

Colloqui.AT.e 2023

# In Transizione: sfide e opportunità per l'ambiente costruito

## In Transition: challenges and opportunities for the build heritage

Editors

Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito,  
Mariella De Fino, Elena Cantatore

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.

È utile sottolineare che i comitati non sono responsabili dei contenuti e delle opinioni espresse nei singoli contributi pubblicati nel volume. Le opinioni sono espressamente riferibili agli Autori dei contributi pubblicati nel presente volume. La presenza di prodotti e nomi commerciali non costituiscono una raccomandazione d'uso.

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.

The conference Committees are not responsible for the statements of opinions expressed in this publication. Any Statements of view expressed in the papers contained in this Book are those of the Author(s). Mention of trade names or commercial products does not constitute endorsement or recommendation for use.

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

*Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito, Mariella De Fino, Elena Cantatore*

Il volume è pubblicato con il patrocinio di / This book has been published with the patronage of  
*UNIBIM | Master BIM Manager – Università di Pisa*

La foto di copertina è di Francesco Carlucci

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 979-12-81229-02-0

Prima edizione ottobre 2023 / First edition October 2023

Colloqui.AT.e 2023

**In Transizione:  
sfide e opportunità  
per l'ambiente costruito**

**In Transition:  
challenges and opportunities  
for the build heritage**

A cura di / Editors

Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito,  
Mariella De Fino, Elena Cantatore

*14-17 giugno 2023*

*Politecnico di Bari – Dipartimento di Ingegneria Civile,  
Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica*

*Polytechnic University of Bari – Department of Civil,  
Environmental, Land, Building Engineering and Chemistry*

**EdicomEdizioni**

# Indice

INTRODUCTION	18
INTRODUZIONE	20
<b><u>A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION</u></b>	
IL MAL SOTTILE E L'ARCHITETTURA SANATORIALE IN ABRUZZO M. Abita, D. Di Donato, A. Tosone, R. Morganti	25
UN.BUILDING. ESERCIZI PROGETTUALI DI CONTRAZIONE CONTROLLATA IN UN PAESE IN VIA DI SPOPOLAMENTO M. Achenza, P. Cherchi, A. Rivera Vidal	41
IL PADIGLIONE MANDOLESÌ: PROGETTO DI RECUPERO DI UN EDIFICIO MODERNO NEL CAMPUS DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA DELL'UNIVERSITÀ DI CAGLIARI M. Agus, C. Atzeni, S. Cadoni, G. Desogus, F. Marras, E. Quaquero, A. Sanna	57
UN INVENTARIO TIPOLOGICO ALLA RICERCA DEI CRITERI PROGETTUALI IN UN CONTESTO DI NUOVA FONDAZIONE. LO STUDIO DI UN BRANO DEL TESSUTO URBANO A MESSINA G. Angileri, G. Tomasello	73
GLI EDIFICI ANTITUBERCOLARI PER L'INFANZIA A PALERMO: TIPOLOGIA E TECNOLOGIA T. Basiricò	91
ARCHITETTURA E COSTRUZIONE PER L'INDUSTRIA AGRO-ALIMENTARE IN ITALIA. IL CASO DI UDINE (1920-26) A. Bertolazzi, G. Croatto, U. Turrini, F. Chinellato, L. Petriccione	103
WORK PACKAGING MODEL PER LE IPOTESI COSTRUTTIVE DEL MAUSOLEO DI TEODORICO C. Bezzi, M.A. Bragadin e L. Guardigli	117
LA SCUOLA ITALIANA DI INGEGNERIA E I "CAPOLAVORI POSTUMI": ARCHITETTURA, TECNOLOGIA E COSTRUZIONE DEL VIADOTTO DI MODICA IN SICILIA (1962-67) F. Cammarata	133
L'INGEGNERIA STRUTTURALE NEL PROGETTO "CARTA DELLA CULTURA INDUSTRIALE" G. Capurso, L. Grieco	147
RESTAURO ARCHITETTONICO SOSTENIBILE CON MALTE IDRAULICHE NATURALI A BASE CALCE E COCCIOPESTO. TEORIE E APPROCCI CATANESI, UNA RASSEGNA DELL'ULTIMO DECENNIO S.M. Cascone, L. Longhitano, G.A. Longhitano	165
HERITAGE IMPACT ASSESSMENT IN UNESCO WHS. AN APPROACH FOR EVALUATING HUMAN-INDUCED ALTERATIONS IN TRADITIONAL BUILDING'S FACADES P. Cucco	177
SPAZI E STRUTTURE PER L'INDUSTRIA: EVOLUZIONI DELLA VOLTA SOTTILE AUTOPORTANTE IN ITALIA E. Currà, I. Giannetti, M. Russo	193

MACCHINA, FABBRICA E PROGETTO. CONVERGENZE DISCIPLINARI PER IL RECUPERO DEL PALAZZO-FABBRICA DELLA ZECCA DI ROMA E. Currà, M. Russo, L. Severi, C. Cui	209
LA RIQUALIFICAZIONE PRESTAZIONALE DEI QUARTIERI INA CASA DI MESSINA. GLI ALLOGGI PER LAVORATORI DI FILIPPO ROVIGO IN CONTRADA GAZZI FUCILE G. Currò, G. F. Russo	227
LA COSTITUZIONE DI UN PARCO RURALE DELLE MADONIE. UN PROGETTO COMUNITARIO PER IL RECUPERO E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO E PAESAGGISTICO DI UN'AREA INTERNA DELLA SICILIA OCCIDENTALE A. D'Amore, M. Saeli, T. Campisi	243
IL RIUSO DELL'EDILIZIA DISMESSA. IL CASO-STUDIO DEI CASELLI FERROVIARI: ANALISI E PROPOSTE METODOLOGICHE E. D'Andria, P. Fiore	261
CONSERVAZIONE E RESILIENZA NELL'ESPERIENZA DI PALAZZO CARLI A L'AQUILA. RIFLESSIONI SU UN APPROCCIO METODOLOGICO PER EDIFICI STORICI IN CONTESTI POST-CATASTROFE P. De Berardinis, G. Di Giovanni, A. Tosone, M. Rotilio, F. Cavalieri, L. Vespasiano	279
LE FABBRICHE A STRUTTURA D'ACCIAIO NEL MEZZOGIORNO D'ITALIA: IL CENTRO LOGISTICO SIVAM A GIOIA DEL COLLE D. Di Donato, M. Abita, A. Tosone, R. Morganti	299
L'ALBERO INQUILINO E LA CRITICA AL RAZIONALISMO G. Di Mari, E. Garda, T. Casale, A. Renzulli, E. Ricchiello	315
SOLUZIONI DI ADATTAMENTO CLIMATICO DELLO SPAZIO APERTO NEGLI EDIFICI STORICI. IL CASO DEL COMPLESSO DI SAN FRANCESCO DEL PRATO (PARMA) B. Gherri	327
MODELLI CITYGML-BASED SUPPORTATI DA SISTEMI DECISIONALI PER LA CONSERVAZIONE E LA GESTIONE DEL PATRIMONIO STORICO-CULTURALE. UNA REVISIONE SISTEMATICA M. Lasorella, E. Cantatore, F. Fatiguso	345
PROGETTO DI DOCUMENTAZIONE, MAPPATURA E FRUIZIONE DI UN OGGETTO ARCHITETTONICO IN UN SISTEMA INFORMATIVO M. Morandotti, E. Doria	365
CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL COSTRUITO PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE. IL CASO DEL COLLEGIO SPALLANZANI DI PAVIA M. Morandotti, A. Greco, D. Besana, F. Pelini	381
TRASFORMAZIONI CULTURALI E SPERIMENTAZIONI COSTRUTTIVE NELLE ARCHITETTURE DEL '900. LA "CASA DEL MUTILATO" DI BARI A. Pagliuca, P. P. Trausi, G. Grimaldi	397
RI-SCRITTURA DEL PATRIMONIO CULTURALE DEL MADE IN ITALY TRA DIGITALIZZAZIONE E DESIGN STRATEGICO V.D. Porcari, R. Lorusso, A. Guida	413
SUPPORTO ALL'ANALISI COSTRUTTIVA PER GLI EDIFICI STORICI: APPLICAZIONI DEL <i>REVERSE ENGINEERING</i> AL RILIEVO DEL PATRIMONIO COSTRUITO D. Prati, A. Massafra, L. Guardigli, R. Gulli	427

VILLA ARATA DI GIO PONTI A NAPOLI TRA IDENTITÀ RAZIONALISTA E TRADIZIONI MEDITERRANEE <b>F. Ribera, P. Cucco</b>	443
INNOVAZIONE E SPERIMENTAZIONE NEL SOLCO DELLA TRADIZIONE: IL CANTIERE STORICO DEL PALAZZO DI GIUSTIZIA DI ROMA <b>F. Ribera, P. Cucco, G. Neri</b>	459
LE OPERE IDRICHE E LE VIE D'ACQUA NELLA FORMAZIONE DEL TESSUTO STORICO URBANO. PARADIGMI DI GOVERNANCE TRADIZIONALE E CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE <b>F. Ribera, A. Gallo, P. Cucco</b>	473
RAZIONALIZZAZIONE DEI PROCESSI COSTRUTTIVI E PREFABBRICAZIONE: UN BREVETTO DI SOGENE E FABRIZIO DE MIRANDA PER PONTI A STRUTTURA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO <b>F. Spada</b>	491
STRATEGIE DI RIGENERAZIONE DEI CENTRI MINORI ATTRAVERSO LA VALORIZZAZIONE E L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA DELLE RISORSE LOCALI: UN CASO LOMBARDO <b>F. Speciale, L. E. Malighetti, M. Grecchi</b>	505
RESISTERE "PER FORMA". LE VOLTE A GUSCIO NELLA COSTRUZIONE STORICA SICILIANA: IL CASO DI PARTINICO <b>C. Vinci, S. Di Maggio, C. Di Maggio</b>	521
RIGENERARE LE PERIFERIE URBANE DI BARI: PICTOR OPTIMUS, UN COWORKING HUB DELLE ARTI PITTORICHE NEL QUARTIERE POGGIOFRANCO <b>C. Vizzarri, S. Zingaro, V. Zappimpulso, M. De Fabrizio, A. Calderazzi</b>	535
RIGENERAZIONE URBANA E DISEGNO DELLA NATURA URBANO-INDUSTRIALE <b>L. Zecchin</b>	553
LE ARCHITETTURE RELIGIOSE DI GIUSEPPE NICOLOSI NEL CONTESTO CASSINATE <b>M. Zordan, F. Fragnoli</b>	569

## **B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE**

STRUMENTI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA MITIGAZIONE DEI RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI DEL PATRIMONIO CULTURALE. IL CASO STUDIO DELLA CHIESA DI SAN FRANCESCO A SANT'AGATA DEI GOTI <b>M. Angrisano, I. Mecca, A. Scotto di Santolo</b>	583
TOWARD INTEGRATED REDEVELOPMENT OF INDUSTRIAL BUILDINGS: A GENERAL INTERVENTION PROTOCOL AND A CASE STUDY <b>N. Banti, C. Ciacci, V. Di Naso, F. Bazzocchi</b>	595
VALUTAZIONE (BEHAVIOURAL DESIGN-BASED) MULTIRISCHIO DI AMBIENTI COSTRUITI URBANI E DELLE STRATEGIE DI MITIGAZIONE: IL CASO DELLE PIAZZE STORICHE <b>G. Bernardini, E. Quagliarini, M. D'Orazio</b>	613
STRUMENTI E METODI INNOVATIVI PER LA MANUTENZIONE PREVENTIVA E PROGRAMMATA PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE <b>G. Bernardo, C. Rinaldi, A. Guida</b>	633

APPLICATION POTENTIALS OF A 3D EXOSKELETON TECHNOLOGY COMBINED WITH PREFABRICATED PANELS TO RENOVATE THE MODERN BUILDING STOCK <b>M. Bosco, S. D'Urso, G. Margani, E. M. Marino, G. M. Nicolosi, C. Tardo</b>	649
SOSTENIBILITÀ FORMALE VS SISTEMA A CAPPOTTO: L'IMPIEGO DI MALTE FIBRO-RINFORZATE PER IL RIPRISTINO DELLE FACCIATE <b>L. Calabrese, F. Grungo, R. Lione, F. Minutoli</b>	661
GLI STANDARD E LINEE GUIDA PER LA MISURAZIONE DELLE EMISSIONI DI CARBONIO IN EDILIZIA: ANALISI DELLA LETTERATURA <b>M. Calistri, M. A. Bragadin, S. Righi</b>	675
MOQA: A LOW-COST, PLUG-AND-PLAY, WIRELESS SMART HUB FOR BUILDING ENERGY PERFORMANCE AND INDOOR COMFORT MONITORING AND OPTIMIZATION <b>N. Callegaro, R. Albatici</b>	691
EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI PUGLIESI: UN'INDAGINE BASATA SULLA RILEVAZIONE DEI CONSUMI REALI <b>L.M. Campagna, F. Fiorito</b>	709
L'IDENTIFICAZIONE DEL RISCHIO EDILIZIO COME FASE NECESSARIA PER LA GESTIONE DEGLI SCENARI MULTI-RISCHIO <b>R. Castelluccio, M. Fraiese, L. Diana, V. Vitiello</b>	727
BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BIPV): EMERGING TECHNOLOGIES, PATENTS, AND PRODUCTS <b>K. A. Castro M., R. Corrao</b>	745
RELAZIONE UOMO-ARCHITETTURA NELLE VELE DI SCAMPIA. LO SPAZIO DI RISONANZA <b>A. Catalano, C. Sansone, B. Bonetti</b>	761
STRUMENTI GEOREFERENZIATI SPEDITIVI PER LA SIMULAZIONE ENERGETICA, ANALISI LCA E LCC ALLA SCALA DELL'ISOLATO URBANO. UNA METODOLOGIA COMPARATIVA, <i>CRADLE-TO-CRADLE</i> , PER VALUTARE SCENARI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E DEMOLIZIONE-RICOSTRUZIONE <b>C. Costantino, A.C. Benedetti, R. Gulli</b>	769
STRUMENTI DIGITALI PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI: UNA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA <b>F. De Simone, M. Morganti, A. D'Amico</b>	789
METODOLOGIA PER L'ANALISI ENERGETICA DI CONTESTI EDILIZI CONSOLIDATI: DAL RILIEVO ALLA COSTRUZIONE DEL MODELLO DIGITALE <b>R. Chieppa, G.R. Dell'Osso, F. Iannone</b>	805
COME È CAMBIATA LA PERCEZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ E DELL'IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI EDIFICI NELLA RICERCA DOPO IL COVID 19. UN PRIMO SONDAGGIO <b>U.M. Coraglia, C. Morganti, M.A. Bragadin, S. Pelsmakers</b>	823
BIM FOR HEALTHY BUILDINGS: UN APPROCCIO INTEGRATO ALLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA BASATO SULLA PREVISIONE DELLA IAQ <b>A. D'Amico, E. Currà, G. Bergonzoni, A. Pini, P. Monti, G. Confessore, D. Rinaldi</b>	839
END-USER'S PERCEPTION OF THE STATE OF THE BUILDING SYSTEMS THROUGH SENTIMENT AND EMOTION ANALYSIS METHODS <b>M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, G. Bernardini</b>	859

IDENTIFYING AND PREVENTING PATHOLOGIES IN ALPINE HUTS AND BIVOUACS: A NEW METHODOLOGY BASED ON TYPE ANALYSIS AND CLUSTERING <b>G. Dorigatti</b>	871
PROGETTAZIONE E VERIFICA SPERIMENTALE DI UN RIVESTIMENTO DI FACCIATA, A BASE DI SCARTI LAPIDEI, PER LA RIDUZIONE DEL RUMORE NEI CANYON URBANI <b>M. Ferrero, A. Coletta, C.V. Fiorini, A. Vallati</b>	887
PATOLOGIA DEL “DETTAGLIO”. LE COPERTURE CONTINUE <b>M. Fiori, E. De Angelis</b>	905
UN PERCORSO METODOLOGICO VERSO EDIFICI ZERO-CARBON <b>G.Iannaccone, F.Pittau, E.Kamel</b>	917
LEG.AT.I – LEGARE I LEGANTI: CEMENTO, TERRA CRUDA E GEOPOLIMERI <b>M. La Noce, G. Sciuto</b>	929
MURATURE STORICHE, UN’ANALISI FEM PER VALUTARNE LE PROPRIETÀ TERMOFISICHE <b>E. La Placa, G. E. Dino, C. Vinci</b>	949
VERDE VERTICALE NEGLI EDIFICI. CAMPAGNA SPERIMENTALE PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI UNA PARETE VERDE IN AREA MEDITERRANEA <b>G. Lombardo, A. Lo Faro, A. Moschella, G. Sciuto, A. Salemi, M. Detommaso</b>	963
RESIDENTIAL ENERGY RETROFITS: BALANCING DAYLIGHT PERFORMANCE AND OUTDOOR VIEW <b>A.G. Mainini, M. Cavaglià, J.D. Blanco Cadena, A. Speroni, T. Poli, C. Meli</b>	977
COMPLESSITÀ E CAMBIAMENTO CLIMATICO: IL RUOLO DELL’AMBIENTE COSTRUITO ED I METODI PER CONSIDERARE LE INCERTEZZE E MOLTEPLICI OBIETTIVI <b>S. Mannucci, A. Ciardiello, F. Rosso, M. Morganti, M. Ferrero</b>	993
RETROFIT AMBIENTALE DI EDIFICI ESISTENTI: VALUTAZIONE DELL’IMPATTO DI FLUOROCARBURI RESIDUI MEDIANTE ANALISI DI SENSITIVITÀ E INCERTEZZA <b>G. Maracchini, R. Di Filippo, R. Albatì, O.S. Bursi, R. Di Maggio</b>	1011
ARCHITETTURA OSPEDALIERA FLESSIBILE: ANALISI DEL CONTESTO ITALIANO CONTEMPORANEO <b>R. Marmo, G. De Lucia, P. Fiore, E. Sicignano</b>	1029
STRUCTURAL HEALTH MONITORING (SHM) AND THE IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) PARADIGM <b>A. Martinelli</b>	1045
A MULTI-FUNCTION AND COST-EFFECTIVE SENSOR NETWORK SYSTEM DEVELOPMENT FOR INDOOR AIR QUALITY MONITORING APPLICATIONS. VALIDATION PROCEDURE AND EXPERIMENTAL TESTS IN A SCHOOL CLASSROOM <b>F. Nabilou, M. Maresca, A.G. Mainini</b>	1061
KEY ENABLING TECHNOLOGIES PER LA VALUTAZIONE DELL’EFFICIENZA ENERGETICA E DELLA QUALITÀ DELL’ARIA INDOOR NEGLI EDIFICI <b>A. Pagliuca, D. Gallo</b>	1079
ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI UNA PARETE VENTILATA A STRUTTURA COMPOSITA IN LEGNO E CALCESTRUZZO MEDIANTE CFD <b>S. Pastori, N. Concato, V. Rava, G. Scrinzi, E.S. Mazzucchelli</b>	1093
ANALISI SPEDITIVE PER LA VALUTAZIONE SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO E MURATURA. IL METODO ADRISEISMIC <b>G. Predari, L. Stefanini</b>	1111



RIVESTIMENTI ELETTRICAMENTE CONDUTTIVI “AUTORISCALDANTI” A BASE DI GRAFENE: PROGETTAZIONE E STUDIO DELLE PRESTAZIONI S. Polverino, S. Bellani, G. Bianca, L. Gabatel, F. Bonaccorso	1127
COME INCREMENTARE LA SICUREZZA MULTIRISCHIO DELL’AMBIENTE COSTRUITO TRAMITE UN APPROCCIO COMPORTAMENTALE: RISULTATI DAL PROGETTO BE S <sup>2</sup> ECURE E. Quagliarini, E. Currà, F. Fatiguso, G. Mochi and G. Salvalai	1147
THERMOPHYSICAL CHARACTERIZATION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TWO ALTERNATIVE GREEN ROOF SYSTEMS R. Rapisarda, R. Caponetto, F. Nocera, V. Costanzo, G. Sciuto	1167
TIPOLOGIE MURARIE LOCALI NON INCLUSE NELLA CIRCOLARE N.7/2019 ALLE NTC18: COME ORIENTARSI? IL CASO DELLE MURATURE MISTE IN PIETRA E MATTONI PIENI DELLE MARCHE G. Romano, E. Quagliarini, G. Pace, M. Renzi	1183
ANALISI SPERIMENTALE DI UN NUOVO INTONACO A BASE DI AGGREGATI NATURALI G. Salvalai, A. Stefani, M. Imperadori, G. Nerobutto	1197
UNA CASSETTA DEGLI ATTREZZI PER PARAMETRIZZARE IL BENESSERE DEI FRUITORI E RENDERE SANI GLI AMBIENTI L.M.S. Savoca	1211
OPAQUE FAÇADES ENERGY REFURBISHMENT: DESIGN OPTIONS AND GOOD PRACTICE G. Scrinzi, E. S. Mazzucchelli, A. Lucchini, S. Pastori, A. Stefanazzi	1227
LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE FINALIZZATA ALLA SICUREZZA E AL BENESSERE. L’OPPORTUNITÀ TECNICA E LE RECENTI AGEVOLAZIONI FISCALI C. Sicignano, F. Polverino	1243
VALUTAZIONE SPERIMENTALE DI UN NUOVO INVOLUCRO IN BLOCCHI TERMICI DAL CONFRONTO CON UNA PARETE LEGGERA S. Summa, G. Remia, C. Di Perna, F. Stazi	1255
IL PAESAGGIO SONORO NELLA PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DELL’AMBIENTE COSTRUITO S. Torresin, R. Albatici, F. Aletta, J. Kang	1265

## **C – DESIGN AND BUILDING TECHNOLOGIES**

SVILUPPO DI UN PRODOTTO BASATO SU UN MATERIALE CIRCOLARE: IL CARTONE PER UN’EDILIZIA PIÙ SOSTENIBILE C. Antonetti, M. Rotilio	1283
CONSTRUCTION 4.0: ADDITIVE MANUFACTURING E EDILIZIA MODULARE PER REALIZZARE IL CANTIERE DEL FUTURO C. Battaglia, R. Morbiducci, A. Vitale	1301
URBAN MINING E RIGENERAZIONE: UPCYCLING PER LA CASA DELLA CULTURA A RIETI A. Bellicoso, S. Manna, G. Di Giovanni, G. Angelucci	1315
USO DEI PROTOCOLLI ENERGETICI NELLA PROGETTAZIONE POST EMERGENZIALE: ESPERIENZE A CONFRONTO M. Bellomo	1333

PROCESSI PARTECIPATIVI PER FAVORIRE LA TRANSIZIONE VERSO LA NEUTRALITÀ CLIMATICA. IL CASO DI BOLOGNA A.C. Benedetti, C. Mazzoli, K. Douka, A. Ferrante, L. Cameli, C. Lantieri	1349
SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA COMPUTAZIONALE INTERATTIVA PER LA SIMULAZIONE DI INVOLUCRI RESPONSIVI AD ALTE PRESTAZIONI IN DIVERSI SCENARI CLIMATICI TIPICI E FUTURI F. Carlucci, G. R. Dell’Osso, F. Fiorito	1367
I NOMADI DIGITALI. UNA NUOVA FRONTIERA DELLA CULTURA DELL’ABITARE T. Casale, E. Garda, S. Bulla, G. Di Mari, A. Renzulli	1387
NUOVE PROSPETTIVE DERIVANTI DAL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO: ANALISI DEI BREVETTI SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE SOSTENIBILI S.M. Cascone, M. Vitale	1403
BUILDING INFORMATION MODELING AND LEED: A REVIEW ON THE POSSIBLE INTEGRATION METHODS S. Cascone, R. Caponetto	1415
ZERO WINDOWS PER PROGETTI FUTURI. UN PERCORSO IMPEGNATIVO FRA TRANSIZIONE ECOLOGICA E TRANSIZIONE DIGITALE A. Cernaro, O. Fiandaca	1429
TECNOLOGIA E CONOSCENZA DIGITALI PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO E INDUSTRIALE C.D.L. Cui, D. Simeone, S. Corsi, S. Bortoletto, A. Fioravanti, E. Currà	1447
ECONOMIA CIRCOLARE E NUOVA VITA PER I PRODOTTI DI DEMOLIZIONE EDILIZIA G. D’Angelo, G. Trinchese, A. Verniero, M. Fumo	1465
PROGETTARE LA DENSIFICAZIONE SOSTENIBILE DEL COSTRUITO. CASI STUDIO NELLA RICOSTRUZIONE POST-SISMICA DE L’AQUILA S. De Gregorio, G. Di Giovanni	1483
UN INVOLUCRO TESSILE AD ALTE PRESTAZIONI PER IL RETROFIT DEL PADIGLIONE SPORTIVO DEL COMPLESSO CENTI COLELLA, L’AQUILA G. Di Giovanni, M. De Vita, P. De Berardinis, A. Massari	1497
EFFICIENZA ENERGETICA E CIRCOLARITÀ NEL RIUSO DELLE AREE INDUSTRIALI DISMESSE. IL PARCO SOLARE NELLA CAVA DI S. GIULIANO A L’AQUILA G. Di Giovanni, M. Nardis	1513
SCHOOL BUILDINGS OF XXI CENTURY: STRATEGIC AND EMERGENCY FUNCTIONS, AND NEW DESIGN PARADIGMS C.A. Di Mare, R. Castelluccio	1529
METODO PROBABILISTICO PER LA CORRELAZIONE TRA IMPRONTA DI CARBONIO E TIPOLOGIA EDILIZIA DEL PATRIMONIO ABITATIVO DELL’AREA MEDITERRANEA G. Di Ruocco, F. La Pastina	1545
IL METODO BIM PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE ITALIANA: STRATEGIE E CASI REALI P. Fiamma, S. Biagi	1565
STATE-OF-THE-ART OF AUTOMATIC IMAGE SEGMENTATION TECHNIQUES APPLIED ON CULTURAL HERITAGE BUILDINGS V. Giannuzzi, F. Fatiguso	1579

VERSO INSEDIAMENTI URBANI SOSTENIBILI TRA PARTECIPAZIONE E INCLUSIONE <b>A. Greco, V. Giacometti, E. Bifano</b>	1591
VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI AMBIENTI VIRTUALI IMMERSIVI PER LO STUDIO DI COMFORT, EFFICIENZA LAVORATIVA E COMPORTAMENTO ENERGETICO DI UTENTI IN AMBIENTI AD USO UFFICIO <b>A. Latini, E. Di Giuseppe, M. D’Orazio</b>	1605
AREE INTERNE INCLUSIVE, UNA POSSIBILITÀ PER LE MADONIE. CRITERI SMART PER RIPROGETTARE IL COSTRUITO STORICO, TRA INNOVAZIONE TECNOLOGICA E ACCESSIBILITÀ <b>L. Lombardo, S. Colajanni, T. Campisi</b>	1621
LA NUOVA FRONTIERA TECNOLOGICA DEL RIVESTIMENTO CERAMICO DI FACCIATA CONTEMPORANEO: LA TERZA DIMENSIONE <b>M. Mangosio</b>	1641
PARAMETRI UMANI PER IL BIM: UN WORKFLOW PROGETTUALE PER UNO SPAZIO A MISURA D’UTENTE <b>M. Martino, M. Nugara, G. Santi, L. Verricelli</b>	1655
IL PARADIGMA DEL GEMELLO DIGITALE PER LA GESTIONE PRESTAZIONALE DEL PATRIMONIO COSTRUITO <b>A. Massafra, R. Gulli</b>	1667
RIQUALIFICARE O DEMOLIRE E RICOSTRUIRE? ANALISI DEGLI SCENARI PROGETTUALI SVILUPPATI SECONDO UN APPROCCIO CIRCOLARE <b>C. Mazzoli, L. Dragonetti, A. Ferrante</b>	1685
TECNOLOGIE APPROPRIATE E INNOVATIVE PER LA SOSTENIBILITÀ: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO <b>L. Mollo, R. Agliata</b>	1703
SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL COSTRUIRE: METODO F.A.D. COME CHIAVE DI LETTURA DI BUONE PRATICHE DI CIRCOLARITÀ <b>G. Montalbano, G. Santi</b>	1713
INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO ENERGETICO DI UN’AULA ATTRAVERSO LA METODOLOGIA MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION <b>C. Mosca</b>	1729
A PROPOSITO DI GENTRIFICAZIONE. IL PADIGLIONE FUKSAS NEL MERCATO DI PORTA PALAZZO A TORINO <b>A. Renzulli, T. Casale, C. Chiampo, G. Di Mari, E. Garda</b>	1747
OVERVIEW SUL CARTONE ONDULATO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE E PROSPETTIVE FUTURE: UNA REVIEW DELLA TECNOLOGIA E LE INNOVAZIONI DEL PROGETTO ARCHICART LIFEHOUSE <b>G. Rodonò, D.L. Distefano, A. Monteleone</b>	1763
MANAGING UNCERTAINTIES IN CONSTRUCTION TENDERING: A DECISION THEORY FRAMEWORK FOR SUPPORTING BIDDERS <b>F. L. Rossini, G. Novembri, E. De Santis</b>	1773
VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA DEL VETRO DI POST-CONSUMO <b>A. Rota, M. Zaccaria, F. Fiorito</b>	1787

IL GEMELLO DIGITALE DELL'EDIFICIO: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLA GESTIONE DELLE UNITÀ DI AUTOCONSUMO <b>G. Rubiu</b>	1801
PRODOTTI DI SCARTO COME MATERIALI DA COSTRUZIONE: STRATEGIA DI MITIGAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE <b>E. Santoro, G. Ausiello</b>	1813
PROGETTO, SVILUPPO E PROTOTIPAZIONE DI UNA TECNOLOGIA INNOVATIVA PER MODULI ARCHITETTONICI MULTIUSO, LEGGERI E SOSTENIBILI <b>V. Sapienza, A. Monteleone, G. Rodonò, S. Calvagna</b>	1827
IL MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICO-AMBIENTALI DI PARETI PREFABBRICATE IN CALCESTRUZZO ARMATO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI MATERIALI DI RICICLO <b>A. Sciotti, M. De Fino, F. Fatiguso</b>	1845
EFFICIENZA E CIRCOLARITÀ NELL'USO E NEL RIUSO DELLE RISORSE E DELL'ENERGIA: IL PROGETTO DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PIAN DELLA FIOBA A MASSA <b>L. Secchiari</b>	1861
SVILUPPO DI UN METODO INTEGRATO DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SU SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA PER LE INDUSTRIE DELL'ACCIAIO DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI <b>M. M. Sesana</b>	1877
A BIOMIMETIC APPROACH FOR CLIMATE REACTIVE BUILDING ENVELOPES INSPIRED BY PLANTS ADAPTIVE STRATEGIES <b>F. Sommese, G. Ausiello</b>	1895
INNOVAZIONE DIGITALE E PROTOCOLLO ENVISION: UN NUOVO APPROCCIO PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI <b>C. Vite, M. Gaggero</b>	1909
TRANSITION MANAGEMENT SPHERES: NATURE-BASED SOLUTIONS <b>R.M.Vitrano</b>	1923
BLOCCHI STAMPATI IN 3D CON MATERIALE RICICLATO PER EDIFICI INNOVATIVI <b>S. Volpe, V. Sangiorgio, A. Petrella, M. Notarnicola, H. Varum, F. Fiorito</b>	1941

# COMMITTEES

## Directorial Committee

FATIGUSO Fabio  
FIORITO Francesco  
ALBATICI Rossano  
CASCONI Santi Maria

CORRAO Rossella  
GUIDA Antonella Grazia Maria  
POLI Tiziana  
POLVERINO Francesco

## Organizing Committee

CANTATORE Elena  
CHIARANTONI Carla

DE FINO Mariella  
IANNONE Francesco

## Scientific committee

ACHENZA Maria Maddalena  
ALBATICI Rossano  
ARENGHI Alberto  
ATZENI Carlo  
AUSIELLO Gigliola  
BASIRICÒ Tiziana  
BAZZOCCHI Frida  
BELLICOSO Alessandra  
BESANA Daniela  
BRADASCHIA Maurizio  
CAMPISI Tiziana  
CAMPOLONGO Alessandro  
CAPOMOLLA Rinaldo  
CASCONI Santi Maria  
CASTELLUCCIO Roberto  
CATALANO Agostino  
CHINELLATO Francesco  
COLAJANNI Simona  
CORRAO Rossella  
CROATTO Giorgio  
CURRÀ Edoardo

D'ORAZIO Marco  
DALPRA' Michela  
DASSORI Enrico  
DE ANGELIS Enrico  
DELL'OSSO Guido Raffaele  
DI DONATO Danilo  
DI GIOVANNI Gianni  
DI GIUSEPPE Elisa  
DI NASO Vincenzo  
FASCIA Flavia  
FATIGUSO Fabio  
FERRANTE Annarita  
FERRERO Marco  
FIAMMA Paolo  
FIANDACA Ornella  
FIORAVANTI Antonio  
FIORE Pierfrancesco  
FIORI Matteo Paolo Giovanni  
FIORITO Francesco  
FRANGIPANE Anna  
FUMO Marina

GARDA Emilia Maria  
GAROFOLO Ilaria  
GATTI Maria Paola  
GIANNETTI Ilaria  
GRECCHI Manuela  
GRECO Alessandro  
GRECO Laura  
GUARDIGLI Luca  
GUIDA Antonella Grazia Maria  
GULLI Riccardo  
IANNACCONE Giuliana  
IANNONE Francesco  
IORI Tullia  
LIONE Raffaella  
LODDO Gianraffaele  
LOMBARDO Grazia  
LUCCHINI Angelo  
MALIGHETTI Laura Elisabetta  
MANGOSIO Marika  
MARGANI Giuseppe  
MAZZUCHELLI Enrico Sergio  
MECCA Ippolita  
MELE Caterina  
MOCHI Giovanni  
MOLLO Luigi  
MORANDOTTI Marco  
MORBIDUCCI Renata  
MORGANTI Renato Teofilo Giuseppe

MORNATI Stefania  
MOSCHELLA Angela  
MUNAFÒ Placido  
NABONI Emanuele  
PAGLIUCA Antonello  
PIANTANIDA Paolo  
POLI Tiziana  
POLVERINO Francesco  
PUGNALETTO Marina  
QUAGLIARINI Enrico  
RIBERA Federica  
RIGONE Paolo  
RONCHI Alfredo  
SALVALAI Graziano  
SANJUST Paolo  
SAPIENZA Vincenzo  
SCIUTO Gaetano Antonio  
SICIGNANO Enrico  
STAZI Francesca  
TADI Massimo  
TAGLIAVENTI Gabriele  
TOSONE Alessandra  
TURRINI Umberto  
VINCI Calogero  
VITTORINI Rosalia  
ZERBINATTI Marco  
ZORDAN Marcello

## Scientific and Organizing Segretariat

BRUNO Silvana  
BULDO Michele  
CAMPAGNA Ludovica Maria  
CARLUCCI Francesco  
CASSANO Federica  
CHIEPPA Riccardo  
GALANTUCCI Rosella Alessia  
GIANNUZZI Valeria

LAMBERTI Vito  
LASORELLA Margherita  
MARTINELLI Alessandra  
MUSICCO Antonella  
ROTA Angelica  
SCIOTI Albina  
VOLPE Stelladriana

# PATRONAGE



## PARTNERSHIP

### Main



### Gold



### Silver



### Social Media



Powered by **Pentastudio**

### Other





## **C – DESIGN AND BUILDING TECHNOLOGIES**



## Riqualificare o demolire e ricostruire? Analisi degli scenari progettuali sviluppati secondo un approccio circolare

### *Renovation or demolition and reconstruction? Analysis of design scenarios developed according to a circular approach*

C. Mazzoli<sup>1\*</sup>, L. Dragonetti<sup>2</sup>, A. Ferrante<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Università di Bologna – Dipartimento di Architettura, Bologna, cecilia.mazzoli@unibo.it

<sup>2</sup> Università di Bologna – Dipartimento di Architettura, Bologna, lorna.dragonetti2@unibo.it

<sup>3</sup> Università di Bologna – Dipartimento di Architettura, Bologna, annarita.ferrante@unibo.it

#### Abstract

This article deals with the assessment of the environmental impact of two opposite intervention scenarios that can be undertaken when the refurbishment of an existing historical building is needed: deep renovation or demolition and reconstruction? The answer to this question is not simple and should be addressed considering the entire life cycle of the building. Indeed, although a demolition and reconstruction operation, being very invasive, can have a very high environmental impact, it is also true that through a design that follows the principles of sustainability and circularity, this can be lowered by much, making it even the best choice. These two scenarios are compared for a specific case study located in a rural territory in Argelato, near Bologna (Italy), belonging to a historical building complex. The villa has been selected as pilot for the European Horizon 2020 “DRIVE 0” project, whose main objective is to make the renovation of existing buildings more attractive and accessible for promoting a transition to a circular economy.

The project of deep renovation of the villa, although designed to limit the environmental impact, was finally conditioned by the historical-documentary constraints that hindered the adoption of the circular approach. In order to have two feasible and comparable options, the reconstruction design scenario followed the same constraints, seeking to increase the degree of circularity of the project where allowed by regulation. For both scenarios, LCA analyses (mainly focused on the envelope) were carried out, and the results were compared, particularly for the impact categories of Global Warming Potential and Total Use of Primary Energy. These analyses have shown that a careful design and study of the demolition process, which tries to maximize the quantities of recycled material, implies that the least impacting scenario – although the most time-consuming and invasive – is that of demolition and reconstruction.

**Keywords:** renovation, demolition and reconstruction, sustainability and circularity, historical buildings, environmental impact

## 1. Introduzione

Le prime connessioni tra economia e ambiente risalgono al 1713, quando H. C. von Carlowitz sviluppò il concetto di “sostenibilità” [1]. Secoli dopo, nel 1966, K. E. Boulding evidenziò la necessità di salvaguardare l’ambiente durante lo sviluppo economico [2]. Questo aspetto è diventato sempre più urgente e rappresenta un fattore che ha influenzato sempre di più il comportamento delle persone in ogni settore, contribuendo allo sviluppo di normative e regolamenti per arginare la crisi ambientale e ridurre gli impatti a livello globale. [3]

In particolare, per quanto riguarda il settore edilizio, si avverte la necessità di limitare il consumo di suolo e riqualificare il patrimonio edilizio esistente che è responsabile di circa il 36% delle emissioni [4]. La riqualificazione è un processo che afferisce a diverse sfere, a partire dalle prestazioni energetiche e statiche fino agli aspetti legati alla qualità ambientale, paesaggistica e architettonica. Ma se da una parte i principi della transizione ecologica richiesti dall’Unione Europea (UE) suggeriscono di allungare il ciclo di vita dei manufatti, in alcuni casi, soprattutto per edifici particolarmente vetusti o non ben mantenuti, occorre chiedersi se non sia preferibile uno scenario di demolizione e ricostruzione rispetto a quello di riqualificazione profonda.

Al fine di esplorare questo paradigma di ricerca, nel presente studio si confronta l’impatto ambientale di questi due scenari di intervento con riferimento a un particolare caso di studio di edilizia storica situato ad Argelato, in provincia di Bologna.

## 2. Stato dell’arte

### 2.1. Circolarità: le nuove direttive europee e nazionali

Negli ultimi anni, la Commissione Europea ha approvato una serie di direttive per favorire la transizione verso un’Economia Circolare (EC) che obbligherà i paesi membri a riciclare almeno il 70% dei rifiuti urbani e l’80% dei rifiuti da imballaggio, vietando di gettare in discarica quelli biodegradabili e riciclabili [5].

Già nel 2015, l’UE ha varato il primo Pacchetto sull’Economia Circolare [6], contenente una serie di 54 azioni per facilitare la transizione dell’economia europea da un modello lineare a uno circolare. Successivamente, a marzo 2020, è stato creato un documento, il *Circular Economy Action Plan* [7], che nasce dalle linee guida contenute nel Pacchetto, contenente tutte le iniziative che l’UE attua per questo processo di transizione lungo tutto il ciclo di vita dei prodotti, dalla progettazione sostenibile alla gestione dei processi produttivi e promozione di un consumo sostenibile. Per quanto riguarda l’Italia, il 24 giugno 2022, il Ministro della Transizione Ecologica Roberto Cingolani ha firmato i seguenti documenti: la “Strategia Nazionale per l’Economia Circolare” [8] e il “Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti” [9], previsto dal D. Lgs. 152/2006.

Questi documenti riguardano una serie di prescrizioni volte al raggiungimento dei seguenti principali obiettivi:

- la creazione di un nuovo sistema di tracciabilità dei rifiuti, in parte realizzato con l’introduzione del “Registro Elettronico Nazionale per la Tracciabilità dei Rifiuti” (R.E.N.T.Ri), introdotto dal D. Lgs. 116/2020;
- la promozione di incentivi fiscali a sostegno delle aziende di riciclo e utilizzo di Materie Prime Seconde (MPS);

- la revisione completa del sistema di tassazione ambientale dei rifiuti al fine di rendere più agevole e conveniente il riciclo rispetto alle tradizionali pratiche di smaltimento;
- la promozione del diritto al riutilizzo e alla riparazione;
- la riforma del sistema di Responsabilità Estesa del Produttore (*Extended Producer Responsibility*) (EPR);
- lo sviluppo dei regolamenti *End of Waste* (EoW);
- lo sviluppo dei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

## 2.2. Analisi LCA

Uno degli strumenti principali per guidare la scelta di prodotti e processi è l'analisi *Life Cycle Assessment* (LCA) che permette di comparare e quantificare l'impronta ambientale attraverso lo studio di diverse categorie di impatto lungo tutto il ciclo di vita. In particolare, nell'ambito edilizio, l'analisi LCA può aiutare a determinare le scelte progettuali meno impattanti e rappresenta uno strumento particolarmente utile se si vuole valutare la convenienza di uno scenario di riqualificazione piuttosto che di demolizione e ricostruzione [10]. L'analisi LCA è impiegata anche come strumento di supporto del processo decisionale durante le fasi iniziali del progetto edilizio per definire le soluzioni costruttive più idonee, oppure durante lo studio della fase del fine vita per decidere le opzioni migliori in termini di riciclo, riuso o smaltimento dei materiali [11-12].

Le nuove normative sull'EC promuovono la riduzione, il riuso e il riciclo dei materiali di risulta dei processi di costruzione e demolizione, in modo da ridurre l'utilizzo di materiali vergini e l'impatto dovuto alla produzione e al trasporto. Per questo motivo, negli ultimi anni sono state condotte molte attività di ricerca sull'utilizzo di questi materiali: tra queste, ad esempio, sono state esplorate le possibilità di inclusione degli stessi come aggregati per il calcestruzzo o per altri componenti simili, mentre altre sperimentazioni si sono concentrate sull'utilizzo di materiali derivanti da costruzione e demolizione, in sostituzione di quelli vergini, che garantissero livelli non inferiori di prestazioni meccaniche.

## 3. Il Contesto della ricerca

### 3.1. Il progetto DRIVE 0

Il settore delle costruzioni in UE è responsabile, da solo, del 40% del consumo di energia, e la maggior parte (circa il 60%) di questa energia è quella immagazzinata dall'edificio, cioè quella utilizzata durante le fasi di costruzione, manutenzione e demolizione dell'edificio. Da questi dati si evince quanto sia indispensabile compiere una transizione verso processi più ecologici e circolari nel settore edilizio. In questo contesto, è nato il progetto europeo Horizon 2020 "DRIVE 0 – Driving decarbonization of the EU building stock by enhancing a consumer-centred and locally based circular renovation" [13], il cui obiettivo è incentivare il processo di decarbonizzazione dell'ambiente costruito attraverso un processo di riqualificazione profonda secondo un approccio circolare. Durante il progetto, nove casi di studio sono stati selezionati per studiare il grado di circolarità degli edifici esistenti in diverse zone climatiche e paesi europei: Olanda, Estonia, Slovenia, Irlanda, Spagna, Grecia e Italia [14]. Il presente articolo riporta le analisi svolte per il caso di studio italiano, situato ad Argelato, una piccola cittadina vicino Bologna.

### 3.2. Il caso di studio

Il caso di studio italiano è rappresentato da una villa inclusa in un complesso di edifici storici appartenenti alla Fondazione Cassa di Risparmio di Bologna (Carisbo). Il complesso è stato costruito all'inizio del Novecento e la villa è stata parzialmente demolita e ricostruita nel corso degli anni. Il complesso include la villa, un fienile e un piccolo ricovero per animali (Fig. 1). Nel 2019, Carisbo ha deciso di riqualificare gli immobili poiché si trovavano in uno stato significativamente compromesso dal punto di vista strutturale, architettonico ed energetico. Il complesso residenziale era in stato di abbandono da decenni e si è reso necessario un intervento di riqualificazione per poter adattare gli spazi alle nuove funzioni richieste e renderli nuovamente abitabili ed utilizzabili. Il complesso verrà utilizzato per scopi sociali: in particolare, la villa sarà utilizzata come residenza temporanea per disabili e famiglie svantaggiate, mentre il fienile ospiterà alcuni servizi sociali per residenti e cittadini. Al termine del processo di ristrutturazione, quindi, il Comune di Argelato disporrà di un nuovo complesso immobiliare, immerso nel verde, denominato “Borgo Digani” (in memoria di Padre Gabriele Digani, Socio di Carisbo e successore del Beato Padre Olinto Marella).



Fig. 1. In alto: (a sinistra) foto aerea del complesso edilizio costituito da un fienile, una villa e un piccolo ricovero per animali (© 2023, C. Mazzoli); (a destra) vista esterna della villa prima della realizzazione degli interventi di riqualificazione (© 2020, Fondazione Carisbo). In basso: immagini rappresentative del progetto di riqualificazione del “Borgo Digani” (© 2021, Habitat Plus).

All'interno del complesso, l'edificio che più si presta all'applicazione delle strategie del progetto DRIVE 0 è la villa (Fig. 1), la cui superficie utile interna ammonta a circa 500 m<sup>2</sup> ed è distribuita su due livelli.

L'edificio presenta fondazioni in muratura portante, in mattoni pieni, per uno spessore totale di 50 cm e una profondità di 40 cm. Sulle murature sono state condotte indagini diagnostiche che hanno dimostrato che lo stato di conservazione e le dimensioni delle fondazioni erano inadatte per la sicurezza dell'edificio, rendendo necessario un rinforzo strutturale con materiali compatibili con la muratura esistente per aumentarne le dimensioni e migliorarne le prestazioni strutturali.

I muri esterni sono costituiti da muratura portante in mattoni pieni disposti a tre teste e uniti con malta (due strati di mattoni, per uno spessore di 29 cm), rivestita esternamente da uno strato di intonachino di calce e uno di pittura esterna, mentre internamente da uno strato di intonaco di gesso. Le analisi meccaniche hanno dimostrato che, analogamente alle fondazioni, anche le pareti esterne erano inadeguate per la sicurezza dell'edificio e, per questo motivo, è emersa la necessità di effettuare interventi di cuci-scuci e inserire diatoni. L'intervento strutturale ha riguardato anche le porzioni di muratura portante interna. Inoltre, è risultato necessario inserire uno strato termicamente isolante per ridurre la trasmittanza termica ( $U_{\text{stato di fatto}} = 1,640 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) e rientrare all'interno dei limiti normativi ( $U_{\text{limite}} = 0,260 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Per quanto riguarda gli orizzontamenti, i solai del piano terra e del primo piano solai unidirezionali, costituiti da travi IPE 160 in acciaio e laterizi di tipo "volterrane". Al secondo piano, invece, il solaio unidirezionale è costituito da orditura primaria e secondaria in legno. Gli elementi lignei risultavano parzialmente distrutti e in generale tutti i solai presentavano uno stato di pessima conservazione: pertanto, laddove necessario, è stato eseguito un intervento di ricostruzione parziale o totale o, in alternativa, un intervento di rinforzo strutturale in modo da ripristinare la sicurezza sismica.

Occorre specificare che il vincolo storico-documentale a cui l'edificio è sottoposto ha reso obbligatorio l'utilizzo dei materiali originali, o comunque compatibili con quelli originari, e la conservazione degli elementi strutturali, ad eccezione di quelli eccessivamente danneggiati ai fini della sicurezza, rendendo incompatibile la costruzione di nuovi volumi che avrebbero sovraccaricato la struttura. Conseguentemente, è stato possibile demolire e ricostruire la copertura originaria in legno, rivestita da uno strato di laterizi semivuoti e uno strato di tavolato in legno coperto da tipici coppi in laterizio, al fine di ripristinarne la sicurezza statica e di incrementarne le prestazioni energetiche attraverso l'aggiunta di strati isolanti termici e impermeabilizzanti. L'analisi strutturale, infatti, ha evidenziato la necessità di una ricostruzione totale ma, per via del vincolo di tutela, è stato obbligatorio preservarne la forma, le dimensioni, il sistema costruttivo e la coerenza e compatibilità dei materiali.

Riguardo le prestazioni energetiche dell'edificio, infine, sono state condotte alcune analisi sia in regime dinamico che statico. Tali simulazioni energetiche, svolte grazie all'utilizzo del software di calcolo *DesignBuilder*, un'interfaccia utente di *EnergyPlus*, sono state necessarie per determinare le prestazioni dell'edificio che – essendo l'edificio abbandonato e disabitato da anni – non potevano essere ottenute da monitoraggi e misurazioni.

## 4. Analisi lca e confronto tra gli scenari di intervento

### 4.1. Scenario di riqualificazione profonda

Il complesso edilizio agricolo abbandonato ha un potenziale molto forte e, a riqualificazione ultimata, verrà utilizzato dal Comune di Argelato per scopi sociali (Fig. 1).

Il progetto di riqualificazione profonda è stato realizzato secondo i seguenti principi dell'edilizia circolare: il riutilizzo dei materiali originali (quali i mattoni di scarto e i coppi originali); l'utilizzo di tecniche costruttive locali nel rispetto della tradizione architettonica regionale (quali pareti esterne in mattoni portanti e copertura in legno); l'adozione di materiali e prodotti circolari (quali pannelli termoisolanti in lana di roccia e fibra di legno); l'implementazione di elementi prefabbricati di tipo *Plug&Play*, che possono essere facilmente installati a secco, rimossi e riparati o sostituiti (come quelli adottati in facciata). Nonostante tale approccio circolare sia stato adottato fin dalle prime fasi progettuali, durante la fase realizzativa, i progettisti e l'impresa costruttrice hanno dovuto affrontare diversi ostacoli tecnici, economici e temporali, legati alle conseguenze nel settore edilizio della situazione pandemica da Covid-19 e degli incentivi ministeriali del *Superbonus 110%* [15] che, a partire da maggio 2020, hanno gonfiato enormemente i prezzi nel settore delle costruzioni e allungato notevolmente i tempi di consegna.

Le azioni circolari effettivamente adottate nell'intervento di riqualificazione sono riportate di seguito (Fig. 2):

- **Sistema di facciata PREFAB** – Le due facciate Nord e Ovest sono state riqualificate energeticamente grazie all'installazione di un innovativo sistema di facciata: questo prevede la posa a secco di pannelli prefabbricati di grande formato, di tipo *Plug&Play*, costituiti da uno strato interno di lana di vetro (spessore di 12 cm) e un pannello *sandwich* esterno (spessore di 8 cm) riempito con lana di roccia, per uno spessore totale di 20 cm, rivestiti esternamente da una lastra di fibrocemento. Tale sistema di facciata è stato sviluppato da un'azienda locale specializzata in progettazione e realizzazione di facciate ventilate, nell'ambito del progetto DRIVE 0;
- **Sistema di facciata ETICS** – Le due facciate Sud ed Est sono state riqualificate con un tradizionale sistema di isolamento termico composito a cappotto (ETICS), costituito da pannelli isolanti in polistirene espanso (EPS), per uno spessore totale di 20 cm (analogo a quello del sistema PREFAB utilizzato per le altre due facciate). La scelta progettuale originaria riguardava la realizzazione di un ETICS in lana di roccia ma, per via degli ostacoli sopra citati, si è dovuto optare per un altro materiale isolante, ossia l'EPS;
- **Nuove finestre** – Gli infissi lignei esistenti sono stati rimossi e sostituiti da nuovi, sempre lignei ma a taglio termico, integrati all'interno di telai prefabbricati isolati termicamente (monoblocchi), che includono anche i relativi sistemi di ombreggiamento (persiane in legno) e i bancali coibentati per la risoluzione dei ponti termici. I vetri singoli sono stati sostituiti da vetri doppi;
- **Nuova copertura** – Il rifacimento completo della copertura a quattro falde è risultato necessario per migliorare sia le prestazioni meccaniche che quelle energetiche e, al contempo, aumentare l'illuminazione attraverso l'aggiunta di lucernari. Il tetto è stato quindi ricostruito con una tecnica costruttiva tradizionale analoga a quella originale, costituita da una struttura portante a travi e travetti in legno, pannelli OSB e listelli in legno per creare un'intercapedine di microventilazione, e strati di isolamento termico in lana di vetro (spessore di 24 cm) e, esternamente,

fibra di legno ad alta densità (spessore di 4 cm). Al di sopra di uno strato impermeabilizzante, il manto di copertura è stato realizzato riutilizzando il 92% dei coppi originali, riducendo così l'impatto ambientale ed economico dell'intervento;

- **Pannelli fotovoltaici** – Sulla falda di copertura orientata a Sud sono stati installati pannelli fotovoltaici che presentano determinate caratteristiche cromatiche e dimensionali volte al rispetto dei vincoli di compatibilità degli interventi con l'edificio storico originale. I pannelli sono ancorati a una sottostruttura in lamiera grecata in acciaio integrati nella falda (*Building Integrated PhotoVoltaics* – BIPVs) e consentono di raggiungere il fabbisogno di efficienza energetica richiesto. Questi pannelli in monocristallino si estendono per una superficie pari a 62,20 m<sup>2</sup> e coprono circa il 70% della domanda annua di energia.

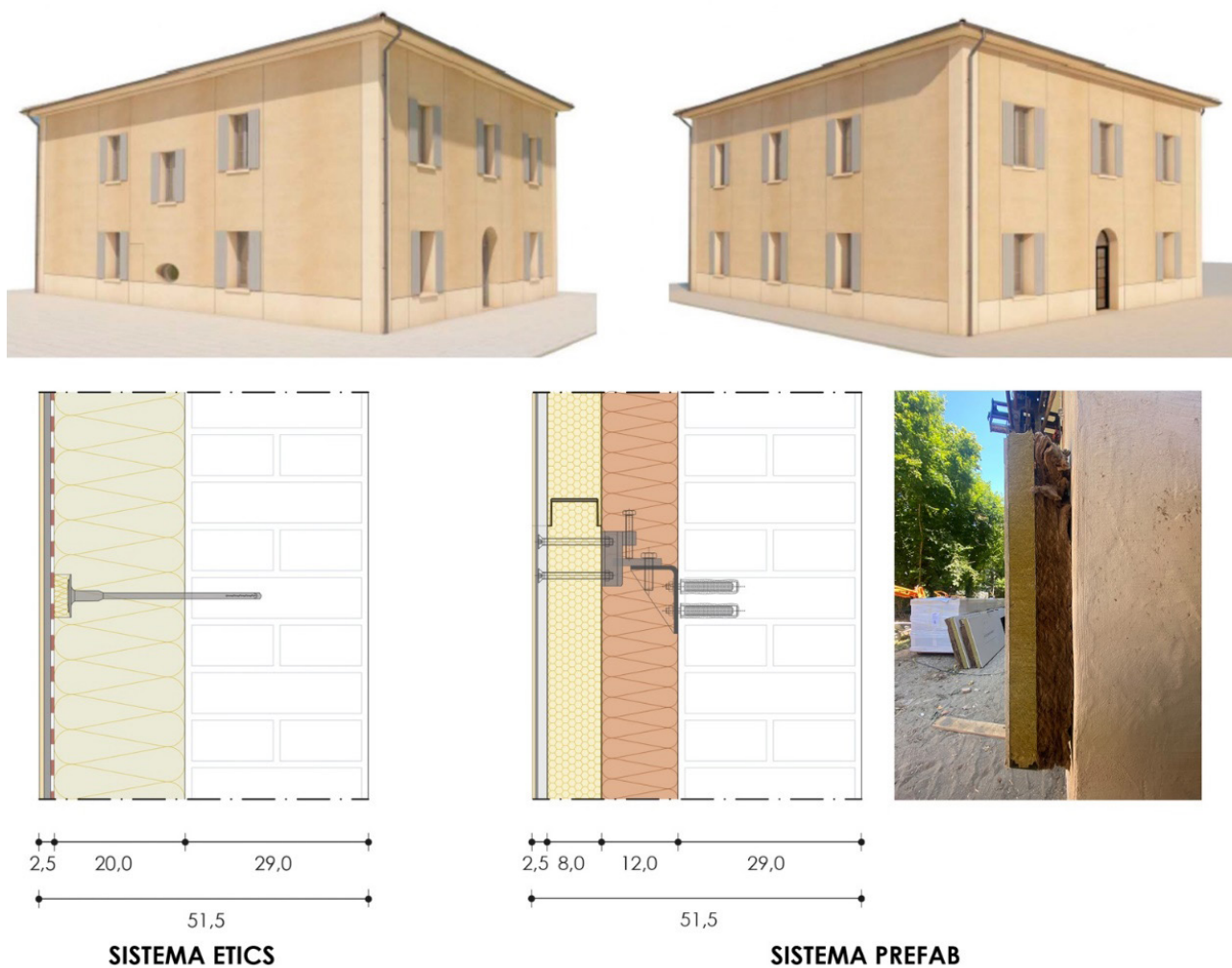


Fig. 2. In alto: vista 3D delle facciate (a sinistra) Sud-Est e (destra) Nord-Ovest dello stato di progetto secondo lo scenario di riqualificazione profonda (© 2021, Habitat Plus). In basso: soluzioni di facciata impiegate per l'efficientamento dell'involucro edilizio: (a sinistra) sistema ETICS applicato alle facciate Sud ed Est e (a destra) sistema PREFAB sviluppato applicato alle facciate Nord e Ovest (© 2022, C. Mazzoli).



Per questo scenario di intervento è stata effettuata una analisi LCA mediante l'utilizzo del software *OneClick LCA* [16] (normativa di riferimento UNI EN 15978 [17]), il cui database segue gli standard della UNI EN 15804 [18].

La valutazione ha riguardato l'intero edificio, limitatamente ai materiali aggiunti e agli interventi di consolidamento eseguiti sull'edificio esistente, e ha considerato principalmente i seguenti componenti edili: chiusure verticali esterne opache; copertura; solai; sistemi monoblocco per le finestre; partizioni interne; interventi di consolidamento di porzioni dell'edificio esistente. Inoltre, lo studio si è focalizzato sulle operazioni di consolidamento dell'edificio, considerando le azioni circolari sopra descritte e altri interventi riguardanti i componenti edili interni, ossia:

- realizzazione di contropareti interne a secco, costituite da montanti in acciaio, lastre in cartongesso e un isolamento di intercapedine in fibra di legno;
- realizzazione di nuove porzioni di solaio interno: nel solaio controterra è stato inserito uno strato isolante in XPS, un sottofondo per gli impianti e uno strato di finitura in *grès* porcellanato; nel primo solaio di interpiano è stato formato un nuovo getto di calcestruzzo (tipo "LECA"), al di sopra del quale è stato realizzato un sottofondo per gli impianti e uno strato di finitura in *grès*; per il secondo solaio di interpiano sono stati realizzati due tipi diversi di solai, uno costituito da lamiera grecata e finitura in *grès* e l'altro realizzato con un nuovo getto in calcestruzzo (tipo "LECA") e finitura in legno incollato;
- consolidamento delle fondazioni esistenti: nell'analisi LCA è stato considerato anche l'impatto del conglomerato cementizio armato utilizzato;
- installazione di una sottostruttura in lamiera grecata in acciaio per la posa dei pannelli BIPVs.

Tuttavia, nell'analisi LCA è stato trascurato l'impatto di tutte quelle parti dell'edificio esistenti che non sono state demolite, delle parti di arredo e delle porte interne (che non inciderebbero in maniera significativa sui risultati finali), nonché l'energia prodotta dai pannelli BIPVs. I risultati finali sono riportati nella seguente tabella (Tab. 1) e rappresentano l'impatto ambientale totale dell'edificio, per ogni categoria di impatto, durante una vita utile di 50 anni.

<i>Categorie di impatto</i>	<i>Sigla</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Totale</i>
Potenziale di Riscaldamento Globale	GWP	kgCO <sub>2</sub> eq	233.456,98
Potenziale di acidificazione	AP	kgSO <sub>2</sub> eq	814,94
Potenziale di eutrofizzazione	EP	kgPO <sub>4</sub> -eq	221,64
Potenziale di eliminazione dell'ozono	ODP	kgCFC <sub>11</sub> eq	0,10
Formazione di ozono nella bassa atmosfera	POCP	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	71,20
Consumo di energia primaria	PED	MJ	3.784.465,00
CO <sub>2</sub> di origine biogenica	Bio-CO <sub>2</sub> storage	KgCO <sub>2</sub> eq bio	41.755,55

Tab. 1. Impatto ambientale totale dell'edificio, per ogni categoria di impatto, durante una vita utile di 50 anni.

La fase più impattante risulta essere quella di produzione dei materiali, seguita dalla fase di manutenzione. Bisogna però specificare che non sono stati conteggiati gli impatti dovuti all'utilizzo dell'edificio (ad esempio il riscaldamento e il raffrescamento, e la produzione di acqua calda

sanitaria) ma che è stato fatto riferimento all'impatto dovuto esclusivamente ai materiali da costruzione utilizzati per la riqualificazione.

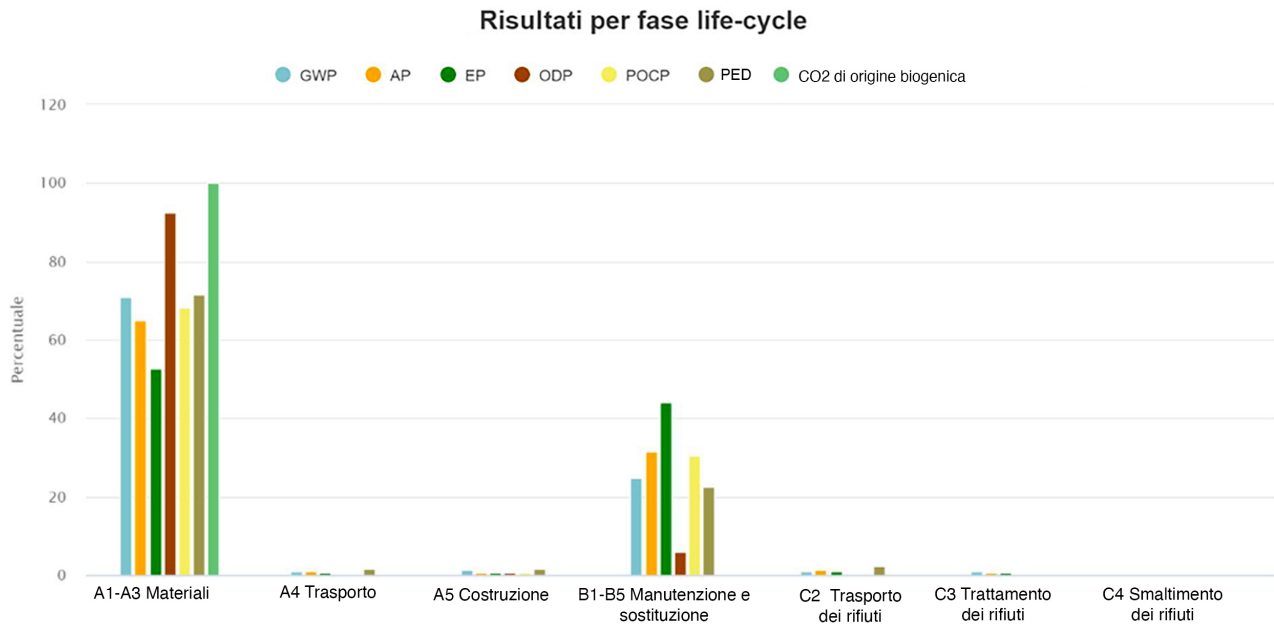
Un'analisi dei risultati più approfondita è stata svolta principalmente sulle categorie di impatto GWP (*Global Warming Potential*), che indica l'aumento delle temperature causato dall'aumento di concentrazione di gas a effetto serra nell'atmosfera. Questa categoria rappresenta l'"impronta di carbonio" del bene o servizio analizzato tramite LCA. In questo particolare caso di studio, sono riportati di seguito i materiali che contribuiscono maggiormente alle emissioni di GWP (Tab. 2).

<i>N.</i>	<i>Risorsa</i>	<i>Impatti [tCO<sub>2</sub>eq]</i>	<i>%</i>
1	Lamiera grecata in alluminio con isolante per coperture e rivestimenti	19,0	11,5
2	Travi in acciaio, profili I, H, U, AM, S355-S460	15,0	9,0
3	Contropareti interne con montanti in acciaio e pannelli <i>sandwich</i> in lana di vetro e cartongesso doppio raccordo 70mm + 25mm + 25mm	13,0	7,9
4	Pannelli fotovoltaici monocristallini (PV) per m <sup>2</sup>	13,0	7,8
5	Profili in alluminio	9,2	5,7
6	Legno (pino)	8,6	5,3
7	Materiali plastici e membrane	7,4	4,6
8	Mix per cemento, RCK29 (C16/20), S4 X0 D25, CEM IV 32.5 N	6,6	4,0
9	Mattoni e materiali ceramici	6,5	4,0
10	Sistemi in acciaio per controsoffittature	6,0	3,7

Tab. 2. Impatto dei materiali che contribuiscono maggiormente alle emissioni di GWP durante una vita utile di 50 anni.

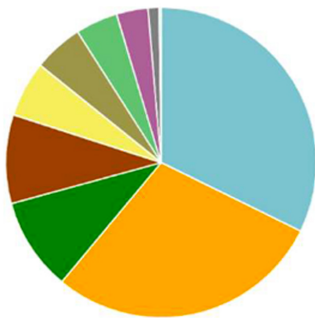
La lamiera grecata necessaria per l'installazione dei BIPVs, responsabile dell'11,5% della quantità totale di CO<sub>2</sub>eq, risulta essere il materiale più impattante, seguito dall'acciaio utilizzato per cerchiature e architravi e dal sistema di contropareti interne (conseguenza delle modalità di analisi del sistema nella sua interezza, senza considerare la sua suddivisione nei diversi materiali). Seguono poi i pannelli fotovoltaici e i profili di alluminio necessari per la loro installazione al di sopra della lamiera grecata. Il 5,3% degli impatti è costituito dal legno, data la loro abbondante presenza in copertura, seguito dai nuovi mattoni e dal calcestruzzo utilizzati per ricreare porzioni di muratura interna e per gli interventi di consolidamento. Infine, si trova il nuovo pavimento in *grès* porcellanato utilizzato per gli strati di finitura dei solai e l'acciaio usato per l'ancoraggio dei BIPVs in copertura. L'impatto totale dell'intervento consiste in 233 tCO<sub>2</sub>eq, che corrisponde all'emissione di circa 11,47 kgCO<sub>2</sub>eq per ogni m<sup>2</sup> all'anno.

Come si può notare dal grafico (Fig. 3), il sistema più impattante a livello di GWP è costituito dalla categoria "Solai, soffitti, coperture, travi e tetti" perché comprende due sistemi costruttivi molto impattanti: i solai interni e il pacchetto di copertura. Questa categoria raggiunge infatti quasi 80 tCO<sub>2</sub>e, ossia il 32% del totale. Il 28% invece è rappresentato dai sistemi tecnologici.



Riscaldamento globale kgCO2e - Classificazioni

- Solai, soffitti, coperture, travi e tetti - 32,3%
- Sistemi costruttivi e impianti - 28,8%
- Altre strutture e materiali - 9,7%
- Muri esterni e facciata - 9,3%
- Muri interni e strutture non portanti - 5,8%
- Finestre e porte - 5,2%
- Fondazioni, sottosuolo, scantinati e muri di sostegno - 4,4%
- Pilastrini e strutture verticali portanti - 3,3%
- Macchinari - 1,1%
- Scarti - 0,2%



Consumo di energia primaria - Classificazioni

- Solai, soffitti, coperture, travi e tetti - 36,9%
- Sistemi costruttivi e impianti - 29,6%
- Finestre e porte - 10,0%
- Altre strutture e materiali - 8,4%
- Muri esterni e facciata - 5,2%
- Muri interni e strutture non portanti - 4,6%
- Fondazioni, sottosuolo, scantinati e muri di sostegno - 2,8%
- Macchinari - 1,1%
- Pilastrini e strutture verticali portanti - 1,0%
- Scarti - 0,3%

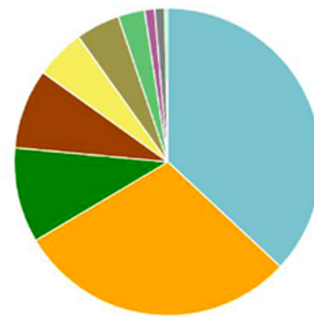


Fig. 3. In alto: risultati per fase del ciclo di vita per lo scenario di riqualificazione. In basso: (a sinistra) grafici a torta relativi ai valori di GWP (a sinistra) e PED (a destra), in base alla classificazione dei componenti dell'edificio (© 2023, Autori dopo S. Gugnali).

La categoria di impatto relativa al Consumo di energia primaria (PED), invece, indica la quantità di elettricità che viene consumata per produrre un determinato materiale o per portare avanti le altre fasi di vita del prodotto. Anche in questo caso, il sistema più impattante risulta essere quello delle strutture orizzontali, per le quali viene utilizzato il 36,9% dell'energia totale necessaria.

#### 4.2. Scenario di demolizione e ricostruzione

Il secondo scenario proposto prevede la demolizione completa della villa e la sua ricostruzione

con un sistema costruttivo a secco, che segua criteri progettuali legati alla sostenibilità, circolarità e reversibilità. Il sistema costruttivo scelto consiste in una struttura lignea a telaio leggero di tipo *platform frame*.

Sebbene l'edificio sia sottoposto a un vincolo storico-testimoniale, dopo un confronto con i tecnici del Comune di Argelato, l'ipotesi di demolizione dell'edificio è risultata realizzabile previa presentazione di una perizia da parte di un tecnico strutturista che attesti la mancata verifica della sicurezza del fabbricato. Considerando possibile questo scenario, dunque, è stata ipotizzata la demolizione dell'edificio esistente e la sua ricostruzione in sagoma, nel rispetto della conservazione delle finiture originali dell'edificio. Inoltre, al fine di poter svolgere un confronto tra i due scenari di intervento, è stato deciso di vincolare il valore della trasmittanza termica ottenuto tramite la realizzazione dell'intervento di riqualificazione, ossia pari a  $U_{\text{progetto}} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A parità di prestazioni energetiche e di superficie lorda, è stato selezionato un sistema costruttivo costituito da una struttura in *platform frame* che si avvicinasse a questo valore. Inoltre, al fine di ottenere un confronto maggiormente più attendibile, è stata modificata soltanto la tecnologia costruttiva (a secco, e non più a umido) e si è cercato di uniformare il più possibile le altre scelte progettuali, ad esempio mediante l'utilizzo di monoblocchi isolati termicamente per i nuovi serramenti e di nuovi infissi in legno, la conservazione della distribuzione interna dei locali e del posizionamento del vano scale e ascensore.

In particolare, sono state adottate le seguenti scelte progettuali:

- **Sistema portante e involucro edilizio** – Il sistema portante di tipo *platform frame* è costituito da montanti e traversi in legno, con una sezione di 16x8 cm, racchiusi da due strati di pannelli OSB. Nel lato interno è inserita un'intercapedine in cui sono alloggiati gli impianti e uno strato isolante di 6 cm, mentre sul lato esterno è posto uno strato isolante di 10 cm di spessore. Per quanto riguarda l'involucro edilizio, si è deciso di adottare una stratigrafia costituita da un'alternanza di strati isolanti in lana di roccia (dall'interno verso l'esterno, di spessore pari a 6, 16 e 10 cm) e tavolati in OSB (spessore di 2 cm), rivestita su entrambi i lati da uno strato di intonaco in cocciopesto (spessore di 1 cm) (Fig. 4);
- **Fondazioni** – Tutte le scelte progettuali sono state svolte in un'ottica di circolarità e di recupero dei materiali, affinché a fine vita dell'edificio fosse possibile recuperare e riutilizzare più materiali possibili e minimizzare gli scarti finali. In linea con questo approccio, anche per le fondazioni è stato selezionato un sistema a secco innovativo, progettato da Simone Graffer [19]. Si tratta di fondazioni formate da un gabbione in rete elettrosaldata e da un pannello di copertura annegato in una trave in cemento armato che permette l'appoggio della struttura sovrastante distribuendo uniformemente il carico sul sottostante materiale lapideo di riempimento. Il sistema così formato, posto in continuità con le strutture portanti, è posato al di sopra di un getto di magrone opportunamente impermeabilizzato. Sui lati controterra si trova un pannello isolante in XPS, intorno al quale prosegue l'impermeabilizzazione. Il sistema di fondazione a secco e la struttura leggera in legno sovrastante sono collegate da una trave in acciaio che va fissata alle cerniere.
- **Copertura** – Per quanto riguarda il sistema di copertura ventilata, si è deciso di utilizzare un sistema prefabbricato denominato "Multibox", costituito da pannelli lignei prefabbricati e una serie di strati isolanti in fibra di legno e lana di roccia, come previsto nel progetto di ri-

qualificazione originario (che, tuttavia, non è stato possibile realizzare per via delle difficoltà e dei ritardi nella reperibilità dei materiali dati dagli effetti combinati della pandemia e degli incentivi del *Superbonus 110%*). Infine, si è previsto che il sistema di tenuta all'acqua fosse costituito da coppi, per il 92% riutilizzati da quelli originali (analogamente a quanto realizzato effettivamente);

- **Solai** – I solai sono stati progettati come lignei e completati da sottofondi in cemento armato, per poter recuperare il materiale di scarto delle demolizioni e utilizzarlo come materiale di riciclo per il nuovo intervento di costruzione. Anche per la scala esistente, dopo la demolizione, è stata prevista la ricostruzione della stessa in legno;
- **Partizioni interne** – Le partizioni sono state concepite come interamente a secco, costituite da montanti in legno;
- **Finestre** – Il progetto ha previsto l'installazione di monoblocchi per risolvere i ponti termici in corrispondenza dell'attacco nelle nuove finestre, costituite da infissi in legno a taglio termico con doppio vetro, persiane in legno e bancali coibentati in EPS (analogamente a quanto realizzato effettivamente);
- **Pannelli fotovoltaici** – È previsto l'inserimento in copertura di BIPVs, nella falda inclinata esposta a Sud, previa posa di una sottostruttura in lamiera grecata in acciaio (analogamente a quanto realizzato effettivamente).

Inoltre, si è deciso di utilizzare un impianto di frantumazione mobile nel cantiere in modo da massimizzare il recupero di materiale e minimizzare l'impatto ambientale, riducendo le emissioni dovute al trasporto dei materiali. È stato previsto il recupero di tutte le macerie derivanti dai mattoni sia come materiale di riempimento a granulometria maggiore per le gabbie delle fondazioni, sia come aggregati a granulometria più fine negli strati di sottofondo dei nuovi solai. La quantità rimanente è stata impiegata per la formazione delle pavimentazioni esterne. È stato previsto inoltre di frantumare il legno sotto forma di truciolare e riutilizzarlo per la formazione di pannelli OSB e per i nuovi pavimenti in legno. Con il materiale rimanente si è previsto di realizzare elementi di arredo urbano per l'area cortiliva circostante (sedute e panchine, giochi per bambini). Infine, per gli infissi esterni lignei esistenti rimossi è stato previsto il riutilizzo per la costruzione di semenzai e serre, mentre per il ferro e l'acciaio dismessi si è pensato a un processo di riciclo attraverso l'altoforno per il loro recupero come materia prima secondaria.

In analogia a quanto svolto per il primo scenario di intervento, anche in questo caso l'analisi LCA è stata effettuata mediante l'utilizzo del software *OneClick LCA*. Nello scenario di demolizione e ricostruzione, la valutazione ha riguardato l'intero edificio (limitatamente al materiale aggiunto e agli interventi di demolizione dell'edificio preesistente) e ha considerato principalmente i seguenti componenti edili: chiusure verticali esterne opache; copertura; solai; sistemi monoblocco per le finestre; partizioni interne; interventi di demolizione di porzioni dell'edificio esistente. Così come per lo scenario di riqualificazione, l'analisi si è focalizzata sulle fasi di ricostruzione e di fine vita, senza considerare gli impatti dovuti all'utilizzo dell'edificio (quali riscaldamento e raffrescamento, produzione acqua calda sanitaria, etc).

Per poter controllare il flusso di materiali in ingresso e in uscita relativamente a tali ipotesi di intervento, si è realizzato un foglio di calcolo *Excel* per raccogliere tutte le quantità in uscita dal

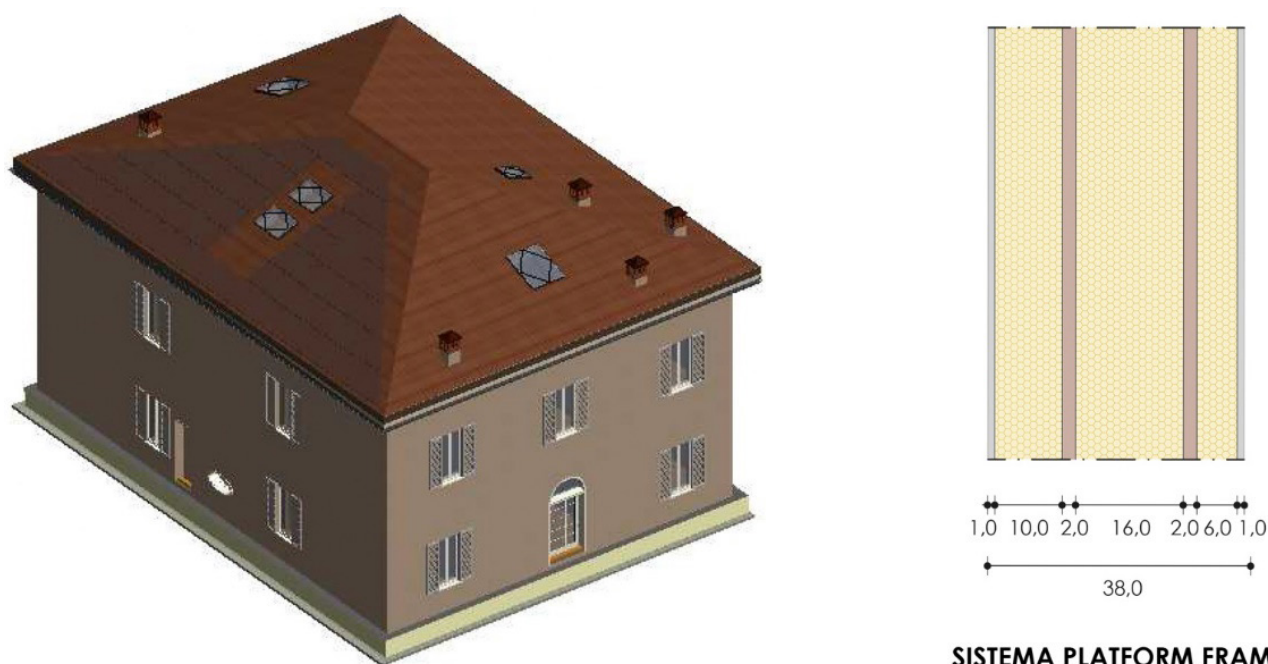
**SISTEMA PLATFORM FRAME**

Fig. 4. A sinistra: vista 3D, estratta dal modello BIM, delle facciate Sud ed Est della villa allo stato di progetto secondo lo scenario di demolizione e ricostruzione con sistema ligneo platform frame, (© 2022, S. Gugnali). A destra: particolare costruttivo della soluzione di involucro adottata (© 2022, C. Mazzoli).

cantiere, derivanti dalla demolizione dell'edificio esistente, e tutte quelle in ingresso per la realizzazione del nuovo edificio. Per considerare le giuste quantità di materiale sono stati realizzati due modelli BIM tramite l'utilizzo del software *Revit*, grazie al quale è stato possibile facilitare le operazioni di raccolta dei dati necessari per completare il foglio *Excel*. Lo stesso processo è stato poi ripetuto anche per raccogliere le quantità relative alla nuova costruzione in legno.

L'analisi si è focalizzata sulle operazioni di demolizione e ricostruzione dell'edificio, in particolare valutando i componenti edili elencati sopra. Inoltre, all'interno dell'analisi LCA è stato considerato l'impatto dei mezzi meccanici usati per i lavori di costruzione e demolizione. Sono invece state escluse tutte quelle parti di arredo e le porte interne, che non avrebbero influito significativamente sui valori finali.

I risultati finali sono riportati di seguito (Tab. 3) e rappresentano l'impatto totale dell'edificio per ogni categoria di impatto durante 50 anni di vita utile. Anche in questo caso, la fase più impattante è risultata essere quella di produzione dei materiali (A1-A3), tenendo in considerazione che anche in questo caso non sono stati conteggiati gli impatti dovuti all'utilizzo dell'edificio, ma è stato fatto riferimento all'impatto dovuto esclusivamente ai materiali impiegati durante le fasi di ricostruzione dell'edificio e di fine vita. Infatti, l'energia utilizzata per i lavori di demolizione dell'intero edificio – la cui durata, grazie all'utilizzo del foglio di calcolo *Excel* sopracitato, è stata stimata pari a 92 ore – non incide significativamente sui risultati finali.

<b>Categorie di impatto</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Totale</b>
Potenziale di Riscaldamento Globale	GWP	kgCO <sub>2</sub> eq	224.605,43
Potenziale di acidificazione	AP	kgSO <sub>2</sub> eq	862,12
Potenziale di eutrofizzazione	EP	kgPO <sub>4</sub> -eq	240,00
Potenziale di eliminazione dell'ozono	ODP	kgCFC <sub>11</sub> eq	229,04
Formazione di ozono nella bassa atmosfera	POCP	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1.242,35
Consumo di energia primaria	PED	MJ	3.790.090,44
CO <sub>2</sub> di origine biogenica	Bio-CO <sub>2</sub> storage	KgCO <sub>2</sub> eq bio	66.988,31

Tab. 3. Impatto ambientale totale dell'edificio, per ogni categoria di impatto, durante una vita utile di 50 anni.

Analizzando più nel dettaglio i risultati per le categorie di GWP, si riporta di seguito una classifica degli impatti dei componenti maggiormente incidenti, in termini di emissioni di GWP (Tab. 4).

<b>N.</b>	<b>Risorsa</b>	<b>Impatti [tCO<sub>2</sub>eq]</b>	<b>%</b>
1	Massetto in calcestruzzo alleggerito	35,0	20,0
2	Pannelli isolanti in lana di roccia, non rivestiti	25,0	14,0
3	Calcestruzzo preconfezionato, ordinario, generico, C25/30	19,0	11,0
4	Lamiera grecata in alluminio per coperture e rivestimenti	19,0	11,0
5	Pannello fotovoltaico monocristallino (PV) per m <sup>2</sup>	13,0	7,5
6	Profilati di acciaio strutturale, generico, 100% riciclato I, H, U, L, e T	11,0	6,4
7	Profilo di alluminio	9,2	5,4
8	Massetto in calcestruzzo	5,3	3,1
9	Legno strutturale	4,5	2,7
10	Isolante in XPS, L=0,035 W/mK	4,4	2,6

Tab. 4. Impatto dei materiali che contribuiscono maggiormente alle emissioni di GWP durante una vita utile di 50 anni.

Il materiale più impattante risulta essere lo strato di sottofondo in calcestruzzo alleggerito per l'alloggiamento degli impianti, responsabile del 20,7% delle tCO<sub>2</sub>eq: la valutazione di questo materiale è stata inclusa per cercare di includere nel progetto il recupero della maggiore quantità possibile di aggregati derivanti dalla demolizione dell'edificio esistente. Si collocano al terzo e quarto posto la lana di roccia (che, nel progetto di ricostruzione, è presente in maggiore quantità rispetto al progetto di riqualificazione) e il calcestruzzo preconfezionato, presente nelle fondazioni, responsabili rispettivamente per il 14% e l'11% delle emissioni totali. Successivamente, si trova la lamiera grecata, su cui si innestano i pannelli fotovoltaici, seguita dai pannelli stessi. Seguono poi i profili di acciaio strutturale presenti nelle fondazioni, gli agganci in acciaio dei pannelli fotovoltaici, e il massetto in calcestruzzo che, così come il massetto per gli impianti, è stato inserito per poter recuperare il materiale già presente in cantiere. All'ultimo posto si collocano il legno strutturale che, nonostante sia presente in larghissima quantità nel progetto, ha un

impatto molto basso, e l'isolante in XPS. L'impatto totale dell'intervento consiste in 225 tCO<sub>2</sub>eq, che corrisponde all'emissione di circa 11,04 kgCO<sub>2</sub>eq per ogni m<sup>2</sup> all'anno.

Anche in questo scenario, il sistema più impattante a livello di GWP è costituito dalla categoria "Solai, soffitti, coperture, travi e tetti", che raggiunge quasi 70 tCO<sub>2</sub>eq, seguita da "Sistemi costruttivi e impianti", che produce più di 60 tCO<sub>2</sub>eq. Le altre categorie invece sono tutte molto meno impattanti rispetto alle due sopracitate. Come si può notare dal grafico (Fig. 5), il 30,8% degli impatti deriva dalle strutture orizzontali e il 29,5% dai sistemi tecnologici.

In termini di PED, invece, come nello scenario di riqualificazione, la fase più impattante risulta essere quella di produzione e, così come per il GWP, il sistema più energivoro risulta essere quello delle strutture orizzontali, seguito da quello dei sistemi costruttivi e impianti, che producono rispettivamente il 30,1% dell'energia totale e il 29,5%.

## 5. Conclusioni

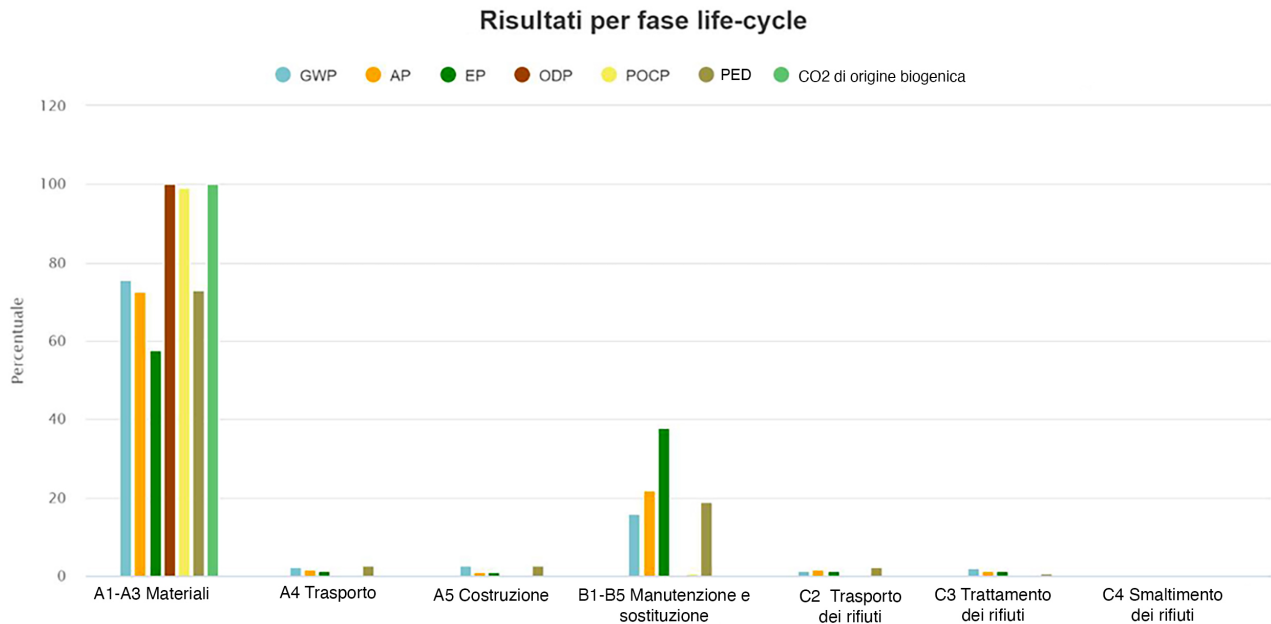
L'articolo vuole rispondere alla domanda di ricerca iniziale riguardo all'individuazione dello scenario di intervento meno impattante in termini ambientali, tra i due analizzati e valutati che afferiscono a due paradigmi opposti: un'ipotesi di ristrutturazione e una di demolizione e ricostruzione di un edificio storico esistente.

Dal punto di vista ambientale, lo scenario meno impattante risulta essere quello della demolizione e ricostruzione dell'edificio mediante un sistema costruttivo in legno. Questo esito deriva dal fatto che i lavori di demolizione non incidono significativamente sulle emissioni di CO<sub>2</sub> ma anzi risultano essere minori rispetto a quelle prodotte dai lavori di consolidamento della struttura esistente, nell'ipotesi di riqualificazione. Inoltre, utilizzare un impianto di frantumazione e prevedere il recupero di tutto il materiale derivante dalla demolizione ha permesso di abbattere le emissioni dovute al trasporto e di eliminare i rifiuti, i quali sono stati reinseriti nel ciclo produttivo. Infine, una progettazione orientata alla circolarità nello scenario di nuova costruzione, basata sulla realizzazione di un nuovo edificio in legno, mediante l'impiego di materiali sostenibili e assemblabili a secco, ha consentito di ridurre notevolmente gli impatti dovuti alla nuova costruzione.

Occorre evidenziare che, nella presente analisi, il tempo di vita utile è stato considerato di 50 anni e che la fase d'uso non è stata presa in considerazione. In altri studi, lo scenario di demolizione risulta più conveniente rispetto a quello di riqualificazione quando viene considerata una vita utile maggiore di 70 anni, che include anche le fasi di produzione, d'uso e di fine vita dell'edificio. Una progettazione orientata ai principi di sostenibilità e circolarità può quindi propendere per un intervento altamente invasivo come quello della demolizione e ricostruzione.

All'interno di questo processo, l'utilizzo di strumenti BIM per estrapolare in maniera veloce le quantità di materiali coinvolte nell'edificio oggetto di progettazione può aiutare progettisti e investitori durante il processo progettuale e decisionale per attuare le scelte migliori in termini di sostenibilità ambientale. Futuri sviluppi della ricerca saranno volti all'inclusione della fase d'uso dell'edificio all'interno dell'analisi LCA, da combinare con una valutazione economica di tipo *Life Cycle Cost* (LCC) – che potrebbe condurre a ritenere più conveniente dal punto di vista economico lo scenario di riqualificazione, per via dell'elevato costo del legno – in modo da ottenere una valutazione completa dell'intero ciclo di vita dell'edificio. Le analisi svolte sul caso





#### Riscaldamento globale kgCO2e - Classificazioni

- Solai, soffitti, coperture, travi e tetti - 30,8%
- Sistemi costruttivi e impianti - 29,5%
- Fondazioni, sottosuolo, scantinati e muri di sostegno - 16,5%
- Muri esterni e facciata - 11,8%
- Finestre e porte - 4,7%
- Macchinari - 2,8%
- Pilastri e strutture verticali portanti - 2,6%
- Muri interni e strutture non portanti - 1,3%
- Consumo di acqua - 0,0%

#### Consumo di energia primaria - Classificazioni

- Solai, soffitti, coperture, travi e tetti - 30,1%
- Sistemi costruttivi e impianti - 29,5%
- Fondazioni, sottosuolo, scantinati e muri di sostegno - 14,5%
- Finestre e porte - 9,2%
- Muri esterni e facciata - 8,5%
- Pilastri e strutture verticali portanti - 4,6%
- Macchinari - 2,6%
- Muri interni e strutture non portanti - 1,0%
- Consumo di acqua - 0,0%

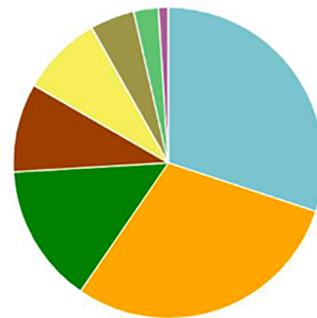
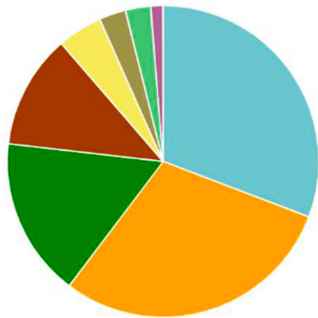


Fig. 5. In alto: risultati per fase del ciclo di vita per lo scenario di demolizione e ricostruzione. In basso: (a sinistra) grafici a torta relativi ai valori di GWP (a sinistra) e PED (a destra), in base alla classificazione dei componenti dell'edificio (© 2023, Autori dopo S. Gugnali).

di studio selezionato assumono un valore aggiunto per la rappresentatività che la villa ha di un tipico edificio rurale diffuso nel territorio italiano e dell'Europa meridionale, solitamente tutelato da vincoli paesaggistici e storico-documentali: il metodo di analisi e progettazione, così come le strategie per la decarbonizzazione, possono pertanto essere assunte come un potenziale modello di riferimento, attuabile e replicabile in altri contesti simili.

## ***Ringraziamenti***

Il progetto di ricerca “DRIVE 0” è stato finanziato nell’ambito del Programma Europeo Horizon 2020 – Innovation Action (IA) dell’Unione Europea (G.A. 841850). Le analisi presentate sono state sviluppate nell’ambito della Tesi di Laurea Magistrale di Siria Gugnali dal titolo “Riqualficazione o demolizione e ricostruzione? Metodo di valutazione della circolarità e applicazione al caso della «Corte Palazzo» ad Argelato, Bologna” (Alma Mater Studiorum – Università di Bologna; relatore: Mazzoli, C.; correlatori: Dragonetti, L., Corticelli, R.). Gli autori desiderano ringraziare la Fondazione Cassa di Risparmio di Bologna (Carisbo), l’azienda ALIVA (parte del Gruppo IVAS), il coordinatore generale del progetto Ing. Mirko Cioni e il relativo Raggruppamento Temporaneo Professionale, e l’impresa realizzatrice dei lavori Emiliana Restauri Soc. Coop.

## ***Riferimenti bibliografici***

- [1] von Carlowitz HC. Sylvicultura Oeconomica, oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Braun, Leipzig, 1713.
- [2] Boulding KE. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: Jarrett H (a cura di) Environmental Quality in a Growing Economy. RFF (Resources for the Future) Press, Baltimore (USA), 1966, 3-14.
- [3] Ellen MacArthur Foundation. Towards the circular economy, Vol. 1: An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition, 2013. Disponibile online: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [4] IRP. Resource Efficiency and Climate Change, 2020, and UN. Environment Emissions Gap Report, 2019. In: European Commission. A Renovation Wave for Europe – Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives. COM(2020) 662 Final, Bruxelles, 2020.
- [5] Commissione Europea. Un nuovo piano d’azione per l’economia circolare – Per un’Europa più pulita e più competitiva, COM(2020) 98 Final. Bruxelles, 2020. Disponibile online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=PT> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [6] Commissione Europea. L’anello mancante – Piano d’azione dell’Unione Europea per l’Economia circolare, COM(2015) 614 Final. Bruxelles, 2015. Disponibile online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=ES> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [7] European Commission. Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe. 2020. Disponibile online: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf) (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [8] Ministero della Transizione Ecologica. Strategia nazionale per l’Economia Circolare. 2022. Disponibile online: [https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/SEC\\_21.06.22.pdf](https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/SEC_21.06.22.pdf) (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [9] Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti. 2006. Disponibile online: <https://www.mase.gov.it/pagina/programma-nazionale-gestione-rifiuti> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [10] Mesa JA, Fúquene-Retamoso C, Maury-Ramírez A. Life Cycle Assessment on Construction and Demolition Waste: A Systematic Literature Review. Sustainability 13(14): 7676, 2021.

- [11] Zhang C, Hu M, Dong L, Xiang P, Zhang Q, Wu J, Li B, Shi S. Co-benefits of urban concrete recycling on the mitigation of greenhouse gas emissions and land use change: A case in Chongqing metropolis, China. *Journal of Cleaner Production* 201: 481-498, 2018.
- [12] Zhang C, Hu M, Dong L, Gebremariam A, Miranda-Xicotencatl B, Di Maio F, Tukker A. Eco-efficiency assessment of technological innovations in high-grade concrete recycling. *Resources, Conservation and Recycling* 149: 649-663, 2019.
- [13] “DRIVE 0” H2020 progetto europeo. Disponibile online: <https://cordis.europa.eu/project/id/841850/it> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [14] Kuusk K, Ritzen M, Daly P, Papadaki D, Mazzoli C, Aslankaya G, Vetršek J, Kalamees T. The circularity of renovation solutions for residential buildings. In: *CLIMA 2022 EYE ON 2030 – Towards digitalized, healthy, circular and energy efficient HVAC*, Proceedings of the Conference 14th REHVA HVAC World Congress, Rotterdam, 22-25 May 2022. TU Delft: Delft, 2022, 2129-2135.
- [15] D. Lgs. “Rilancio” n. 34 del 19/05/2020. Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all’economia, nonché di politiche sociali connesse all’emergenza epidemiologica da COVID-19. Disponibile online: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/05/19/20G00052/sg> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [16] OneClick LCA Software. Disponibile online: <https://www.oneclicklca.com/> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).
- [17] Comitato Tecnico CEN/TC 350. UNI EN 15978:2011, Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della prestazione ambientale degli edifici – Metodo di calcolo. 2011.
- [18] Comitato Tecnico CEN/TC 350. UNI EN 15804:2014, Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto. 2014.
- [19] LSF – LedroSteel Foundation. Innovative Fondazioni a secco per edifici in legno. Disponibile online: <https://ls-foundation.com> (ultimo accesso 30 gennaio 2023).

