Infatti, sebbene il metodo si basi sull'utilizzo di coefficienti moltiplicativi che

non permettono di ottenere un valore di massa, EE ed EC che rappresenti quantità residue reali all'interno dei materiali, permette comunque di fornire un'indicazione chiara e immediata della circolarità di ogni materiale impiegato e in opera nell'edificio.

Il potenziale recuperabile finale – in termini di massa, EE ed EC – rappresenta un risultato importante, come parametro di sintesi per valutare in modo speditivo l'impatto di una soluzione costruttiva. Le ricerche svolte nell'ambito del progetto DRIVE 0 hanno dimostrato l'affidabilità di questo risultato, pur non essendo basato su analisi troppo complesse o dispendiose in termini di tempo e di dati da analizzare. Pertanto, il metodo EASY può essere considerato un valido strumento di supporto decisionale per stimare l'impatto ambientale di un intervento.

Questa metodologia può essere applicata all'intero edificio, al fine di valutare il *Building Circularity Indicator* complessivo, ma si può anche restringere alle specifiche soluzioni che si intendono adottare per valutare più alternative e scegliere quella più idonea, valutando quindi l'EBCI per un componente specifico. Questa valutazione è importante perché fornisce uno strumento a supporto delle scelte progettuali che intendono adottare una strategia circolare (eventualmente con l'ausilio di strumenti digitali).

4. Applicazione a quattro casi di studio

Il metodo EASY per la valutazione del livello di circolarità è stato applicato a quattro casi studio selezionati all'interno del progetto DRIVE 0, al fine di confrontare lo stato di fatto di questi edifici e valutare l'impatto di vari scenari di intervento possibili. Su ogni caso di studio è stato preventivamente svolto uno studio di fattibilità – in termini di aspetti normativi e tecnici – al fine di valutare la reale possibilità di applicare le addizioni volumetriche agli edifici esistenti. Siccome per alcuni edifici non risulta fattibile l'incremento di volume a causa di limiti normativi e/o tecnici, in alcuni casi di studio le valutazioni riportate sono esclusivamente sotto forma di simulazione digitale, mentre per gli altri gli scenari di intervento sarà effettivamente realizzato.

Per ogni edificio analizzato sono stati studiati e sviluppati diversi interventi:

- l'intervento di *deep renovation* (riqualificazione profonda) che corrisponde a quello che sarà effettivamente realizzato nell'ambito di DRIVE 0;
- tre diverse soluzioni di *add-on* singole selezionate tra le cinque definite dal progetto ABRACADABRA: *ground addition* (addizione al piano terra), *façade addition* (addizione sulla facciata principale), *aside addition* (addizione sulla facciata laterale), *top addition* (addizione in copertura), *assistant building (edificio di servizio distaccato)*, in aggiunta all'intervento di *deep renovation*;
- lo scenario che combina tutti gli scenari precedenti, incluso l'intervento di riqualificazione profonda (che in alcuni casi coincide con uno scenario di addizione volumetrica).

Oltre a valutare il livello di circolarità, è stata sviluppata anche l'analisi di impatto ambientale dei diversi scenari di intervento, confrontando i valori ottenuti dal metodo EASY (relativo al database ICE) con quelli ottenuti attraverso un'analisi LCA condotta con il Software OneClick LCA. Questa operazione è servita come validazione del metodo EASY, al fine di comprendere se l'utilizzo di un metodo semplificato potesse essere un valido strumento di valutazione dell'impatto ambientale in termini di energia e di CO₂ inglobata.

L'analisi condotta con OneClick LCA ha considerato l'impatto ambientale necessario per la realizzazione degli interventi previsti nei diversi scenari, trascurando quello dello stato attuale. Questa scelta deriva dal fatto che la valutazione dello stato attuale non sarebbe stata attendibile per l'assenza di dati sulle proprietà reali dei materiali e di informazioni inerenti la loro reale provenienza. Inoltre, l'obiettivo di queste analisi mira a confrontare scenari di riqualificazione profonda per identificare la strategia più circolare con il minor impatto ambientale; pertanto, la valutazione dello stato di fatto con OneClick LCA non sarebbe utile a questo scopo.

Per quanto riguarda l'analisi dei diversi scenari di intervento, sono stati presi in considerazione solo gli interventi che coinvolgono l'involucro edilizio, inclusi i componenti trasparenti con le relative componenti di ombreggiamento integrate, e i sistemi impiantistici integrati (quali i pannelli fotovoltaici).

Per confrontare i risultati di OneClick LCA con quelli ottenuti con il metodo EASY, l'analisi LCA è stata effettuata considerando solo le prime 3 fasi di vita relative ai materiali (Materiali A1-A3), escludendo tutte le altre fasi (*Transportation* (A4), *Transportation – leg 2* (A4-leg2), *Construction* (A5), *Maintenance and replacement* (B1-B5), *Energy* (B6), *Water* (B7), *End of life* (C1-C4)). In questo modo, i confini all'interno dei quali opera il metodo EASY sono gli stessi. L'analisi LCA condotta secondo questo approccio è stata denominata “*LCA cradle-to-gate*”.

Il software selezionato per le analisi elabora i dati di *input* e genera le proprie valutazioni in riferimento a diverse categorie di impatto. Tale confronto analizza solo due categorie di impatto:

- “*Global Warming Potential (GWP)*”, misurato in [kgCO₂e], che corrisponde alla EC utilizzata nel metodo EASY;
- “*Total use of primary energy excluding raw materials*” (Utilizzo totale di energia primaria escluse le materie prime), misurato in [MJ], che corrisponde alla EE utilizzata nel metodo EASY.

I dati illustrati in Fig. 3.b e 3.c mostrano il confronto tra i risultati ottenuti con i due diversi metodi (Fig. 3).

La valutazione del livello di circolarità dei diversi scenari è stata effettuata attraverso l'applicazione del metodo EASY, che ha portato alla valutazione dell'indicatore EBCI, il cui valore è dato dalla media dei tre valori EBCI legati rispettivamente a Massa, EE ed EC. I risultati riportati in figura (Fig. 3.a) dimostrano che per tutti gli scenari di intervento il livello di circolarità raddoppia rispetto al valore dell'edificio esistente, consentendo così un passaggio da un livello basso a un livello medio di circolarità.

La valutazione dell'impatto ambientale è avvenuta per mezzo di un confronto tra i valori ottenuti tramite ICE e quelli ottenuti mediante una analisi LCA *cradle-to-gate*, sviluppata tramite il software OneClick LCA, al fine di validare il metodo EASY. Come dimostrato dalle tabelle seguenti, la variazione tra questi valori è limitata a un range di 0-9%, dimostrando così che la valutazione ambientale semplificata con EASY risulta attendibile. I valori indicati nei grafici e nelle tabelle riferiti al confronto con l'analisi LCA *cradle-to-gate* rappresentano l'impatto dei soli prodotti e componenti aggiuntivi dei diversi scenari di intervento, trascurando l'impatto dello stato di fatto che è considerato come situazione di partenza.

È importante notare che la valutazione delle diverse soluzioni in termini di impatto ambientale e

METODO DI VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA CIRCOLARITÀ NEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. APPLICAZIONE A QUATTRO CASI DI STUDIO IN EUROPA

EBCI Express Building Circularity Indicator	Paesi Bassi		Spagna		Estonia		Irlanda	
	EBCI	CIRCULARITY LEVEL	EBCI	CIRCULARITY LEVEL	EBCI	CIRCULARITY LEVEL	EBCI	CIRCULARITY LEVEL
CURRENT STATE	0,32	LOW	0.26	LOW	0.32	LOW	0.33	LOW
DEEP RENOVATION	0,61	MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	0.59	LOW-MEDIUM
TOP ADD-ON	0,64	MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	0.50	LOW-MEDIUM	0.57	LOW-MEDIUM
FACADE ADD-ON	0,61	MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	0.59	LOW-MEDIUM
ASIDE ADD-ON	-	-	0.53	LOW-MEDIUM	0.53	LOW-MEDIUM	-	-
GROUND ADD-ON	0,61	MEDIUM	-	-	-	-	0.59	LOW-MEDIUM
ADD-ONS COMBINATION	0,60	MEDIUM	0.52	LOW-MEDIUM	0.50	LOW-MEDIUM	0.57	LOW-MEDIUM

GLOBAL WARMING (kgCO2e) Phases A1-A3 (Materials)	Paesi Bassi			Spagna			Estonia			Irlanda		
	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %
DEEP RENOVATION	18,105	20,969	-14%	113,661	113,884	0%	389,158	371,507	-5%	24,970	22,366	12%
TOP ADD-ON	63,962	58,012	10%	185,122	188,993	-2%	515,577	500,765	-3%	45,053	45,221	0%
FACADE ADD-ON	35,459	39,281	-10%	142,075	135,027	5%	433,010	413,370	-5%	31,333	29,553	6%
ASIDE ADD-ON	-	-	-	178,389	182,741	-2%	398,594	380,380	-5%	-	-	-
GROUND ADD-ON	35,650	35,175	1%	-	-	-	-	-	-	36,165	34,171	6%
ADD-ONS COMBINATION	100,720	93,294	8%	284,400	278,993	2%	575,605	558,356	-3%	61,452	62,646	2%

TOTAL USE OF PRIMARY ENERGY (MJ) Phases A1-A3 (Materials)	Paesi Bassi			Spagna			Estonia			Irlanda		
	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %	OneClick LCA	ICE	Variation %
DEEP RENOVATION	305,573	279,834	9%	1,720,014	1,721,699	0%	5,782,669	6,144,591	6%	320,084	336,825	5%
TOP ADD-ON	960,416	955,381	1%	2,828,838	3,001,219	-6%	7,087,984	7,698,780	9%	578,853	653,761	11%
FACADE ADD-ON	492,668	489,696	1%	2,168,769	2,069,560	5%	6,419,805	6,730,221	5%	453,077	450,881	0%
ASIDE ADD-ON	-	-	-	2,408,548	2,603,233	-7%	5,960,449	6,321,324	6%	-	-	-
GROUND ADD-ON	476,606	478,108	0%	-	-	-	-	-	-	553,884	501,668	10%
ADD-ONS COMBINATION	1,351,252	1,439,554	-6%	4,023,966	4,230,614	-5%	8,043,275	8,580,281	7%	939,936	912,712	3%

Fig. 3. a) Confronto tra gli ECBI dei quattro casi studio; b) Confronto tra *Global Warming* ed EC dei quattro casi studio; c) Confronto tra *Total Use of Primary Energy* ed EE dei quattro casi studio – © 2022, R. Corticelli.

livello di circolarità deve essere correlata all'aumento della superficie netta e delle unità abitative. Lo stesso principio deve essere adottato per la valutazione economica, che deve mettere in relazione il costo dell'intervento con i benefici economici derivanti dall'aumento del patrimonio immobiliare dell'edificio dovuto all'aumento della superficie netta.

Paesi Bassi

Il caso studio olandese si trova a Landgraaf e consiste in un blocco di quattro unità abitative costituito dalla tipica tipologia edilizia olandese a schiera. La costruzione risale al 1965 e, poiché le abitazioni risultano inadeguate per gli standard abitativi odierni, necessita di un intervento di riqualificazione profonda. Le unità abitative sono relativamente spaziose con una superficie totale media di 106 m². Ogni unità contiene 4-5 ambienti (piano terra con ingresso, cucina e soggiorno; primo piano con 2-3 camere e un bagno; sottotetto non abitabile).

In seguito agli studi di fattibilità tecnica e normativa, risultano realizzabili i seguenti interventi:

- *Deep renovation*: prevede l'applicazione di una facciata coibentata e ventilata agganciata a secco alla struttura esistente tramite un sistema *Plug&Play*;
- *Top add-on*: permette di rendere abitabile il sottotetto, incrementando la superficie utile;
- *Facade add-on*: permette di aggiungere superficie utile in tutti gli ambienti che affacciano sul lato Nord: soggiorno, una camera da letto e il bagno al primo piano;
- *Ground add-on*: permette di raddoppiare la superficie della cucina, rendendola abitabile;
- *Add-ons combination*: comprende tutte le soluzioni precedenti.

L'impatto ambientale dei diversi scenari in termini di Massa totale, EE e EC, è stato valutato attraverso la compilazione del *Material Passport* per ogni scenario e l'assegnazione dei dati ricavati dal database ICE.

I risultati dimostrano che le soluzioni meno impattanti sono: in termini di massa, l'*add-on* parziale in copertura; in termini di EE, la riqualificazione profonda e l'*add-on* di facciata; in termini di EC, l'*add-on* di facciata ma che, in generale, tutte le singole soluzioni di *add-on* sono abbastanza simili. Si riportano nella Fig. 3.a i risultati condotti col metodo EASY che dimostrano un considerevole incremento del livello di circolarità di tutte le soluzioni di riqualificazione considerate.

Spagna

Il caso studio spagnolo è situato a Barcellona e consiste in un edificio multipiano a uso residenziale caratterizzato dalla presenza della cosiddetta facciata cieca (in spagnolo, “medianera”) che veniva realizzata per dare la possibilità di costruire un edificio vicino più alto, quindi senza prevedere che il muro sarebbe rimasto visibile. Esistono casi in cui non sono stati costruiti edifici limitrofi perché il regolamento urbanistico è cambiato oppure è stato demolito l'edificio accanto, quindi questi muri sono rimasti incompiuti.

Dagli studi di fattibilità legislativa è emerso che per le addizioni in copertura è richiesta l'unanimità dei proprietari e questo rende l'operazione estremamente complicata nel caso di condomini. Diversamente, nel caso in cui l'edificio sia di proprietà di un singolo, non sono previste restrizioni. È simile il caso di addizioni volumetriche in facciata, a eccezione dei balconi.

Per quanto riguarda la fattibilità tecnica, la possibilità di aggiungere volumi o superfici utili dipende dal *Plan General Metropolitano de Barcelona*. La potenziale addizione di nuovi volumi è limitata dall'indice di edificabilità tipico di ogni zona e indicato nella Conservatoria dei registri immobiliari. Questo indice non si riferisce solo allo spazio interno, ma anche alla proiezione dei volumi (chiusi o semi-chiusi) e ai requisiti di ventilazione e illuminazione. La proiezione dei

volumi aperti (per esempio i balconi e i terrazzi) non è considerata nel calcolo dell'edificabilità. In seguito agli studi di fattibilità, risultano realizzabili i seguenti interventi:

- *Deep renovation*: prevede l'applicazione di uno strato isolante in lana di roccia e di una sottostruttura in alluminio per realizzare una facciata ventilata;
- *Top add-on*: permette di ottenere due nuove unità abitative rispettivamente di 48 e 51 m² sul coperto dell'edificio;
- *Facade add-on*: consiste nella chiusura, tramite infissi, dei balconi del prospetto Sud-Est che affacciano su Calle de Pallars per la creazione di serre bioclimatiche;
- *Aside add-on*: permette di ottenere nuovi volumi in corrispondenza della facciata laterale cieca, per un incremento della superficie netta del 12%;
- *Add-ons combination*: comprende tutte le soluzioni precedenti.

Si riportano nella Fig. 3.a i risultati condotti col metodo EASY che dimostrano un considerevole incremento del livello di circolarità di tutte le soluzioni di riqualificazione considerate. Sebbene non si raggiunga la soglia di 0,6, che corrisponde al livello medio di circolarità, il miglioramento rispetto allo stato di fatto è tale da rendere comunque proficuo l'intervento.

Estonia

Il caso studio estone, situato a Saue, in Estonia, è costituito da un edificio in linea di 3 piani fuori terra e un piano seminterrato, composto da un totale di 24 appartamenti, costruito nel 1986. La sua struttura è realizzata in blocchi di calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) e in lastre alveolari prefabbricate in cemento armato. La copertura è in legno e lamiera metallica.

In seguito agli studi di fattibilità, risultano realizzabili i seguenti interventi:

- *Deep renovation*: intervento che sarà effettivamente realizzato, che prevede:
 1. il rivestimento dell'intero involucro edilizio con dei pannelli prefabbricati (prodotti dall'azienda locale Timbeco);
 2. la sostituzione della lamiera di copertura esistente con una nuova in acciaio zincato a caldo, sulla quale sarà integrato un sistema di pannelli fotovoltaici;
 3. la chiusura dei balconi esistenti in facciata Nord-Ovest e l'apertura di nuovi balconi di 4,5 m² ciascuno in facciata Sud-Est, realizzati con strutture prefabbricate, prevalentemente lignee e metalliche, e montati *in situ* a secco.
- *Top add-on*: prevede l'aggiunta di un piano intero in corrispondenza della copertura, con conseguente incremento di 8 unità abitative nell'edificio;
- *Facade add-on*: prevede la trasformazione dei balconi in serre solari, tramite l'inserimento di infissi scorrevoli in PVC e triplo vetro;
- *Aside add-on*: prevede, per il lato Sud-Ovest, l'inserimento di serre-balconi analoghe a quelle previste in facciata e, per il lato Nord-Est, l'incremento di circa 17 m² ciascuno della superficie utile dei 3 appartamenti coinvolti;
- *Add-ons combination*: combinando tutte le soluzioni precedenti, permette di ottenere un totale di 32 unità abitative.

Si riportano nella Fig. 3.a i risultati ottenuti tramite metodo EASY, che dimostrano che il livello di circolarità in seguito agli interventi studiati quasi raddoppia rispetto al valore di partenza dell'edificio esistente. Sebbene non si raggiunga la soglia dello 0,6, il miglioramento rispetto allo stato di fatto è tale da rendere comunque proficuo l'intervento.

Irlanda

Il caso irlandese, situato nella città di Athlone, nella contea di Westmeath, è un tipico esempio di edificio residenziale irlandese bifamiliare, in cui ogni abitazione condivide un muro con l'altra, ed è su due livelli con tetto a falde. La realizzazione è avvenuta in due tempi diversi: l'unità abitativa al civico 7 nel 1972 e quella al numero 8 nel 1960. Entrambe le unità sono predisposte per ospitare un nucleo familiare di almeno quattro persone: al piano terra si trova un ampio soggiorno, con camino centrale, e dietro la cucina; al primo piano si trova la zona notte, con tre camere da letto e un bagno. La struttura dell'edificio è realizzata in intercapedine portante, costituita da due pareti parallele realizzate in mattoni pieni, separate da un'intercapedine centrale, riempite con materiale isolante in EPS.

In seguito agli studi di fattibilità, risultano realizzabili i seguenti interventi:

- *Deep renovation*: prevede che l'intero involucro edilizio sia rivestito con dei pannelli prefabbricati con un sistema in acciaio *Light Steel Frame* (LSF);
- *Top add-on*: permette di rendere abitabile il sottotetto dell'edificio;
- *Facade add-on*: permette di ottenere uno spazio aggiuntivo di circa 20 m² per piano sulla facciata Sud dell'edificio;
- *Ground add-on*: prevede l'aumento della superficie utile del piano terra sfruttando lo spazio del giardino retrostante;
- *Add-ons combination* (combinazione delle addizioni volumetriche): comprende tutte le soluzioni precedenti.

Si riportano nella Fig. 3a i risultati condotti col metodo EASY che dimostrano che per tutti gli scenari di intervento il livello di circolarità di fatto raddoppia rispetto al valore dell'edificio esistente, consentendo così un passaggio da un livello basso a un livello medio di circolarità. Sebbene la soglia dello 0,6 sia solo sfiorata, anche in questo caso il miglioramento rispetto allo stato di fatto è tale da rendere comunque proficuo l'intervento.

5. Conclusioni

La complessità del processo di riqualificazione edilizia è data da tanti fattori, di natura tecnica, legislativa, economica e sociale. Parte di essa può essere attribuita al coinvolgimento di diversi operatori, ciascuno con diversi ruoli e interessi. Spesso le decisioni più importanti durante la fase di progettazione devono essere prese da soggetti che non sono pienamente consapevoli dell'intero processo di produzione che interessa il settore delle costruzioni. Inoltre, spesso gli investitori e i costruttori non hanno alcuna consapevolezza dell'impatto economico e ambientale dei materiali che costituiscono l'edificio oggetto di intervento. La

conseguenza di questo stato di fatto si traduce in un disinteresse da parte degli attori coinvolti nel processo edilizio verso un efficiente impiego delle risorse disponibili mediante il riutilizzo delle risorse già presenti e l'impiego di tecniche volte a ottimizzare il futuro riuso dei materiali impiegati nella riqualificazione. Questi aspetti rappresentano i principali ostacoli alla diffusione di un approccio circolare nell'ambiente costruito. Tale consapevolezza potrebbe essere raggiunta grazie all'elaborazione e diffusione di metodi e strumenti per valutare l'impatto ambientale e il livello di circolarità, che siano adottabili in modo semplice e intuitivo per tutti gli attori coinvolti nel processo edilizio. La diffusione di tali strumenti potrebbe effettivamente rappresentare un importante contributo per consapevolizzare tutti gli utenti, anche non specializzati nel settore edile, verso il tema della circolarità.

In questo contesto, le analisi riportate dimostrano che questo metodo semplificato rappresenta un valido strumento decisionale per supportare tutti i soggetti coinvolti nel processo a compiere scelte progettuali consapevoli secondo un approccio olistico, che tenga conto anche dell'impatto ambientale degli interventi di riqualificazione edilizia.

La fase di progettazione è cruciale per valutare l'impatto ambientale e compiere scelte che rispettino i principi dell'edilizia circolare che si basa sul principio DfD, ovvero la reversibilità dei sistemi e dei componenti costruttivi. Tuttavia, i progettisti spesso difficilmente operano secondo questo principio, poiché sul mercato tali soluzioni tecnologiche sono difficili da trovare e identificare. Da ciò nasce la necessità di favorire un dialogo tra progettisti e fornitori tecnici, al fine di diffondere l'uso di soluzioni facilmente montabili e smontabili (*Plug&Play*), ed eventualmente riciclabili o riutilizzabili in altri contesti. Per far fronte a queste necessità, il metodo "EASY – *Express ASsessing tool for Circularity*", presentato in questo contributo, si propone di investigare in maniera speditiva e intuitiva il livello di circolarità degli edifici. Le analisi svolte applicando il metodo EASY sui quattro casi studio selezionati (Paesi Bassi, Spagna, Estonia, Irlanda) dimostrano come l'implementazione di interventi di riqualificazione profonda basati sull'utilizzo di addizioni volumetriche circolari consenta di raddoppiare la circolarità globale dell'intero edificio, espressa attraverso l'indice EBCI.

Queste analisi hanno confermato il potenziale della strategia di addizione volumetrica promossa da ABRACADABRA che, se implementata secondo i principi di circolarità proposti da DRIVE 0, permette di ottenere soluzioni efficaci per la riqualificazione di edifici esistenti, capaci di offrire innumerevoli vantaggi soprattutto ai consumatori, che possono così godere di spazi abitativi più ampi, di maggiore qualità, più performanti e meno impattanti dal punto di vista ambientale.

Riferimenti bibliografici

- [1] "DRIVE 0" H2020 progetto europeo. Disponibile online: <https://cordis.europa.eu/project/id/841850/it> (ultimo accesso 2 marzo 2022).
- [2] Braungart M, McDonough W. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Vintage Books, Londra, 2002.
- [3] "ABRACADABRA" H2020 progetto europeo. Disponibile online: <https://cordis.europa.eu/project/id/696126/it> (ultimo accesso 2 marzo 2022).
- [4] La Casa por el Tejado. Disponibile online: <http://lacasaporeltejado.eu> (ultimo accesso 2 marzo 2022).

- [5] Fotopoulou A, Ferrante A. Energy and Non-energy-Related Benefits in the Retrofit of the Existing Building Stock. Leal Filho W, Azul A, Brandli L, Lange Salvia A, Wall T (Eds.). Affordable and Clean Energy, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goal. Springer, Germany, 2020.
- [6] “DRIVE 0” H2020 EU Project, Deliverable 6.1 Report on benchmarking on circularity and its potentials on the demo sites. Available online: https://www.drive0.eu/wp-content/uploads/2020/08/DRIVE0_D6.1.pdf (accessed on 1 June 2022).
- [7] “Level(s)” European framework for sustainable buildings. Disponibile online: https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en (ultimo accesso 2 marzo 2022).
- [8] Cottafava D, Ritzen M. Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects. Resources, Conservation & Recycling 164, 105120: 1-13, 2021.
- [9] Hammond G, Jones C, Lowrie F, Tse P. Embodied carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE). BSRIA, 2011.
- [10] Brand S. How Buildings Learn: What Happens After They’re Built. Penguin, 1995.
- [11] van Schaik CW. Circular Building Foundations. Delft University of Technology, Delft, 2019.
- [12] Verberne J. Building circularity indicators – an approach for measuring circularity of a building. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2016.

