

# CIRCULAR ECONOMY AND LIFE-CYCLE ANALYSIS IN BUILDINGS

*Editors:*

*Javier Cárcel Carrasco  
Luis Palmero Iglesias  
Aurora Martínez Corral*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



I INTERNATIONAL CONFERENCE  
SUSTAINABLE CONSTRUCTION AND  
DEMOLITION | VALENCIA 17-18 NOV 2021

Ingeniería y Tecnología







# CIRCULAR ECONOMY AND LIFE-CYCLE ANALYSIS IN BUILDINGS

**Editors:**

*Javier Cárcel Carrasco<sup>1</sup>*

*Luis Palmero Iglesias<sup>1</sup>*

*Aurora Martínez Corral<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>(Universitat Politècnica de València)*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

Conselleria d'Innovació,  
Universitats, Ciència  
i Societat Digital

Los contenidos de esta publicación han sido evaluados por el Comité Científico del I INTERNATIONAL CONFERENCE SUSTAINABLE CONSTRUCTION AND DEMOLITION, por el procedimiento de revisión ciega por pares.

Este Trabajo ha tenido la financiación de la Generalitat Valenciana dentro del programa de I+D+i para SUBVENCIÓNES PARA LA ORGANIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONGRESOS, JORNADAS Y REUNIONES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS, HUMANÍSTICAS O ARTÍSTICAS DE CARÁCTER INTERNACIONAL, CON CLAVE AORG/2021/023



**Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.**

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

Avda. Juan Gil Albert, 1- 03802- ALCOY (ALICANTE) [info@3ciencias.com](mailto:info@3ciencias.com)

Primera edición: **febrero 2022**

ISBN: **978-84-123872-9-2**

DOI: <https://doi.org/10.17993/IngyTec.2022.83>



## **Editors / Editores:**

Javier Cárcel Carrasco<sup>1</sup>

Luis Palmero Iglesias<sup>1</sup>

Aurora Martínez Corral<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Universitat Politècnica de València)

## **ORGANIZATION COMMITTEE**

### **PRESIDENCY**

Javier Cárcel Carrasco – Universitat Politècnica de València (Spain)

### **VICE-PRESIDENCY COMMITTEE ORGANIZATION**

Luis Palmero Iglesias – Universitat Politècnica de València (Spain)

Elisa Peñalvo López – Universitat Politècnica de València (Spain)

Teresa M. Pellicer – Universitat Politècnica de València (Spain)

Vicente López Mateu – Universitat Politècnica de València (Spain)

## **HONOUR COMMITTEE**

José Esteban Capilla Romá – Excelentísimo Rector Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Edward S. Rubin – Nobel Prize 2007 – Carnegie Mellon University (USA)

Elías Hurtado Pérez – Director Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV, Spain)

Eugenio Pellicer – Director ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (UPV, Spain)

Federico Bonet Zapater – Decano Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en la Comunidad Valenciana (Spain)

Fernando Cos-Gayón – Director ETS de Ingeniería de Edificación (UPV, Spain)

Javier Benlloch Marco – Director Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación (UPV, Spain)

José Luis Bonet Senach – Director Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (UPV, Spain)

José M. Fran Bretones – Director Departamento de Construcciones Arquitectónicas (UPV, Spain)

Jorge García-Serra García – Director ETS de Ingeniería Industrial (UPV, Spain)

Juan López Martínez – Director Instituto de Tecnología de Materiales (UPV, Spain)

Iván Cabrera Fausto – Director ETS de Arquitectura (UPV, Spain)

Luis Sendra Mengual – Decano Colegio de Arquitectos de la Comunidad Valenciana (Spain)

Manuel L. Romero – Director Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón (UPV, Spain)

Salvador Puigdengolas Rosas – Decano Colegio de Ingenieros industriales de la Comunitat Valenciana (UPV, Spain)

## **ORGANIZATION COMMITTEE**

Angel Pérez-Navarro Gómez – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

José Ramón Albiol Ibañez – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Graziella Bernardo – Università degli Studi della Basilicata, Matera (Italy)

Iván Cabrera Fausto – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Javier Cárcel Carrasco – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Agostino Catalano – Università degli studi del Molise (Italy)

Shidan Cheng – Wuhan University (China)

Szymon Dawczyński – Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)

Giacomo Di Ruocco – Università degli Studi di Salerno (Italy)

José M<sup>a</sup> Fran Bretones – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Avi Friedman – McGill University, Montreal, Quebec (Canada)

José Manuel Gandía Romero – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Cristian García García – Salesian Polytechnic University of Ecuador (Ecuador)

Antonella Guida – Università della Basilicata (Italy)

Jaime Llinares Millán – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Vicente López Mateu – Universitat Politècnica de Valencia (Spain)

Aurora Martínez Corral – Universitat Politècnica de València (Spain)

Sebastiano Maltese – University of Applied Sciences and Arts (Switzerland)

Andrea Nanetti- Nanyang Technological University (Singapore)



Luis Palmero Iglesias – Universitat Politècnica de València (Spain)

Teresa M. Pellicer – Universitat Politècnica de València (Spain)

Elisa Peñalvo López – Universitat Politècnica de València (Spain)

Ali Taha Omar – Supervisor for the Administration of Training & Human Development

### **SCIENTIFIC COMMITTEE**

Agostino Catalano – Università degli studi del Molise (Italy)

Alessandra Cernaro – Università degli Studi di Messina (Italy)

Ali Taha Omar – Administration of Training & Human Development, MSA, (Egypt)

Ana Cardoso de Matos – Universidade de Évora-CIDEHUS (Portugal)

Andrea Nanetti – Nanyang Technological University (Singapore)

Angel Pérez-Navarro Gómez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Antonella Guida – Università della Basilicata (Italy)

Antonio Manuel Romero Sedo – Universitat Politècnica de València (Spain)

Aurora Martínez Corral – Universitat Politècnica de València (Spain)

Avi Friedman – McGill University (Canada) Carla Montagud Montalvá – Universitat Politècnica de València (Spain)

Carlos Alberto Mariottoni – Unicamp and Lodestar EAD University (Brazil)

Carlos Roldán Blay – Universitat Politècnica de València (Spain)

Carlos Roldán Porta – Universitat Politècnica de València (Spain)

Carolina Aparicio Fernández – Universitat Politècnica de València (Spain)

Cesar Berna Escriché – Universitat Politècnica de València (Spain)

Cesar Velandia Silva – Universidad Ibagué (Colombia)

Cristian García García – Salesian Polytechnic University of Ecuador (Ecuador)

Consuelo Gómez Gómez – Universitat Politècnica de València (Spain)

David Alfonso Solar – Universitat Politècnica de València (Spain)

Eduardo Peñaloza Kairuz – Universidad Ibagué (Colombia)

Elías Hurtado-Pérez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Elisa Peñalvo López – Universitat Politècnica de València (Spain)

Enrico Sicignano – Università degli Studi di Salerno (Italia)

Fabio Minutoli – Università degli Studi di Messina (Italia)

Fabiola Colmenero Fonseca – Universidad Jesuita de Guadalajara ITESO (Mexico)

Fidel Salas Vicente – Universitat Politècnica de València (Spain)

Fernando Cos-Gayón – Universitat Politècnica de València (Spain)

Fulvio Re Cecconi – Politecnico di Milano (Italy)

Francisco Hidalgo Delgado – Universitat Politècnica de València (Spain)

Francesco Marino – Università degli Studi della Basilicata (Italia)

Francklin Rivas – Universidad Tecnica Federico Santa Maria (Chile)

Giacomo Di Ruocco – Università degli Studi di Salerno (Italia)

Graziella Bernardo – Università degli Studi della Basilicata (Italy)

Gonzalo de Murga – Organización de las Naciones Unidas (ONU)

Guillermo Escrivá Escrivá – Universitat Politècnica de València (Spain)

Helena Granados – CSCAE (Spain)

Inmaculada Tormo Clemente – Universitat Politècnica de València (Spain)

Iván Cabrera Fausto – Universitat Politècnica de València (Spain)

Jaime Langa – Universitat Politècnica de València (Spain)

Jaime Llinares Millán – Universitat Politècnica de València (Spain)

Javier Benlloch Marco – Universitat Politècnica de València (Spain)

Javier Cárcel-Carrasco – Universitat Politècnica de València (Spain)

José Antonio Cárcel Carrasco – TECNATOM (Spain)

José Luís Vivancos Bono – Universitat Politècnica de València (Spain)

José M. Fran Bretones – Universitat Politècnica de València (Spain)

José Manuel Gandía Romero – Universitat Politècnica de València (Spain)

José Miguel Molines Cano – Universitat Politècnica de València (Spain)

José Ramón Albiol Ibáñez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Juan Antonio García Esparza – Universitat Jaume I Castelló (Spain)

María Martín–Morales – Universidad de Granada (Spain)

Juan López Martínez – Universitat Politècnica de València (Spain)

María Martínez Rojas – Universidad de Málaga (Spain)

Luigi Mollo – Università degli Studi della Campania «Luigi Vanvitelli» (Italy)

Mariangela De Vita – Italian National Research Council CNR

Luis Palmero Iglesias – Universitat Politècnica de València (Spain)

Marianna Rotilio – Università dell’Aquila (Italy) María Luisa Collado López – Universitat Politècnica de València (Spain)

Manuel Jesús Ramírez Blanco – Universitat Politècnica de València (Spain)

Mary Vergara Paredes – Salesian Polytechnic University of Ecuador (Ecuador)

Manuel Pascual Guillamón – Universitat Politècnica de València (Spain)

Matthew Bunza – University of Oregon (USA)

Manuel Rodríguez Méndez – UEseypro (Spain) Manuel Valcuende Payá – Universitat Politècnica de València (Spain)

Nadia Yeksarova – Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture (Ukraine)

Marcos Silvano – Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ (Brasil)

Olimpia Niglio – Hokkaido University, Sapporo (Japan)

M. <sup>a</sup> Dolores Salvador Moya – Universitat Politècnica de València (Spain)

Ornella Fiandaca – Università degli Studi di Messina (Italy)

María Carmen Llinares Millán – Universitat Politècnica de València (Spain)

Paloma Arrué Burillo – Universitat Politècnica de València (Spain)

María Cristina Moros Gómez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Pedro Gerardo Salinas Martínez – Universitat Politècnica de València (Spain)

María del Carmen Carnero Moya – Universidad de Castilla La Mancha (Spain)

Pierfrancesco Fiore – Università degli Studi di Salerno (Italy)

María D. Martínez-Aires – Universidad de Granada (Spain)

Pierluigi De Berardinis – Università dell’Aquila (Italy)

Pilar Mercader Moyano – Universidad de Sevilla (Spain)

Rafael Capúz Lladró – Universitat Politècnica de València (Spain)

Rafael Suárez Medina – Universidad de Sevilla (Spain)

Raffaella Lione – Università degli Studi di Messina (Italy)

Rosa Agliata – Università degli Studi della Campania «Luigi Vanvitelli» (Italia)

Rosa María Domínguez Caballero – Universitat Politècnica de València (Spain)

Rosana Muñoz – Universidade Federal da Bahia (Brasil)

Sandro Parrinello – Università degli studi di Pavia (Italy)

Sara Gonizzi Barsanti – Università degli Studi della Campania, Luigi Vanvitelli (Italy)

Sebastiano Maltese – University of Applied Sciences and Arts (Switzerland)

Shidan Cheng – Wuhan University (China) Sibel Onat Hattap – Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)

Stefania De Gregorio – Università dell'Aquila (Italy)

Svetlana Maksimova – PERM National Research Polytechnic University (Russia)

Szymon Dawczyński – Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)

Tatjana Vilutienė – Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania)

Teresa M. Pellicer – Universitat Politècnica de València (Spain)

Thiago Arruda Mariottoni – Technoeuro – Lodestar EAD University (Brazil)

Thomas Wessel – Jade Hochschule Wilhelmshaven (Germany)

Tiziana Poli – Politecnico di Milano (Italy) Tomás Gómez-Navarro – Universitat Politècnica de València (Spain)

Umberto Varum – Universidade do Porto (Portugal)

Vicente Blanca Giménez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Vicente López-Mateu – Universitat Politècnica de València (Spain)

Víctor Yepes Piqueras – Universitat Politècnica de València (Spain)

## **OPERATING COMMITTEE**

Alejandra Cianci Ramírez – Universitat Politècnica de València (Spain)

Ali Rafat Gigasari – Universitat Politècnica de València (Spain)

Alonso García García – Universitat Politècnica de València (Spain)

Alonso Mansilla Guajardo – Universitat Politècnica de València (Spain)

Clara Andrada Monros – Universitat Politècnica de València (Spain)

Eva Vazquez Navarro – Universitat Politècnica de València (Spain)

Flora Francis Kannampallil – Universitat Politècnica de València (Spain)

Francesco Tuzio – Universitat Politècnica de València (Spain)

Héctor Ortiz Arnau – Universitat Politècnica de València (Spain)

Irene Bordils Herrero – Universitat Politècnica de València (Spain)

Jangveer Kaur – Universitat Politècnica de València (Spain)

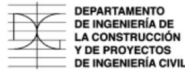
Laura Molina Cañamero – Universitat Politècnica de València (Spain)

Manuel Calabuig Pastor – Universitat Politècnica de València (Spain)

Marcos Gamella – Universitat Politècnica de València (Spain)



## SPONSORS



## FINANCER

GVA, Conselleria d'Innovació, Universitats, Ciència i Societat Digital. AORG/2021/023





# ÍNDICE DE CONTENIDOS

SUMMARY .....	17
PROLOGUE .....	19
CIRCULAR ECONOMY, AN EXPERIENCE THROUGH THE CONSTRUCTION OF A RIVER PROTECTION WALL OF USED TIRES IN AMBALEMA, COLOMBIA .....	21
IMPIEGHI E APPLICAZIONI DI PANNELLI PORTATI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO CON AGGREGATO RICICLATO C&D.....	39
BENCHMARKING COMPETITIVO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS INDUSTRIALES DE EDIFICIOS EN ESPAÑA .....	51
L'IMPROROGABILE DIGITALIZZAZIONE DELLA FILIERA DI RCD .....	65
BUENAS PRÁCTICAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: EJEMPLOS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL MARCO DEL PROYECTO CONDEREFF .....	79
METODO QUALI-QUANTITATIVO PER LA VALUTAZIONE DEL FATTORE DI RESILIENZA DEGI EDIFICI .....	93
EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE DEFECTOS INTERNOS DE SOLDADURA MEDIANTE TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS. APLICACIÓN AL CONTROL DE ESTRUCTURAS METÁLICAS .....	109
COLUMN A ENSAMBLADA A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE MADERA RECICLADA, EN EL CONTEXTO DE BOGOTÁ, COLOMBIA.....	125
THE PRESERVATION OF THE INTRINSIC VALUES OF ANCIENT PORTUGUESE BUILDINGS: CONTRIBUTION THROUGH THE USE OF THE PRINCIPLES OF DECONSTRUCTION .....	133
A CASE STUDY OF RECYCLING OF REINFORCED CONCRETE SLEEPERS IN BULGARIA... ..	145
URBANISMO SOSTENIBLE: UN ANÁLISIS INTRODUCTORIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA MOVILIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LAS CIUDADES.....	157
CIRCULAR CONSTRUCTION: REUSING WASTE MATERIALS .....	169
ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACION ACTUAL EN ITALIA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (C&D): DESAFIOS Y OPORTUNIDADES .....	181



## **SUMMARY**

In this book, the central theme is circular economy and life-cycle analysis in buildings. The best works presented to the International Conference on Sustainable Construction and Demolition are edited as book chapters, which were carefully reviewed and selected on the basis of articles of relevance, clarity and originality and published in this Book of Chapters. The international conference was held in Valencia, Spain on 17-18 November 2021.





## **PROLOGUE**

### **Circular economy and life-cycle analysis in buildings.**

This book shows in the form of book chapters the best works presented at the 1st International conference on Sustainable Construction and Demolition held in Valencia, Spain, from November 17 to 18, 2021, under the thematic area of sustainability in construction.

This conference sought to disseminate the current situation from a perspective of improvement in the construction sector, where technological advances need to be constantly reviewed to manage their evolution efficiently and sustainably.

The conference dealt with Sustainability in Construction, Technology, Energy, Environment, Circular Economy and Life Cycle Analysis, debating in an international forum with innovative contributions that will undoubtedly give positive results in the immediate future.

The Conference has been a platform for contributions with an academic community established in collaboration with the professional world and the business sector to present and discuss new and current work. This has resulted in the Conference being successful.

All the book chapters were subjected to a review process by reviewers of the scientific committees, external reviewers and members depending on the corresponding topic of the article. After a rigorous review process, the chapters were selected based on their originality, relevance and clarity for the purpose of the conference presentation.



# **CIRCULAR ECONOMY, AN EXPERIENCE THROUGH THE CONSTRUCTION OF A RIVER PROTECTION WALL OF USED TIRES IN AMBALEMA, COLOMBIA**

**Eduardo Peñaloza Kairuz<sup>1</sup>, César Augusto Velandia Silva<sup>2</sup>, Mark C. Diab<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Department of Architecture, Universidad delbagué*

*<sup>2</sup>Department of Architecture, Universidad delbagué*

*<sup>3</sup>Department of Archaeology, Temple University Japan*

## **ABSTRACT**

Based on an experience of building a wall of recycled used tires in front of the Magdalena River, in Ambalema (Tolima, Colombia), alternatives are proposed for the construction of containment systems on the banks of the Historic Center, based on three basic criteria : the study of prehispanic walled infrastructures in South America, especially in the indigenous heritage of Colombia; the search for greater efficiency and better possibilities for the management of resources and disused materials such as used tires; and environmental integration with the tropical dry forest.

Faced with the challenge of a design according to the natural and cultural context of the edge of the Magdalena River, the design and implementation of a wall is proposed in response to the government project on the boardwalk, by linking transdisciplinary visions to contribute and consider sustainable and sustainable solutions according to current needs.

**Keywords:** Cultural knowledge, circular design, circular economy, environmental sustainability, hydraulic wall.

## **INTRODUCTION**

Based on our experience working with private and public organizations it was achieved the construction of a wall of used tires in front of the Magdalena River in Ambalema (Tolima, Colombia), through the University of Ibagué Architecture and Civil Engineering Offices and the comprehensive work with the seedbed of young researchers from the Cultural Heritage group of Tolima and the Peace and Region Program, the Ambaviva Foundation, and the fishermen of Ambalema.

In the process, were resolved such as protecting the riverbank from erosive effects in the presence of housing, promoting the reuse of waste materials such as tires, generating knowledge from the classroom, developing research on traditional con-

struction techniques according to contemporary needs, designing and building a wall of recycled tires. Few lessons were learned from the intervention of the boardwalk. Also, the historic center of Ambalema is critically confronted, developing a sustainable project in line with the cultural landscape opposing to a first project presented by the local authorities.

This implied the recovery and valuation of the traditional knowledge of the natural and cultural attributes of the historic center and its area of influence. Through education and promoting the concept of the circular economy with the community. Facing the challenge of design sustainability, linking transdisciplinary visions, as well as the contribution of the community considering solutions much more consistent and sensible to regional problems.

## **CULTURAL BACKGROUND**

In the history of mankind, the building systems of different cultures have been a source of inspiration for the evolution of erosion protection systems. These include systems that respond to erosive consequences, such as terraces, ridges and channels in hydraulic systems (Posada-Restrepo *et al.*, 2019). Likewise, in the mountain ranges systems were built for the use of crops and agricultural production, among which the Inca terraces stand out in South America, and in the Colombian case these systems are present in high Andean areas, in the complex of the lost city of the Sierra Nevada de Santa Marta and the Bogotá savannah (Rodríguez Gallo, 2019) and the Peruvian Waru Waru system: name that means crest in Quechua language. They are traditional practices for the use of platforms for cultivation, which were widely used in pre-Columbian times in flood zones in the territories of Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia.

It should be noted that this type of sustainable agricultural system was extensively developed in tropical lowlands, which in many cases facilitated the occupation of territories through the design of mountain ranges and drainage systems, terraces for housing and burial mounds (Valdez, 2006).





**Figure 1.** Waru-Waru or Inca ridges and channels system <https://curiosfera-historia.com/gran-muralla-china/>

For 2000 years (based on 2700 years BP; Plazas de Nieto, 1998) the Zenú ancestors and their people in the Momposina Depression region, a gigantic formation of swamps and alluvial plains in the Colombian Caribbean, at an altitude of approximately 20 meters asl. In the middle of an alluvial valley, numerous structures of main channels almost 4 kilometers long were built that contribute to smaller channels for water management and sedimentation control for agricultural purposes in an area of 500,000 hectares. This system of terraces and ridges that they had developed allowed to generate a model of sustainable land use (Plazas de Nieto, 1998; Falchetti, 2009; Restrepo Zambrano, 2009; UNESCO, 2012 a).

According to Giraldo (2018), this system, due to its size, is one of the largest in the world. In South America, which is the largest on the continent, there is evidence of other settlements or agricultural infrastructure systems in the lowlands of the coasts of French Guiana, in the Guayas river basin, Ecuador and Llanos de Moxos (Giraldo, 2018 ; Restrepo Zambrano, 2009).

The San Jorge hydraulic system represents, according to the UNESCO tentative list (2012 a). a significant percentage of the structures have remained standing to this day and can be used as an alternative for sustainable development. Some of the spatial characteristics of the indigenous houses of Zenú are found in the houses of the current residents, which show the continuity in the construction tradition of the region. Much of the archaeological evidence found in the Momposina Depression is still in the custody of the Gold Museum and can be seen by the public, in addition to being protected as cultural heritage by legislation.

The Pre-Hispanic Hydraulic System of the San Jorge River stands out for being the greatest transformation carried out by pre-Hispanic man in its territory, an effort that

has no comparison in this part of the world. It is an efficient system that takes advantage of the environmental conditions of the site and although it involved a great initial effort in terms of the amount of cubic meters removed and the labor and tools used, they were later compensated with sporadic maintenance work and high levels of productivity. In addition, this is an infrastructure that can be reused as a real and sustainable economic alternative for those currently experiencing the Momposina Depression.

Likewise, the Magdalena River represents the culture-nature link with the regional cultural-urban landscape of the populations along its banks, with its inhabitants and their tangible and intangible local manifestations. In the middle of the seventeenth century, the Spanish Crown built the Canal Dique (UNESCO 2012 b), a 115 km long canal that crossed the Bolívar, Atlántico and Sucre region, as an alternative to achieve a fast navigable connection between the Magdalena River and its mouth in the Bay of Cartagena. This artificial canal transformed the environment by connecting high-biodiversity marshy lagoons between the Magdalena River and the Caribbean Sea, which favored the development of new settlements and ecosystems that are today of great importance in the area. In addition, the project represented an enormous technical challenge, considered one of the first of its kind to be developed in the New World, and was a feat of advanced engineering that took advantage of local conditions.

Subsequently, the Hispanic adaptation of the urban wall as an expression of the Spanish colony has a technical result represented in the Mompox albarrada. This city, one of the first Spanish settlements in South America in 1539 (UNESCO, 1995), is located 237 kilometers from Cartagena (to the north), in the middle of Lower Magdalena, and 692 kilometers from Ambalema (to the south). The city developed parallel to the river, its winding main street growing freely and longitudinally along the riverbank, over which barricades (albarradas) were built to protect the city during periods of flooding.



**Figure 2.** Alto San Jorge hydraulic System. Aerial view. Source: Sánchez Jabba (2013).



**Figure 3.** Alto San Jorge hydraulic System. Aerial view. Source: Sánchez Jabba (2013).

With the arrival of the Spanish in America, other construction techniques based on the masonry system based on stone and clay materials were introduced, which were also used as river containment systems, as in the case of the mega colonial canal works. Dam and the Mompox. It should be noted that these constructive innovations, both indigenous and Hispanic, are part of the capital of technical memory for understanding the territory and future solutions.

### **State of the Art in Ambalema**

The municipality of Ambalema is located in the northeastern region of the department of Tolima, Colombia, within a life zone of the upper Magdalena dry tropical forest at an altitude of 241 meters above sea level. (masl), “where the minimum and maximum temperatures are in a range of 27º C to 33º C and the relative humidity between 59% and 75% (Aponte *et al.* 2020: 57).

Its biodiversity in fauna and flora are characteristics of the ecosystems of the tropical dry forest life zone in the Alto Magdalena Valley (Losada-Prado & Molina-Martínez, 2011).

An important commercial node was established due to the cultivation and boom of tobacco in the late nineteenth and early twentieth centuries, where it stood out for its products both nationally and internationally due to the development of navigability. Thanks to the bonanza, the municipality consolidated itself as a relevant commercial node in Colombia, contributing at that time more than 60% of the country's gross domestic product.



**Figure 4.** Photography of Ambalema. Fuente: Culture Ministry of Colombia .PEMP, Ambalema ( 2018)

According to the different cultural justifications, the historic center of Ambalema received the declaration of a national monument in 1980; In 2017 the Special Management and Protection Plan (PEMP) was approved (Ministry of Culture, 2017) establishing conditions in the historic center of Ambalema for its conservation and currently in the process of official publication of the legal resolution. where safeguard, conservation and protection actions are registered and where. The PEMP values all the intangible and material manifestations of Ambalema.

Among the projects prioritized in the plan in the infrastructure dimension, the following is indicated regarding the project and sector of the river bank: a) Recover the edge of the Magdalena river, from the port of El Retiro to the maneuvering yard , which includes the sectors of the boardwalk, the railway line b) Integrate urban life on the banks of the Magdalena River as an effective public space.

## **The Malecon Project (2020)**

In 2018, the Administrative and Decision Making Body (OCAD), a body that evaluates, makes feasible, approves, and prioritizes programs and projects financed with resources from the Science, Technology, and Innovation Fund of the Ministry of Science (Minciencias) from the National Revenues System (regional distribution of revenues from mining and oil activity in the country), approved the allocation of three billion pesos for the expansion of the boardwalk as part of the municipalities of the Magdalena River.

Based on this, the government generated a proposal for the intervention of the riverside of the Ambalema Historic Center, which consists of the construction of a retaining wall, an access ramp to the river, a pedestrian path, electrical installations and works to mitigate the concrete river (secret bag). The route is located in the rail corridor that borders the Magdalena River, which is part of the disused transportation road infrastructure of the nation administered by the National Highway Institute (INVIAS); It is also located within the PEMP area of influence of the historic center. It should be remembered that the project is in the context of the natural landscape of the tropical dry forest of the Tolima region.

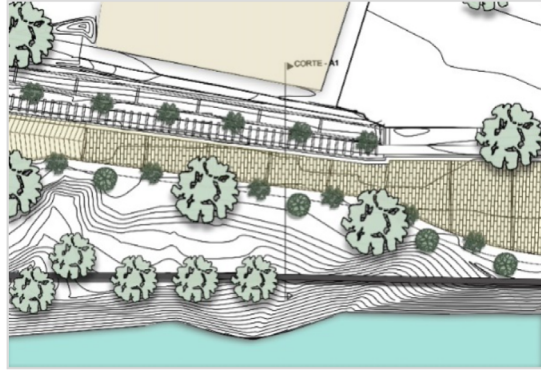


**Figure 5.** Boardwalk extension project area. Source: Prepared by the author from Google Earth

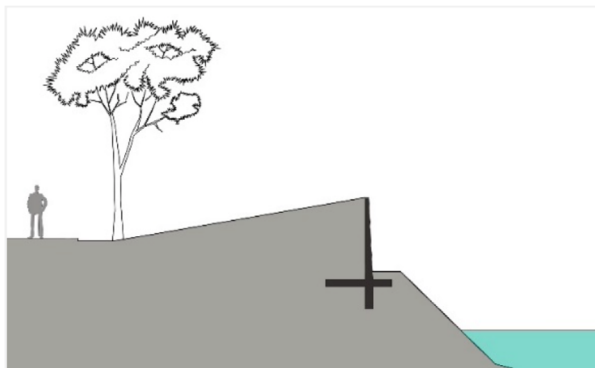
### **Remarks**

The technical proposal of the boardwalk according to the plans and cuts shared by the local government, demonstrates a lack of knowledge of the main ecological structure of the site, and the existing flora components. The solutions of installing a straight wall 150 m long and 5 m high and the concrete pavements interrupt the biological dynamics of the trees and their area of influence, in addition to endan-

gering the fauna of the site and increasing the temperature. Likewise, in some of the sections of the project, the vegetation layer has been raised, which, supported by the construction of the wall, prevents the visual linkage and articulation with the landscape along the river's edge.



**Figure 6.** Boardwalk extension project plan. Source: Prepared by the author from the project drawing



**Figure 7.** Boardwalk extension project section. Source: Prepared by the author from the project drawing

At the same time, understanding the patrimonial problems that the municipality experiences with its properties, the project, within its economic possibilities, does not prioritize minimal interventions in relevant properties along the route, such as the metallic structure of the steam water, the rails and the railway station, currently in disuse. The work was announced as an opportunity for the community to promote tourism, in addition to guaranteeing employment in related activities, however, it is important to note that currently the existing boardwalk lacks appropriation by the local population because it does not offer reasons integration with the urban life of the historic center. In this way, the railway station should be considered as the articulating node to support the project to expand the boardwalk.



## **The recycled tyre wall for fishermen built on the banks of the Magdalena River (2019)**

The Special Management and Protection Plan (PEMP), (Ministry of Culture, 2017) of the municipality of Ambalema, Tolima, grants the University of Ibagué support in the technical support processes. For this reason, on the part of the University, and since its creation, the Consultancy of Architecture and Civil Engineering, supports and technically advises the municipality and its area of influence. Among the strategies of the Consultancy is the rescue of traditional construction techniques, in accordance with contemporary systems.

As a precedent, in Ambalema an erosive protection project was carried out with used tires in the Campoalegre sector where the fishing community is located. It was promoted from a transdisciplinary dynamic that involved the fishing community, the students of the Tolima Cultural Heritage group, the Ambaviva foundation, a private company that donated the tires, and the local government. The used tires wall project is an example of an incentive to constructive innovations through the union of local and external knowledge.



**Figure 8.** Wall construction start-up process. Source: Eduardo PeñalozaKairuz (2019)



**Figure 9.** Wall construction process Source: Eduardo PeñalozaKairuz (2019)



**Figure 10.** Wall in tyres in the fishermen's port ( 2020)

**Source:** Eduardo PeñalozaKairuz (2020)

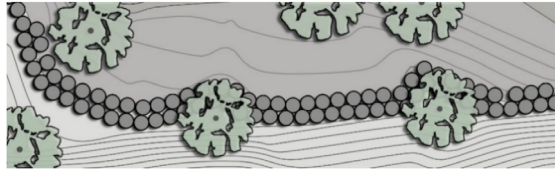
In response to the predominant economic models of extraction, production, and waste through the reuse of industrial materials such as tires, the project was inspired by dynamic processes with nature (Herrera Santos, 2021). The wall masonry technique was rescued in contrast to concrete poured systems which is vital due to the relief and to solve the sinuous river edge and the conservation of the arboreal individuals typical of the tropical dry forest. In this way, this means an effective response avoiding rigid reinforced concrete constructions, high economic costs as well as higher environmental impacts. The wall of used tires is an alternative way to face the consequences of the fluvial dynamics and the relief of the riverbanks.

### **Proposal**

Due to the natural characteristics of the river bank and the vulnerable heritage-natural conditions, we reviewed some conceptual bases for a more sustainable intervention and integration criteria with the natural environment, vegetation, slope affected by high and low water levels for flood mitigation and hydraulic containment of the river flow (Simm *et al.*, 2005; Barón Zambrano & Sánchez Peña, 2014; Ollero Ojeda, 2015; Torres Latorre, 2016; Rosero Moreano, 2017; Barros *et al.*, 2019; RRC, 2021).

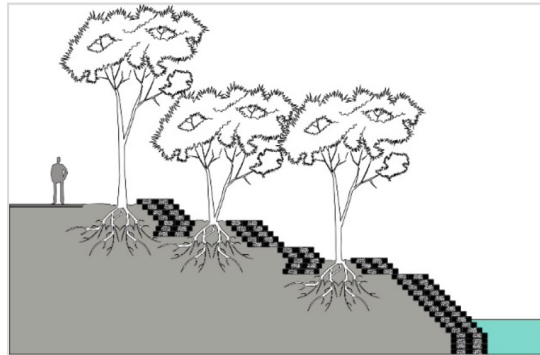
Therefore, we considered the following aspects for the design: a) Reading according to the relief; b) Recognition of individual trees and their area of influence; c) Minimum interventions for the exploitation of heritage assets along the route.





**Figure 11.** Wall on stepped tires sector.

**Source:** Prepared by the author from the project drawing



**Figure 12.** Stepped wall in used tires on the board walk weather:

Prepared by the author from the project drawing

Among the different alternatives to achieve adaptability to the movements of the relief, the link of the river landscape with the path and respect for the trees and fauna, a system of sinuous stepped walls based on used tires is proposed. This system is based on the principles of pre-Hispanic masonry, due to the conditions of the riverbanks, mechanisms that facilitate the interaction between aquatic and terrestrial environments. The procedure with tires, which by its nature is flexible and elastic due to its materiality, in addition to responding positively to erosive impacts, is presented as an alternative in the considerable reduction of reinforced concrete in civil works with little impact and little deterioration. Likewise, it becomes an economic alternative for the construction of slopes that does not require specialized work, and an opportunity to integrate the community in the construction processes.

## DISCUSSION

Being an alternative for the disposal of this disused material, building with tires, in addition, contributes to the rescue of traditional masonry techniques and the use of earth and stone as complementary material. The concept of the circular economy is that there is no energy expenditure in the production of the main containment element. Using recycled material the benefits for construction were increased such as lightness, impermeability, and non-deformation of the containment elements.

At the same time, the rubber insulation capacity is key to flexibility in the face of water impacts due to changes in flood levels. Knowing the natural conditions of the design has influenced the proposal. A deep relationship with indigenous culture and the nature-culture links of the landscape must be recognized (Niglio, 2010). The criteria developed from the study of pre-Hispanic hydraulic infrastructures in South America, especially in the indigenous heritage of Colombia for agricultural and aquaculture purposes, was adapted to the banks of the Magdalena River. A greater technical-hydraulic and formal design efficiency were improved with the possibilities by recycling used tires, a better environmental impact based on the improvement of the ecosystems of the river's edge, as well as the integration into a space more suitable for the use by the community.

The environmental and heritage values of rivers, including historical engineering works, are linked today to traditional functional problems which are not sufficiently recognized as part of a river cultural landscape. The project of the wall of used tires demonstrates that there are always other less aggressive alternatives (Nárdiz Ortiz, 2007). It should be noted the correspondence with 6 of the 17 Sustainable Development Goals (SDG): 9, industry, innovation and infrastructure; 10, Reduction of inequalities; 11, sustainable cities and communities; 13, Climate action; 14, Life in the water; 15, Life on land.

The proposal contains elements of restoration of the river's edge and conservation of the existing arboreal elements. According to Ollero Ojeda (2015), river restoration both as a theoretical principle and as a real practice is extremely useful in land use planning and flood risk management. Starting from the antecedents of pre-Hispanic hydraulic management, we have learned how a system faced conditions that today are preserved and continue in use. The Alto San Jorge hydraulic system has resisted 2,700 years and today responds to climate change in the Colombian Caribbean overwhelmed by floods or excessive drought.

## **CONCLUSION**

We have tried to link the concept of circular economy to the design process and cultural study of the project with important contributions to the greater sustainability of the intervention area. The project required inducing the maximization of recycling without compromising the natural and cultural values of the site while seeking to reduce the environmental impact.

A quality of flexibility must be guaranteed that allows the system to adapt to the movement of the terrain, obtain an elasticity of behaviour between the different variables for the generation of good practices of this type of structure on the historical and natural edges of the river. This prevents the structure from breaking the natural-cultural environment. An alternative was proposed to respond to the use of reinforced concrete of the first governmental proposal, which contained a high energy expenditure in addition to the excessive use of water. Likewise, we thought of an adaptation to the needs and changes according to the conjunctural problems with an emphasis on the design and reuse of recyclable materials in the intervention in the Magdalena River with considerations based on the development of an efficient green and circular economy. As a circular design, the challenges of environmental protection, social equity, and economic development also transcend the knowledge of culture with the participation of the community.

Now, the project presents the challenge of integrating technical, critical, and theoretical knowledge applied to the need to measure it and generate indicators. If it is built in terms of considering greater contributions from bioengineering, it will allow for follow-up and articulated transmission with the community. Therefore, this process and follow-up, which has led to the acceptance of our alternative proposal, has also managed to agree and implement with the local authorities and the project contractor some of our suggestions for the development of a new project. Finally, the circular economy is presented as an alternative to technological innovation in a more sustainable building that is required in these critical and unsustainable times.

## REFERENCES

- Aguilera Díaz, M. M.** (2006). El canal del dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica, Documentos de Trabajo sobre Economía Regional 72, Banco de la REPÚBLICA-CENTRO de Estudios Económicos Regionales (CEER). Available at [https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3178/dtser\\_72.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3178/dtser_72.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ANTÚNEZ, B.** (2019). Manual para la construcción y mantenimiento de muros de llantas en barrios populares de Tegucigalpa. Tegucigalpa: Inter-American Development Bank. Available at [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manual\\_de\\_construcci%C3%B3n\\_y\\_mantenimiento\\_de\\_vivienda\\_en\\_barrios\\_populares\\_de\\_Tegucigalpa\\_es\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manual_de_construcci%C3%B3n_y_mantenimiento_de_vivienda_en_barrios_populares_de_Tegucigalpa_es_es.pdf)

- Aponte García, G., Peñalosa Kairuz, E., Ospina-Tascón, J. J., & Velandia Silva, C. A.** (2020). Technique as function of memory: heritage values and revaluation of habitat and the landscape in Ambalema, Colombia. *VITRUVIO- International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 5(1), 49. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2020.13714>
- Banco de la RÉPÚBLICA.** (December 16, 2011). El tejido del agua. Available at <https://www.youtube.com/watch?v=yIlg33zx1CvI>
- Banco de la RÉPÚBLICA.** (December 19, 2011). Canales artificiales del ZENÚ. Available at <https://www.youtube.com/watch?v=CBQg-MAz1kf4>
- Barón Zambrano, J. R. & Sánchez Peña, L.** (2014). Viabilidad de muros de llantas para estabilización de taludes en el barrio la capilla, Soacha, Cundinamarca. Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Available at <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1773/1/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf>
- Barros, P., Sarabia, G., Valdés, F., Serrano, P., Gaytán, I.** (2019). Retaining Wall based on mechanically stabilized tire stack. *Revista ingeniería de construcción*. 34. 3, 252-267. Valparaíso, Chile Universidad Técnica Federico Santa María. Available at [https://scielo.con-icyt.cl/pdf/ric/v34n3/en\\_0718-5073-ric-34-03-252.pdf](https://scielo.con-icyt.cl/pdf/ric/v34n3/en_0718-5073-ric-34-03-252.pdf)
- Falchetti, A. M.,** (2009). El ocaso del gran ZENÚ. En H. Calvo-Stevenson & A. Meisel-Roca (Eds.), *Cartagena de Indias en el siglo XVI*, 68-90. Bogotá, Colombia: Banco de la Republica de Colombia Available at <https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/6766/?sequence=2>
- Giraldo, A.** (2018). Campos y cultivos prehispánicos en el sitio de San Pedro de la Depresión Momposina. Tesis de grado. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Available at [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16231/1/GiraldoAndrea\\_2018\\_CamposCultivosPrehispanicos.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16231/1/GiraldoAndrea_2018_CamposCultivosPrehispanicos.pdf)
- Herrera Santos, C** (2021) Economía circular, una oportunidad para Colombia. Portafolio.co Available at: <https://www.portafolio.co/economia-circular-una-oportunidad-para-colombia-opinion-de-carlos-herrera-santos-552734>
- Losada-Prado, S. & Molina-Martínez, Y. G.** (2011). Tropical dry forest's birds in Tolima Department (Colombia): community analysis. *Caldasia* 33(1):271-294. Available at <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n1/v33n1a16.pdf>

- Ministry of Culture** (14 September 2016). Revitalización de la Albarrada de Mompoxana Bienal de Arquitectura. Available at <https://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Paginas/-Revitalizaci%C3%B3n-de-la-Albarrada-de-Mompoxana-Bienal-de-Arquitectura>. Aspx
- Ministry of Culture** (2017). Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) para el centro histórico de Ambalema- Tolima y su zona de influencia. Bogotá: Dirección de Patrimonio.
- Nárdiz Ortiz, C.** (2007). Obras de ingeniería y creación de paisajes. Revista de Obras PÚBLICAS: Organo profesional de los ingenieros decaminos, canales y puertos 3474, 19-32.
- Niglio, O.** (2010). La Vía Férrea del Tabaco en Colombia. La Estación de Ambalema: una experiencia académica dirigida a proyectar un “plan de restauración”. Ciudad de México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Plantel Centro Histórico, 1-12.
- Ollero Ojeda, A.** (2015). Guía Metodológica sobre buenas Prácticas en restauración fluvial Manual para gestores. Zaragoza, Spain: Universidad de Zaragoza-IUCA-CIREF. Available at [http://contratoderiomatarranya.org/documentos/guia-restauracion-fluvial\\_web.pdf](http://contratoderiomatarranya.org/documentos/guia-restauracion-fluvial_web.pdf)
- OPUS-Ministry of Culture-AECID** (2015). Mompox Patrimonio Vivo. Revitalización del eje urbano de la albarrada de Mompox. Dossier. Available at <https://issuu.com/opus-medellin/docs/op-mompox-dossier>
- Plazas de Nieto, C., Falchetti, A.M., Van der Hammen, T., Botero, P.** (1998). Cambios ambientales y desarrollo cultural en el bajo río San Jorge. Boletín Museo del Oro 20, 55-88. Available at <https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/bmo/article/view/7167>
- Posada-Restrepo W., Cadena-Duarte, B, González-Severiche, C, Arroyave-Flórez E.** (2019). El sistema de canales y camellones prehispánico del golfo de Urabá, noroccidente de Colombia. Un reporte arqueológico y geográfico preliminar. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 43 (169):628-637. Available at <https://doi.org/10.18257/raccefyn.856>

- Restrepo Zambrano, D.** (2009). Campos elevados del bajo San Jorge. Solución del pasado para problemas del presente. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia: Universidad de Los Andes. Available at <https://1library.co/document/y80mvw0q-campos-el-evados-bajo-jorge-solucion-pasado-problemas-presente.html>
- Rodríguez Gallo, L.** (2019). La construcción del paisaje agrícola prehispánico en los andes colombianos: el caso de la sabana de Bogotá. *Revista de Prehistoria y Arqueología, SPAL*, volumen 28.1, 193-215. Available at <https://doi.org/10.12795/spal.2019.i28.09>
- Rojas Mora, S.** (2010). Análisis espacial y patrones de asentamiento en el bajo río San Jorge (Caribe colombiano) *Boletín de Antropología* 24, 41, 283-305. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Available at <https://www.redalyc.org/pdf/557/55716976013.pdf>
- Rosero Moreano, C. E.** (2017). Aprovechamiento de neumáticos fuera de uso en la construcción de diques como reservorios de agua en Suesca, Cundinamarca. Retrieved at [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/332](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/332)
- Sánchez Jabba, A.** (2013). La economía del Bajo San Jorge. Documentos de Trabajo sobre Economía Regional 183, Banco de la REPÚblica-Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). Available at [https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser\\_189.pdf](https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_189.pdf)
- Simm, J., Wallis, M. & Collins, K.** (Eds.). (2005). Sustainable re-use of tyres in port, coastal and river engineering. Guidance for planning, implementation and maintenance. Oxfordshire, United Kingdom: HR Wallingford. Available at [https://eprints.hrwallingford.com/526/1/SR669\\_-\\_REPRO\\_-\\_Tyres\\_Manual-mwa.pdf](https://eprints.hrwallingford.com/526/1/SR669_-_REPRO_-_Tyres_Manual-mwa.pdf)
- The River Restoration Centre [RRC].** (2021). (update). Manual of River Restoration Techniques. Cranfield, United Kingdom: RRC. Available at <https://www.therrc.co.uk/manual-river-restoration-techniques>
- Torres Latorre, P. A.** (2016). Estabilización de taludes con neumáticos usados, Proyecto de grado. Facultad Ingeniería civil, Universidad San Tomas-Bogotá. Available at <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2666/Torrespaula2016.pdf?sequence=2>

**UNESCO** (1995). Historic Centre of Santa Cruz de Mompox (Advisory Body Evaluation). Available at <https://whc.unesco.org/en/list/742/>

**UNESCO** (September 27, 2012 a). Tentative lists. State party: Colombia. Canal del Dique- Dike Canal. Available at <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5756/>

**UNESCO**. (September 27, 2012 b). Tentative lists. State party: Colombia. Pre-Hispanic Hydraulic System of the San Jorge River. Available at <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5764/>

**Valdez, F.** (Ed.). (2006). Agricultura ancestral: camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente. Quito, Ecuador: Ediciones Abya-Yala





# IMPIEGHI E APPLICAZIONI DI PANNELLI PORTATI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO CON AGGREGATO RICICLATO C&D

Fabio Minutoli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università di Messina, Dipartimento di Ingegneria, Messina, Italia, [minutoli.fabio@unime.it](mailto:minutoli.fabio@unime.it)

## ABSTRACT

L'uso sostenibile delle risorse disponibili, attraverso la conversione dei rifiuti prodotti in materie prime secondarie, è diventato ormai da anni una priorità della politica dell'UE. In particolare nel settore edile il corretto riutilizzo di quelle che più correttamente andrebbero definite come risorse da Construction & Demolition (C&D), con particolare riferimento agli aggregati da calcestruzzo riciclato, sembra essere la giusta strategia da percorrere per favorire il modello di edilizia circolare. Per questo motivo è utile ampliare le conoscenze sugli elementi prefabbricati non strutturali in calcestruzzo, capaci di velocizzare i tempi di costruzione e decostruzione, che hanno requisiti normativi meno stringenti rispetto agli analoghi strutturali. Tanti i progetti di ricerca basati sulle possibili applicazioni del green concrete (SUS-CON, 2012-2015; InnoWEE, 2016-2020; GREEN INSTRUCT, 2016-2020; RE4, 2016-2020; MEISAR, 2016-2020), ma ad oggi esiste ancora una limitata produzione di elementi costruttivi portati costituiti da una elevata percentuale di aggregati da C&D ed una certa riluttanza da parte del mercato. Con il presente lavoro, il continuum di una ricerca avviata nel 2018, si vogliono analizzare e confrontare alcuni significativi studi (scelti in base ad alcuni indicatori, quali impact factor, attraverso strumenti bibliometrici quali SciMat e VOSViewer) su pannelli portati prefabbricati in calcestruzzo confezionato con aggregato proveniente da C&D (con quantità superiori al 40%) e valutarne le possibili applicazioni in interventi di ristrutturazione e costruzione valutando anche le eventuali problematiche inerenti le dispersioni termiche.

**Keywords:** Pannelli prefabbricati, sostenibilità, aggregato riciclato, C&DW.

## INTRODUCTION

L'insostenibilità del modello economico lineare che ha consentito il progresso industriale degli ultimi due secoli, attraverso quello sfruttamento intensivo di risorse ed energie non rinnovabili noto come take-make-dispose, responsabile dell'attuale regresso ambientale ha reso necessaria la transizione, ancora in atto, verso un sistema economico circolare in cui il settore delle costruzioni, in maniera graduale, sta

promuovendo il riuso dei rifiuti/risorse da Construction & Demolition (C&D), con particolare riferimento agli aggregati da calcestruzzo riciclato, o aggregati riciclati, o più propriamente al calcestruzzo riciclato (Collepari, 2006). Sebbene la letteratura abbia ampiamente discusso le possibili problematiche meccaniche e chimico-fisiche (Corinaldesi *et al.*, 2002) inerenti l'impiego di aggregati riciclati (massa volumica, porosità, percentuale di pasta di cemento che avvolge gli elementi lapidei, assorbimento d'acqua, presenza di frazioni di materiali non desiderabili), i risultati scientifici hanno consentito l'utilizzo di aggregati grossi provenienti da riciclo in funzione della classe di resistenza del calcestruzzo da confezionare e della percentuale massima di impiego (NTC 2018, UNI 8520-2:2016, UNI 11104:2016). Per l'impatto ambientale degli aggregati naturali è opportuno considerare che per la escavazione sono necessari 20 MJ/t di energia da combustione e 9 MJ/t di energia elettrica, e per la loro frantumazione rispettivamente, 120 MJ/t e 50 MJ/t, mentre per gli aggregati riciclati da C&D i valori sono nettamente inferiori, 40 MJ/t di energia da combustione e 15 MJ/t di energia elettrica. Inoltre il crescente volume dei materiali C&D, la difficoltà di trovare siti idonei per la loro allocazione, la diminuzione delle riserve di aggregati naturali, hanno sensibilizzato l'impiego di frazioni di C&D (in virtù degli innovativi procedimenti digitali e robotizzati per la selezione degli aggregati) per la realizzazione di nuovi elementi costruttivi dotati, su indicazioni della Building as Material Banks (progetto BAMB2020), del "passaporto dei materiali". Nonostante l'utilizzo degli aggregati riciclati sia stato recepito dalle normative tecniche, e tanti sono i progetti di ricerca che hanno studiato le possibili applicazioni del green concrete (SUS-CON, 2012-2015; InnoWEE, 2016-2020; GREEN INSTRUCT, 2016-2020; RE4, 2016-2020; MEISAR, 2016-2020), esiste ancora una limitata produzione di elementi costruttivi portati costituiti da una percentuale di aggregati da C&D ed una certa riluttanza da parte degli utilizzatori. Le sperimentazioni, sia in laboratorio che su elementi in scala reale, hanno evidenziato come la sostituzione dell'aggregato naturale con percentuali dal 10 al 100% di aggregato grosso riciclato (frazione granulometrica > 4 mm) consenta la realizzazione di calcestruzzi di resistenze adeguate alla produzione di elementi strutturali e non, pur comportando delle variazioni (2) dei parametri caratterizzanti il conglomerato agli stati fresco e indurito.

Se nel mercato italiano non esistono validi esempi di elementi prefabbricati in calcestruzzo ottenuti mediante l'uso di materiali C&D, in quello europeo è possibile rintracciare qualche sporadica applicazione in virtù di una normativa meno restrittiva: a

---

*2 In particolare, allo stato fresco la maggior porosità dell'aggregato riciclato determina un maggior assorbimento d'acqua che genera, a parità di rapporto a/c, una perdita di lavorabilità. Allo stato indurito il conglomerato cementizio confezionato con il 100% di frazione grossa riciclata, pur raggiungendo elevati valori di resistenza, ha valori di modulo elastico inferiori rispetto a quelli del calcestruzzo ordinario. Questa particolarità garantisce in sostanza un comportamento duttile del materiale che a parità di sforzo si deformerebbe maggiormente rispetto al conglomerato tradizionale.*

titolo esemplificativo, nell'allegato 18 del Codice spagnolo sul calcestruzzo strutturale (EHE-08), vengono inclusi i requisiti prestazionali e le caratteristiche per la costruzione non soltanto di pavimentazioni, ma anche di blocchi, lastre, pannelli ed elementi per l'arredo urbano, come panchine, fioriere, balaustre e ringhiere.

Con il presente lavoro, il continuum di una ricerca avviata nel 2018, si vogliono analizzare e confrontare alcuni significativi studi (scelti in base ad alcuni indicatori, quali impact factor, attraverso strumenti bibliometrici quali SciMat e VOSViewer) su pannelli portati prefabbricati in calcestruzzo confezionato con aggregato proveniente da C&D (con quantità superiori al 40%) e valutarne le possibili applicazioni in interventi di ristrutturazione e costruzione considerando anche le eventuali problematiche inerenti le dispersioni termiche.

### **Pannelli prefabbricati in calcestruzzo riciclato**

Se è certamente possibile rintracciare gli albori delle tamponature prefabbricate in calcestruzzo quando per far fronte alla ricostruzione delle abitazioni distrutte negli anni successivi alla seconda guerra mondiale e alla crescente concentrazione demografica nelle aree di sviluppo industriale la classica ossatura muraria ha lasciato il posto all'omologa ossatura in conglomerato e alle strutture lineari in calcestruzzo di cemento armato non esiste un evento storico che caratterizza parimenti le prime realizzazioni di tamponature prefabbricate con aggregati da C&D. Significative nel contesto evolutivo e tecnico prestazionale delle tamponature in aggregati da C&D sono gli edifici Triodos Bank e Hoogheemraadschap Rijnland building Leiden realizzati, entrambi nei Paesi Bassi, rispettivamente nel 1999 e nel 2000. Le partizioni interne del primo sono in mattoni di laterizio provenienti dalla demolizione di una scuola elementare mentre per le pareti esterne sono stati utilizzati pannelli prefabbricati in calcestruzzo con l'uso del 100% di aggregati C&D. Le chiusure verticali del Hoogheemraadschap Rijnland, a doppia fodera in calcestruzzo e interposto isolante, hanno soltanto lo strato esterno costituito dal 20% di aggregato ricavato dalla demolizione di un edificio nelle vicinanze. Di entrambi gli edifici le risposte in termini termico prestazionali non hanno soddisfatto quei minimi richiesti dalle normative sui consumi energetici tanto che di recente sono stati eseguiti adeguamenti impiantistici ed interventi di coibentazione sull'involucro edilizio.

Migliori le caratteristiche prestazionali termiche dei pannelli a sandwich a base di C&DW, sviluppati nell'ambito del progetto RE4, costituiti da due foderi in calcestruzzo con interposto strato isolante. Questi elementi possono essere portanti (con percentuali sostitutive di aggregato naturale fino al 80% e sistema di costruzione

rapido Rapidres), e portato (con percentuali sostitutive di aggregato naturale fino al 100% e rinforzo tessile per ridurre lo spessore e peso degli elementi costruttivi). Tutti i prefabbricati in calcestruzzo sono stati prodotti, dopo un'accurata sperimentazione, nello stabilimento Creagh Concrete di Toomebridge e poi trasportati nei cantieri dimostrativi in Spagna e nell'Irlanda del Nord.

In questo contesto interessante il progetto, finanziato nell'ambito del programma Horizon 2020, GREEN INSTRUCT GREEN INtegrated STRUCTural Elements for Retrofitting and New Construction of Buildings finalizzato alla produzione di componenti prefabbricati per l'involucro edilizio come il pannello multistrato costituito da oltre il 70% in peso con materiali da costruzione e demolizione e da leganti geopolimerici in grado di favorire una riduzione delle emissioni di anidride carbonica grazie alle materie prime utilizzate (3) (ceneri volanti, scorie metallurgiche, metacaolino, ecc.) che non richiedono alcun tipo di pretrattamento termico e possono essere direttamente inglobate nel processo di produzione. La parete sviluppata nel progetto è costituita dall'assemblamento di due pannelli di diversa stratigrafia.

Il pannello sandwich interno è caratterizzato da un layer in materiale cementizio (MOC) rinforzato con aggregati funzionali (PCM) e fibre provenienti da CDW di rifiuti lignei; un layer geopolimerico con elementi provenienti da CDW (mattoni, piastrelle, lastre in gesso), un layer in schiuma poliuretana PU rinforzata con fibre di CDW, ed un telaio in alluminio riciclato che oltre a garantire la portanza del pannello, facilita le operazioni di montaggio. Le analisi condotte sulla stazione sperimentale MATRIX, dove è stato installato soltanto il pannello interno, hanno dimostrato come la trasmittanza termica (4) di questo fosse inferiore a 0.15 W/m<sup>2</sup>K ma l'assenza di ulteriori dati sul pannello nel suo insieme non consente valutazioni di carattere globale.

L'analisi di 115 articoli scientifici pubblicati in 48 riviste e presentati in diversi congressi internazionali nel periodo 2001-2020 (nel 2001 è stato pubblicato da Sánchez de Rojas, *et al.*, il primo studio sui "prefabbricati in calcestruzzo con aggregato riciclato C&D") ha consentito, oltre a valutare l'evolversi dell'interesse della comunità scientifica sull'argomento, di approfondire i progressi scientifici, in termini di caratterizzazione fisica, meccanica, chimica, dei prodotti prefabbricati in calcestruzzo con materiali di riciclo C&D. Dai dati è emerso come ancora oggi pochi studi si concentrano sui pannelli prefabbricati anche se in generale l'evoluzione dei prodotti mostra un graduale e lento progresso, in quanto si è passati da semplici studi sperimentali di

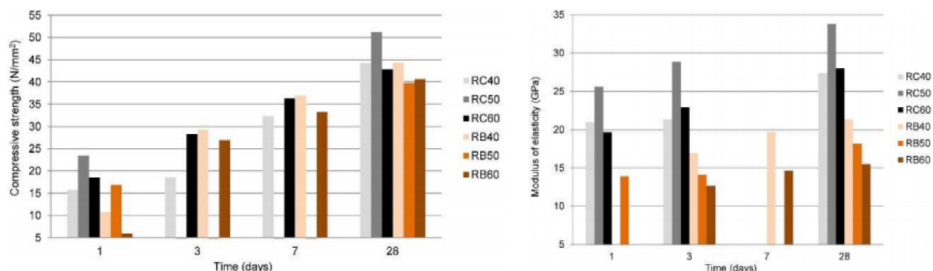
3 In funzione delle materie prime utilizzate si ottengono prodotti geopolimerici molto diversi fra loro; tuttavia, la larga maggioranza degli autori associa il termine "geopolimero" univocamente a materiali alluminosilicatici originatisi attraverso un processo di geo-sintesi, ovvero una reazione che integra chimicamente i minerali. Cfr. V. Medri, *L'industria dei laterizi 115* (2009), pp. 48-53.

4 La norma di riferimento per la misura in situ della trasmittanza termica con l'impiego dei termoflussimetri è lo standard ISO 9869-2:2018, "Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance".

laboratorio a soluzioni tecnicamente valide per la produzione in fabbrica, anche con l'incorporazione del 100% di aggregato riciclato.

In particolare si vogliono analizzare le potenzialità e i limiti del pannello ECO-SANDWICH® (ricerca condotta dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Zagabria) costituito dalla seguente successione stratigrafica (dall'interno dell'edificio e del pannello verso l'esterno): fodera interna portante (spessore di 12 cm) in aggregati di calcestruzzo riciclato; sistema a traliccio in acciaio inox; materiale isolante in lana minerale (20 cm) prodotta con tecnologia Ecosse; intercapedine ventilata (4 cm); fodera esterna portata (6 cm) in inerti provenienti dalla frantumazione di mattoni di scarto. Per poter determinare la percentuale di inerte riciclato in grado di conferire soddisfacenti proprietà meccaniche, sono stati preparati, per la fodera esterna, provini RC40, RC50, RC60, costituiti dal 40%, 50% e 60% di calcestruzzo riciclato, sabbia naturale di fiume (0-4 mm), cemento CEM II A/S 42,5 R. Per la fodera interna le percentuali di riciclato, proveniente da mattoni frantumati, sono le stesse (RB40, RB50, RB60) ma con dimensioni variabili tra 4-8 mm e 8-16 mm. Ad eccezione dell'aggregato, la proporzione di altri componenti è uguale in tutte le miscele: 400 kg di cemento, a/c = 0,42, plastificante aerante MELCRET SPA 0,7% in peso di cemento.

Le prove effettuate in laboratorio (Banjad Pečur *et al.*, 2015) su provini cubici di cm 15x15x15 hanno evidenziato, dopo 1, 3, 7 e 28 giorni, come con il 50% di aggregato, in calcestruzzo e in laterizio, si ottiene il miglior comportamento meccanico sia per lo strato portante, sia per quello portato. Il calcestruzzo ottenuto con il 50% di aggregati RC ha il contenuto d'aria più basso e di conseguenza la massima resistenza alla compressione, mentre il calcestruzzo con il 50% RB ha un contenuto d'aria maggiore rispetto ai calcestruzzi con 40% e 60% di mattoni riciclati, con una conseguenziale minore resistenza alla compressione. Per quanto riguarda il modulo di elasticità i maggiori valori sono stati ottenuti per i provini con 50% RC, mentre per gli aggregati con RB i valori sono decisamente inferiori.



**Figure 1.** Resistenza a compressione e modulo di elasticità dei provini RC e RB (fonte: Alagusic *et al.*).

	Densità Kg/m <sup>3</sup>	λ W/mK	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Acqua (l/m <sup>3</sup> )	Sabbia 0-4 mm (kg/m <sup>3</sup> )		C&D 4-8 mm (kg/m <sup>3</sup> )		C&D 8-16 mm (kg/m <sup>3</sup> )	
					N	R	cls	brick	cls	brick
RC40	2064.6	0.867	380	160	462	486	211	-	600	
RC50	2105.0	0.858								
RB40	1912.7	0.703	400	170	462	486	-	211		600
RB50	1971.0	0.746								

**Tabla 1.** Composizione dei provini RC e RB e conducibilità termica

La minore resistenza alla compressione dovuta all'aggiunta di aggregato riciclato can be controlled by changing various factors of the concrete mix, such as adjusting the w/c ratio, changing the mixing procedure, treating the aggregate and using a mineral addition (Banjad Pečur *et al.*, 2012). La letteratura evidenzia come variazioni di questo tipo consentano di ottenere un calcestruzzo di buona qualità con qualsiasi tipo di aggregato C&D (de Brito *et al.*, 2013).

Il valore della trasmittanza del pannello ECO-SANDWICH<sup>®</sup>, calcolata secondo HRN EN ISO 6946: 2008 e HRN EN ISO 13789: 2008, è  $\leq 0,2$  W/m<sup>2</sup>K, inferiore a quella calcolata per pannelli simili (ad esempio in calcestruzzo con anima in EPS) con stesso spessore dell'isolante e calcestruzzo non riciclato. Inoltre il confronto con pannelli a taglio termico con fodere metalliche e stessa dimensione dello strato coibente ha dimostrato come la maggiore massa termica di ECO-SANDWICH<sup>®</sup> riduca i consumi energetici, del 20% nella stagione estiva e del 10% in quella invernale. I risultati della prova di conducibilità termica del calcestruzzo, per i provini RC40, RC50, RB40, RB50, sono stati comparati con i valori riportati in alcuni articoli scientifici (redatti nel periodo 2019-2021), in cui  $\lambda$  è compresa tra 0,69 W/mK e 3,3 W/mK, al variare del tipo di inerti, della temperatura, del contenuto di umidità del calcestruzzo e della densità. Per calcestruzzi con densità di 1922 kg/m<sup>3</sup> e di 2083 kg/m<sup>3</sup>, le conducibilità termiche sono di 0,99 W/mK e 1,18 W/mK, mentre Gorse e Highfield nel 2009 ottengono per il calcestruzzo con densità di 2000 kg/m<sup>3</sup> una conducibilità termica di 1,13 W/mK. Si può quindi concludere che i calcestruzzi con aggregato riciclato, proveniente da calcestruzzo e da mattoni, hanno una conducibilità termica inferiore del 13–27% e del 29–40% rispetto ai valori riportati in letteratura per il calcestruzzo secco con approssimativamente la stessa densità.

Per quanto riguarda la lavorabilità dell'impasto nello stato plastico, sia con il calcestruzzo sia con i mattoni riciclati, è stata rilevata, in termini di consistenza e slump, classe S3 (100–150 mm) ad eccezione dei provini RC50. I valori di assorbimento d'ac-

qua degli aggregati CDW riciclati, della dimensione nominale 4-8 mm e 8-16 mm, erano 16,9% e 13,9% per i provini RC e 17,8% e 18,4% per gli RB.



**Figure 2.** Riqualficazione del quartiere Lenišće a Koprivnica (Croazia) attraverso la realizzazione di dodici edifici plurifamiliari con rivestimento in ECO-SANDWICH®.

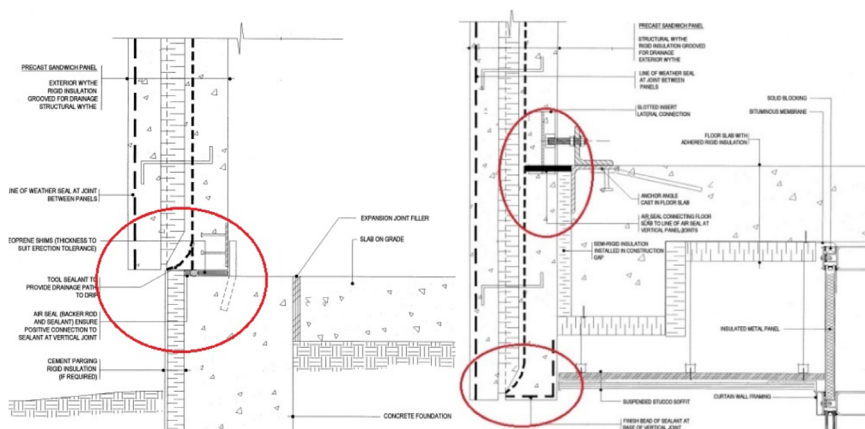
Nel 2016 è stata realizzata nel quartiere Lenišće a Koprivnica (Croazia), nell'ambito di un programma di edilizia sovvenzionata, la prima di dodici abitazioni plurifamiliari con tamponature in pannelli ECO-SANDWICH®, costituita da tre appartamenti con classe energetica A+. Il progettista Ljubomir Miščević ha voluto realizzare un volume di forma irregolare in cui la presenza di pieni e vuoti, di serramenti angolari, di logge, di aggetti, dimostrasse la totale flessibilità del pannello capace di adattarsi alle diverse esigenze costruttive e nello stesso tempo venisse fornito una sorta di “catalogo tangibile” di possibili dettagli costruttivi e soluzioni di qualità per applicazioni future. Al fine di migliorare e controllare la risposta termica del pannello sono stati installati nell’involucro edilizio innovativi sistemi per la misurazione della temperatura, dell'umidità relativa e del contenuto di umidità. Per valutare la convenienza globale in termini realizzativi ma anche di prestazione termica e riduzione dei consumi energetici del pannello ECO-SANDWICH®, sono stati analizzati alcuni particolari architettonici e correlazioni, proposte dalla letteratura scientifica, con la struttura portante al fine di verificare la risoluzione delle problematiche inerenti i ponti termici e i più comuni errori progettuali (nessun commento verrà fatto sulla rappresentazione grafica dei particolari e sugli errori inerenti). Così come avviene per le tamponature in calcestruzzo continuano a persistere, nella maggior parte dei casi, discontinuità che non consentono il corretto isolamento dell’involucro edilizio ed in alcuni casi la soluzione proposta appare economicamente non sostenibile.

## Analisi delle correlazioni del pannello ECO-SANDWICH®

Le maggiori problematiche inerenti l'installazione in generale di pannelli prefabbricati in calcestruzzo, e in particolare di quelli ECO-SANDWICH® utilizzati nel quartiere Lenišće a Koprivnica, riguardano alcune correlazioni con gli elementi portanti. Vengono quindi analizzate le potenzialità e i limiti di alcuni particolari costruttivi presenti in letteratura e considerati validi esempi di buona prassi progettuale.

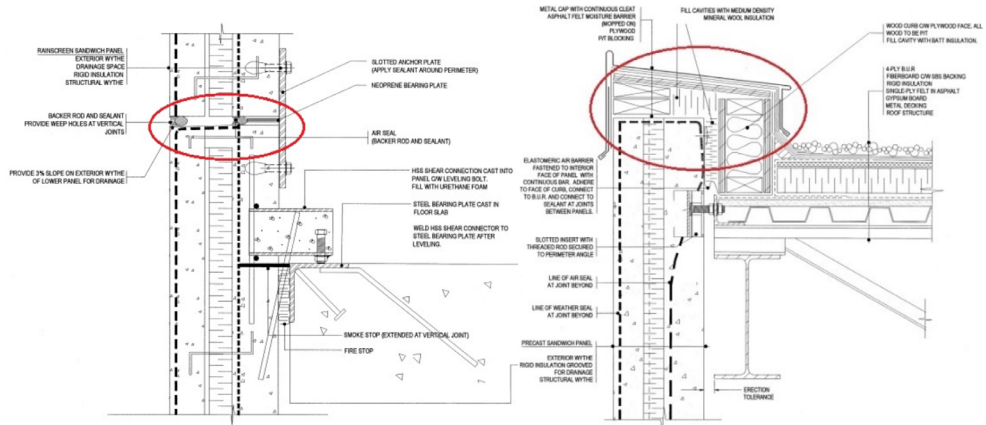
A) Pannello-Fondazioni. Il collegamento tra fondazione e pannello avviene tramite una piastra annegata nella fondazione; il giunto in neoprene consente una certa tolleranza in fase di montaggio. Sarebbe stato più utile realizzare la fodera esterna del pannello con una lunghezza maggiore rispetto a quella interna così da sormontare, anche parzialmente, lo strato isolante della fondazione ed evitare il ponte termico. Sempre per ridurre al minimo le dispersioni termiche si poteva realizzare la parte finale della fondazione con materiale isolante strutturato (vetro mattone per esempio) che avrebbe eliminato il ponte termico.

B) Pannello-Chiusura orizzontale intermedia. In questo particolare costruttivo sono presenti la chiusura verticale in pannello sandwich prefabbricato (parte superiore del solaio) e un curtain wall arretrato rispetto al pannello (parte inferiore). Il collegamento del pannello al solaio avviene tramite una piastra annegata nel solaio; l'isolamento del solaio potrebbe essere stato realizzato durante la fase del getto del calcestruzzo ma in corrispondenza della base del pannello prefabbricato, che interessa il controsoffitto, e lungo la fodera interna, fino all'estradosso del solaio, è presente un ponte termico non risolto. Correttamente posizionate all'interno del pannello risultano le barriere termica-aria-vapore.



**Figure 3. A)** Correlazione pannello in cls prefabbricato e fondazioni; **B)** Correlazione pannello in cls con chiusura orizzontale intermedia con controsoffitto (fonte: W. C. Brown *et al.*, 2015).





**Figure 4. C)** Correlazione pannello-pannello e pannello-solaio; **D)** Coronamento di una copertura a terrazzo non praticabile (fonte: W. C. Brown *et al.*, 2015).

C) Pannello-Pannello e Pannello-Solaio. In corrispondenza dell'accostamento in verticale dei pannelli è presente un ponte termico dovuto all'interruzione dell'isolante che potrebbe essere risolto mediante l'interposizione di schiuma poliuretanic. Risulta invece interessante la risoluzione del problema relativo alla tenuta al fuoco e ai fumi.

D) Pannello-Coronamento di una copertura a terrazzo non praticabile. La risoluzione del ponte termico è risolta grazie al taglio artigianale dell'isolante che consente inoltre alla scossalina metallica di avere la pendenza verso il terrazzo.

## CONCLUSION

L'analisi ed il confronto tra i più significativi studi presenti in letteratura, e scelti attraverso strumenti bibliometrici quali SciMat e VOSViewer, sui pannelli portati prefabbricati in calcestruzzo confezionato con aggregato proveniente da C&D ha certamente evidenziato le buone potenzialità in termini di resistenza meccanica, sostenibilità e recupero delle "risorse" provenienti dalla demolizione e costruzione di edifici. Il pannello ECO-SANDWICH®, impiegato per la riqualificazione del quartiere Lenišće a Koprivnica, in Croazia, e per la realizzazione dell'involucro dei dodici edifici plurifamiliari, è stato infatti confezionato utilizzando il 100% di aggregato (mattoni e calcestruzzo) proveniente dalla ristrutturazione di edifici limitrofi. Non sono stati rintracciati analoghi esempi se non sperimentazioni con l'impegno di quantità di aggregato inferiore al 50%, mentre persistono ancora, e non sono sufficientemente indagate, le problematiche inerenti le correlazioni con l'ossatura portante

e la riduzione dei ponti termici che vanificano, in parte, i bassi valori di conducibilità termica ottenuti con l'impiego dei materiali C&D.

## REFERENCES

- Aggregates for Concrete**; British Standards Institution: London, UK, 2002; BS EN 2002, 12620.
- Ahmed, H., Tiznobaik, M., et al.**, (2020). Recycled aggregate concrete from large-scale production to sustainable field application, *Construction and Building Materials*, Vol 262, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119979>.
- Banjad Pečur, I., Štirmer, N., Milovanović, B.**, (2015). Recycled aggregate concrete for nearly zeroenergy buildings', in *Magazine of Concrete Research*, Vol 67(11), pp. 575-584.
- Barisanga, C. R., Jenkins, K.**, (2014). Response modelling of recycled concrete and masonry in pavements, *Construction Materials and Structures*, Johannesburg, South Africa, IOS Press BV, pp. 587-594.
- Brown, WC., Scott, DL., Dechamplain, DGJ.**, (2015). Building science details for architectural precast concrete sandwich panels, *Buildings VIII*. Cobo Martín, MJ., (2011). *SciMAT: Herramienta Software para el Análisis de la Evolución del Conocimiento Científico. Propuesta de una Metodología de Evaluación*.
- Dos Reis, GS., Quattrone, M., Ambrós, WM., et al.**, (2021). Current applications of recycled aggregates from construction and demolition: a review. *Materials*, Vol 14, 1700. <https://doi.org/10.3390/ma14071700>.
- Huang, B.; Wang, X.; Kua, H.; Geng, Y.; Bleischwitz, R.; Ren, J.**, (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resour. Conserv. Recycl.* 129, 36–44.
- Jiménez, J.R.**, (2013). Recycled aggregates (RAs) for roads. In *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 351–377.
- Rodríguez, C., Parra, C., et al.**, (2016). The incorporation of construction and demolition wastes as recycled mixed aggregates in non-structural concrete precast pieces, *Journal of Cleaner Production*, Vol 127, pp. 152-161, ISSN 0959-6526.

**Sánchez De Rojas, MI., Marín, FP., Frías, M., Rivera, J.,** (2001). Viability of utilization of waste materials from ceramic products in precast concretes. *Mater Construcción*, vol 51, pp. 149-161. <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i263-264.361>.

**Van Eck, NJ., Waltman, L.,** (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* vol. 84, pp. 523-538 <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.



# BENCHMARKING COMPETITIVO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS INDUSTRIALES DE EDIFICIOS EN ESPAÑA

María Carmen Carnero<sup>1,2</sup>, Javier Cárcel-Carrasco<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Castilla-La Mancha, Ciudad Real, Spain, [carmen.carnero@uclm.es](mailto:carmen.carnero@uclm.es)

<sup>2</sup>Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

<sup>3</sup>Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain, [fracarc1@csa.upv.es](mailto:fracarc1@csa.upv.es)

## ABSTRACT

Hasta las últimas décadas la gestión de activos industriales o mantenimiento no ha sido considerada de especial relevancia en las organizaciones. Por ello, el número de estudios que analizan el nivel de excelencia del mantenimiento aplicado en un país, sector de actividad u organización es muy limitado, a pesar de la relevancia que el mantenimiento ejerce sobre la competitividad y sostenibilidad empresarial. Esta investigación presenta un modelo multicriterio borroso para efectuar benchmarking competitivo del estado de la gestión de activos industriales en el sector de Edificios en España.

**Keywords:** Gestión de activos industriales, benchmarking competitivo, modelo multicriterio borroso.

## INTRODUCTION

La gestión de activos industriales está alcanzando un papel cada vez más relevante en las organizaciones debido a que puede afectar a la productividad y rentabilidad (Raknes *et al.*, 2017), la vida útil de las instalaciones, la calidad de los procesos, el cumplimiento de las normas y legislación en materia de seguridad y medioambiente y, más recientemente, puede asegurar operaciones y empleo de recursos más sostenibles.

Diferentes países realizan encuestas a través de sus asociaciones nacionales de mantenimiento. En el caso de España, la Asociación Española de Mantenimiento (AEM) efectúa encuestas sectoriales cada cinco años. Otros resultados de empresas españolas se describen en Conde (2007) y Álvarez (2007) en la industria química y, en Paredes (2007), en la industria manufacturera. En el sector Edificios se puede destacar el estudio de benchmarking efectuado por Porrás (2005) en 35 edificios durante 2001 y 2002. Estas encuestas nacionales favorecen la promoción de la gestión de activos a través de procesos de mejora continua mediante la aplicación de benchmarking competitivo y genérico. Sin embargo, mientras que en Estados Unidos, Canadá y

Nueva Zelanda el benchmarking se ha aplicado extensamente, en España apenas si se ha utilizado (González, 2007).

Sin embargo, en el año 2015 se publica la norma UNE-ISO 55001-2015 sobre gestión de activos que junto con la norma UNE-EN 16646:2015 han dotado de notoriedad y visibilidad la operación y mantenimiento de edificios. Además, la norma EN-17007:2017 formaliza el servicio de mantenimiento mediante una descomposición en procesos que proporciona entre sus ventajas facilitar el benchmarking interno y externo de empresas y organizaciones (IFMA, 2018).

La literatura evalúa la gestión de activos en diferentes países empleando un conjunto de Key Performance Indicators (KPI). A estos KPIs se les otorga una importancia similar, sin embargo, un modelo multicriterio, permite poder ponderar cada KPI para cada empresa. Además, la evaluación comparativa considera valores medios de cada KPI a partir de los datos de desempeño de un país; sin embargo, en gestión de activos este tipo de benchmarking no es de gran utilidad (Komonen, 2002). Aunque el benchmarking es considerado fundamental para conseguir niveles de desempeño de mantenimiento de clase mundial, únicamente el 11% de la literatura analizada en Simões *et al.* (2011) relacionan el benchmarking con la medición del desempeño del mantenimiento. Así, la literatura presenta muy pocos precedentes que evalúen el desempeño de la gestión de activos industriales mediante un sistema de indicadores. Entre ellos, se pueden destacar a Macchi y Fumagalli (2013), Van Horenbeek y Pintelon (2014), Carnero (2014), Gouveia *et al.* (2015), Muchiri *et al.* (2017) y Darestani *et al.* (2020). Sin embargo, la literatura no muestra precedentes que empleen un modelo multicriterio borroso para aplicar benchmarking competitivo en el sector Edificios en España. Por tanto, esta investigación describe un modelo multicriterio borroso, empleando Analytic Hierarchy Process (AHP) borroso y Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) para aplicar benchmarking en la gestión de activos industriales en el sector Edificios en España según diferentes tamaños de empresa.

Esta contribución se estructura: en la sección 2 con la descripción del modelo multicriterio borroso, en la sección 3 se muestran los resultados, en la sección 4 las conclusiones y finalmente las referencias.

## **Modelo multicriterio borroso para evaluar el estado de la gestión de activos industriales en el sector Edificios**

### **INTRODUCCIÓN**

El modelo propuesto emplea los datos obtenidos de las encuestas desarrolladas por la AEM en 2005 y 2010 (AEM, 2005, 2010). A partir de esta información se ha desarrollado un proceso de estructuración del modelo en criterios. Cada criterio incluye diferentes subcriterios y, para cada subcriterio se ha definido un descriptor. En el proceso de ponderación de criterios y subcriterios se ha contado con los juicios de dos expertos en mantenimiento con más de 25 años de experiencia en diferentes sectores. Para obtener las ponderaciones de criterios y subcriterios se ha empleado AHP borroso. Las ponderaciones resultantes se han transformado en funciones de utilidad y, antes de combinarse, se han convertido en escalas comunes de 0 a 1.

### **Proceso de estructuración**

En la selección de criterios y subcriterios de decisión se partió de las 64 preguntas de la encuesta efectuada por la AEM sobre el estado de la gestión de activos en España. Estas cuestiones han sido modificadas y transformadas para considerarse criterios de decisión, según Keeney (1996). La jerarquía del modelo cuenta con un objetivo, 8 criterios y 40 subcriterios. Los criterios y subcriterios que constituyen el modelo son los siguientes (Carnero, 2017):

#### **C1. Información sobre la elaboración de presupuestos y cuantificación del coste anual de mantenimiento y su distribución:**

- $C_{11}$  Costes totales anuales del mantenimiento en la empresa.
- $C_{12}$  Porcentaje de costes anuales relativos a personal propio.
- $C_{13}$  Porcentaje de costes anuales relativos a trabajos subcontratados.
- $C_{14}$  Porcentaje de costes anuales relativos a repuestos y consumibles.

#### **C2. Certificación de la empresa en normativa internacional y cumplimiento de la ley española de prevención de riesgos laborales. Está compuesto por los subcriterios:**

- $C_{21}$  Existencia de un departamento propio en la empresa para el cumplimiento de la ley española para la prevención de riesgos laborales.
- $C_{22}$  Empresa certificada en la norma ISO 9000.

- C<sub>23</sub> Empresa certificada en la norma ISO 14000.

### **C3. Información sobre el control de las actividades de mantenimiento desarrolladas y su eficiencia:**

- C<sub>31</sub> Organización del trabajo en órdenes de trabajo.
- C<sub>32</sub> Índices de control utilizados en el seguimiento sistemático de la gestión del mantenimiento.
- C<sub>33</sub> Retraso en la recepción de información sobre costes de mantenimiento.
- C<sub>34</sub> Regularidad en la recepción de información sobre costes de mantenimiento.
- C<sub>35</sub> Porcentaje de trabajos de mantenimiento desarrollado internamente comparado con el subcontratado.
- C<sub>36</sub> Porcentaje de trabajo urgente recibido.
- C<sub>37</sub> Cantidad de trabajo pendiente.

### **C4. Características del jefe de mantenimiento y trabajos de mantenimiento que efectúa fuera de la jornada de trabajo:**

- C<sub>41</sub> Experiencia como director de mantenimiento.
- C<sub>42</sub> Nivel académico del jefe de mantenimiento.
- C<sub>43</sub> Experiencia en puestos de mantenimiento.
- C<sub>44</sub> Frecuencia de asistencia fuera de las horas de trabajo.
- C<sub>45</sub> Remuneración del trabajo efectuado fuera de las horas de trabajo.
- C<sub>46</sub> Asistencia a conferencias, charlas, seminarios, etc. sobre mantenimiento.
- C<sub>47</sub> Consultas de revistas técnicas españolas de mantenimiento.
- C<sub>48</sub> Utilización de internet para búsqueda de información para la resolución de problemas de mantenimiento.
- C<sub>49</sub> Consultas de revistas técnicas internacionales sobre mantenimiento.

### **C5. Características de la organización del departamento de mantenimiento para determinar la importancia otorgada al mantenimiento por la dirección.**

- C<sub>51</sub> Existencia de departamento de mantenimiento.
- C<sub>52</sub> Dependencia organizacional del director del Departamento de mantenimiento.



- C<sub>53</sub> Responsabilidades del departamento de mantenimiento.
- C<sub>54</sub> Cantidad de trabajadores del departamento de mantenimiento.
- C<sub>55</sub> Incidencias fuera de la jornada laboral.
- C<sub>56</sub> Colaboración del personal de producción en actividades de mantenimiento.

**C6. Características de la informatización del mantenimiento en la organización y nivel de eficiencia obtenido.**

- C<sub>61</sub> Evaluación de la satisfacción en la aplicación de un sistema de Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO).
- C<sub>62</sub> Cantidad de actividades en las que se emplea la computerización.
- C<sub>63</sub> Tipo de GMAO empleado.
- C<sub>64</sub> Hardware sobre el que opera el GMAO.

**C7. Importancia y grado de aceptación en la utilización del mantenimiento subcontratado desarrollado en la organización**

- C<sub>71</sub> Porcentaje de mantenimiento correctivo subcontratado.
- C<sub>72</sub> Porcentaje of mantenimiento preventivo subcontratado.
- C<sub>73</sub> Porcentaje de trabajo relativo a paradas programas subcontratados.
- C<sub>74</sub> Calidad del trabajo subcontratado.
- C<sub>75</sub> Porcentaje de personal subcontratado.

**C8. Formación en mantenimiento proporcionado por la organización y sus resultados**

- C<sub>81</sub> Cursos de formación.
- C<sub>82</sub> Versatilidad del personal.

Cada subcriterio debe disponer de un descriptor, definido como un conjunto ordenado de niveles de impacto que puede medir cuantitativa o cualitativamente el nivel de cumplimiento de un elemento, criterio o subcriterio. Los descriptores aplicados en esta investigación son construidos y generalmente cualitativos. En la Tabla 1 se muestran los niveles de escala del subcriterio C33 (Retraso en la recepción de información sobre costes).

Código/nivel de rendimiento	Niveles de escala del descriptor
L1 (nivel más alto de rendimiento)	En tiempo real
L2	Menos de una semana
L3	Entre una semana y 15 días
L4	Entre 15 días y un mes
L5	Entre uno y dos meses
L6	Más de dos meses
L7 (nivel más bajo de rendimiento)	Nunca

**Tabla 1.** Descriptor y niveles de escala del criterio C33

## Proceso de ponderación

El modelo propuesto emplea AHP borroso.  $\tilde{A}$  representa a matriz de juicios inversa borrosa con  $\tilde{a}_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  ( $l_{ij} \leq m_{ij} \leq u_{ij}$ ) las comparaciones por parejas entre el elemento  $i$  y  $j$   $\tilde{a}_{ij} \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ , según se muestra en la ecuación (1).

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{1} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Los dos expertos en mantenimiento han emitido los juicios que permitirán obtener las ponderaciones de criterios y subcriterios, para lo que emplearon los números borrosos triangulares que se muestran en la Tabla 2.

Descripción del número borroso	Número borroso triangular
Juicios con igual importancia	(1, 1, 1)
Juicio entre igual y moderadamente más importante	(1, 2, 3)
Moderadamente más importante	(2, 3, 4)
Juicio entre moderadamente y fuertemente más importante	(3, 4, 5)
Fuertemente más importante	(4, 5, 6)
Juicio entre fuertemente y muy fuertemente más importante	(5, 6, 7)
Muy fuertemente más importante	(6, 7, 8)
Juicio entre muy fuertemente y extremadamente más importante	(7, 8, 9)
Extremadamente más importante	(8, 9, 9)

**Tabla 2.** Escala borrosa

A modo de ejemplo, se muestra en la Tabla 3 la matriz agregada resultante de los juicios emitidos por los dos decisores para obtener las ponderaciones de los subcriterios del criterio C3 (Información sobre el control de las actividades de manten-

imiento desarrolladas y su eficiencia). Para la agregación de los juicios se ha aplicado la media geométrica.

	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$	$C_{34}$	$C_{35}$	$C_{36}$	$C_{37}$
$C_{31}$	(1.000, 1.000, 1.000)	(2.000, 3.000, 4.000)	(4.000, 5.000, 6.000)	(6.000, 7.000, 8.000)	(6.000, 7.000, 8.000)	(6.481, 7.483, 8.485)	(6.481, 7.483, 8.485)
$C_{32}$	(0.250, 0.333, 0.500)	(1.000, 1.000, 1.000)	(2.000, 3.162, 4.243)	(4.472, 5.477, 6.481)	(4.899, 5.916, 6.928)	(5.292, 6.325, 7.348)	(5.292, 6.325, 7.348)
$C_{33}$	(0.167, 0.200, 0.250)	(0.236, 0.316, 0.500)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.414, 1.732, 2.000)	(2.000, 3.000, 4.000)	(2.828, 3.873, 4.899)	(3.162, 4.243, 5.292)
$C_{34}$	(0.125, 0.143, 0.167)	(0.154, 0.183, 0.224)	(0.500, 0.577, 0.707)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.414, 1.732, 2.000)	(2.000, 2.236, 2.449)	(2.449, 2.646, 2.828)
$C_{35}$	(0.125, 0.143, 0.167)	(0.144, 0.169, 0.204)	(0.250, 0.333, 0.500)	(0.500, 0.577, 0.707)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.000, 1.414, 1.732)	(1.732, 2.000, 2.236)
$C_{36}$	(0.118, 0.134, 0.154)	(0.136, 0.158, 0.189)	(0.204, 0.258, 0.354)	(0.408, 0.447, 0.500)	(0.577, 0.707, 1.000)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.000, 1.414, 1.732)
$C_{37}$	(0.118, 0.134, 0.154)	(0.136, 0.158, 0.189)	(0.189, 0.236, 0.316)	(0.354, 0.378, 0.408)	(0.447, 0.500, 0.577)	(0.577, 0.707, 1.000)	(1.000, 1.000, 1.000)

**Tabla 3.** Matriz de comparaciones por parejas entre los subcriterios del criterio C3

Para calcular las ponderaciones borrosas de cada criterio/subcriterio se aplica (Buckley, 1985):

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{p}_{ij} \right)^{1/n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n]^{-1} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

El vector borroso de ponderaciones  $\tilde{w}_i$ , tiene que ser defucificado, para lo que se va a emplear el método del centroide. Aplicando las ecuaciones (2) y (3) a la matriz de comparación por parejas de los juicios agregados de los expertos se obtienen las ponderaciones borrosas de los subcriterios del criterio C3:  $\tilde{w}_{31}=(0.30,0.43,0.59)$ ,  $\tilde{w}_{32}=(0.18,0.26,0.38)$ ,  $\tilde{w}_{33}=(0.08,0.12,0.18)$ ,  $\tilde{w}_{34}=(0.05,0.07,0.10)$ ,  $\tilde{w}_{35}=(0.04,0.05,0.07)$ ,  $\tilde{w}_{36}=(0.03,0.04,0.06)$  and  $\tilde{w}_{37}=(0.02,0.03,0.05)$ . Las ponderaciones finales después de la normalización son:  $w_{31}=0.42$ ,  $w_{32}=0.26$ ,  $w_{33}=0.12$ ,  $w_{34}=0.07$ ,  $w_{35}=0.05$ ,  $w_{36}=0.04$  and  $w_{37}=0.03$ . Similar proceso se ha seguido para to-

dos los criterios/subcriterios. A modo de ejemplo se muestran en la Tabla 4 los resultados para los subcriterios del criterio C4.

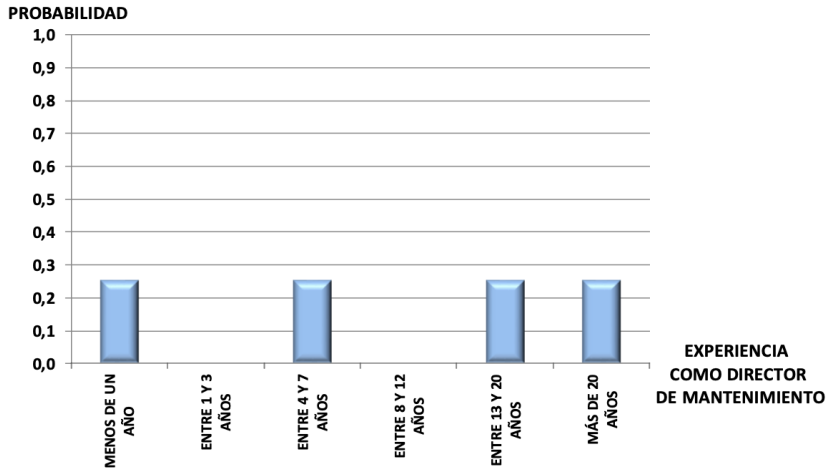
Subcriterio	Ponderaciones borrosas	Ponderaciones finales
C <sub>41</sub>	$\tilde{w}_{41} = (0.26, 0.38, 0.53)$	$w_{41} = 0.36$
C <sub>42</sub>	$\tilde{w}_{42} = (0.15, 0.22, 0.33)$	$w_{42} = 0.22$
C <sub>43</sub>	$\tilde{w}_{43} = (0.11, 0.16, 0.25)$	$w_{43} = 0.16$
C <sub>44</sub>	$\tilde{w}_{44} = (0.05, 0.08, 0.12)$	$w_{44} = 0.08$
C <sub>45</sub>	$\tilde{w}_{45} = (0.03, 0.05, 0.07)$	$w_{45} = 0.05$
C <sub>46</sub>	$\tilde{w}_{46} = (0.03, 0.04, 0.07)$	$w_{46} = 0.04$
C <sub>47</sub>	$\tilde{w}_{47} = (0.02, 0.03, 0.05)$	$w_{47} = 0.03$
C <sub>48</sub>	$\tilde{w}_{48} = (0.02, 0.03, 0.05)$	$w_{48} = 0.03$
C <sub>49</sub>	$\tilde{w}_{49} = (0.02, 0.03, 0.05)$	$w_{49} = 0.03$

**Tabla 4.** Ponderaciones borrosas y finales de los subcriterios dentro del criterio C4

Para obtener la ponderación asignada a cada nivel de escala de cada descriptor ha sido necesario obtener una matriz de comparación por parejas entre los niveles de escala de cada descriptor. Las ponderaciones resultantes han sido transformadas en vectores de utilidad. Así, por ejemplo, el vector de utilidad asociado al subcriterio C41 es (1.0000, 0.5825, 0.3793, 0.1733, 0.0589, 0.0000). Todas las matrices de comparación por parejas empleadas tienen ratios de consistencia inferiores al 10%.

### Definición de alternatives

Las alternativas son gran, mediana y pequeña empresa del sector Edificios en 2005 y 2010. El modelo emplea los datos de las encuestas de la AEM del 2005 y 2010 para construir las distribuciones de probabilidad discretas. El modelo ha necesitado calcular 80 distribuciones de probabilidad discreta en total. En la Fig. 1 se muestra la distribución de probabilidad discreta para el subcriterio C41 (Experiencia como director de mantenimiento) para pequeñas empresas y el año 2010.



**Figure 1.** Distribución de probabilidad discreta para el subcriterio C41.

### Modelo de utilidad multi-atributo

MAUT facilita la transformación de valoraciones en funciones de la utilidad. Sea  $w_i$  la ponderación asociada al criterio  $i$ , cumpliéndose que  $\sum_i^n w_i = 1$ , una alternativa tiene una función de utilidad aditiva  $U$  que se muestra en la ecuación (5).

$$U = \sum_i^n w_i u_i(x_i) \quad (5)$$

donde  $x_i$  está normalizada en un rango desde el peor al mejor nivel posible del descriptor  $y$ ,  $u_i$  es el rango de 0 a 1 que refleja la actitud del decisor hacia el riesgo dentro del criterio  $i$ . Si  $p(x)$  es la probabilidad asociada a cada nivel de escala de un descriptor de una alternativa  $y$ ,  $U(x)$  es la utilidad asociada a dicho nivel de escala, el valor de la certidumbre equivalente para cada alternativa se obtiene del sumatorio de  $p(x)U(x)$  para todos los niveles  $x$ . La utilidad final de un criterio en una alternativa se calcula multiplicando las ponderaciones de cada subcriterio por el  $U(y)$  de cada subcriterio. Así, el cálculo de la función de utilidad del criterio  $C_{41}$  es:

$$U_{C_{41}}(y) = \text{utilidad (mejorniveldeescala)} * \text{probabilidad (mejorniveldeescala)} + \dots + \text{utilidad (peorniveldeescala)} * \text{probabilidad (peorniveldeescala)}$$

De la Fig. 1 se aprecia que una pequeña empresa tiene una probabilidad de 0.25 de que la experiencia del jefe de mantenimiento sea inferior a un año, se encuentre entre 4 y 7 años, entre 13 y 20 años o bien sea superior a 20 años; la probabilidad es 0 para experiencias entre 1 y 3 años y, entre 8 y 12 años. Por tanto,  $U_{C_{41}}(y)$  es:

$$U_{c_{41}}(y)=1*0.25+0.5825*0+0.3793*0.25+0.1733*0+0.0589*0.25+0.0000*0.25=0.35955$$

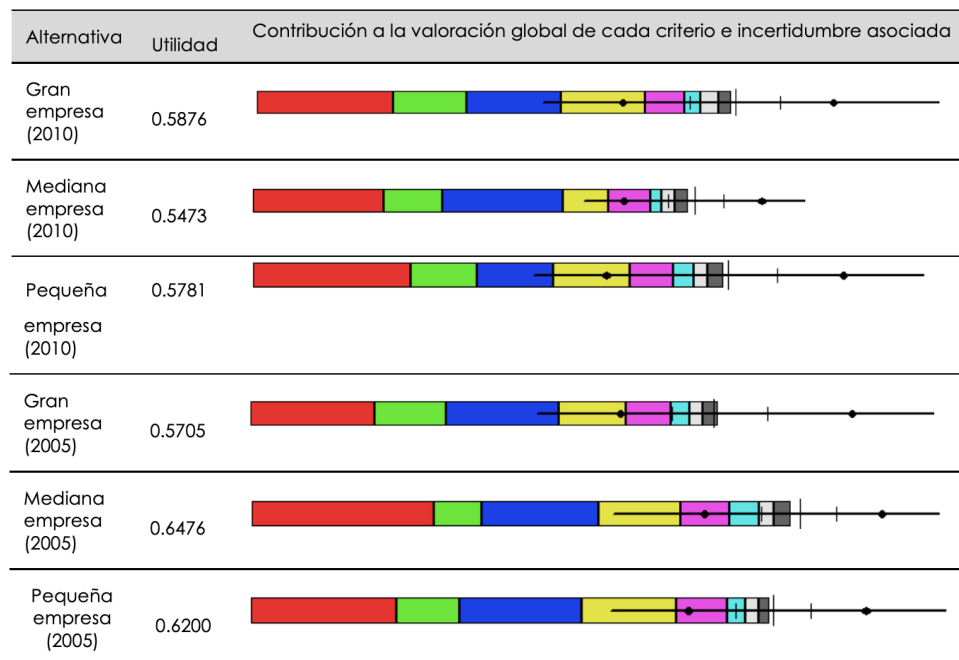
Para incluir la incertidumbre en los resultados se ha empleado la simulación Monte Carlo. Los resultados estadísticos empleando 5.000 muestras y una semilla de 10.000 son los que se muestran en la Tabla 5.

Tamaño de empresa	Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Percentil 5	Percentil 95	Máximo
Pequeña empresa	0.5779	0.0874	0.5801	0.3445	0.4332	0.7227	0.8202
Mediana empresa	0.5475	0.0508	0.5477	0.4109	0.4596	0.6310	0.6849
Gran empresa	0.5866	0.0792	0.5894	0.3513	0.4507	0.7094	0.8373

**Tabla 5.** Resultados estadísticos de la simulación (año 2010)

## RESULTADOS

La Tabla 6 muestra los resultados para el sector Edificios para todos los tamaños de empresa en los años 2005 y 2010. En pequeña empresa se observa un descenso en el nivel de mantenimiento aplicado en España en 2010 con respecto a 2005 del -6.75%. En costes totales de mantenimiento existe un incremento de utilidad del 38.93% y en la experiencia del jefe de mantenimiento del 41.61%.



**Tabla 6.** Resultados del nivel de mantenimiento en Edificios para pequeñas, medianas y grandes empresas en 2005 y 2010.

En mediana empresa y 2005, el sector ocupa el primer lugar con una utilidad de 0.6476, sin embargo, en el 2010 experimenta una disminución de utilidad del 15.49%. Los costes de mantenimiento disminuyen un 41.76%; esto puede deberse a los cambios en la legislación sobre edificación sostenible en España. El sector obtuvo una utilidad de 1.000 en 2005 y 2010 relativo a la certificación con ISO 9000. En el subcriterio satisfacción con un GMAO, experimenta una caída del-75.09%, al igual que en empresas de hasta 200 trabajadores. En cuanto a la subcontratación de mantenimiento, se observa un incremento de la subcontratación en Edificación. En gran empresa se mejora el mantenimiento un 3.00%, en costes de mantenimiento un 32.31% y, en la formación del jefe de mantenimiento un 19.69%.

## CONCLUSION

Esta contribución muestra, de forma práctica, como aplicar benchmarking competitivo en el sector Edificios, para lo que se ha descrito un modelo multicriterio borroso construido mediante la integración de AHP y MAUT.

## REFERENCES

- AEM (Asociación Española de Mantenimiento)** (2005). El Mantenimiento en España. Barcelona: AEM. AEM (Asociación Española de Mantenimiento) (2010). El Mantenimiento en España. Barcelona: AEM.
- Álvarez, G.** (2007). Conclusiones de la encuesta AEM sobre el mantenimiento en la industria de proceso. Jornadas sobre benchmarking en mantenimiento industrial, Barcelona.
- Buckley, J. J.** (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Systems*, 17(1), 233-247.
- Carnero, M. C.** (2017). Asymmetries in the Maintenance Performance of Spanish Industries before and after the Recession. *Symmetry* 9(8), 166. <https://doi.org/10.3390/sym9080166>.
- Carnero, M.C.** (2014). A decision support system for maintenance benchmarking in big buildings. *European Journal of Industrial Engineering*, 8(3), 388-420.
- Chang, D. Y.** (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.
- Conde, R.** (2007). El benchmarking en la industria química, Jornada sobre Benchmarking en Mantenimiento Industrial, Madrid, Mayo 24 2007.

- Darestani, S. A., Ganji, M., & Imannezhad, R.** (2020). What are the key determinants of maintenance performance?. *Production*, 30, e20190155. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190155>.
- González, F. J.** (2007). El valor del benchmarking en mantenimiento. Jornada sobre Benchmarking en Mantenimiento Industrial, Spanish Maintenance Association, Madrid 24 de Mayo de 2007.
- Gouveia, M.C., Dias, L.C., Antunes, C.H., Boucinha, J., & Inácio, C.F.** (2015). Benchmarking of maintenance and outage repair in an electricity distribution company using the value-based DEA method. *Omega*, 53, 104-114.
- IFMA** (2018). Grandes cifras del fm sector de mantenimiento 2018. Obtenido de: <https://www.facilityservices.es/> (acceso 2/9/2021).
- Keeney, R. L.** (1996). *Value-focused Thinking: A Path to Creative Decision making*. MA Harvard: Cambridge.
- Komonen, K.** (2002). A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking. *International Journal of Production Economics*, 79, 15-31.
- Macchi, M., & Fumagalli, L.** (2013). A maintenance maturity assessment method for the manufacturing industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 19 No. 3, pp. 295-315.
- Muchiri, A. K., Ikua, B. W., Muchiri, P. N., & Irungu, P. K.** (2017). Development of a theoretical framework for evaluating maintenance practices. *Int J Syst Assur Eng Manag*, 8(1), 198–207.
- Paredes, P.** (2007). Conclusiones de la encuesta AEM sobre el mantenimiento en la industria manufacturera. Jornadas sobre benchmarking en mantenimiento industrial, Barcelona.
- Porras, E. V. II** (2005). Benchmarking nacional de costes, consumos y niveles de servicios facility management. IEWorking paper. Obtenido de: [https://latienda.ie.edu/working\\_papers\\_economia/WPE05-27.pdf](https://latienda.ie.edu/working_papers_economia/WPE05-27.pdf) (acceso 2/9/2021).
- Raknes, N. T., Ødeskaug, K., Stålhane, M., & Hvattum L. M.** (2017). Scheduling of Maintenance Tasks and Routing of a Joint Vessel Fleet for Multiple Offshore Wind Farms. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5, 11, doi:10.3390/jmse5010011.



- Simoes, J.M., Gomes, C.F., & Yasin, M.M.** (2011). A literature review of maintenance performance measurement. A conceptual framework and directions for future research. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 116-137.
- Van Horenbeek, A., & Pintelon, L.** (2014). Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega*, 42(1), 33-46.



# L'IMPROROGABILE DIGITALIZZAZIONE DELLA FILIERA DI RCD

**Alessandra Cernaro<sup>1</sup>, Ornella Fiandaca<sup>2</sup>, Raffaella Lione<sup>3</sup>, Fabio Minutoli<sup>4</sup>, Luis Manuel Palmero Iglesias<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Dipartimento di Ingegneria, Università di Messina, [alessandra.cernaro@unime.it](mailto:alessandra.cernaro@unime.it)*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Ingegneria, Università di Messina, [ornella.fiandaca@unime.it](mailto:ornella.fiandaca@unime.it)*

<sup>3</sup>*Dipartimento di Ingegneria, Università di Messina, [raffaella.lione@unime.it](mailto:raffaella.lione@unime.it)*

<sup>4</sup>*Dipartimento di Ingegneria, Università di Messina, [minutoli.fabio@unime.it](mailto:minutoli.fabio@unime.it)*

<sup>5</sup>*Universitat Politècnica de València, [lpalmero@csa.upc.es](mailto:lpalmero@csa.upc.es)*

## ABSTRACT

Uno dei contributi più significativi all'economia circolare sembra essere stato individuato a livello comunitario (Protocollo UE) nella riorganizzazione dell'intera filiera dei rifiuti derivati dal processo edilizio (RCD): dalla demolizione selettiva alla produzione di nuove risorse, materie/prodotti/componenti, alla metabolizzazione della cultura delle 5R. Si vuole partecipare a questo percorso di sistematizzazione delle molteplici iniziative attualmente "non convergenti" ma stimolanti e con punte di avanzamento differenti per diverse categorie di RCD, proponendo un'indagine sulla gestione digitale di una particolare categoria di rifiuti da costruzione e demolizione: quelli che per carattere valoriale, pregio, esaurimento sono risorse ancora pregiate e con un destino che potrebbe essere plurale, dal riuso al riciclo. Questo ambito di ricerca richiede, dopo aver tracciato lo stato dell'arte, la definizione di criteri di classificazione per decretare l'end of waste della categoria di RCD individuata, la costituzione di inventari digitali non dei rifiuti ma di potenziali risorse avvalendosi di strumenti di descrizione parametrica (GIS, BIM, ecc.), le opzioni di valorizzazioni per legittimare questo marketplace, forse inusuale ma fondamentale nell'ambito del restauro storico-architettonico, delle manutenzioni del patrimonio "moderno" da estendere a qualsiasi azione di intervento che richieda materiali desueti o non più in produzione.

**Keywords:** Rifiuti da costruzione e demolizione RCD; Anagrafe elementi costruttivi di pregio; BIM & GIS.

## INTRODUCTION

### Da RCD a end of waste: le politiche strategiche a livello comunitario

Il passaggio concettuale da rifiuto, quando proveniente da Costruzione e Demolizione (RCD), a risorsa, nello stesso settore edilizio o in altro, continua a incontrare svariate resistenze perché occorre comporre un quadro regolamentare, culturale, formativo al quale si sta lavorando da meno di un decennio, quindi ancora “acerbo”. Le percentuali di rifiuti edili riciclati variano da paese a paese, dal 54% al 100%, ma le acquisizioni non costituiscono una base solida sulla quale impostare strategie comuni in quanto non si riscontra un sistema di rilevamento ed elaborazione dati comune per i diversi paesi europei.

Per questo in una prima fase abbiamo ricercato comportamenti virtuosi vagliando le migliori pratiche proposte sul territorio comunitario da aziende, istituzioni, associazioni, attraverso progetti di ricerca, per verificare lo stato dell’arte “digitale” in merito all’applicazione di quanto caldeggiato dalla Direttiva Quadro Rifiuti 2008/98/CE (recepita in Italia con D.Lgs. 205/2010 e in Spagna con la L. 22/2011 entrata in vigore nel 2015), dal Protocollo UE per la gestione dei RCD e ripreso in Italia dal Ministero dell’Ambiente (MATM) con i CAM Edilizia nell’allegato 2 del D.M. del 17.01.2017: individuare un processo strutturato per accompagnare questo particolare tipo di materiali di scarto verso l’acquisizione almeno del titolo di materia prima seconda per rientrare nel ciclo di vita della produzione edilizia ottimizzando la sostenibilità.

Dei progetti di ricerca a livello comunitario sono stati selezionati, perché ritenuti promettenti, quelli che prevedono strumenti digitali per una gestione circolare dei RCD, dagli audit di predemolizione ai marketplace ai webGIS. Buildings as Material Banks [BAMB Horizon 2020 2015-2018]; Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency [CONDEREFF Interreg Europe 2018-2023], Best Environmental Management Practices [BEMP UE2020] hanno tracciato un percorso indispensabile per aumentare il tasso di recupero, riciclo e riutilizzo dei materiali altrimenti conferiti in discarica con benefici ambientali sociali ed economici evidenti.

Dalle problematiche alle quali le migliori pratiche vagliate hanno inteso dare risposta è affiorato che a fronte della definizione di un processo di tracciamento dei RCD, dalla demolizione selettiva alla loro quantificazione/qualificazione, ci sono ancora alcune sfide da affrontare per ritenere acquisito il percorso intrapreso, che possono essere così sintetizzate:

- Sono carenti i supporti “digitali” per consentire a domanda e offerta di incontrarsi al fine di incentivare la gestione dei rifiuti rendendola PIÙ efficace e quando esistono sono ancora operativamente inefficaci o manchevoli di dati indispensabili;
- Occorre identificare un sistema di “catalogazione” dei materiali che derivano da processi di demolizione, selettiva o non, a cui uniformare un inventario certificato di quanto prodotto, con separazione delle diverse categorie CER (Catalogo Europeo Rifiuti) e un’attestazione del destino di ciascuna – riuso, riciclo, recupero;
- Appare indispensabile ottimizzare i processi di trasformazione da rifiuto a end of waste, da materia prime seconde a prodotti che ne siano parzialmente o interamente composti, di cui certificare la qualità e la costanza delle prestazioni.

Si sono accolte queste sfide per intraprendere un percorso di ricerca che mira a indagare le opportunità e i limiti per una gestione digitale della filiera dei RCD, con uno specifico orientamento verso quei materiali, elementi, sistemi che per qualità, rarità, valore intrinseco potrebbero essere destinati a un riuso in soluzioni costruttive analoghe o affini e per i quali si potrebbe immaginare una selezione prima di procedere a diverse opzioni di reinserimento in un ciclo produttivo.

Occorre quindi costruire un’impalcatura culturale che dalla legittimazione di questa problematica giunga allà definizione dei criteri per la definizione dell’end of waste e allà costruzione di un inventario ragionato in forma digitale, orientato poi alle diverse opportunità di valorizzazione.

### **Le esperienze “digitali” apripista per la gestione dei RCD**

Avendo intercettato frammenti dispersi del processo di strutturazione di una filiera in itinere, da RCD a end of waste, si è implementato un osservatorio su alcune azioni “digitali” che, pur disorganiche e talvolta incomplete, possono costituire un bagaglio di riferimento importante in tre direzioni complementari per attivare un percorso metodologico di gestione circolare mediante:

strumenti di geolocalizzazione dell’intera filiera, dallo stoccaggio agli impianti di trasformazione;

- piattaforme di marketplace per fare incontrare la domanda e l’offerta riscontrate in varie formulazioni;

- audit di pre-demolizione per quantificare/qualificare i rifiuti con sistemi di inventario indiretti o di valutazione diretta.

L'esperienza anglosassone BREmap ([www.bremap.co.uk/](http://www.bremap.co.uk/)) by Building Research Establishment e l'olandese HARVESTMAP ([www.oogstkaart.nl/](http://www.oogstkaart.nl/) con versione italiana su facebook) si avvalgono di webGIS per georeferenziare tutte le strutture che si occupano di gestione circolare di RCD. In Italia una concezione con tale finalità potrebbe essere rappresentata dal Catasto Rifiuti (D.Lgs 152/2006; D.Lgs. 205/2010), predisposto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) su uno strumento di supporto informatico che intende fornire un quadro conoscitivo della produzione di tutte le categorie CER. Il Modello Unico di Dichiarazione ambientale (MUD), elaborato per il censimento, divenuto digitale nel 2017, non comprende tuttavia la frazione non pericolosa di quanto prodotto nei cantieri edili, in virtù di un esonero attivo dal 2016 ([www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/rifiuti](http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/rifiuti)).

Consultando le piattaforme di marketplace si sono riconosciute esperienze con geni differenti sviluppate per: agevolare il riciclo di uno specifico tipo di rifiuto (RETE R-PVC HUB; Market inerti O.R.SO. 3.0 Osservatorio Rifiuti Sovraregionale; London Reclaimed Brick Merchants); classificare, stoccare e rivendere materiali o elementi provenienti da interventi di rigenerazione urbana (opalis.eu/nl; CCbuild.se Center for Circular Construction); offrire un servizio mettendo in contatto produttori di rifiuti con trasformatori mediante progetti dedicati (SFRIDOO, SALVOWEB SALVOMIE\_Material Information Exchange).

In ciascuna è possibile ricercare/proporre un lotto di "merce" specifico, accompagnato da informazioni e immagini più o meno dettagliate. Proprio la lacunosità e la genericità dei dati rinvenuti è un limite comune che rende inefficace lo strumento decretandone talvolta il fallimento. Si avverte quindi l'esigenza di fornire agli operatori descrizioni tecniche adeguate e, perché no, percorsi virtuosi di certificazione. A tal fine occorre guardare agli audit di pre-demolizione intesi come un'anagrafe obbligatoria per registrare, distinguendoli con dati identificativi specifici, i materiali/elementi derivabili da ciascun intervento che potranno completare il loro destino divenendo risorse (end of waste).

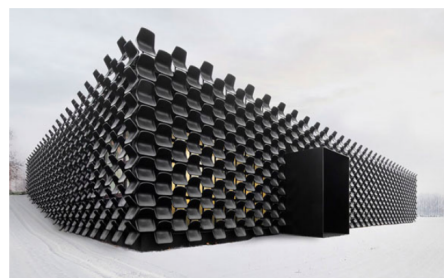
Fra le proposte già avanzate in questa direzione si annovera la creazione di modelli informativi BIM-SD, presentata a Valencia nel 2019 nell'ambito del progetto CONDEREFF [Policy brief 4, 2019], per una elaborazione intelligente dei dati relativi ai materiali dismessi, in termini di computazione, tracciabilità e valutazione degli scenari

di trasformazione. La stessa ambizione si riscontra nella definizione del BIM-based Material Passport (MP) che sfrutta le potenzialità della metodologia per associare alla modellazione degli edifici in costruzione un inventario parametrico che potrebbe altresì accompagnare gli interventi di demolizione [BAMB Horizon 2020 2015-2018].

In linea con questi orientamenti è stata recentemente pubblicata in Italia la norma UNI/PdR 75/2020, Linee guida per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare, che definisce una prassi di riferimento per la gestione digitale dell'intero processo, dalla dismissione diversificata dei materiali alla loro trasformazione applicando la strategia delle 4R, riutilizzo, riciclo, recupero con riduzione dei rifiuti. Al suo interno viene previsto un database che deve riportare l'esito di una diagnosi preliminare del tipo e delle quantità di materiali coinvolti in interventi di ristrutturazione e demolizione ipotizzandone la ri-destinazione a fine vita o, per edifici di nuova costruzione, la predisposizione di una lista delle risorse previste nel progetto.

Si può quindi desumere l'importanza sempre più frequentemente attribuita a un percorso di gestione circolare digitale che prevede: catalogazione unitaria e condivisa; inventariazione dei singoli lotti da nuova costruzione o de-costruzione in ambiente BIM; archiviazione in database delle fasi di stoccaggio; logistica GIS per lo smistamento e la trasformazione; certificazione di qualità della filiera con anagrafe consultabile online.

anagrafe consultabile online.



**Figure 1.** Riuso esemplare di “scarti di pregio”: il Museo dei trasporti, Svizzera (sn) e la Gallery of furniture, Repubblica Ceca Source: Abitare, Open source per il riciclo

### **La catalogazione degli scarti derivanti da demolizione selettiva**

Nel lontano 1977 il decreto n. 22 del 5 febbraio noto come Decreto Ronchi, tanto citato e nominato quanto ignorato, già prevedeva l'applicazione di varie “R” nell'ap-

proccio ai rifiuti, seguite nel tempo da altre, che hanno via via tentato di individuare e precisare sempre meglio la risposta al problema.

Tra tutte queste R, con le loro differenze e sfumature, quella più interessante e più difficile appare Riuso, soprattutto se la interpretiamo in senso letterale: usare di nuovo con il minimo delle modifiche. L'applicabilità di questo lemma richiede infatti la contemporanea sussistenza di molte condizioni e molti presupposti, che ne rendono più complessa (non ci scoraggiamo, però, non stiamo scrivendo impossibile) la pratica.

In primis, volendo banalizzare, ma in effetti è il cuore del ragionamento, ne deve “valere la pena”, cioè l'oggetto (già questa è una condizione perché non si può parlare di materiale tout court come per altre R) deve racchiudere in sé uno o più valori che giustificano la scelta. Oltre al requisito di una oggettiva conservazione della qualità originaria, un valore è insito nel rapporto oggetto/materiale costituente, dove anche uno solo dei due termini può bastare a qualificare l'insieme; un altro nel binomio tempo/magistero occorso per la lavorazione dell'oggetto stesso, con tutto il bagaglio di cultura che tale lavorazione sottende. (5) In seconda battuta, ma alla pari per importanza, deve esistere una “anagrafe” degli elementi costruttivi di pregio, cioè di valore nel senso detto, alla quale attingere secondo necessità e senza limiti geografici: in effetti, l'unico limite deve essere l'oggetto stesso con tutte le sue caratteristiche, la cui classificazione, altrimenti definita come Material Passport MP, inventario dei rifiuti, o Building as Materials Banks BAMB, rappresenta la vera e propria sfida culturale e concettuale alla base di tutto il programma. Terzo, ma a pari merito, tutto ciò deve essere “normato”, regolamentato in qualche modo per rendere confrontabili e coerenti tra loro le offerte che un sistema commerciale così concepito può mettere sul mercato. In effetti è proprio il mercato, ma soltanto in parte quello dell'edilizia e più diffusamente quello dell'abbigliamento, dell'antiquariato, dei ricambi auto che suggerisce una grandissima quantità di esempi, mostrando le potenzialità intrinseche di un meccanismo che, senza dover risalire al modello economico-antropologico del baratto, è incentrato sull'oggetto in quanto tale e sulla necessità che se ne ha.

*5 Paradigma della consapevolezza di questo valore è, in molte chiese paleocristiane e posteriori, la successione delle colonne nelle navate, una diversa dall'altra poiché provenienti da altri monumenti, distrutti o demoliti, persino sottoposti dolosamente a spoliazione allo scopo di prelevarne delle parti, in questo caso lapidee, che avevano già incorporato in sé tutto il valore aggiunto intercorso dall'estrazione del blocco dalla cava alla posa in opera della colonna. In epoca classica gli elementi di spoglio appartenuti ad antichi monumenti e diventati parte integrante delle nuove costruzioni conferivano a queste una continuità ideale tra il vecchio e il nuovo, un'immortalità architettonica, una “patente di replica pienamente riuscita sotto il profilo strutturale, costruttivo liturgico e decorativo” [De Lachenal, 1995], oppure marcavano la sostituzione di una cultura con un'altra. Un esempio, di diversa filosofia, che rappresenta una vera e propria pianificazione progettuale candidandosi a diventare l'emblema della progettazione ex novo ispirata alla demolizione programmata (uno smontaggio) a fine vita utile è certamente il Crystal Palace, perfetta idea moderna di riuso programmato e dunque progettato, con l'intuizione ante litteram delle regole di quel coordinamento dimensionale modulare che fu un mito nei trascorsi anni '60: un edificio effimero, nato per contenere un evento specifico, ma concepito non per essere distrutto, al termine della sua breve vita programmata (la durata da maggio a ottobre della Esposizione Universale del 1851, a Londra), bensì per l'appunto smontato al fine di consentire successivi rimontaggi (infiniti, in teoria, ma ai quali pose fine un devastante incendio) in altri luoghi, con elementi sempre uguali e risultati sempre diversi.*



(6) Per il settore edile, non è di certo l'iniziativa che difetta, come provato dal gran numero di rivendite di "materiali" edili (il termine è improprio, come già notato, meglio sarebbe l'espressione elementi costruttivi base o elementi costruttivi funzionali), spesso al limite del settore antiquario propriamente detto, che propongono tegole, mattoni, travi e capriate lignee, pavimenti e controsoffitti, serramenti, mensole e colonne lapidee di varie epoche, ecc., con un mercato molto fiorente nelle ristrutturazioni sia di lusso che a budget minimo. Ancora mancano, però, a rendere attuale e davvero efficace questo mercato, la consapevolezza delle implicazioni ecologiche che esso può sottendere e la regolamentazione innanzitutto della informazione (una anagrafe ragionata) e poi delle deleghe e dei parametri in grado di rendere trasparente l'offerta (un sistema di norme).

Gli sviluppi del lavoro a distanza, della banda larga, del 5G, dei programmi BIM e GIS, delle vendite online rappresentano tutte premesse parimenti emergenti e concorrenti allo sviluppo dell'idea, che qui presentiamo, di applicare quanto di più attuale la tecnologia offre per creare un mercato aperto, continuamente implementabile e globale di alcuni "scarti".

Lo strumento "anagrafico" in grado di gestire questo obiettivo dovrà essere infatti:

flessibile, implementabile, completo, declinato secondo diverse chiavi di accesso, possibilmente internazionale, di uso sufficientemente intuitivo. Ciò richiede uno sforzo metodologico per individuare i criteri di classificazione e le ipotizzabili chiavi di ricerca affinché sia possibile istituire una sorta di mercato online capace di soddisfare le richieste di intervento su manufatti edili e monumenti evitando lo spreco e la realizzazione ex novo di pezzi, che non potrebbero, se nuovi, accordarsi felicemente con opere esistenti. Così si potrebbero evitare o almeno ridurre gli sprechi e ottimizzare le risorse anche in rapporto alle epoche di lavorazione, migliorando la coerenza dei risultati finali.

### **La modellazione BIM per l'Anagrafe degli elementi costruttivi di pregio**

Nell'era della digitalizzazione del settore delle costruzioni si è ritenuto ineludibile un approfondimento della linea di ricerca in chiave BIM, al fine di costituire una base di

---

6 Tra le "trovate" commerciali più recenti una delle più efficaci è quella reclamizzata con lo slogan "non lo metti? mettilo in vendita!", che propone un'operazione di riuso integrale di capi d'abbigliamento e accessori, differendo dai molti siti precedenti che propongono un mercato dell'usato "griffato", sia per la forza dello slogan sia per la democraticità nei confronti dell'origine dei capi (non la firma di moda, ma l'oggetto e il suo prezzo definiscono l'acquisto). Uno spunto ulteriore, utile per definire la "nostra" piattaforma, viene dal mondo dell'antiquariato, che non si limita a commercializzare pezzi importanti, ma spesso "riusa" elementi piccolissimi, apparentemente privi di valore, impiegandoli per la stessa funzione originaria (la gamba di una sedia, una maniglia, una serratura ...) e quindi salvaguardandone in toto il contenuto culturale, e propone anche una promozione valoriale per componenti il cui unico appeal è la vetustà (una vecchia tavola può così diventare il fondo del cassetto di un pregiato mobile d'epoca).

partenza scientifica per la sperimentazione che questo gruppo di lavoro ha avviato su un'Anagrafe degli elementi costruttivi di pregio derivanti da demolizione selettiva, che si intende ricavare dal modello informativo dell'edificio da de-costruire e trasporre a livello contenutistico in piattaforme di marketplace, i luoghi virtuali di specifici e futuristici sistemi GIS in cui potrebbe decretarsi l'end of waste.

In materia di RCD nell'ultimo decennio sono stati numerosi gli studi proponenti soluzioni "BIM-Based" [Akbarieh *et al.* 2020. Nelle ricerche selezionate si sono riconosciuti due principali filoni in cui la vocazione informativa degli strumenti digitali rispondenti alla metodologia è stata accolta per giungere in ambiente BIM a:

audit di pre-demolizione, al fine di individuare e quantificare materiali e componenti non più confacenti all'originaria applicazione ma ancora potenziale risorsa per altri usi, nello stesso o in altri contesti, [Cheng, Ma, 2013; CONDEREFF 2018-21] rivolti a edifici esistenti da smantellare in tutto o in parte;

passaporto materiali, al fine di associare ai materiali "virtualizzati" dati su cui fondare le valutazioni per opportunità di riciclo, oltre che per finalità di Life Cycle Assessment LCA [Honic *et al.*, 2019; BAMB 2015-19] in ciascuna fase di progetto, costruzione, gestione e demolizione.

Non sono state sinora rintracciate esperienze simili all'idea di un'Anagrafe degli elementi costruttivi di pregio, che tuttavia condivide le intenzioni di entrambe le linee di ricerca, sia per l'agevolazione offerta dalla metodologia BIM nel simulare e pianificare scenari di de-costruzione consapevole sia per estrarre dal modello i contenuti informativi delle entità da recuperare che, per i nostri obiettivi, intendiamo immettere in piattaforme di marketplace per valutare nuove e idonee alternative di "riuso".

Al fine di giungere alla costituzione, per la categoria di "rifiuti" individuata, di uno strumento anagrafico, che sia universale, flessibile, implementabile, completo, interrogabile, è necessario definire criteri per la virtualizzazione dei "contenuti" e per la loro conseguente organizzazione in un appropriato "contenitore" capace di dialogare con gli strumenti informatici che supportano le altre piattaforme digitali della filiera di gestione circolare degli RCD.

L'aspetto della parametrizzazione dei contenuti si riteneva potesse essere già stata assolta per quanto annunciato nella Best Practice dei Materials Passports, concepita nell'ambito del Progetto europeo BAMB avviato nel 2015: il BIM è stato indicato come una delle vie preferenziali di digitalizzazione del passaporto materiali, costituito da

undici consistenti categorie di indicatori di cui però non sono state rintracciate forse perché non ancora pubblicate trasposizioni e modalità di gestione in programmi di modellazione parametrica. Pur volendone valutare l'applicazione per i campi descrittivi dell'Anagrafe degli elementi costruttivi di pregio, mancano voci significative per restituire informazioni di tipo storico-architettonico tramite cui dimostrare il valore attribuito (materiale, magistero, provenienza, epoca, conservazione).

Inoltre, sebbene dagli studi ritrovati siano emersi i limiti nell'impiego dei soli software di authoring, da supportare con plug-in o database, si ritiene di dover approfondire l'adozione di una loro peculiare funzionalità, basata sulla tecnologia Quantity take-off, che in ambiente informativo consente la gestione delle quantità e dei costi e che per gli obiettivi dell'Anagrafe dovrebbe restituire anche descrizioni.

Pertanto, ai fini dell'istituzione di una "banca di rifiuti" potenzialmente presente in ciascun edificio, i dati multidisciplinari e storicizzati associati agli oggetti parametrici del modello potrebbero essere restituiti e organizzati in abachi configurabili secondo personalizzate regole di catalogazione, con aggiornamento automatico e bidirezionale da modello ad anagrafe e viceversa e modalità di esportazione in formati condivisibili con software e database già individuati o da suggerire per una piena digitalizzazione della filiera dei RCD.



\*Dimensione non ancora normata

**Figure 2.** L'Anagrafe degli elementi costruttivi di pregio: la funzione di interfaccia tra una demolizione selettiva BIM-Based e i marketplace, parte di "futuristici" sistemi GIS-Based per la gestione di RCD. **Source:** Elaborazione degli autori

Con riferimento ai principi fondanti il metodo informativo, divulgati con la convenzione delle “dimensioni del BIM”, sembrerebbe che per le finalità di scambio dell’ordinamento anagrafico con la piattaforma di gestione circolare degli RCD presi in esame l’unica dimensione coinvolta sia la 5D, più genericamente nota per l’analisi delle quantità ai fini computazionali. In realtà il processo riflette valutazioni “pluridimensionali” sulla metodologia: il passaggio da un’approfondita modellazione geometrica e informativa (3D) alla pianificazione delle operazioni di demolizione selettiva (8D), non può prescindere da azioni di storicizzazione del dato (4D), tracciamento nel ciclo di vita (6D) e asseverazioni di sostenibilità e salubrità (7D) (Fig. 2).

### **La valorizzazione dei RCD mediante filiere di riciclo sperimentali**

La possibilità di recuperare elementi integri, o ad essi assimilabili per caratteristiche meccaniche e/o di finitura, dalla frazione riutilizzabile degli RCD ed utilizzarli sic et simpliciter (o a seguito di modesti trattamenti) come risorse prime in altri cantieri è basata sulla necessità di una mirata progettazione delle operazioni di demolizione di tipo selettivo implicando uno smontaggio programmato per modalità di esecuzione e sequenza con produzione non distruttiva dei rifiuti relativi ai componenti scelti e sulle conseguenziali operazioni di cernita e verifica dei materiali eseguibili manualmente o attraverso avanzati prototipi di sistemi robotici [Zeli Wang *et al.*, 2020] in grado di pattugliare e raccogliere automaticamente in situ oggetti target, con caratteristiche geometriche e materiche precedentemente impostate nel software.

Con modalità e finalità differenti anche nel Settecento era consuetudine recuperare il materiale di spolio per metterlo in vendita: il proprietario dell’edificio, oggetto di demolizione, attraverso manifesti affissi nei luoghi più trafficati comunicava le date in cui si sarebbe tenuta l’asta pubblica degli elementi costruttivi e dei materiali provenienti dal cantiere. Anche a Parigi, a metà del XIX secolo, durante i lavori di trasformazione della città eseguiti da Napoleone III e dal barone Haussmann, i numerosi materiali prodotti vennero bonificati e poi venduti da imprenditori, come Achille Picart, divenuti in seguito famosi per la fiorente attività lavorativa che seppero sviluppare. (7)

Tra gli esempi di edifici residenziali realizzati, in ambito nazionale e internazionale, con materiali di spolio sono stati selezionati quelli in cui gli elementi costruttivi recuperati interessano oltre il 90% dell’involucro edilizio, e in percentuale minore gli spazi

7. Le fonti storiche e i quotidiani dell’epoca evidenziano come lo spropositato divario tra il costo della manodopera necessaria per svolgere tutte le operazioni di recupero (non soltanto le maestranze richiedevano un salario maggiore ma gli operatori inviati per valutare la possibilità di decostruire un singolo elemento costruttivo richiedevano un compenso maggiore rispetto all’acquisto, da un classico fornitore, del prodotto nuovo) e il ricavo della vendita delle nuove risorse fece preferire il tradizionale smaltimento a perdere dei prodotti della demolizione. sempre uguali e risultati sempre diversi.

interni ed esterni. Caratteristiche comuni agli interventi sono sia la sensibilità del progettista e/o del committente, sia le azioni di interesse locale rivolte alla possibilità di ottenere agevolazioni fiscali; tuttavia i casi riportati possono essere considerati eventi episodici, frutto di una frammentarietà politica e operativa sul destino degli RCD.



**Figure 3.** Operazione di taglio dei paramenti murari delle Birrerie Carlsberg, Copenhagen, confluiti nella facciata del Resource Rows. Source: <https://architectsjournal.co.uk/>

Il complesso residenziale Resource Rows a Copenhagen, progettato da Lendager Group, è stato realizzato riciclando componenti edilizi provenienti dalle demolizioni delle abitazioni abbandonate nell'interland e da altri edifici non più utilizzati. La facciata è composta con moduli di mattoni, fissati su telai in acciaio, ottenuti ritagliando quadrati di muratura dalle tamponature delle birrerie Carlsberg e dell'edificio scolastico Steiner (Fig. 3). Il patchwork è caratterizzato dall'alternanza dei moduli, in cui i mattoni sono disposti con corsi orizzontali e verticali e hanno diverse sfumature di colore in funzione della differente provenienza, e dei serramenti con telai lignei e sovralluci provenienti da altri cantieri. La pavimentazione interna è stata realizzata con scarti e rifiuti dell'azienda di pavimenti Dineson e il ponte in acciaio, che collega due terrazze, è ottenuto partendo dal riuso di una capriata progettata per un capannone di stoccaggio. Tutto il materiale è stato reperito dalla Lendager Up, che si interessa della valorizzazione dei prodotti upcycle (dagli elementi costruttivi funzionali della fabbrica a quelli base) provenienti da diverse zone della Danimarca, e in base alle esigenze dei progettisti fornisce un elenco di materiali reimpiegabili in base alle necessità costruttive. Il limitato bacino di riferimento da cui prelevare il materiale non sempre soddisfa i tecnici, esterni al Lendager Group, che devono spesso adattare la propria idea progettuale alle disponibilità degli elementi trovati; l'azienda è quindi più orientata a fornire, alla committenza non interna, servizi di consulenza sulle strategie di economia circolare (Fig. 4).

L'arricchimento formale ottenuto tramite l'uso di porte e finestre in legno incrementa i valori espressivi dell'organismo edilizio progettato da S+PS Architects le cui facciate influenzate dalle tecniche costruttive dei cittadini locali che utilizzano materiali di

recupero per erigere le loro case – propongono un collage di serramenti e materiali recuperati (profili in acciaio, tubolari in alluminio, elementi lignei) dalla demolizione delle abitazioni della cittadina di Mumbai. L'intervento realizzato ripropone le sperimentazioni dei prototipi Kolonihavehus, dell'artista Tom Fruin, e dell'abitazione a Freetown Christiania, realizzata da un privato, costruita negli anni '60: il primo esempio di prospetti interamente personalizzati da serramenti riciclati.



**Figure 4.** In alto, il patchwork dei pannelli nel complesso Resource Rows; in basso, il riuso creativo di elementi costruttivi impiegati nella Cubo House a Melbourne anche con funzione diversa da quella originaria. Source: <https://lendager.com>; <https://dezeen.com>

Della stessa filosofia progettuale, ma con un'ottica più ampia, l'intervento di Phooey Architects per la ristrutturazione con materiali riciclati, su richiesta dei proprietari della Cubo House a Melbourne: pannelli in legno, mattoni, pluviali, porte, soglie e davanzali in pietra, provenienti dalla demolizione di una parte dell'edificio originale, sono serviti per l'ampliamento dell'esistente e per lo spazio esterno di pertinenza. Alcuni elementi, per i quali le caratteristiche intrinseche dopo la demolizione non consentivano la stessa funzione, sono stati diversamente impiegati: i serramenti sono diventati finiture delle pareti del vano scala, i gradi e sottogradi componenti di un lampadario, le ringhiere maniglie di armadi/corrimano/componenti della facciata (Fig. 4).

### **L'economia circolare e la digitalizzazione della filiera dei RCD**

La conclusione più sorprendente a valle di questa analisi compiuta fra le pieghe della digitalizzazione della filiera dei RCD è la fervida presenza di risultanze parziali di pro-

getti di ricerca, iniziative isolate di organismi pubblici e privati, tentativi resi inefficaci dall'assenza di coordinamento, esperienze di riciclo singolari e non ripetibili. Quel che manca è proprio un quadro armonico nel quale comprendere, selezionare, comporre le diverse esperienze che in ogni singola fase della filiera, dall'anagrafe degli RCD, all'audit dei predemolizione basato sul BIM, alle banche dati costruite per i marketplace, alla geolocalizzazione di tutte le componenti riescano a trarre dalla digitalizzazione un'opportunità di gestione efficace in termini di economia circolare. Il riferimento agli elementi costruttivi di pregio avanzato in questo studio apre a un'applicazione operativa in corso di elaborazione sugli "scarti lapidei" in cui il percorso tracciato troverà riscontro e validazione

## REFERENCES

- Altamura, P.** (2020). Ecoprogettazione e approccio circolare in edilizia, ENEA Progetto Atelier–Lombardia Circolare, Ecoprogettazione e modelli di business circolari e collaborativi. [http://www.unioncamerelombardia.it/images/file/APolAmbGPP/Altamura\\_16\\_12\\_2020.pdf](http://www.unioncamerelombardia.it/images/file/APolAmbGPP/Altamura_16_12_2020.pdf)
- Akbarieh, A., Jayasinghe, L.B., Waldmann, D., Teferle, F.N.** (2020). BIM-Based End-of-Lifecycle Decision Making and Digital Deconstruction: Literature Review [Electronic version]. *Sustainability*, 12, 2670.
- BAMB-Buildings as Material Banks**, Horizon 2020 2015-2018. <https://www.bamb2020.eu>
- BEMP-Best environmental management practice**, EU 2020. <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/best-environmental-management-practice>
- Cheng, J.C.P., Ma L.Y.H.** (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning [Electronic version]. *Waste Management*, 33, 1539-1551.
- CONDEREFF**-Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency, Interreg Europe 2018-2023. <https://www.interregeurope.eu/condereff/>
- De Lachenal, L.** (1995). *Spolia: uso e reimpiego dell'antico dal III al XIV secolo*. Longanesi & C., Milano, p. 121.
- Honic, M., Kovacic, I., Sibenik, G., Rechberger, H.** (2019). Data and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based Material Passports [Electronic version]. *Journal of Building Engineering*, 23, 341-350.

**Policy brief 4** (2019). CONDEREFF Interreg Europe (2019) [https://www.regione.lazio.it/binary/rl\\_attivitaproduttive\\_rifiuti/tbl\\_contenuti/Policy\\_brief\\_n.\\_4\\_CONDEREFF.pdf](https://www.regione.lazio.it/binary/rl_attivitaproduttive_rifiuti/tbl_contenuti/Policy_brief_n._4_CONDEREFF.pdf)

**Zeli Wang, Heng Li, Xintao Yang**, Vision-based robotic system for on-site construction and demolition waste sorting and recycling, *Journal of Building Engineering*, Volume 32, 2020, 101769, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101769>.



# BUENAS PRÁCTICAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: EJEMPLOS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL MARCO DEL PROYECTO CONDЕРЕFF

Vicente López-Mateu<sup>1</sup>, Teresa M. Pellicer<sup>2</sup>, Elisa Peñalvo López<sup>3</sup>, Javier Cárcel Carrasco<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), [viloma@upv.es](mailto:viloma@upv.es)

<sup>2</sup>Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), [tpa@upv.es](mailto:tpa@upv.es)

<sup>3</sup>Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), [elpealpe@upv.es](mailto:elpealpe@upv.es)

<sup>4</sup>Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), [fracarc1@csa.upv.es](mailto:fracarc1@csa.upv.es)

## ABSTRACT

This paper establishes a brief review through the existing literature of what is considered a “good practice” in general: definitions and most relevant characteristics, and limitations in the scope of the member countries of the European Union. Subsequently, good practices application to environmental aspects is considered. Particularly, their advantages of the in the construction and demolition waste management field based on this specific context and current situation. Finally, the paper describes the methodology followed using an example, expressing how to collect, compare and evaluate these good practices. All these aspects are based on the experience developed in the research carried out within the European Interreg CONDЕРЕFF project.

**Keywords:** Best practice, CDW, construction and demolition waste, sustainability, recycling, reuse.

## INTRODUCTION

¿Qué es una “buena práctica” y para qué sirve?

Según la definición de la UNESCO, las buenas prácticas son “prácticas de gestión y procesos de trabajo que conducen a un desempeño sobresaliente o de primera clase y brindan ejemplos para otros” (UNESCO-UNEVOC, 2009).

Se puede afirmar que existen multitud de buenas prácticas y diferentes definiciones de las mismas. No obstante, en este artículo se definen, de una manera general o global, como un conjunto de acciones, procedimientos o formas de gestionar distintas cuestiones y llevarlas a la realidad, es decir, ponerlas en práctica.

Si se analizan y comparan algunas de estas buenas prácticas en distintos textos o publicaciones (Osburn, Caruso, & Wolfensberger, 2011), se puede establecer que la buena práctica es un ejemplo a seguir, que se considera o se ha demostrado que funciona bien, por lo que puede tomarse como un modelo de referencia en un ámbito o campo científico-técnico determinado, con unas condiciones establecidas. En el ámbito medioambiental según el Reglamento (CE) nº 1221/2009 EMAS (Parlamento Europeo, 2009) una buena práctica es la “forma más eficaz de implementar el sistema de gestión ambiental por las organizaciones en un sector relevante y que puede resultar en el mejor desempeño ambiental en determinadas condiciones económicas y técnicas”.

El manual del programa Interreg Europa ([www.interregeurope.eu](http://www.interregeurope.eu)) introduce además la condición de haberse desarrollado en un contexto geográfico concreto y define la buena práctica como “una iniciativa (proyecto, proceso, técnica) emprendida en uno de los ejes prioritarios del programa que ha demostrado ser un éxito en una región y que tiene un interés potencial a otras regiones”. El éxito implica que ha proporcionado resultados tangibles y medibles en el logro de un objetivo específico.

Esta definición plantea algunas cuestiones interesantes: ¿cuál es la utilidad de una buena práctica? ¿cuáles son sus objetivos? ¿qué ventajas presenta su uso? En una primera aproximación se pueden establecer los siguientes objetivos:

- Obtener mejores resultados a partir de ejemplos reales.
- Aprovechar las experiencias compartidas y minimizar errores.
- Compartir la información y el uso eficiente de recursos de forma sencilla.
- Beneficiar a la comunidad científico-técnica y a la sociedad en general.

De esta forma aparecen dos factores clave: los beneficios contrastados y la difusión de los mismos con una visión global y de comunicación o transmisión. Respecto a los beneficios esperables cabe precisar que han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Actualmente se puede afirmar que en la mayoría de los casos se resumen o ajustan a los principios básicos de la sostenibilidad (Ministerio de Educación, 2015). De este modo, las buenas prácticas actuales deberían contemplar los beneficios en cuanto a aspectos Ecológicos, Energéticos y Económicos. Esta cuestión parece sencilla, pero es compleja de evaluar cualitativa y, sobre todo, cuantitativamente por lo que debe ser considerada de manera específica en su redacción.

## Temáticas e identificación de las buenas prácticas

Se puede afirmar que existen muchos y variados ejemplos de buenas prácticas, es decir, es algo bastante extendido. En Europa, nuestro ámbito más cercano, tratan muy diversas temáticas, desde cuestiones sociales, empleo, formación, patrimonio, etc. Por lo tanto, para entrar en detalle es necesario utilizar un enfoque sectorial.

La identificación de una buena práctica según Gálvez-Martos *et al.* (2018) es un proceso que estaba recogido en algunas Directivas Europeas como la Directiva 2008/1/CE (Parlamento Europeo, 2008a), ya derogada. Estos autores indican que se deben tomar los datos tanto de la literatura científica, como de la experiencia profesional sometida a la deliberación de un grupo de expertos. Finalmente, tras varias iteraciones, se realiza la evaluación completa de las mismas.

Según estos autores, aplicando los criterios y requisitos de sostenibilidad al ámbito de la construcción, existe un amplio abanico de buenas prácticas, desde gestión de recursos en general, hasta la gestión de RCD en particular.

## Características comunes de las buenas prácticas

Actualmente hay muchos ejemplos de actividades o iniciativas que se pueden considerar buenas prácticas, pero cabría preguntarse qué características deberían tener para obtener tal consideración. Entre ellas se destacan las siguientes:

- Explicable: se describe con detalle y precisión, aportando datos y referencias concretas.
- Comparable: posibilita establecer comparaciones o relacionarse con otras prácticas de similares características.
- Medible: sus resultados son cuantificables, expresados en valores absolutos o relativos.
- Sostenible: cumple requisitos sociales, económicos y medioambientales, por lo que puede producir efectos positivos duraderos.
- Diversidad de agentes o actores: son desarrolladas por entidades públicas o privadas, aunque en algún caso caben iniciativas particulares.
- Replicable: sirve como modelo de referencia para actuaciones similares, por lo tanto, debe publicarse y difundirse.

Todos estos aspectos tienen que estar avalados y ser evaluados por expertos en el campo correspondiente mediante unos parámetros comunes y compartidos.

### Cómo se difunden, valoran y comparan las buenas prácticas

Actualmente, la mayoría de los ejemplos se encuentran en publicaciones en formato pdf de libre distribución o son accesibles a través de páginas web institucionales o de las administraciones públicas, agrupadas por temáticas similares como la propia web INTERREG Europa (Interreg Europe, 2020).

En este caso, dichas prácticas están agrupadas, en cuatro áreas temáticas: investigación e innovación, competitividad en las PIME, economía de bajas emisiones de CO2 y medio ambiente y eficiencia de recursos, pudiendo realizar búsquedas por estas áreas temáticas o por palabras clave.

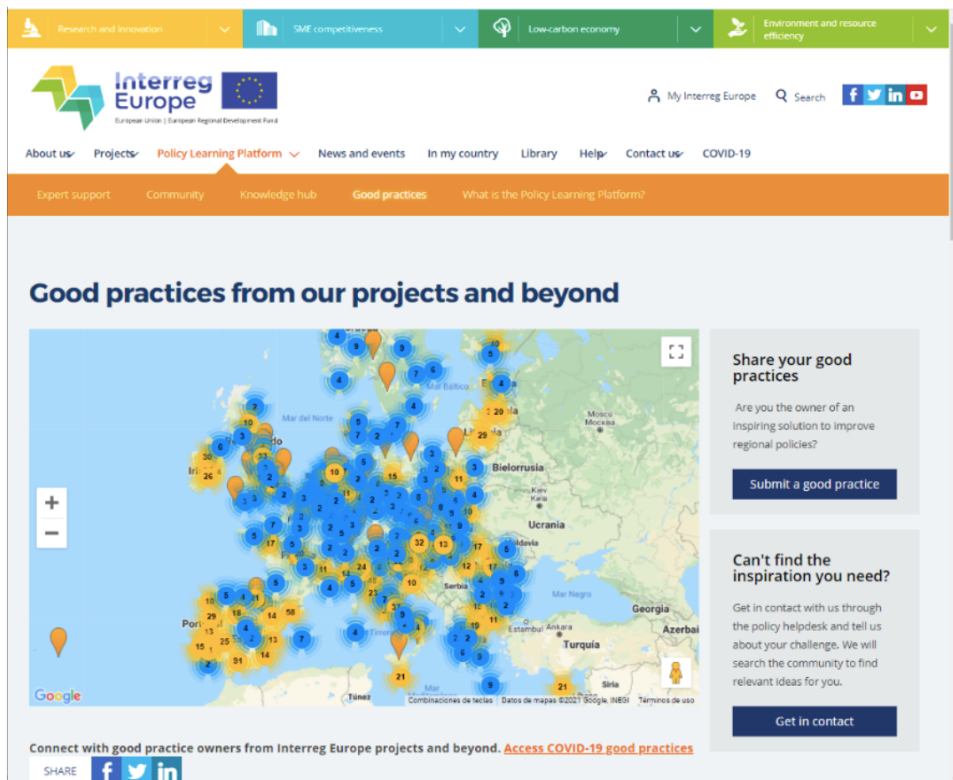


Figure 1. Página web de buenas prácticas (Interreg Europe, 2020)

Fuente: <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/>

Otra cuestión es su comparación y valoración, pues su carácter generalmente único y diverso hace complejo establecer parámetros para poder analizarlas y evaluarlas correctamente, estableciéndose un mínimo protocolo.

### Limitaciones de las buenas prácticas

Por otra parte, cabe considerar también la existencia de una serie de limitaciones o prevenciones que pueden producirse en la presentación y, sobre todo, en la aplicación, adaptación o extrapolación de las buenas prácticas.

En este apartado cabe destacar los siguientes aspectos:

- Localización: este sería el primer factor, las condiciones generales del entorno, principalmente cuando se trata de entornos físicos concretos o particulares, con unas condiciones de emplazamiento del objeto de estudio.
- Temporalidad: debe indicarse el periodo de tiempo en el que se ha desarrollado, el proceso seguido y los resultados obtenidos.
- Procedimientos o medios utilizados: la descripción con detalle, en ocasiones no es posible debido al desarrollo de una patente, software o proceso industrial.
- Normativa: suele ser diferente en distintos países o zonas geográficas, por lo que conviene referenciar las regulaciones legales comunes o armonizadas.

Aparte de estas cuestiones, se podrían considerar otras en cuanto al idioma, vocabulario o los medios y recursos técnicos propios de una zona o incluso las condiciones socio-económicas, que pueden ser cambiantes en el tiempo.

Todo ello multiplica las variables a considerar y hace evidente que resulta necesario una metodología o unos modelos a seguir que puedan contener múltiple información, y a su vez, que sean abiertos, flexibles y dinámicos.

## **Aplicación de las buenas prácticas a la gestión de RCD**

### Los principios y objetivos

Podemos decir que las buenas prácticas en este sector pretenden esencialmente aplicar los principios de la economía circular: preservar y mejorar el uso de los recursos naturales, optimizar su rendimiento en la producción y distribución de bienes o componentes y eliminar incertidumbres en el diseño, planificación y seguimiento de las obras.

En este sentido, la mayoría de las buenas prácticas definidas en demolición están orientadas a maximizar la reutilización de elementos, facilitar el reciclaje, la recuperación de materiales y los usos secundarios de dichos materiales mediante, por ejemplo, el reconocimiento de la calidad para materiales derivados de residuos.

### El marco general europeo

La gestión adecuada de los RCD tiene importantes beneficios en términos de sostenibilidad y calidad de vida. Asimismo, puede proporcionar beneficios para la industria de la construcción y el reciclaje en la UE, aumentando la demanda de materiales reciclados.

La Directiva marco sobre residuos 2008/98/CE tenía como objetivo que el 70% de RCD se reciclasen en 2020 (Parlamento Europeo, 2008b). Según recientes informes de la Agencia Europea del Medio Ambiente, la mayoría de los países de la UE estaban en camino de cumplir este objetivo a principios de 2020, aunque un buen número de países ya superaron el objetivo en 2016 (European Environment Agency, 2020).

Sin embargo, según indica este informe, esta tasa de recuperación se ha logrado principalmente mediante el uso de residuos para su uso como relleno o aplicaciones secundarias como sub-bases de carreteras. Este hecho reduce el potencial de avanzar hacia una gestión de residuos con los criterios de la economía circular.

Por otra parte, algunos países de la UE han conseguido desarrollar e implementar un marco que conduce a una tasa de reciclaje bastante superior y próximas al 90%, introduciendo incluso la recuperación de energía. Por lo tanto, se deben estudiar y seguir estos ejemplos y referencias para aprender de ellos. Una de las posibilidades futuras es identificar cómo se han puesto en práctica estas acciones.

### Los modelos generales o países de referencia

Aquellos países situados en la cabeza del reciclado de RCD en torno al 80-90%, son Holanda, Dinamarca y Bélgica debido principalmente, a la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes, y a la dificultad de encontrar emplazamientos para vertederos, unidas a otras medidas de carácter legal y económico.

En un escalón inferior destacar países como Finlandia sobre el 40-50% de RCD, Reino Unido con un y Austria. En estos países el reciclaje se ha impulsado, debido a políticas de gestión de residuos que ha combinado instrumentos económicos y legales:

impuestos sobre el vertido, obligación de demoler selectivamente, acuerdos voluntarios, planificación y control.

### Las principales dificultades

Algunos de los obstáculos para gestionar adecuadamente los RCD parten de la dificultad de su evaluación y control, su seguimiento o trazabilidad durante el proceso constructivo y la vida útil de las construcciones. Asimismo, la falta de confianza en la calidad de los materiales con RCD reciclados por parte de los usuarios. Por tanto, estos son aspectos prioritarios para definir las buenas prácticas.

También existe incertidumbre sobre el riesgo potencial para la salud de los trabajadores que utilizan materiales reciclados de RCD. Esta falta de confianza reduce y restringe la demanda de materiales RCD, lo que inhibe el desarrollo de infraestructuras de reciclaje y gestión de residuos en la UE.

### La experiencia del Proyecto CONDEREFF: metodología

El proyecto CONDEREFF inició su andadura en enero del 2018 con distintas áreas y planes de acción en cada una de ellas. Se enmarca dentro de Interreg Europa para intercambiar experiencias entre sus 8 socios de 7 regiones europeas distintas.

Una de estas áreas es la recopilación y difusión de las buenas prácticas en el ámbito de la gestión de RCD. Estas buenas prácticas pueden ser utilizadas como espacio de trabajo común, así como de inspiración y de mejora tanto para los responsables políticos como para los profesionales del sector.

Para esta acción, se tomó como referencia el Protocolo Ares de gestión de RCD y demolición de la UE (Comisión Europea, 2016) que propone una serie de objetivos generales y particulares de mejora. Asimismo, incluye una descripción general de las definiciones para cada concepto, lo que permite un marco de referencia común.

Las buenas prácticas se han centrado en los objetivos que propone dicho Protocolo:

- Identificación de residuos, separación según origen y recogida.
- Logística y trazabilidad de residuos.
- Procesamiento de residuos.
- Gestión de la calidad.
- Condiciones marco y políticas adecuadas.

De este modo, se establecieron estas áreas o categorías para recopilar los datos y se remitieron unas fichas a los socios del proyecto, donde debían exponer la información disponible y aquellos aspectos que considerasen más relevantes.

En estas fichas (Fig. 2), tras indicar la categoría de la buena práctica, disponían de varios apartados o campos a rellenar en dos anexos:

El Anexo 1, recogía la descripción de las iniciativas, actividades o medidas implementadas y cómo se habían llevado a cabo en cada país. Se incluía un espacio para imágenes o fotografías, otro apartado para indicar las mejoras diferenciadas en los tres aspectos clave: medioambientales, energéticos y económicos. Finalmente, dos apartados para indicar por cada socio cuáles podrían ser las limitaciones de la buena práctica expuesta y finalmente cómo podría implementarse en otros entornos o regiones.

El Anexo 2, tenía el formato de “cuestionario” y pretendía identificar las operaciones que se estaban realizando en ese momento en cada región. Se debía contestar solo aquellos aspectos de los que se tenía constancia que se estaban realizando, en la casilla correspondiente, completando con información acerca de cómo se estaba realizando esa buena práctica.

Al final del proceso, la información fue contrastada y revisada por el administrador y por los expertos, indicando sus comentarios y aprobando aquellas que consideraron cumplían con los requisitos enunciados por el programa INTERREG.

Estos requisitos básicos, recogidos en una lista de comprobación son: todos los campos deben estar cumplimentados, la información esté en lengua inglesa, la descripción ha de ser clara, significativa y correspondiente con el proyecto. Asimismo, se debe haber producido un intercambio de información entre los socios.



The image shows a detailed form for submitting a good practice. It is divided into four main sections:

- 1. Author contact information:** Fields for Name (Euse Palumbo López), Email (euse@condereff.es), Telephone, Country (Spain), Region (Valencian Community), and City (Valencia).
- 2. Organisation in charge of the good practice:** Fields for the organization's name, Country (Spain), Region (Valencian Community), and City (Valencia). It also lists the main institution in charge as 'Valencian Building Institute (IVIA) Valencia de (Edificios) - (VE)'.
- 3. Good practice general information:** Fields for the title of the practice, whether it comes from an Interreg Europe Project (YES), the project acronym (CONDereFF), thematic objectives, and geographical scope (Spain, Valencian Community, Valencia).
- 4. Disabled description:** A section for a short summary of the practice, with a note that this field is disabled for the current user.

On the right side of the form, there is a section for 'Upload image' with a map of the region and an 'Export option' button. Below the form, there is a text block explaining the tool's purpose: 'New tool that supports the elaboration of the contents regarding the waste management study required by the regulations in force in the Valencian Community. In the Valencian Community region, it is complex to find recent activities or policies from local Administrations that promote or encourage best practices of C&D waste. Nevertheless, among the public initiatives, the IVIA (Valencian Building Institute), a semi-public institution, has recently developed a free C&D LEX application that is useful to pre-evaluate the amount of C&D waste generated in projects and how to manage it. The application considers the soil characteristics in the excavation tasks, and the features of the main materials used. With all this data, the on-line form estimates the amount of waste generated. Finally, the APP considers the amount of different waste according to the LEX (EU coding system). The automatic calculations are based on general statistical data, collected in the particular reports of waste treatment plants but can be customized so that more precise adjustments are obtained depending on the construction characteristics and requirements.' (CONDereFF)

Figure 2. Fichas de trabajo Fuente: (Condereff, 2021)

Finalmente, una vez aprobada la buena práctica, la información resumida de la misma se incorporó al apartado de “buenas prácticas” en la web de CONDereFF (Fig. 2). Aunque resulta algo complejo establecer comparaciones entre ellas debido a que la información está muy resumida y responde a unas categorías específicas, se puede contactar con los responsables para obtener información adicional.



Figure 3. Página web de CONDereFF (InterregEurope) Fuente: <https://www.interregeurope.eu/condereff/>

## **CONCLUSION**

Tras haber recopilado y estudiado distintas buenas prácticas, las conclusiones obtenidas se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Las buenas prácticas son un instrumento muy ÚTIL de referencia para plantear futuras mejoras en distintos ámbitos sectoriales, sobre todo en la gestión de los RCD, teniendo en cuenta sus características y limitaciones.
- El procedimiento ofrece una considerable visibilidad y fácil acceso a la información. No obstante, el formato presenta dicha información de forma sintética, concentrada en aspectos concretos susceptibles de ampliación.
- La confección de tablas y modelos de cuestionarios, estructurados siguiendo los objetivos planteados por la normativa, así como los protocolos que la desarrollan o complementan, es una vía que permite compartir los datos con mayor facilidad.

Finalmente, se plantean las siguientes líneas de trabajo e investigación futuras:

- Se considera conveniente una mayor agrupación y comparación temática de las mismas, estableciendo conclusiones o propuestas más concretas a través de ellas para la mejora de los instrumentos técnicos y legales vigentes.
- En este sentido, sería conveniente establecer características o parámetros más detallados que fueran comunes a las mismas, permitiendo su agrupación y posible relación entre ellas.
- La necesaria valoración cualitativa y cuantitativa por los expertos tendría que explicitarse o basarse en criterios reconocibles y compartidos, superando a ser posible, las indicaciones o sugerencias de los manuales.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto Europeo CONDEREFF, dentro del Programa INTERREG de la Unión Europea. Asimismo, los autores agradecen la colaboración de Clara Andrada Monrós y Laura Molina Cañamero en la recopilación y gestión de las fichas de las buenas prácticas de los socios del proyecto.

## REFERENCES

- Bossink, B. A. G., & Brouwers, H. J. H.** (1996). Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(1), 55–60. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1996\)122:1\(55\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1996)122:1(55))
- Comisión Europea.** (2016). Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE. In Comisión Europea y ECORYS. Retrieved from <http://aridosrecicladosdercd.es/wp-content/uploads/2018/06/ES-TRA-01.pdf>
- Condereff.** (2021). [www.interregeurope.eu/condereff](http://www.interregeurope.eu/condereff). Retrieved September 6, 2021, from [www.interregeurope.eu/condereff](http://www.interregeurope.eu/condereff) website: <https://www.interregeurope.eu/condereff/>
- Cristiano, S., Ghisellini, P., D'Ambrosio, G., Xue, J., Nesticò, A., Gonella, F., & Ulgiati, S.** (2021). Construction and demolition waste in the Metropolitan City of Naples, Italy: State of the art, circular design, and sustainable planning opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125856>
- European Commission Eurostat.** (2020). Waste statistics Statistics Explained. Retrieved September 6, 2021, from 08.12.2020 website: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
- European Environment Agency.** (2020). Construction and Demolition Waste : challenges and opportunities in a circular economy. In Briefing no. 14/2019. <https://doi.org/10.2800/07321>
- Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F., ... Loizidou, M.** (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece An existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(1), 81–91. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00035-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00035-1)
- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B.** (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- Gavilan, R. M., & Bernold, L. E.** (1994). Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(3), 536–552. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1994\)120:3\(536\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1994)120:3(536))

**Hadjieva-Zaharieva, R., Dimitrova, E., & Buyle-Bodin, F.** (2003). Building waste management in Bulgaria: Challenges and opportunities. *Waste Management*, 23(8), 749–761.

**Interreg Europe.** (2020). [www.interregeurope.eu](http://www.interregeurope.eu). Retrieved September 6, 2021, from <https://www.interregeurope.eu/>

**Ministerio de Educación, C. y D. de E.** (2015). Sobre el concepto de buena práctica. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 1–2. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/most-programme/>

**NCDWC.** (2006). Best Practice Guidelines on the Preparation of Waste Management Plans for Construction and Demolition Projects. Retrieved from [https://www.leanbusinessireland.ie/includes/documents/BPGConstructionand demolition.pdf](https://www.leanbusinessireland.ie/includes/documents/BPGConstructionand%20demolition.pdf)

**Osburn, J., Caruso, G., & Wolfensberger, W.** (2011). The Concept of “Best Practice”: A brief overview of its meanings, scope, uses, and shortcomings. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/1034912X.2011.598387](http://Dx.Doi.Org/10.1080/1034912X.2011.598387), 58(3), 213–222. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2011.598387>

**Parlamento Europeo.** Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos. , Diario Oficial de la Unión Europea, Serie L § (2006).

**Parlamento Europeo.** Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008 , relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. , Diario Oficial de la Unión Europea § (2008).

**Parlamento Europeo.** Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. , 312, 22 no Diario Oficial de la Unión Europea. Serie L § (2008).

**Parlamento Europeo.** Reglamento (CE) No 1221/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009 relativo a la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS). , 342 Diario Oficial de la Unión Europea §(2009).

**Parlamento Europeo,** C. de la U. E. Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y el Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, Diario Oficial de la Unión Europea. Serie L § (2018).

**Pavlů, T., Pešta, J., Volf, M., & Lupíšek, A.** (2019). Catalogue of Construction Products with Recycled Content from Construction and Demolition Waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 290(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012025>

**Pešta, J., Pavlů, T., & Kočí, V.** (2019). Life Cycle Assessment of Recycling Processes for Demolition Waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 290(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012026>

**UNESCO-UNEVOC**, National Centre for Vocational Education Research (NCVER), U. (2009). TVETipedia Glossary. Retrieved September 6, 2021, from TVETipedia Glossary website: <https://unevoc.unesco.org/home/TVETipedia+Glossary/filt=all/id=81>

**Zero Waste Scotland.** (2020). Best practice guide to improving waste management on construction sites. Retrieved from [https://www.zerowastescotland.org.uk/sites/default/files/Improving waste management on construction site – best practice guide\\_0.pdf](https://www.zerowastescotland.org.uk/sites/default/files/Improving%20waste%20management%20on%20construction%20site%20-%20best%20practice%20guide_0.pdf)



# **METODO QUALI-QUANTITATIVO PER LA VALUTAZIONE DEL FATTORE DI RESILIENZA DEGLI EDIFICI**

**Giacomo Di Ruocco<sup>1</sup>, Roberta Melella<sup>2</sup>, Maria Rosaria Luisi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*University of Salerno, Fisciano, Italia, [gdiruocco@unisa.it](mailto:gdiruocco@unisa.it)*

<sup>2</sup>*University of Salerno, Fisciano, Italia, [rmelella@unisa.it](mailto:rmelella@unisa.it)*

<sup>3</sup>*University of Salerno, Fisciano, Italia*

## **ABSTRACT**

La progettazione architettonica, alle diverse scale, ha un impatto diretto sul Global Climate Change, per cui deve garantire necessariamente la sicurezza, la salute e il benessere degli abitanti, anche in presenza di condizioni ambientali sempre più estreme. In questi scenari diventa essenziale l'adozione di metodologie finalizzate ad identificare la vulnerabilità degli edifici, secondo un approccio multitasking/integrato, al fine di valutarne il livello di resilienza, in funzione di una loro risposta tempestiva ed efficace rispetto ai cambiamenti climatici. L'analisi dello stato dell'arte evidenzia l'assenza di una metodologia di tipo quantitativo, in grado di misurare la capacità di un edificio ad essere resiliente e adattivo. Il presente studio, pertanto, sviluppa un metodo di valutazione quali-quantitativo, partendo dagli obiettivi 11-12-13 dell'Agenda 2030, individuando indicatori sensibili ponderati mediante analisi multicriteri, infine determinando, su una scala centesimale, il fattore di resilienza. Il metodo consente di valutare la resilienza degli edifici sia in fase ante-operam che post-operam. Nel primo caso l'attribuzione di pesi diversi agli indicatori definisce le linee guida progettuali, finalizzate ad ottenere il massimo fattore di resilienza. Se invece applicato in fase post-operam i modelli permettono di valutare il fattore di resilienza corrispondente allo stato di fatto, evidenziando le particolari criticità, ed indirizzando gli operatori verso le possibili strategie migliorative. L'applicazione della metodologia a due casi studio ha permesso di ricavare delle linee guida progettuali relative al sistema costruttivo e tecnologico dell'edificio e al rapporto di quest'ultimo con l'ambiente. Tali linee guida evidenziano la particolare predisposizione dei sistemi costruttivi a secco verso l'obiettivo della progettazione resiliente.

**Keywords:** cambiamenti climatici; progettazione sostenibile; edificio resiliente; LCA; building life cycle assessment, CAM italiani.

## INTRODUCTION

Il cambiamento climatico, tendente al progressivo riscaldamento globale del pianeta, si manifesta con effetti meteorologici sempre più estremi e devastanti. Lacasse et al (Lacasse *et.al*,2020), evidenziano un aumento della variabilità, a seconda della posizione geografica, rispetto ai valori medi dei parametri climatici: temperatura, precipitazioni, umidità, radiazione solare e velocità del vento. Tali aspetti impongono di riconsiderare gli obiettivi attesi dalla progettazione architettonica: edifici sostenibili e resilienti nei confronti dei futuri eventi estremi. Resilienza e sostenibilità sono due facce della stessa medaglia: la sostenibilità tende a concentrarsi maggiormente sulla mitigazione del rischio, mentre la resilienza sull'adattamento al rischio, quindi per molti aspetti sono inseparabili. La resilienza è la capacità di reagire ai cambiamenti e agli eventi esterni, tornando alle condizioni originali; in ambito urbano e architettonico si parla di resilienza per via dei cambiamenti climatici e delle recenti problematiche ambientali, accostandosi ai temi della sostenibilità e del risparmio energetico. Il tema della sostenibilità oggi rappresenta un obiettivo primario trasversale ai diversi settori produttivi. La recente Direttiva UE 2018/844 del 30 maggio 2018, sull'efficienza energetica, ha l'obiettivo di perseguire "lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato", mediante la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 e la decarbonizzazione per il 2050. Negli ultimi decenni si è assistito allo sviluppo di approcci metodologici per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Tra essi, la valutazione del ciclo di vita è uno strumento per analizzare sistematicamente le prestazioni ambientali di prodotti o processi durante l'intero ciclo di vita, nelle varie fasi di estrazione di materie prime, di produzione, di costruzione, di esercizio, di manutenzione, di demolizione, di smaltimento e recupero/riciclaggio a fine vita. La ricerca ha inteso pertanto integrare i seguenti livelli di indicatori: gli obiettivi 11-12-13 dell'Agenda 2030, le fasi del ciclo di vita di cui alla norma UNI EN 15978, le specifiche tecniche dei CAM italiani, pervenendo allo sviluppo di un modello finalizzato alla valutazione del livello di resilienza dell'edificio.

L'analisi dello stato dell'arte è stato condotto indagando le tematiche che procurano potenziali impatti ed influiscono sulle caratteristiche di resilienza dell'opera architettonica. In particolare:

- Approccio all'edilizia sostenibile (Blandon *et.al*,2020).
- Metodi di valutazione della sostenibilità (Kim *et.al*,2021).
- Economia circolare (Watkins *et.al*, 2020; Di Maria *et.al*,2020)



- Inquinamento ambientale da parte del settore delle costruzioni e rischi correlati (Berardi *et.al*,2018;Chu-Tsen,2018)
- Edilizia off-site (Di Ruocco *et.al*, 2018; Sicignano *et.al*,2019).
- Risposta degli edifici ai cambiamenti climatici: resilienza e adattamento (Besana,2018).

## **STRUMENTI**

Gli strumenti adoperati per la definizione del quadro di indicatori sono:

- Principi di sostenibilità sociale, ambientale ed economica, con riferimento al “Our common future”;
- Agenda 2030 [Agenzia per la Coesione Territoriale,2020], Summit sullo Sviluppo Sostenibile del 25-27 settembre 2015, che include 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile (SDGs Sustainable Development Goals). I goals che impattano sul presente studio sono quelli riferiti a: città e comunità sostenibili (SDG n.11), consumo e produzione responsabili (SDG n.12), lotta contro il cambiamento climatico (SDG n.13).

La norma ISO 15392:2019 “Sostenibilità negli edifici e nelle opere di ingegneria civile-Principi generali”, stabilisce principi di sostenibilità nelle costruzioni.

La normativa esigenziale-prestazionale UNI 10838:1999 determina gli elementi per attuare il controllo di qualità dell’organismo edilizio, in base a: Esigenze, Requisiti, Prestazioni. Le norme UNI 8289:1981 e UNI 11277:2007 individuano 8 fondamentali classi di esigenze hce definiscono la qualità del manufatto: sicurezza, benessere igiene e salute dell’utenza, fruibilità, aspetto, gestione, integrabilità, salvaguardia dell’ambiente ed utilizzo razionale delle risorse. La norma UNI 8290-1:1981 individua classi di unità tecnologiche e classi di elementi tecnici. La norma europea UNI EN 15978:2011 specifica il metodo di calcolo, basato sull’analisi del ciclo di vita (LCA), per valutare le prestazioni ambientali di un edificio, e fornisce i mezzi per la segnalazione e la comunicazione del risultato della valutazione.

Product Stage (A1 - A3)			Construction Stage (A4 - A5)		Use (B1 - B7)					End ofLife (C1 - C4)			Benefits and Loads Beyond the Building Life Cycle (D)				
A1: Raw Materials Extraction	A2: Transport	A3: Manufacturing	A4: Transport	A5: Construction & Installation	B1: Use	B2: Maintenance	B3: Repair	B4: Replacement	B5: Refurbishment	C1: De-construction / Demolition	C2: Transport	C3: Waste Processing	C4 Disposal	Reuse	Recovery	Recycling	Exported Energy
					B6: Operational Energy		B7: Operational Water										

**Figura 1.** UNI EN 15978:2011: Analisi del Ciclo di Vita dell'Edificio

- Criteri Ambientali Minimi (CAM)

Adottati in Italia con Decreto del Ministro dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del mare (Decreto Ministeriale 11 ottobre 2017 "Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici") (Cellura *et.al*; 2018), definiscono i requisiti ambientali per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato.

## METODOLOGIA

L'approccio metodologico è articolato in 8 fasi:

1. Definizione dell'ambito di indagine/macro-obiettivi: principi di sostenibilità, Agenda 2030 (SDGs nn.11,12,13);
2. Definizione dei micro-obiettivi: traguardi e categorie di indicatori;
3. Individuazione degli indicatori: unità tecnologiche sensibili;
4. Definizione sotto-indicatori: ambiti di indagine e fasi del ciclo di vita;
5. Definizione pesi/soglie prestazionali;
6. Valutazione del fattore di resilienza degli edifici;
7. Applicazione del metodo ai casi studio;

## 8. Individuazione di strategie migliorative

L'assegnazione dei pesi è stata effettuata adottando un processo decisionale a criteri multipli, mediante il coinvolgimento di due categorie di operatori del settore: personale accademico / liberi professionisti. I criteri per la valutazione degli indicatori sono espressi in termini di impatti nelle varie fasi di ciclo di vita (LCA) individuate dalla Norma europea UNI EN 15978. Gli attributi sono stati individuati sulla base delle specifiche tecniche presenti nei CAM che fanno riferimento a: Gruppi di edifici, Edifici, Componenti edilizi e Cantiere di costruzione. Nello specifico sono state individuate 16 categorie di indicatori che riguardano gli aspetti ambientali, sociali-politici ed economici della progettazione sostenibile e per ogni categoria sono stati individuati indicatori sensibili con riferimento agli aspetti tecnologici (norma UNI 8290) e ai parametri quali-quantitativi di cui ai Criteri Ambientali Minimi (CAM) per un totale di 120 indicatori.

### Definizione del questionario da somministrare alle parti interessate

Il peso degli indicatori viene attribuito in base a una scala da 0 a 3 p.ti, corrispondenti ad una scala di soddisfazione (nessuno; minimo; buono; ottimo). In funzione della potenziale incidenza dell'indicatore circa il duplice impatto sia rispetto alle specifiche tecniche dei CAM, sia rispetto alle fasi di vita di cui alla norma europea UNI EN 15978. L'assegnazione dei punteggi ai rispettivi indicatori dovrà tenere conto del livello di rispondenza dell'indicatore rispetto ai giudizi soglia così definiti:

#### FASE DI PRODUZIONE

- Minimizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq mediante: riduzione delle estrazione di materie prime vergini;
- utilizzo veicoli EEV;
- riduzione delle risorse necessarie per la fase industriale della produzione;

#### FASE DI COSTRUZIONE

- Progettazione eco-efficace, mediante:
- costruzione predisposta a più cicli di vita;
- costruzione predisposta all'up-cycling,

- a fine vita;
- flessibilità della unità tecnologica alla utilizzazione,
- nel successivo ciclo di vita, con destinazione differente rispetto a quella precedente;

#### FASE DI ESERCIZIO

- Predisposizione del sistema costruttivo/impiantistico, in termini di :
  - adattamento ai cambiamenti climatici;
- flessibilità rispetto ai cambiamenti del contesto;
- flessibilità funzionale interna;
- riduzione utilizzo risorse naturali (risorse energetiche e idriche);
- riduzione emissioni CO<sub>2</sub>eq e sostanze inquinanti;
- agevoli operazioni di manutenzione e/o sostituzione dei componenti;

#### FASE DI FINE VITA

- Progettazione orientata verso il concetto della decostruzione, mediante:
  - minimizzazione delle operazioni di demolizione;
  - predisposizione del sistema ad operazioni di demolizione selettiva;
  - prevalenza esclusiva delle operazioni di disassemblaggio delle unità tecnologiche;

#### POTENZIALITA' DI RECUPERO

- Predisposizione dell'unità tecnologica / componente edilizio ad operazioni di:
  - riutilizzo con la stessa destinazione precedente;
  - riutilizzo con diversa destinazione da quella precedente;

- riciclo, mediante trasformazione;
- conferimento in discarica / valorizzazione.

LIVELLO DI INDICATORE	TIPOLOGIA DI IMPATTO				
Categoria di indicatore	Progettazione Modulare				
Indicatore	Struttura di Fondazione				
Impatto sulle fasi del ciclo di vita (EN 15978:2011)	Impatto sulle specifiche tecniche dei CAM di base (DM 11/10/2017)	Attribuzione pesi			
Fase di produzione	Gruppi di edifici (art. 2.2)	0	1	2	3
	Edifici (art. 2.3)	0	1	2	3
	Componenti edilizi (art. 2.4)	0	1	2	3
	Cantiere (art. 2.5)	0	1	2	3
Fase di costruzione	Gruppi di edifici (art. 2.2)	0	1	2	3
	Edifici (art. 2.3)	0	1	2	3
	Componenti edilizi (art. 2.4)	0	1	2	3
	Cantiere (art. 2.5)	0	1	2	3
Fase di esercizio	Gruppi di edifici (art. 2.2)	0	1	2	3
	Edifici (art. 2.3)	0	1	2	3
	Componenti edilizi (art. 2.4)	0	1	2	3
	Cantiere (art. 2.5)	0	1	2	3
Fase di fine vita	Gruppi di edifici (art. 2.2)	0	1	2	3
	Edifici (art. 2.3)	0	1	2	3
	Componenti edilizi (art. 2.4)	0	1	2	3
	Cantiere (art. 2.5)	0	1	2	3
Benefici oltre il sistema	Gruppi di edifici (art. 2.2)	0	1	2	3
	Edifici (art. 2.3)	0	1	2	3
	Componenti edilizi (art. 2.4)	0	1	2	3
	Cantiere (art. 2.5)	0	1	2	3

**Tabella 1.** Scheda di esempio per la valutazione di un indicatore

### Elaborazione dei dati e determinazione dei pesi degli indicatori

La prima sezione del modello sviluppa il calcolo sulla base della media dei punteggi ottenuti dagli indicatori per ciascuna delle specifiche tecniche dei CAM italiani. Ogni indicatore avrà 4 punteggi-media diversi a seconda dell'ambito di applicazione e per

ogni ambito è stata calcolata la sommatoria dei punteggi raggiunti. La seconda sezione del modello sviluppa il calcolo in base alla media dei punteggi in relazione alle diverse fasi del ciclo di vita degli edifici. Ogni indicatore assume 5 punteggi-media diversi a seconda della fase del ciclo di vita e per ognuna è stata calcolata la somma dei punteggi raggiunti. Infine il calcolo dei pesi di ogni indicatore per ogni ambito di indagine si ottiene dividendo il punteggio-media di ogni indicatore per la somma totale dei punteggi, normalizzata in centesimi.

$$P_{in} = \frac{(P_m \times 100)}{\sum P_m}$$

$P_{in}$  = Peso indicatore

$P_m$  = Punteggio-media indicatore

$\sum P_m$  = Sommatoria punteggi media indicatori

#### Valutazione del fattore di resilienza

I coefficienti di soddisfacimento di ciascuno degli indicatori, sono determinati come nella tabella che segue.

COEFFICIENTE DI SODDISFACIMENTO	VALUTAZIONE
0	Nulla
0,33	Scarso
0,66	Buono
1,00	Ottimo

**Tabella 2.** Definizione del coefficiente di soddisfacimento degli indicatori

Per la prima sezione del modello (CAM) si analizza, in fase ante-operam un gruppo di edifici. Il coefficiente di soddisfacimento sarà moltiplicato per la media dei 4 pesi relativi ai 4 ambiti di indagine (Gruppo di edifici, Edificio, Componenti edilizi, Cantiere). Per l'analisi in fase post-operam, nel calcolo della media sarà escluso l'ambito "Cantiere". Nel caso di un singolo edificio, verrà escluso anche l'ambito "Gruppo di edifici". Si ottengono così i punteggi attribuiti ad ogni indicatore che sommati danno il punteggio finale; infine, approssimando all'unità intera, si ricava il fattore di resilienza, espresso in centesimi. Si ritiene soddisfacente al superamento di p.ti 50, che rappresenta la soglia minima. La figura 2 riporta le categorie di resilienza determinate in base al punteggio complessivo ottenuto.

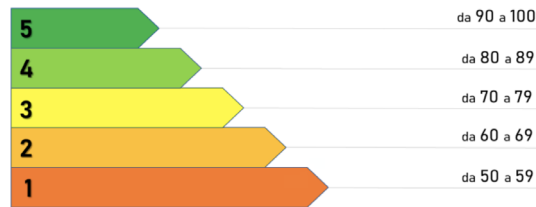


Figura 2. Classi di resilienza

## Applicazione del modello ai casi Studio

### Criteri di selezione dei casi studio

I due casi studio sono relativi a un edificio con sistema costruttivo prevalentemente a umido e un edificio con sistema costruttivo prevalentemente a secco, in quanto precedenti ricerche [33,34] hanno evidenziato la predisposizione del sistema costruttivo a secco in termini di sostenibilità e resilienza rispetto ad un edificio realizzato a umido. L'applicazione del modello è finalizzata anche alla dimostrazione di tale tesi. I casi studio fanno parte del centro di ricerca scientifica Biogem, nell'area rurale del comune di Ariano Irpino (Avellino Italia). Biogem occupa una superficie complessiva di 33mila metri quadrati (di cui 8.200 coperti). Vi insistono laboratori per la ricerca biomedica, servizi, un edificio polifunzionale e una palazzina tecnologica per impianti. Nello specifico, ai fini del presente studio, è stato analizzato l'edificio polifunzionale e una stecca dei laboratori di ricerca.



Figura 3. Centro di ricerca Biogem (vista aerea)

## Descrizione dei casi Studio

### Edificio Polifunzionale

L'edificio, a pianta ottagonale, è situato all'interno della corte delimitata dagli edifici del centro di ricerca ed è distribuito su due livelli accessibili al pubblico, con un vol-

ume tecnico interrato, destinato a contenere tutte le apparecchiature a servizio della climatizzazione.



**Figure 4-5.** Edificio polifunzionale: veduta dall'alto / veduta esterna

Ad esclusione delle strutture di fondazione, in opera, tutte le altre opere sono state realizzate in officina ed assemblate in opera. L'isolamento e la protezione al fuoco della copertura sono ottenuti mediante pannelli coibenti di spessore 100 mm, classe di reazione al fuoco REI 120. Il pannello è in acciaio preverniciato su entrambi i lati; isolamento termico in lana di roccia inorganica, biosolubile, e di composizione basaltica. Sono installati isolatori sismici al fine di ridurre le accelerazioni sulla struttura, e sulle parti portate, per effetto delle azioni orizzontali. L'involucro vetrato è a doppia pelle, con vetro esterno stratificato da 20 mm con ancoraggio a ragno e vetro interno a doppia camera a ridotta trasmittanza, stratificato e temperato. Le caratteristiche acustiche della vetrata consentono un abbattimento di circa 33 dB. Un sistema a serra bioclimatica, tra i due vetri dell'involucro, garantisce la regolazione del microclima interno. Nel locale tecnico al piano interrato è presente un impianto di ventilazione meccanica per il trattamento dell'aria interna. La gestione domotizzata degli impianti tecnologici consente una notevole riduzione dei costi di gestione e manutenzione.

### Edificio Laboratori

Il corridoio centrale disimpegna dodici unità-laboratorio di circa 85 metri quadrati ciascuna. Dal lato opposto al corridoio, che si affaccia con ampie vetrate sulla corte interna, vi sono locali di circa 20 m<sup>2</sup> ciascuno, per la collocazione di eventuali funzioni che si rendesse necessario allocare in seguito. In corrispondenza delle testate dell'edificio sono collocati dei moduli speciali con i servizi comuni: deposito radioattivo e officina da un lato, due camere cellule, camera fredda e ulteriore deposito per materiale radioattivo dall'altro. Ai fini del presente lavoro è stata analizzata una stecca laboratori contenente 4 unità-laboratorio e 2 moduli speciali.





**Figure 6-7.** Vista dall'alto edificio laboratori / veduta interna

L'edificio è realizzato con struttura portante in c.a., fondazioni su pali, solai "predalles", copertura in travi prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso, a capriata rovescia, realizzando un tetto ad unica falda inclinato verso l'interno della corte. Le tamponature esterne sono in blocchi alveolari.



**Figure 8-9.** Vedute esterne edificio laboratori

Le unità-laboratorio hanno pareti interne in pannelli in cartongesso intonacati con resine epossidiche, con intercapedini per il passaggio impianti. All'interno sono state utilizzate le stesse tecnologie dei laboratori (linoleum, murature in blocchi ecc.). Nei blocchi angolari, tra la copertura in acciaio e i vani sottostanti, è stato realizzato un solaio intermedio che accoglie le macchine frigorifere per il funzionamento delle attrezzature. Per questi particolari ambienti dovranno essere utilizzate anche porte di tipo particolare, in acciaio zincato. L'impianto di climatizzazione è del tipo a ventilazione meccanica con recupero del calore. Il consumo di energia elettrica è in parte compensato da impianto fotovoltaico. Anche in questo edificio, l'impianto di rivelazione incendi, dimensionato in ossequio alle prescrizioni delle norme UNI 9795, UNI-EN 54, è del tipo interattivo ad indirizzamento individuale con circuiti di collegamento dei rivelatori in campo ad anello. Sulla base delle caratteristiche tecnologiche e costruttive dei casi studio selezionati, si è proceduto all'applicazione del modello relativo ai CAM, per quanto riguarda l'ambito "Edificio" e "Componenti edilizi", analizzando le voci degli indicatori e moltiplicando la media dei pesi per gli opportuni coefficienti di soddisfazione. Viene così calcolato il punteggio relativo ad ogni indicatore ed infine dalla sommatoria di tutti i punteggi si ottiene il punteggio complessivo dell'edificio oggetto di studio. Analogamente, l'applicazione dei casi stu-

dio al modello relativo alle fasi del ciclo di vita, moltiplicando il peso degli indicatori per gli opportuni coefficienti di soddisfazione. Si calcola così il punteggio di ogni indicatore per ogni fase del ciclo di vita. La sommatoria di tutti i punteggi restituisce il punteggio relativo all'edificio oggetto di studio per ogni fase del ciclo di vita.

## RISULTATI E DISCUSSIONI

Dall'applicazione dei modelli si evince che l'Edificio Polifunzionale supera la soglia limite in entrambi i modelli raggiungendo la classe 2 di resilienza (punteggi tra 60 e 69), mentre l'Edificio Laboratori presenta un punteggio inferiore rispetto alla soglia.

Edificio Polifunzionale	Modello CAM	Modello BLC				
		Fase di Produzione A1-A3	Fase di Costruzione A4-A5	Fase di Esercizio B1-B7	Fase di fine vita C1-C4	Benefici oltre il sistema D
	Sistema Edificio					
	Sistema Componenti edilizi					
Sommatoria Indicatori	65,88	60,38	62,05	59,55	62,57	59,51
Fattore di Resilienza	66	60	62	60	63	60

**Tabella 3.** Tabella riassuntiva dei risultati dell'Edificio Polifunzionale

Edificio Laboratori	Modello CAM	Modello BLC				
		Fase di Produzione A1-A3	Fase di Costruzione A4-A5	Fase di Esercizio B1-B7	Fase di fine vita C1-C4	Benefici oltre il sistema D
	Sistema Edificio					
	Sistema Componenti edilizi					
Sommatoria Indicatori	39,92	36,18	39,32	38,64	39,68	34,82
Fattore di Resilienza	40	36	39	39	40	35

**Tabella 4.** Tabella riassuntiva dei risultati dell'Edificio Laboratori

Dai risultati si evince che il primo caso studio (edificio polifunzionale) si colloca in fascia 2, mentre il secondo caso studio (edificio laboratori) non supera la soglia della fascia minima. È opportuno, pertanto, intervenire mediante azioni che comportino il miglioramento dei parametri critici, al fine di ottenere un miglioramento della classe

di resilienza conseguita, a valle dell'applicazione del modello allo stato di fatto degli edifici. Per approfondire l'analisi dei risultati ottenuti sono stati presi in considerazione gli indicatori che, nell'applicazione del modello ai due casi studio, hanno riportato dissonanze maggiori e sono stati suddivisi in due categorie:

- Caratteristiche intrinseche riguardanti il sistema costruttivo e tecnologico
- Caratteristiche estrinseche riguardanti il rapporto tra l'edificio e l'ambiente

<b>Caratteristiche intrinseche riguardanti il sistema costruttivo e tecnologico</b>	<b>Edificio Polifunzionale</b>	<b>Edificio Laboratori</b>
Strutture di elevazione modulari [art. 2.3.7 CAM]	1	0,33
Disassemblaggio e demolizione selettiva [art. 2.3.7 CAM]	1	0
Materiali con certificazione DAP/EPD (Dichiarazione Ambientale di Prodotto) [UNI EN 15804 e ISO 14025]	1	0
Strutture di elevazione per progettazione aerodinamica	1	0
Collegamenti verticali esterni (scale antincendio)	1	0
Sistemi di monitoraggio strutturale	1	0
<b>Caratteristiche intrinseche riguardanti il rapporto tra l'edificio e l'ambiente</b>	<b>Edificio Polifunzionale</b>	<b>Edificio Laboratori</b>
Piano di manutenzione programmata dell'opera [art. 2.3.6 CAM]	1	0
Dispositivi di protezione solare [art. 2.3.5.3 CAM]	1	0
Sistemi di ventilazione naturale [art. 2.3.5.2 CAM]	1	0
Chiusure esterne opache ad alta riflettanza [art. 2.2.6 CAM]	1	0
Chiusure esterne trasparenti basso emissive [art. 2.3.5.5 CAM]	1	0
Lean Construction (costruzione snella)	1	0

**Tabella 5.** Indicatori con contributo maggiore nella determinazione del punteggio

Questi indicatori risultano essere tra quelli che hanno contribuito in maniera sostanziale alla determinazione del punteggio e non a caso la maggior parte di questi indicatori fanno riferimento a specifiche tecniche dei CAM riguardo: riduzione dell'impatto sul microclima e dell'inquinamento atmosferico; qualità ambientale interna; piano di manutenzione dell'opera; fine vita.

## CONCLUSION

La ricerca inteso sviluppare un metodo di valutazione quali-quantitativo per la determinazione del fattore di resilienza degli edifici. La metodologia è stata sviluppata me-

dianche un approccio olistico, che prevede l'integrazione di diversi livelli di indicatori: quelli caratterizzanti la sostenibilità, gli obiettivi 11-12-13 dell'Agenda 2030, fino agli indicatori di tipo applicativo/attuativo, coerenti con le specifiche tecniche dei CAM italiani, nonché le fasi del ciclo di vita degli edifici.

I risultati ottenuti evidenziano le principali linee guida progettuali:

- A.** Linee guida relative al sistema costruttivo e tecnologico: -sistema costruttivo modulare; -opportunità di disassemblaggio e demolizione selettiva; -materiali con certificazione dap/epd (dichiarazione ambientale di prodotto) ; -caratteristiche morfologiche e formali aerodinamiche; -ridondanza di collegamenti verticali esterni; -sistemi di monitoraggio strutturale.
- B.** Linee guida relative al rapporto tra l'edificio e l'ambiente: -piano di manutenzione predittiva e programmata dell'opera; -dispositivi di protezione solare; -sistemi di ventilazione naturale; -chiusure esterne opache ad elevata riflettanza; -chiusure esterne trasparenti basso emissive; -Lean Construction (costruzione snella).

Le linee guida evidenziano la predisposizione alla progettazione resiliente dei sistemi a secco, le cui caratteristiche tecnologiche consentono facilità di monitoraggio/manutenzione degli elementi architettonici, flessibilità rispetto ad adeguamenti normativi e/o decadenza prestazionale. Il lavoro può innescare lo sviluppo di un quadro normativo finalizzato alla elaborazione di un protocollo di resilienza degli edifici. Inoltre, nell'ambito degli appalti pubblici, la valutazione della resilienza potrebbe essere considerata un ulteriore parametro di sostenibilità che possa determinare l'attribuzione di punteggi premianti in sede di affidamento dell'appalto.

L'implementazione della ricerca riguarderà la definizione di azioni migliorative per il miglioramento della classe di resilienza degli edifici esistenti.

- the type and characteristics of the structure being addressed.
- the activities carried out in the facility to verify whether and how they affected the quality characteristics of the materials being demolished.
- characteristics of the site and the surrounding area (e.g., access spaces, proximity of houses and other buildings, possibility of handling and storage on site, etc.).

- the presence of possible criticalities caused, for example, by the presence of asbestos, underground tanks, pipelines, installations, abandoned hazardous and non-hazardous waste, etc.

## REFERENCES

- Agenzia 2030 per lo sviluppo sostenibile**- Agenzia per la Coesione Territoriale. Sito web: <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>
- Berardi, U.; Tronchin, L.; Manfren, M.; Nastasi, B.** On the Effects of Variation of Thermal Conductivity in Buildings in the Italian Construction Sector. *Energies* 2018, 11(4), 872; <https://doi.org/10.3390/en11040872>. 2018
- Besana, D.; Greco, A.; Morandotti, M.** Resilience and sustainability for the reuse of cultural heritage. *TECHNE*, Vol.15. 2018
- Blandon, B.; Palmero, L.; Di Ruocco, G.** The Revaluation of Uninhabited Popular Patrimony under Environmental and Sustainability Parameters. *Sustainability* 2020, 12(14), 5629; <https://doi.org/10.3390/su12145629>. 2020
- Cellura, T.; Cellura, L.** Il nuovo manuale dei Criteri Minimi Ambientali in Edilizia, Maggioli Editore. Italia, 2018
- Chu-Tsen, L.** Study on Exterior Wall Tile Degradation Conditions of High-rise Buildings in Taoyuan City. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 17(3):549-556. 2018
- Di Maria, A.; Eyckmans, J.; Van Acker, K.** Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. *Waste Management*, Vol. 75, May 2018, Pages 3-21. 2018
- Di Ruocco, G.; Melella, R.** Evaluation of environmental sustainability threshold of “humid” and “dry” building systems, for reduction of embodied carbon (CO<sub>2</sub>). *VITRUVIO*- DOI: <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2018.11020>. 2018
- Kim, R.; Lim, M.K.; Roh, S.; Park, W.J.** Analysis of the Characteristics of Environmental Impacts ... of Apartment Buildings in South Korea. *Sustainability* 2021, 13(5), 2898; <https://doi.org/10.3390/su13052898>. 2021
- Lacasse M.A.; Gaur A.;** Moore T.V. Durability and Climate Change—Implications for Service Life Prediction and the Maintainability of Buildings. *Buildings* 2020, 10(3), 53; <https://doi.org/10.3390/buildings10030053> . 2020

**Sicignano, E.; Di Ruocco, G.; Melella, R.** Mitigation Strategies for Reduction of Embodied Energy and Carbon, in the Construction Systems ... Sustainability 2019, 11(14), 3806; <https://doi.org/10.3390/su11143806>. 2019

**Watkins, J.; Sunjka, B.P.** Combining green building and lean construction to achieve more sustainable development in South Africa. South African. Journal of Industrial Engineering, November 2020, Vol. 31(3) Special Edition, pp 133-143.

# **EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE DEFECTOS INTERNOS DE SOLDADURA MEDIANTE TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS. APLICACIÓN AL CONTROL DE ESTRUCTURAS METÁLICAS**

**Jorge Martínez Alcón<sup>1</sup>, Manuel Pascual Guillamón<sup>1</sup>, Lorenzo Solano García<sup>2</sup>, Francisco Javier Cárcel Carrasco<sup>1</sup>, Fidel Salas Vicente<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Instituto de Tecnología Materiales, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, España*

*<sup>2</sup>Instituto de Diseño y Fabricación, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, España*

## **ABSTRACT**

The present paper proposes a working method for determining the height of defects in the welds of metal constructions using radiographic techniques. First, the problems associated with the detection of defects in metal welding are briefly exposed, as well as some of the techniques commonly used. Next, the fundamentals and procedure of the proposed method are described. All this is accompanied by a practical case as an example and experimental validation, to finish with the conclusions and the advantages derived from the application of the method to the control and execution on site of welded joints.

**Keywords:** Radiological inspection, defects metal welding, construction, welded structures.

## **INTRODUCTION**

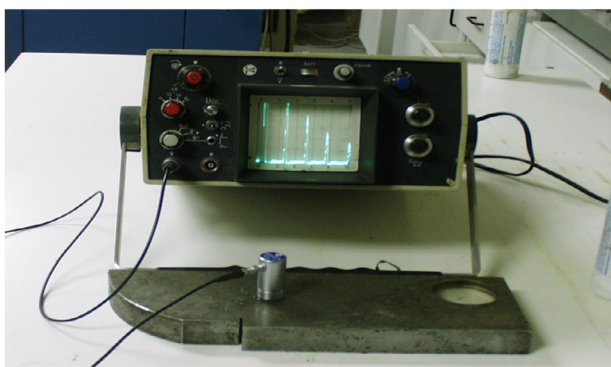
Durante la ejecución de las uniones soldadas realizadas sobre estructuras metálicas se recurre habitualmente a la inspección visual, mediante la cual es factible controlar eficazmente gran parte del proceso. Adicionalmente, también se precisan otras técnicas de inspección capaces de determinar y evaluar posibles defectos internos presentes en una soldadura. Dichos defectos, según la normativa vigente, pueden ser determinantes para la aceptación o rechazo de las soldaduras efectuadas. De ahí la importancia de la fiabilidad en los métodos de detección que, también deben ser viables técnica y económicamente para facilitar y extender su utilización.

## **Ensayos no destructivos**

Por su naturaleza (elementos únicos o series cortas de productos de coste elevado), en la fabricación de estructuras metálicas se suele recurrir a técnicas no invasivas para el control de calidad en las uniones soldadas. Entre estas técnicas, que se identifican genéricamente como ensayos no destructivos (END), destacan las siguientes: inspección por líquidos penetrantes, inspección por partículas magnéticas, inspección radiográfica e inspección por ultrasonidos. Mediante ellas, es factible asegurar con certeza que una estructura ha sido correctamente soldada y que no presenta defectos internos como poros, inclusiones, faltas de fusión y faltas de penetración; siendo la inspección por ultrasonidos y la inspección radiográfica las que ofrecen mayor fiabilidad (Becker & Balle, 2021).

### **Inspección por ultrasonidos**

Esta técnica se basa en la transmisión de ondas sónicas a través de un medio físico homogéneo, como podrían ser las soldaduras presentes en una estructura metálica. Las ondas son generadas por un transductor de material piezoeléctrico que, al recibir impulsos eléctricos, vibra a una frecuencia entre 0.5 y 25 MHz. Al poner en contacto el transductor con el elemento a inspeccionar, la vibración se propaga a través del mismo a una determinada velocidad (5930 m/s en el caso del acero y ondas longitudinales). Cuando las ondas sónicas se encuentran con un medio no homogéneo o una discontinuidad, son reflejadas y captadas de nuevo por el transductor, lo que se visualiza en forma de picos sobre la representación gráfica mostrada en la pantalla o el dispositivo de registro del equipo de medida (Figura 1). Cada pico indica la presencia de una discontinuidad (defecto).



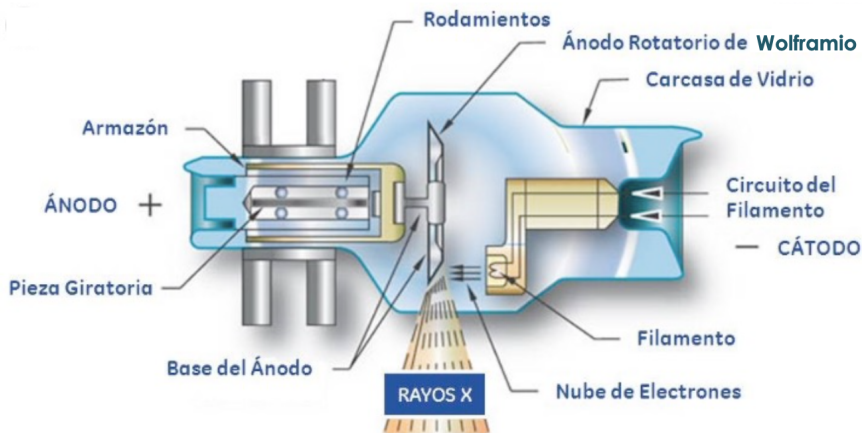
**Figura 1.** Picos correspondientes a sucesivas reflexiones captadas por el equipo de inspección por ultrasonidos, que indican la existencia de posibles defectos en la pieza en contacto con el transductor.



Esta técnica puede aplicarse a cualquier tipo de material excepto a los porosos, susceptibles de generar múltiples reflexiones que serían interpretadas como un falso positivo en la detección de defectos. Además, para la correcta interpretación de las reflexiones captadas por el equipo se precisa de una formación específica y una notable experiencia (Zhang *et al.*, 2019; Yadav *et al.*, 2021).

## Inspección radiográfica

El fundamento de la inspección radiográfica se puede explicar con la ayuda de la Figura 2. En ella se muestra la representación esquemática de un equipo de Rayos X (RX) y pueden apreciarse sus componentes principales. El cátodo es un filamento de Wolframio unido a un circuito por el que se hace pasar una corriente eléctrica de entre 1 y 10 mA que provoca la incandescencia del filamento, formándose una nube de electrones que son proyectados hacia el ánodo a elevada velocidad debido a la diferencia de potencial generada por un transformador de hasta 1000 kV.



**Figura 2.** Esquema de un generador de Rayos X.

Aproximadamente, el 98% de la energía de los electrones que inciden sobre el ánodo se transforma en calor; mientras que el 2% de la energía restante origina un flujo de fotones de corta longitud de onda que son colimados dando lugar al haz de RX. Cuanto menor es la longitud de onda de la radiación más penetrante será esta. Es decir, la capacidad de penetración de los RX está determinada por el potencial generado en el transformador de la unidad (Figura 3). Por otra parte, la penetración de la radiación también dependerá de la capacidad de atenuación, que aumenta con la densidad y el número atómico del material. Por ejemplo, los siguientes materiales se han enumerado según orden creciente de su capacidad de atenuación: madera, plástico, aluminio, hierro, cobre, latón, bronce, plata, plomo y mercurio.



**Figura 3.** Equipo de RX refrigerado por aire.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) de los fotones emitidos desde el cátodo viene dada por la Expresión 1, donde  $\text{Å} = 10^{-10}$  metros.

$$\lambda = \frac{12400}{V} \text{Å} \quad (\text{Expresión 1})$$

Las técnicas de inspección radiográfica tienen la ventaja, respecto a la inspección por ultrasonidos, de que sus resultados son fácilmente interpretables: en una radiografía se aprecia a simple vista la forma de la irregularidad o el defecto detectado. Por contra, tiene las limitaciones propias de una imagen bidimensional; en la cual, por ejemplo, no puede apreciarse la dimensión vertical (altura) del defecto detectado en una unión soldada. No obstante, la estimación de la magnitud del defecto en tres dimensiones (estimación de la altura del defecto) puede realizarse mediante el análisis que se presenta más adelante (Ramirez, 2013) y que forma parte del método propuesto.

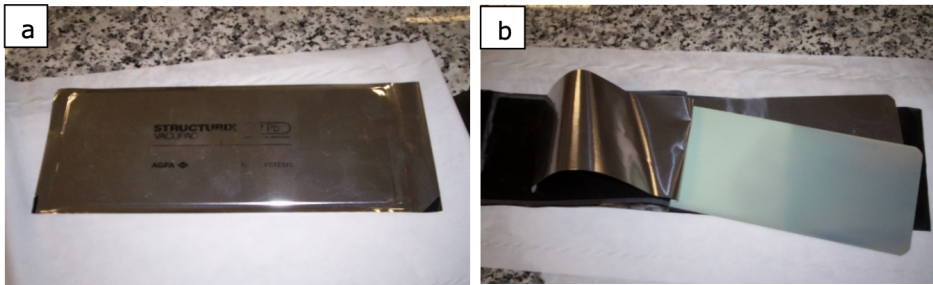
Además de la inspección radiográfica convencional, para casos de mayor responsabilidad pueden utilizarse otras técnicas de radiación. Por ejemplo, las que emplean fuentes isotópicas como los rayos Gamma (Gammagrafía industrial).

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Lo expuesto hasta ahora justifica la conveniencia de disponer de un método fiable, que proporcione resultados fácilmente interpretables y que permita una caracterización tridimensional de los defectos detectados. Todo ello se puede conseguir complementando la inspección radiográfica convencional con una técnica capaz de proporcionar una estimación de la altura de los defectos. En esto consiste básicamente el método que se presenta a continuación, acompañado de los elementos esenciales para el mismo, como película radiográfica, indicadores de calidad y densitómetro.

## Película radiográfica

Una película radiográfica clásica está compuesta por un chasis hermético en cuyo interior hay una fina placa de plástico transparente recubierta en toda su superficie por una emulsión de bromuro de plata. Esta placa, a su vez, se sitúa entre dos láminas de plomo de una décima de espesor que evitan la radiación difusa incidente sobre la película y mejoran la calidad de la radiografía (Figura 4). La película radiográfica debe situarse lo más próximo posible a la pieza a irradiar, evitando con ello la aparición de imágenes difusas. Cuando se inspecciona una unión soldada, la película se sitúa en la cara opuesta de la pieza a la zona de la soldadura y unida a dicha superficie. En la cara donde se ha efectuado la soldadura se colocan los denominados indicadores de calidad o ICI.



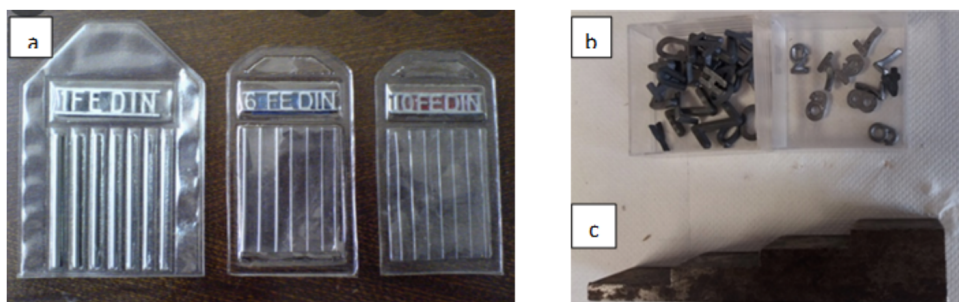
**Figura 4.** (a) Chasis de película de RX. (b) Componentes interiores de la película radiográfica.

## Indicadores de calidad en uniones soldadas

Los indicadores de calidad están constituidos por tres juegos de hilos, cada uno con siete hilos (Figura 5); y existen indicadores de este tipo para distintos materiales, como acero, cobre y aluminio (Figura 6). En ellos, el sentido creciente de la numeración indica una disminución del diámetro de los hilos: en el primer juego la numeración va de 1 a 7, que corresponde a diámetros de hilo entre 3.2 mm y 0.8 mm); de 6 al 12 en el segundo (diámetros de 1 mm a 0.25 mm); y de 10 a 16 en el tercero (diámetros de 0.4 mm a 0.1 mm). Como puede apreciarse, hay dos hilos del mismo diámetro en cada uno de los juegos que van consecutivos.



**Figura 5.** Esquema de un indicador de calidad, e indicador de calidad colocado sobre una unión soldada.



**Figura 6.** (a) Juego de índices de calidad. (b) Letras y números de plomo. (c) Índices de calidad de escalerilla.

Al irradiar la muestra, la radiación la atraviesa e incide sobre la película radiográfica; donde la radiación difusa es eliminada por las láminas de plomo y la radiación nítida incide sobre la placa de plástico impregnada de la emulsión de bromuro de plata. Esta radiación (ionizante) ioniza la emulsión liberando el bromo del compuesto inicial que se visualizará en color negro al revelar la radiografía. Si la película ha estado muy poco tiempo sometida a la radiación y la ionización del bromuro de plata ha sido insuficiente, la película revelada será transparente y, por tanto, inservible; en este caso, la densidad radiográfica es de 0.5 o menor. Si la película ha estado mucho tiempo irradiada, al revelarla, toda la plata se habrá ennegrecido y tampoco podrá percibirse nada; en este caso, la densidad radiográfica es de 4 o mayor. En resumen, la densidad radiográfica deberá estar comprendida entre 0.5 y 4.

### Densidad radiográfica y densitómetros

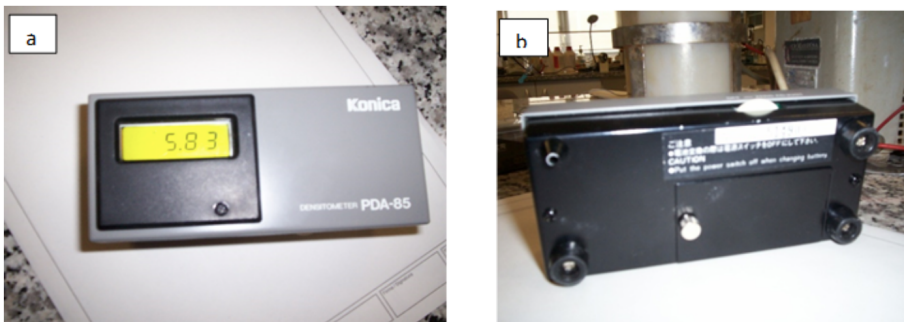
La densidad radiográfica está asociada al grado de ennegrecimiento observado en la placa revelada tras ser irradiada, y se puede cuantificar mediante la Expresión 2.

$$\log \frac{L_0}{L_{final}} \quad (\text{Expresión 2})$$

$L_0$  = Luminosidad inicial

$L_{final}$  = Luminosidad final

Los densitómetros, como el mostrado en la Figura 7, permiten determinar la densidad radiográfica. Para ello, deben ser calibrados con la ayuda de una fuente luminosa de gran intensidad y, posteriormente, las medidas se realizarán colocando la zona prevista en el aparato para la entrada de luz sobre la radiografía.



**Figura 7.** (a) Vista anterior del densitómetro para su calibración o puesta a cero. (b) Vista posterior del densitómetro, donde se aprecia la zona de entrada de la luz en el apoyo superior izquierdo.

### Caso práctico: verificación de una soldadura mediante el método propuesto

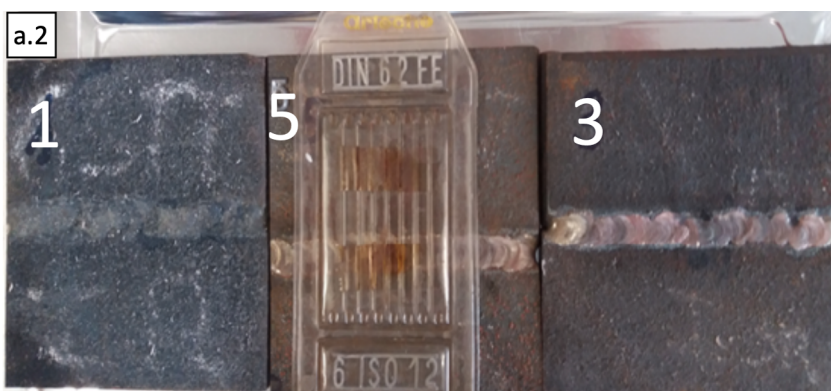
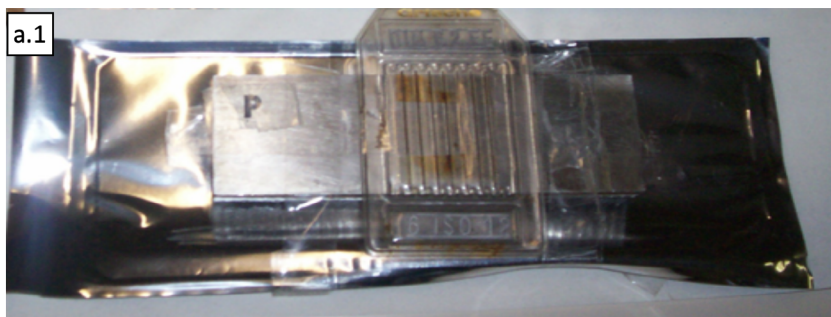
El ejemplo y la validación experimental del método se ha basado en la verificación radiográfica de uniones soldadas (Figura 8) realizadas sobre chapas de fundición nodular de 6 mm de espesor, con varilla de aporte ER 316L, a tres pasadas, mediante procedimiento TIG y con preparación de bordes en bisel a 30° (Alcón *et al.*, 2021; Hangai *et al.*, 2021; Cárcel-Carrasco *et al.*, 2019; Cembrero *et al.*, 2017; Pascual *et al.*, 2008).



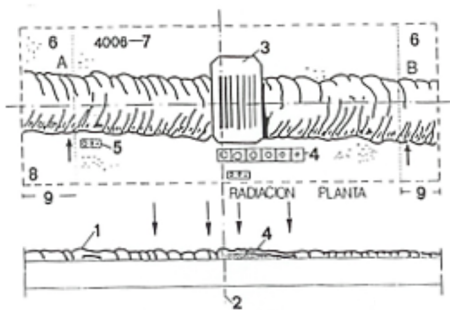
**Figura 8.** Uniones soldadas sobre chapas de fundición nodular.



La preparación de las muestras a irradiar, descrita en el apartado anterior, se ilustra en la Figura 9, donde se aprecian la utilización de la película radiográfica y de los ICI (Manterola Armisén & Martínez Cutillas, 2016).

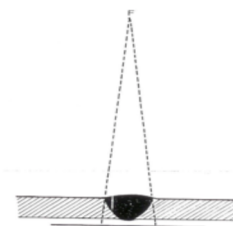


**b) PREPARACIÓN DE LA SOLDADURA A TOPE PARA RADIOGRAFIAR**



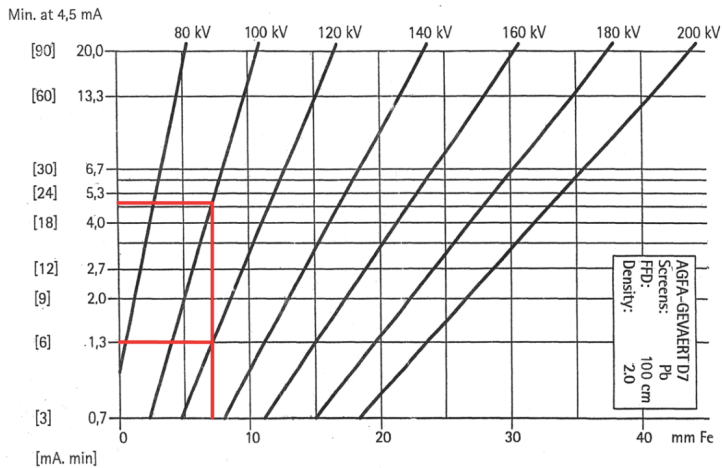
1. Cordón de soldadura
2. Eje transversal de la imagen
3. ICI de los hilos
4. ICI de gradía
5. ICI de plaqueta ASME
6. Extremos de la imagen útil
7. Extremos de la radiografía
8. Flechas fin imagen útil
9. Solape en radiografías contiguas

**TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS  
SOLDADURA A TOPE**



**Figura 9.** Fotografías (a) y representación esquemática (b) de la preparación de una pieza a radiografiar con indicador de calidad de hilos (ICI) e identificador con letra o número de plomo, para la verificación por RX en soldadura a tope.

Para determinar los parámetros necesarios en la irradiación de la muestra y obtener la imagen radiográfica en condiciones óptimas, se utiliza la gráfica de exposiciones suministrada por el fabricante (Figura 10). En el recuadro vertical interior que aparece en la figura se indica el tipo de película, la intensidad en mA, la distancia de irradiación y la densidad radiográfica que se obtendrá.



**Figura 10.** Gráfica de exposiciones del equipo de RX, donde se indican el tiempo (minutos) y el potencial de exposición (kV) para un espesor de la muestra (mm) y unas referencias determinadas (recuadro).

Aunque las piezas a irradiar tienen 6 mm de espesor, se considera una dimensión de 7 mm en la unión soldada. Desde ese punto (7 mm) se traza una perpendicular por el eje de abscisas hasta intersectar con una de las líneas inclinadas que representa el potencial de irradiación en kV. En este caso, podría ser la de 100 kV o la de 120 kV. Si se seleccionan 120 kV, la exposición en mA.min/m<sup>2</sup> será de [6] y el tiempo de exposición será de 1.3 minutos, para una distancia de 1 metro y una intensidad de filamento de 4.5 mA; obteniéndose con estos parámetros una densidad de 2.

La exposición radiográfica viene, que definida por la Expresión 3, es una medida de la cantidad de radiación recibida por la muestra inspeccionada.

$$Ex = \frac{i \cdot t}{d^2} = \frac{A \cdot \text{min}}{m^2} \text{ (Expresión 3)}$$



**Figura 11.** Radiografía obtenida en el examen radiográfico realizado sobre las muestras de la Figura 8.

En la Figura 11 se muestra el resultado obtenido tras revelar la película radiográfica, donde pueden observarse variaciones de tono en la densidad radiográfica, que se deben a las variaciones locales de espesor en distintas zonas de las muestras.

La puesta a cero del densitómetro (Figura 12) se ha realizado como se explicó en el apartado 3.3, y con ella se obtiene L0, o condición inicial para luminosidad (Cely *et al.*, 2018; Fernández Torres *et al.*, 2011).



**Figura 12.** Puesta a cero o calibración del densitómetro.

A continuación, se obtiene la lectura de la densidad radiográfica en la zona de la radiografía correspondiente a la soldadura (Figura 13).

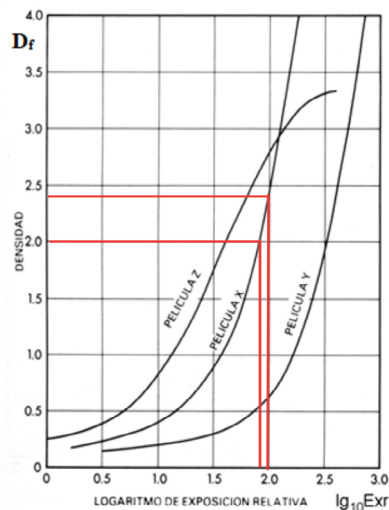




**Figura 13.** Lectura de la densidad radiográfica en la unión soldada.

Como puede observarse, la radiografía está correctamente realizada ya que la densidad radiográfica de la unión soldada coincide con la densidad para la que se ha irradiado según las características de la gráfica de exposiciones (Figura 10), de donde se ha obtenido el valor de los parámetros a utilizar.

Para determinar la altura de los defectos que se aprecian en la Figura 11 (las zonas más oscuras en el cordón de soldadura) se utiliza la gráfica de la Figura 14, donde se indica el valor de la densidad radiográfica (en ordenadas) en función del logaritmo decimal de la densidad relativa (en abscisas) y donde las líneas inclinadas corresponden al tipo de película radiográfica empleada (X, Y o Z).



**Figura 14.** Gráfica de densidad radiográfica.

La Figura 15 muestra la lectura correspondiente a uno de los defectos que se aprecian en la Figura 11.



Figura 15.- Lectura de la densidad radiográfica en uno de los defectos de la unión soldada.

En función de la exposición y de las densidades, aplicando la Expresión 4, se podrá obtener la altura del defecto.

$$\log \frac{Ex_2}{Ex_1} = f(D_2) - f(D_1) \quad (\text{Expresión 4})$$

En este caso, para una exposición de  $6 \text{ mA}\cdot\text{min}/\text{m}^2$  a 120 kV y con un tiempo de irradiación de 1.3 minutos, según la gráfica de exposiciones (Figura 10) le corresponde una densidad radiográfica de 2. En la gráfica de la Figura 14 se traza una horizontal desde este punto (densidad 2) hasta la línea inclinada que corresponde a la película utilizada (D7Pb) y desde la intersección con ésta, una vertical que proporcionará el valor de la función de densidad (1.87).

Pero, la lectura del densitómetro en el defecto es de 2.44 (Figura 15). Por tanto, según la gráfica de la Figura 14, a esta densidad de 2.44 le corresponderá una función de densidad de 2.

Considerando todo lo anterior, para obtener el valor del espesor en la zona inspeccionada (defecto) se tiene que responder a la siguiente pregunta: ¿Qué exposición ( $Ex_1$ ) se debería aplicar en la zona inspeccionada para que la densidad sea 2, sabiendo que para la exposición de  $6 \text{ mA}\cdot\text{min}/\text{m}^2$  ( $Ex_2$ ) se ha obtenido una densidad de 2.44?

Sustituyendo estos datos en la Expresión 4 se obtendrá:

$$\log \frac{6 \text{ mA}\cdot\text{min}/\text{m}^2}{Ex_1} = f(2,44) - f(2) = 2 - 1,87 = 0,23$$

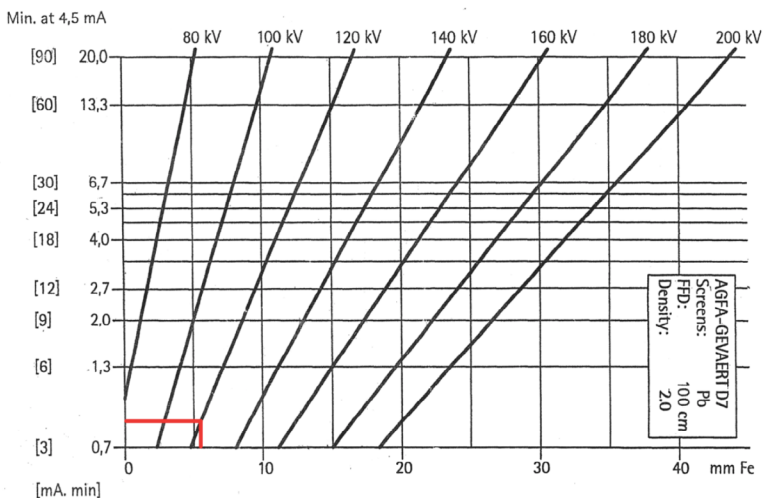
De donde se puede obtener el valor de  $Ex_1$ :

$$\frac{6 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{m}^2}{Ex_1} = 10^{0,23}$$

$$Ex_1 = \frac{6 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{m}^2}{10^{0,23}} = 3,53 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{m}^2$$

Ahora, en la gráfica de exposiciones (Figura 16) se traza una horizontal por el valor de 3.53 mA. min/m<sup>2</sup> hasta intersectar con la línea de 120 kV, el potencial utilizado, y, desde el punto de intersección, se traza la vertical hasta el eje de abscisas, donde se obtiene el valor del espesor correspondiente (aproximadamente 5.3 mm).

Por lo tanto, la altura estimada del defecto será de 1.7 mm: la diferencia entre el espesor considerado inicialmente en la zona de la unión soldada (7 mm) y el espesor real, o consistente con los datos obtenidos en la inspección radiográfica (5.3 mm).



**Figura 16.** Valor en la gráfica del espesor para la densidad 2.44.

## CONCLUSION

Tal y como se ha demostrado para el caso de uniones soldadas, el método propuesto permite realizar un dimensionado tridimensional aproximado de las discontinuidades (defectos) mediante la técnica de inspección radiográfica. El método es fiable y fácil de llevar a la práctica; los resultados, que son numéricos y muy simples, no conllevan problemas de interpretación; y no se precisa de un equipamiento adicional al necesario para efectuar una inspección radiográfica convencional.

Por todo ello, se concluye que este método es de interés para la caracterización de defectos de soldadura en general y, particularmente, para las uniones soldadas presentes en la estructura metálica de cualquier tipo de construcción civil. Ya sea para determinar el grado de cumplimiento de la normativa de seguridad que les aplica y/o para valorar el riesgo asociado a su estado y nivel de defectos durante las operaciones de construcción, revisión, mantenimiento, demolición o desescombro.

## REFERENCES

- Alcón, J. M., Guillamón, M. P., García, L. S., & Vicente, F. S.** (2021). Mechanical and microstructural analysis in the welding of ductile cast iron by TIG procedure, with different filler materials and air cooling. *Revista de Metalurgia*, 57(2), 1–7. <https://doi.org/10.3989/REVMETALM.194>
- Becker, M., & Balle, F.** (2021). Multi-spot ultrasonic welding of aluminum to steel sheets: Process and fracture analysis. *Metals*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/met11050779>
- Cárcel-Carrasco, F. J., Pascual-Guillamón, M., Salas-Vicente, F., & Donderis-Quiles, V.** (2019). Influence of heat treatment in the microstructure of a joint of nodular graphite cast iron when using the tungsten inert gas welding process with perlitic grey cast iron rods as filler material. *Metals*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/met9010048>
- Cely, M., Sotomayor, V., Monar, W., & Castro, P.** (2018). Identificación de defectos en soldaduras de acero estructural ASTM A36 mediante ensayos no destructivos según el código AWS D1.1. *Revistapuce*. <https://doi.org/10.26807/revpuce.v0i106.131>
- Cembrero, J., Salas, F., Shayan, M., Reserach, S., Hoshino, K., Ebrahimnia, M., & Pascual, M.** (2017). Investigación del comportamiento de uniones soldadas de fundición nodular. 45(2009), 2009–2011.
- Fernández Torres, M. J., Ortiz Colmenares, L. R., Muñoz Jerez, E., & Quintero Ortiz, L. A.** (2011). Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros [Information system for radiographic recognition of steel welding defects]. *Ventana Informatica*. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.24.158.2011>

- Hangai, Y., Kawato, D., Ohashi, M., Ando, M., Ogura, T., Morisada, Y., Fujii, H., Kamakoshi, Y., Mitsugi, H., & Amagai, K.** (2021). X-ray radiography inspection of pores of thin aluminum foam during press forming immediately after foaming. *Metals*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/met11081226>
- Manterola Armisen, J., & Martínez Cutillas, A.** (2016). Concepción general del proyecto del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz. *Hormigón y Acero*, 67(278–279), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2016.02.002>
- Pascual, M., Cembrero, J., Salas, F., & Martínez, M. P.** (2008). Analysis of the weldability of ductile iron. *Materials Letters*, 62(8–9), 1359–1362. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.08.070>
- Ramirez Gómez Francisco.** *Introducción a los Métodos de Ensayos No Destructivos de Control de Calidad de Materiales.* Librería Azacán, 2013
- Yadav, K., Yadav, S., & Dubey, P. K.** (2021). A Comparative Study of Ultrasonic Contact and Immersion Method for Dimensional Measurements. *Mapan Journal of Metrology Society of India*. <https://doi.org/10.1007/s12647-021-00452-2>



# **COLUMNA ENSAMBLADA A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE MADERA RECICLADA, EN EL CONTEXTO DE BOGOTÁ, COLOMBIA**

**Blanca-Giménez, Vicente<sup>1</sup>, Ruiz-Hernández José Alcides<sup>2</sup>, Zambrano-Martínez Erwin<sup>3</sup>, Cárcel Carrasco, Javier<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Universitat Politècnica de València, Valencia, España, vblanca@csa.upv.es*

<sup>2</sup>*Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia, josealcides.ruiz@ugc.edu.co*

<sup>3</sup>*Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia, Erwin.zambrano@ugc.edu.co*

<sup>4</sup>*Universitat Politècnica de València, Valencia, España, fracarc1@csa.upv.es*

## **ABSTRACT**

This document raises the proposal to reuse the wood product of the pallets used for the transport and storage of cargo, based on the development of an assembled column as a solution for the construction of an ephemeral structure at the Café Magola Buendía site located in the center historic Bogota. The process is proposed from the selection of the material in the waste sales points, through its transformation into a column prototype and ending with its assembly in the final structure.

**Keywords:** recycled wood, assembled column, Patula pine, Radiata pine.

## **INTRODUCTION**

La disciplina de la arquitectura tiene una gran responsabilidad tanto en las afectaciones, que a partir del campo de la construcción, se generan para el planeta como de poder mitigar estas afectaciones. Tampoco puede estar al margen de los cambios que se están observando en la naturaleza y dado que son fenómenos de carácter global, las potenciales soluciones o alternativas para disminuirlos se vuelven asunto de claro interés.

Hoy día, desde números campos se plantea la sostenibilidad como la respuesta mas oportunidad para la solución a los problemas que se están experimentando en el contexto mundial y de este asunto no puede ser ajena la disciplina de la arquitectura. Es más, si se considera que esta profesión involucra un nivel de responsabilidad social alto se hace aún más necesario desarrollar planteamientos que ofrezcan alternativas constructivas a partir de los propios materiales que se convierten en desechos.

El trabajo que se presenta no solo parte de una reflexión particular sobre los elementos fundamentales de la arquitectura, la materialidad y una propuesta sobre el hábitat, sino que hace parte de un camino que se decidió recorrer en el campo de la investigación, buscando siempre los materiales que menor impacto causen en la solución del hábitat. Por lo anteriormente planteado, se tiene la oportunidad de proponer un modelo de columna ensamblada tipo macho y hembra a partir del reciclaje de madera, procedente de las estibas utilizadas para apilar la carga en diferentes procesos de almacenamiento y como parte del cumplimiento de su vida útil, en el caso de una ciudad como Bogotá, terminan en lugares destinados a la comercialización de deshechos. El modelo plantea una alternativa como una solución estructural para la construcción de elementos arquitectónicos de uno y dos pisos con parámetros normativos.

## **PAPER**

Es importante anotar que el reciclaje de material debe ser un ejercicio propio de la construcción responsablemente sostenible. Buscar que materiales considerados como residuos, se puedan rescatar y poner en valor con un segundo uso, es parte de la tarea que los investigadores deben cumplir para disminuir los efectos productidos por los deshechos generados no sólo en el campo de la construcción sino en la industria en general. Más aún si se tiene en cuenta que aspectos como la deforestación que en lugares como la Amazonía se convierten en factores de gran desequilibrio global. Usar la madera desechada de procesos industriales como el transporte y almacenamiento de carga, que aún puede reciclarse con una utilización constructiva es la intención que se plantea en este trabajo.

De otra parte, la propuesta se justifica si y solo si, el material utilizado, en este caso la madera reciclada de las estibas (pallets) cumple con los requerimientos técnicos para la elaboración de una columna, que al tratarse de un elemento que cumple funciones estructurales en la construcción también debe atender los requerimientos normativos mínimos dispuesto para ello, entiéndase la Norma Colombiana Sismorresistente NSR10.

### **El material**

A partir de las temáticas de investigación desarrolladas en el grupo de investigación Hábitat Tecnológico y Construcción de la Universidad La Gran Colombia y del proyecto: “Prototipo de vivienda-laboratorio en guadua, con criterios de diseño universal, en el campus La María municipio de Chía, como elemento evaluativo de



las condiciones arquitectónicas, ambientales y constructivas” se desarrolló un marco en madera para la elaboración de muros en bahareque. Para el montaje del marco se tenía en primera instancia la madera comercial conocida en el mercado como madera ordinaria de 2”X4” de sección. Sin embargo, durante este proceso, al visitar sitios que venden material de deshecho, con posibilidades de reutilización o se encontró la madera reciclada de las estibas (pallets de madera), este material presentaba como limitante el largo de la pieza de madera.



**Figure 1.** Sitio de venta de material de desecho de madera en Bogotá  
**Fuente :** Zambrano, E. (2018)

Conviene anotar que en Bogotá en la conocida economía “del rebusque”, sumado a la tendencia hacia el reciclaje de la basura y el material de desecho se han organizado múltiples empresas entorno de los materiales en desuso, por tanto respecto al tema de las estibas se encuentran algunos negocios que recogen el material lo disponen en los sitios de trabajo, estas estibas se desarman dando como resultado una variedad de productos como las tablas las cuales se comercializan como fondos para las camas, también se producen variadas dimensiones de maderas que tienen uso en el armado de muebles y finalmente los elementos de madera clasificada como residuos o recortes se venden en los restaurantes de la localidad como fuente de calor para los restaurantes.

Dentro del material organizado resultante del desarme de las estibas, se encontró un producto clasificado como repisa de sección 2 x 4 pulgadas y de 1.0 metro de largo o de 1.10 metro, esta repisa es el material de trabajo para la elaboración de la columna ensamblada en macho y hembra a partir de madera reciclada.

Es importante anotar, que la estiba es un elemento que se utiliza para el embalaje y transporte de mercancía y que en la mayoría de las veces se obtiene con la importación y exportación de materias primas para la industria o productos para la comercialización. Por lo anterior, el fabricante de estibas debe cumplir con estándares de

calidad internacional, esto quiere decir que el material empleado debe cumplir con normas de inocuidad entre otras.

En observaciones realizadas de manera aleatoria en 6 depositos visitados en Bogotá y Soacha (municipio cercano a Bogotá), se pudo comprobar que el 80% de la madera obtenida del reciclaje de las estibas es pino Pátula o pino Radiata, y que es un material debidamente inmunizado, pues de lo contrario se convertiría en un vector de contaminación y probablemente proviene de bosques cultivados. Esta condición lo potencializa para ser utilizado en estructuras arquitectónicas garantizando una vida útil prolongada desde que se mantengan unas condiciones de mantenimiento aceptables.

#### Armado del módulo de la columna en macho y hembra



**Figure 2.** Taller in situ  
**Fuente:** Zambrano, E. (2020)

El armado de la columna a partir de la repisa obtenida del reciclaje de las estibas (pallets), tiene como limitante el largo de la pieza de madera que se encuentra en el mercado, otro reto que se observaba para el dimensionamiento adecuado de la sección está en que cada repisa tiene una sección de 2"x 4". Por tanto, para que la columna cumpliera los requerimientos estructurales se debe acudir al diseño de una sección en forma de H lo cual permite que esta trabajase estructuralmente debido a su forma.

Una vez analizados los parámetros expuestos, se acudió al armado del modulo en forma de macho y hembra, esto permite que se puedan ensamblar dos o mas módulos según se requiera de acuerdo con la utilización que se necesite.

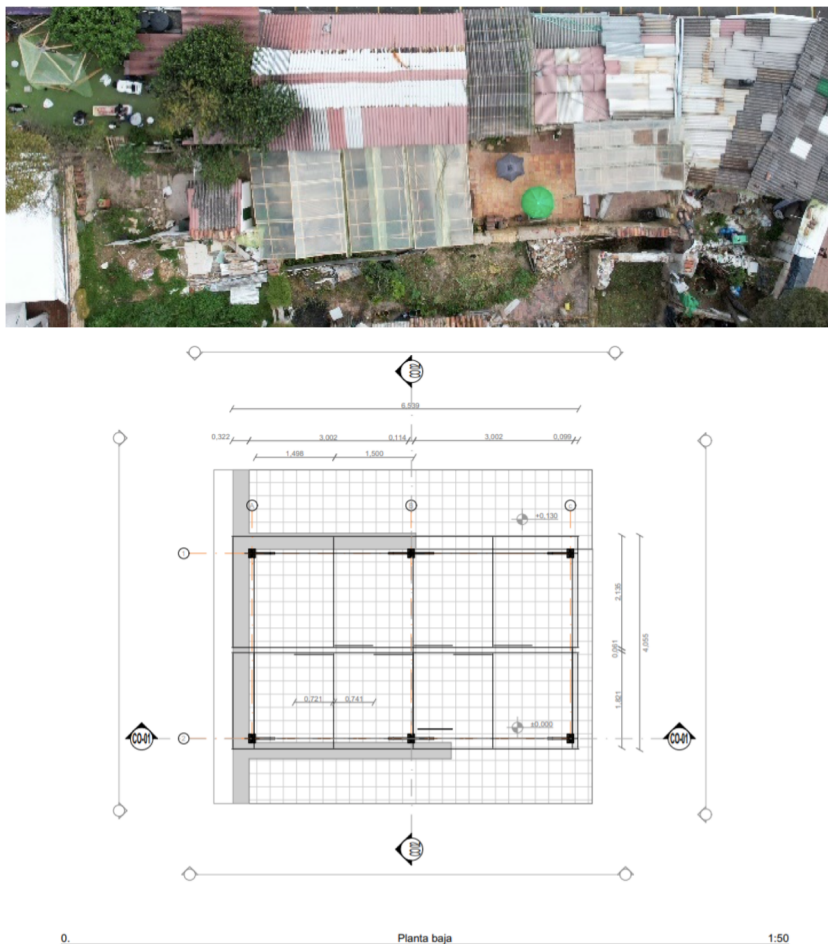
## **Elaboración de una estructura espacial a partir de la columna en macho y hembra**

Una vez se diseñó el módulo y se armó el aparejo se esperaba hacer una aplicación práctica para construir una estructura que permitiese probar las posibilidades constructivas de la propuesta.

Apartir de la pandemia del COVID 19, se generó la necesidad que los negocios tipo cafetería expandieran sus espacios habitables debido al protocolo de distanciamiento. Ese fue el caso de Casa Magola Buendía, un café ubicado en el centro histórico de Bogotá, donde se dan cita principalmente los estudiantes de las universidades cercanas así como un alto número de turistas, provenientes de diferentes partes del mundo, atraídos por los lugares históricos de este sector. Es así como se planteó la idea de hacer una construcción de carácter efímero que además de cubrir un área libre dispuesta para la atención de público, también pudiera cubrir los muros en ruinas de una construcción centenaria elaborada en tapia pisada y adobe, según se puede observar en los vestigios que aún quedan en pie.

Es intención de los propietarios del predio, en primera instancia, cuidar de los muros que aun quedan y en un segundo momento plantear un proceso de restauración y conservación de los mismos. Lo cual tiene no sólo uno compromiso con el patrimonio, la recuperación del saber ancestras respecto a las técnicas constructivas y también a atracción de turistas e público en general que se sienta identificado con este tipo de construcción. Este predio se encuentra ubicado dentro del trazado urbano del centro histórico de Bogotá o mejor conocido como el sector de la candelaría, el cual es considerado de valor patrimonial de carácter nacional.

En la planta arquitectónica se observa el palnteamiento de una unidad que se estructura en seis columnas tipo, al tratarse de una estructura efímera la cubierta se soluciono en polipropileno de alta densidad calibre 6 (plástico para invernadero) cuyo uso se garantiza por un mínimo de 6 años.



**Figure 4.** Vista aérea del predio y diseño de la estructura  
**Fuente:** Zambrano, E. (2020)

## CONCLUSION

Esta aproximación al desarrollo de un prototipo de columna, hace evidente que en los materiales de reciclaje se puede encontrar productos que cumplen con normas para ser utilizados en procesos constructivos.

La madera que conforman las estibas (pallets) suele ser de mejor calidad que la madera nueva que se puede adquirir almacenes para la construcción y por tanto el reciclaje ofrece grandes posibilidades para el desarrollo de nuevas estructuras, en particular aquellas que pueden ser de carácter efímero. Por otro lado, también hay una diferencia apreciable en el coste entre la madera reciclada y la madera nueva, que además suele tener costos adicionales de importación.

Como profesionales del oficio de la construcción se debe tener la responsabilidad sobre materiales y procesos constructivos realmente sostenibles y ellos implica involucrarse en mayor nivel con conceptos como el reciclaje o la reutilización de materiales.

Vale resaltar la acogida que ha tenido la construcción de parte de los propietarios, así como también de los usuarios de Café Magola Buendía, quienes destacan la calidad y la recursividad de la propuesta y cómo el material convierte el espacio en un lugar acogedor.

## **REFERENCES**

**Carlos Mauricio Bedoya**, Construcción Sostenible para Volver al Camino 2011 Asociación de Ingeniería Sísmica, Norma Sismorresistente Colombiana NSR10 Título G 2010 Junta del acuerdo de Cartagena Manual de diseño para madera del grupo andino, 2000.



# **THE PRESERVATION OF THE INTRINSIC VALUES OF ANCIENT PORTUGUESE BUILDINGS: CONTRIBUTION THROUGH THE USE OF THE PRINCIPLES OF DECONSTRUCTION**

**Ranna, Gabriela<sup>1</sup>, Torres, Isabel<sup>2</sup>, Silva, José<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Department of Civil Engineering  
(e-mail: gsilva@student.dec.uc.pt)*

<sup>2</sup>*ADAI/LAETA, ITeCons, DECivil, University of Coimbra (e-mail: itorres@dec.uc.pt)*

<sup>3</sup>*ADAI/LAETA, DECivil, University of Coimbra (e-mail: raimundo@dec.uc.pt)*

## **ABSTRACT**

This document raises the proposal to reuse the wood product of the pallets used for the transport and storage of cargo, based on the development of an assembled column as a solution for the construction of an ephemeral structure at the Café Magola Buendía site located in the center historic Bogota. The process is proposed from the selection of the material in the waste sales points, through its transformation into a column prototype and ending with its assembly in the final structure.

**Keywords:** recycled wood, assembled column, Patula pine, Radiata pine.

## **INTRODUCTION**

In Portugal there are more than 500 thousand buildings built before the adoption of reinforced concrete as the predominant construction technique (INE, 2011). The buildings constructed before 1946, that is, constructed with ancient construction techniques, will be referred in this work as “old buildings”.

Old buildings can be both the classified built heritage, which according to the General Department of Cultural Heritage DGPC are “immovable property of cultural interest” (DGPC, 2018) categorized as of national, public or municipal interest, according to procedures administrative offices of the DGPC itself; and the current built heritage, which is not classified by the DGPC. According to DGPC (2021), the old Portuguese buildings have cultural, historical, urbanistic, architectural, ethnographic, social, industrial, technical, scientific and artistic values.

Amongst those old buildings, according to INE (2011), about 52.5% lack conditions of health, safety, and habitability. It was estimated that 38.5% of Portuguese buildings

built before 1919 and 32% of buildings built between 1919 and 1945 will be demolished (Coelho and Brito, 2011).

According to Ross (2020), urban development is leading to the demolition of thousands of buildings every year. The bulk of construction and demolition waste CDW resulting from the demolitions, in the best-case scenario, are used as aggregates or bases for paving. However, buildings are sources of materials and components that could be recovered through urban mining and could be reused as raw material for other construction, rehabilitation and remodeling works (Gorgolewski, 2018).

Once a building is demolished, its components and materials can only be recycled, used as aggregates, or landfill (Macozoma, 2001). However, by decommissioning a building through deconstruction, which is the systematic disassembling of a building, it is possible to maximize the recuperation of its components and materials and to preserve its values (Chini e Bruening, 2003).

The most common practice regarding the construction and demolition waste (CDW) is discarding said materials in landfills (Mália *et al.*, 2011). Once a component or material is discarded in landfills, it loses all its intrinsic values, including economic values, embodied energy (Roussat *et al.*, 2009), and historical and social values DGPC (2021).

Based on the principle of the material recovery hierarchy, which aims to avoid wasteful waste treatments, allow high quality recycling, and boost the reuse of quality second-hand raw materials (European Parliament, 2018), and following the Directive 2008/98/CE, from November 19th (European Parliament, 2008), which states that the hierarchy to be adopted for the preferential treatment of waste must obey the Lansink Ladder – prevention and reduction; preparation for reuse; recycling; other types of recovery, such as incineration for energy recovery; and disposal, such as through landfilling –, this work will propose a four step methodology for evaluating old building's deconstruction capacity, as well as the intrinsic, social, and historical value of the components and materials that could be recovered through the adoption of deconstruction as the end of old building's lives preferred decommissioning method.




## Principles for Material Recovery

### The Material Recovery Hierarchy

The material recovery hierarchy aims to prevent waste treatment from relegating recovered resources to the lowest levels of use, allowing for high quality recycling and boosting the use of quality secondary raw materials (European Parliament, 2018).

According to Directive 2008/98/EC, of November 19, 2008 (European Parliament, 2008), the hierarchy to be adopted for the preferential treatment of waste must comply with the “Lasink Ladder” (Kowalczyk *et al.*, 2000; Van Dijk *et al.*, 2014), which consists of the following steps: 1st) Prevention of waste generation; 2nd) Reuse of materials; 3rd) Waste recycling; 4th) Incineration for energy production and volumetric reduction; and 5th) Final disposal in landfill. However, other experts have also established material valuation hierarchies. Hendriks and Te Dorsthorst (2001) proposed the “Delft Ladder” with 10 steps and Macozoma (2001) proposed an 11-step ladder associated with the outcomes that each material valuation action has the potential to cause.

STEPS			Outcomes (Macozoma, 2001)	
Lansink Ladder (1980)	Delft Ladder (2001)	Macozoma's Ladder (2001)		
Prevention	Prevention	Prevention	Waste Avoidance	Most desirable  Least desirable
		Demand management		
		Reduction		
Element reuse	Construction reuse	Recovery	Waste Minimisation	
	Element reuse	Reuse		
Material reuse	Material reuse			
Useful application	Useful application	Recycling	Waste Treatment	
	Immobilisation with useful application	Composting		
	Immobilisation			
Incineration with energy recovery	Incineration with energy recovery	Incineration with energy recovery	Waste Disposal	
Incineration	Incineration	Incineration for volume reduction		
		Chemical treatment (neutralisation)		
Landfill	Landfill	Landfill		

**Table 1.** Comparison between ladders

**Source:** Van Dijk *et al.* (2014), Hendriks and Te Dorsthorst (2001), and Macozoma (2001)

Table 1 shows a comparison between the steps of each of the ladders.

The European Commission – Environment has published the Waste Framework Directive with targets for preparing for the reuse and recycling of urban waste in European Union countries of: 55% by 2025; 60% by 2030; and 65% by 2035 (European Commission – Environment, 2021). According to the Portuguese Environment Agency- APA, in 2019 approximately 5.3 million tons of urban waste were produced, 13.1% of the total was recycled and 2.3% had other recovery, however, almost 58% was destined for landfill (APA, 2019). It was estimated by Eurostat (2018) that the CDW correspond to less than 8.8% of Portuguese urban waste, while the European average is 35.9%. Of the total CDW recorded in Portugal, more than 95% is recovered, however practically all of it is crushed and reused as paving filler (Saez and Osmani, 2019).

### **Design for Deconstruction**

Deconstruction is the reverse process of construction, where the building is carefully dismantled in order to recover building elements and materials and is a key strategy for implementing the circular economy (Thomsen *et al.*, 2011 and BMRA, 2017). Creba (2019) adds that the deconstruction process is mostly performed manually: while deconstruction uses labor and tools to dismantle buildings and recover materials and components first for reuse and then for recycling; demolition simply destroys the building by turning materials that could have some resale value into landfill-only waste (Macozoma, 2001).

Deconstruction has two distinct phases (THOMSEN *et al.*, 2011): careful and controlled planning of the deconstruction process, which generates a heterogeneous set of elements and materials; and continuous use of elements and materials recovered through deconstruction in other buildings or in uses preferably higher in the hierarchy of valorization and avoiding downcycling, energy transformation and disposal in landfills as much as possible.

The adoption of design for deconstruction and its guidelines can be used to assess the deconstruction capacity for recovering building elements and materials and to create an assessment methodology for incorporating deconstruction principles into existing buildings that encourages the recovery of elements and materials at the time of its end of life. Deconstruction design encourages recycling, the reuse of materials and components, and even the relocation of the entire building (Crowther, 2000).

The main design recommendations for deconstruction are the reuse of buildings, elements and materials; durable and adaptable design; deconstruction at the building's decommission; and using less material (Kilbert *et al.*, 2000). Some design for deconstruction guidelines is shown in the Table 2.

CRITERIA	MATERIAL RECYCLING	COMPONENT REPROCESSING	COMPONENT REUSE	BUILDING RELOCATION
Use of recycled or reused materials	X			
Minimize types of different materials	X	X		
Avoid hazardous or toxic materials	X			
Avoid finishes	X			
Permanent identification of materials and components	X		X	X
Use a few different types of high-wear parts		X	X	X
Use materials that withstand frequent assembly and disassembly		X	X	X
Use mechanical rather than chemical connections		X	X	
Weaker chemical bonds than bonded parts		X	X	
Open and grid building systems that allow for layout changes			X	X
Separate the structure from the closure			X	
Low-tech practices and techniques			X	
Permanent access to detachable parts of buildings			X	
Use of lightweight construction materials that allow for handling by workers			X	X
Size of components that allow handling			X	X
Arrange elements in an Ease of Access hierarchy related to the need for replacement			X	
Standardization and preference for modular parts and designs			X	X
Design that allows parallel disassembly rather than sequential disassembly			X	X
Project that foresees all dismantling scales: from elements to buildings in full	X	X	X	X

**Table 2.** Design for Deconstruction Criteria (Crowther, 2000; Schultmann, 2000)

### Methodology for assessing deconstruction and material recovery capacity

The proposed 4-phase methodology aims to maximize the possibilities of reusing the structure, elements and materials recovered from old buildings at the level of building, systems, elements and materials (Hendriks and TeDorstorst, 2001):

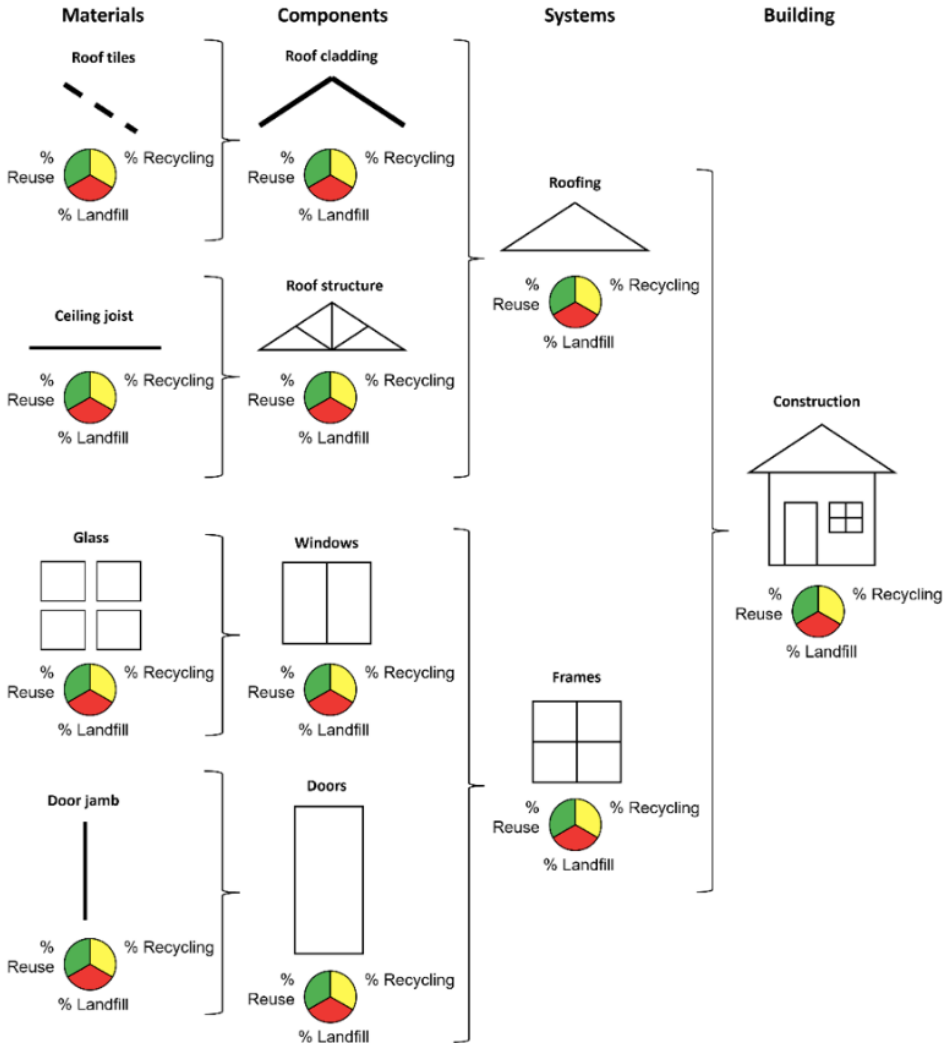
- Building level:
  - Assess the technical capacity to meet health and safety criteria and determine if there is still a useful life;
  - Assess the possibility of improving current performance through rehabilitation and repair works;
  - Assess building use flexibility;
  - Assess deconstruction capability.
- Level of systems and construction elements:
  - Assess the technical capacity to meet health and safety criteria and determine if there is still a useful life;
  - Assess the possibility of improving current performance through rehabilitation and repair works;
  - Evaluate disassembly capability.
- Material level:
  - Possibility of recovery;
  - Possibility of reuse.

Figure 1 exemplifies the approach at different levels. In this approach, it is necessary to identify the percentage of reuse, recycling or disposal capacity of each item (materials, elements, systems or the entire building).

The methodology synthesis is presented in the Table 3 below.

<b>PHASES</b>	
1	<b>Assessment of building deconstruction capacity:</b> use of assessment tools to identify the presence of design criteria for deconstruction as per the columns 4 and 5 of the Table 2
2	<b>Assessment of the recoverability of elements and materials:</b> use of assessment tools to identify the presence of design criteria for elements and material recovery as per the columns 2 and 3 of the Table 2
3	<b>Tracking of recovered elements and materials:</b> use of identification and cataloging tools to associate qualitative and quantitative criteria to each of the recovered materials
4	<b>Reintroduction of recovered materials into the production cycle:</b> identification of exchange and resale markets for recovered elements and materials in different states of conservation for different uses

**Table 3.** Phase Deconstruction and Recovery Capacity Assessment Methodology



**Figure 1.** Approach to reuse, recycling or disposal capacity at different levels

The proposed methodology first identifies the building's deconstruction capacity, and depending on this first response, different decisions can be taken. It is important to highlight that, particularly with respect to old buildings, preservation and conservation should be the first strategies prior to deconstruction (Sherman, 1998), and verifying the capacity of a building to be reusable for the most part may mean that such a building does not necessarily need to be deconstructed.

The second part of the methodology is closely related to respecting the material valuation hierarchy proposed in Table 1. Initially, the reuse capacity of complete systems

is evaluated, and, in the case of inability to reuse, then the systems are separated into elements that will also be evaluated in its reuse capacity, finally, if the elements do not have the capacity to be reused, such elements are divided into materials that will undergo the same type of evaluation.

After the qualification and quantification of each element or material, it is necessary to adopt a form of cataloging the intrinsic characteristics, such as material, state of conservation, appropriate uses, among others (Dwek, 2017). Materials can be identified using material passports (Smeets *et al.*, 2020). The traceability of material information is one of the essential criteria for the reintroduction of recovered elements and materials to the production cycle and the consolidation of the circular economy.

The last part of the methodology concerns the effective reintroduction of recovered elements and materials into the production cycle. It is necessary to guide the highest uses of the recovered items according to the material valuation hierarchy to avoid the loss of intrinsic values, so it is necessary to assess the need for intervention and processing and use the material passport to make the elements and materials available for outlets as donation and resale depending on the demand for such material.

## **CONCLUSION**

Old buildings, even if not in the best shape, have intrinsic values in its components that can be recovered. The elements and materials should not be relegated to the lowest levels of use after the building's end of life, that's why it's important to adhere to material recovery hierarchys.

Considering deconstructon as a key strategy for implementing the circular economy and design for deconstruction criteria for maximizing the reusing the structure, elements and materials recovered from old buildings at the level of building, systems, elements and materials, this paper proposes a 4-step methodology.

The aim for the presented 4-step methodology is to contribute to the improvement of old building conservation through assessment of building deconstruction capacity and contribute to the implementation of circular economy through assessment of the recoverability of elements and materials, the tracking of recovered elements and materials, and the reintroduction of recovered materials into the production cycle.

## REFERENCES

- BMRA** – Buildings Material Reuse Association. (2017) An Introduction to Deconstruction. Iowa Community College.
- CHINI, Abdol R. e BRUENING, Stuart F.** (2003) Deconstruction and Materials Reuse in the United States, International e-Journal of Construction. The Future of Sustainable Construction, Special Issue article.
- COELHO, André e BRITO, Jorge de.** (2011) Generation of Construction and Demolition Waste (CDW) in Portugal. Retrieved August 15, 2021, from [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/51253424\\_Generation\\_of\\_construction\\_and\\_demolition\\_waste\\_in\\_Portugal/links/5585ad7b08aef58c039ee32d/Generation-of-construction-and-demolition-waste-in-Portugal.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/51253424_Generation_of_construction_and_demolition_waste_in_Portugal/links/5585ad7b08aef58c039ee32d/Generation-of-construction-and-demolition-waste-in-Portugal.pdf)
- CREBA, Alison; COUTO, João P.; TEIXEIRA, José C.** (2019) Demolition and deconstruction legacies: Toronto’s Honest Ed’s and Mirvish Village. Retrieved August 20, 2021, from [www.emeraldinsight.com/2044-1266.html](http://www.emeraldinsight.com/2044-1266.html)
- DWEK, Mauricio.** (2017) Integration of material circularity in product design. Environmental and Society. Université Grenoble Alpes, 2017. English. NNT: 2017GREA1102.
- EUROPEAN COMMISSION.** (2021) Waste Framework Directive. Retrieved August 19, 2021, from [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)
- EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.** (2008) Directive 2008/98/CE, of November 19, 2008. Official Journal of the European Union.
- EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.** (2018) Directive (UE) 2018/851, of May 30, 2018. Official Journal of the European Union.
- EUROSTAT.** (2018) Waste statistics. Retrieved August 19, 2021, from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
- GENERAL DIRECTORATE OF CULTURAL HERITAGE – DGPC.** (2018) Classification of Real Estate and ZEP Fixation (in Portuguese). Retrieved August 15, 2021, from <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/clas-sificacao-de-bens-imoveis-e-fixacao-de-zep/>

- GENERAL DIRECTORATE OF CULTURAL HERITAGE – DGPC.** (2021) Architectural Heritage (in Portuguese). Retrieved August 15, 2021, from <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/patrimonio-arquitetonico/GORGOLEWSKI>, Mark. (2018) Resource Salvation – the Architecture of Reuse. Wiley Blackwell.
- HENDRIKS, Charles F.; TE DORSTHORST, Bart J.** (2001) Re-use of constructions at different levels: construction, element or material. CIB World Building Congress, April 2001, Wellington, New Zealand.
- KOWALCZYK, Ton; KRISTINSSON, J.; HENDRIKS, Charles F.** (2000) Dismantling an Existing Building into Components. Over- view of Deconstruction in Selected Countries. CIB Report Número 252.
- MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge de; e BRAVO, Miguel.** (2011) Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas (in Portuguese). Ambiente Construído, v. 11.
- MACOZOMA, Dennis S.** (2001) Building Deconstruction – International Report. Prepared for: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB).
- NATIONAL INSTITUTE OF STATISTICS INE.** (2011) Census Definitive results (in Portuguese). Portugal 2011. Instituto Nacional de Estatística. Retrieved August 15, 2021, from [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554)
- ROSS, Susan M.** (2020) Re-Evaluating Heritage Waste: Sustaining Material Values through Deconstruction and Reuse. The Historic Environment: Policy & Practice. Vol. 11, Nos. 2–3, 382–408.
- SAEZ, Paola V.; OSMANI, Mohamed.** (2019) A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. Journal of Cleaner Production, v. 241.
- SHERMAN, Rhonda.** (1998). Deconstruction: Giving Old Buildings New Lives. North Carolina Cooperative Extension Service.
- SMEETS, Anse; WANG, Ke; DREWNIOK, Michał P.** (2020) Can Material Passports lower financial barriers for structural steel re-use? IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 225 (2019) 012006.



**PORTUGUESE ENVIRONMENT AGENCY – APA** (2019) Annual Municipal Waste Report 2019 (in Portuguese). Retrieved August 18, 2021, from [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Residuos/Producao\\_Gest%C3%A3o\\_Residuos/Dados%20RU/RARU%202019.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Producao_Gest%C3%A3o_Residuos/Dados%20RU/RARU%202019.pdf)

**ROUSSAT, Nicolas; DUJET, Christiane; e MÉHU, Jacques.** (2009) Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Management*, v. 29.

**THOMSEN, André, SCHULTMANN, Frank and KOHLER, Niklaus** (2011), Deconstruction, demolition and destruction, *Building Research and Information*, Vol. 39 No. 4, pp. 327-332.

**VAN DIJK , Suzanne; TENPIERIK , Martin; e VAN DEN DOBBELSTEEN, Andy.** (2014) Continuing the building's cycles: A literature review and analysis of current systems theories in comparison with the theory of Cradle to Cradle. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 82.



# **A CASE STUDY OF RECYCLING OF REINFORCED CONCRETE SLEEPERS IN BULGARIA**

**Roumiana Zaharieva<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Associate. Professor, PhD, Eng, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Sofia, Bulgaria, zaharieva\_fce@uacg.bg*

## **ABSTRACT**

The dismantled and scrapped reinforced concrete railway sleepers are among the largest flows of construction and demolition waste (CDW) in Bulgaria- it is estimated that their number has reached 3 million. Although some good reuse practices can be identified, the prevailing majority of sleepers remain as not declared CDW. Until recently, the sleepers recycling was considered unprofitable. This study presents an innovative approach to recycling reinforced concrete sleepers and technical performance of recycled crushed stone. It has been established that this crushed stone can be used for various construction purposes, including as coarse concrete aggregate, thus providing sustainable solutions which contribute to both environmental protection and circular economy.

**Keywords:** C&D waste, sleepers, recycling, crushed stone, aggregate for concrete.

## **INTRODUCTION**

Sustainable management of construction and demolition waste (CDW) is nowadays an imperative it is legally regulated, beneficial for the environment and is part from the concept for circular economy for which we strive. In Bulgaria, there has been a significant progress after the introduction of obligations for recovery of CDW through the new Waste management law (WML, 2012) and the Ordinance for construction waste management and use of recycled construction materials, (OCWMURCM, 2012) and Bulgaria reports successful implementation of the goals from the Waste framework directive (WFD, 2008) – 70% of the CDW to be subjected to material recovery by the year 2020. It is debatable, however, to what extents all types and quantities of CDW are included in the statistics because many CDW remain “hidden”. The reasons are many, some changes made in 2016 and 2017 in the national legislation allowed exclusion of CDW management plans (CDWMP) from the investment projects, the need of CDWMP is revoked, there is no effective control on the landfilling of CDW, the compulsory implementation of the goals for use of recycled materials in projects

with public funding is not respected, CDW is stored at some sites (hardly regulated) for unlimited time, etc.

At the same time, however, many contractors of construction-installation works found out that recovery of CDW can be economically profitable because it results in reduction of the transportation cost of CDW, of admission fees for waste treatment plants and of purchase cost of construction materials – many contractors have turned into legal entities that are allowed by WML to practice activities with CDW. The number of plants recycling (recovery operation R05 under Waste framework directive (WFD, 2008) concrete CDW increased from 10 in 2013 to 120 in 2021.

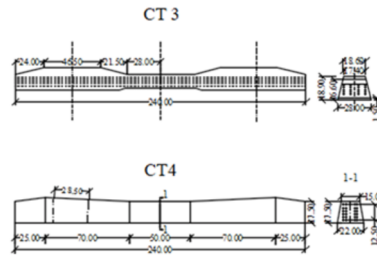
Other companies are orientated to the development of technologies for CDW treatment and collaborate with research units. This is the approach of Requesta EOOD – a company that, together with the research team from University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Sofia (UACEG) has found a solution for one of the most problematic CDW flows so far – dismantled and discarded railway sleepers of reinforced concrete, which had been stored at some dedicated areas for decades.

#### Peculiarities of the waste from reinforced concrete sleepers

By 2015, the number of available reinforced concrete sleepers at those areas were around 1 million. With intensive activities on rehabilitation works of the railway infrastructure, the number of sleepers by 2020 might have exceeded 3 million (Postolova, Tododrov, & Zaharieva, 2016). They are stored at sites of National Company Railway Infrastructure (NCRI) and in many cases these are CDW “de facto” but not “de jure”, because after dismantling they are not reported as CDW, although only a very small part is reassessed as suitable for reuse. The rest are discarded and stored, but still not reported as CDW. Some research and good practices are available in Bulgaria (Postolova, Tododrov, & Zaharieva, 2016), (Balkanec, 2021), (Getzner, 2021) related to reuse of reinforced concrete sleepers – for strengthening of slopes and for road pavements but they are mostly at pilot stage, and they cannot be considered effective for recovery of large quantities of sleepers. In some cases, in contradiction to WML, sleepers are offered for purchase by and to private individuals without receiving “end-of-waste” status.

Until not long ago, the recycling of reinforced concrete sleepers was not considered economically profitable, because of the need for complex technology for crushing and separation of the steel (prestressed) reinforcement.

Several types of reinforced concrete sleepers were used in Bulgaria but the most used type are sleepers for normal railways from prestressed reinforced concrete CT3 and CT4 (Postolova, Tododrov, & Zaharieva, 2016), (NCRI, 2018). They were made with high-strength concrete mark M600 (equivalent to contemporary class C35/45) with 40 (CT3) and 42 (CT4) high-strength steel strings with diameter 3 mm- Fig. 1.



**Figure 1.** Geometrical parameters of the most used reinforced concrete sleepers

Reinforced concrete sleepers form non-hazardous CDW of code 17 01 01 (concrete) under the EWC classification (Ordinance No.2, 2014). They are not contaminated (because of their location in constructions) by chlorides and/or sulphates, heavy metals, asbestos, etc., that could limit the application field of the recycled material. Their storage at open sites can lead to additional damage due to physical or biological corrosion, but on the whole, there is no ground for emergence of hazardous substances. During the use of the railway, however, some contamination may appear on the sleepers from oils and fuels and/or spilling of other substances transported via the railway. If too large area is contaminated and if there is data about incidents with hazardous substances in the section of dismantled sleepers, the discarded sleepers should be classified under code 17 01 06\* (mixtures of, or separate fractions of concrete, bricks, tiles and ceramics containing hazardous substances) (Ordinance No.2, 2014) and submitted for disposal or subjected to additional treatment for removal of contaminations. Only non-hazardous sleepers waste should be subjected to mechanical recycling to prevent contamination of recycled materials with hazardous substances.

During the mechanical recycling, when steel strings are separated, waste of code 19 12 02 (ferrous metals) is generated. It brings additional income to the recycling plant. Steel waste of code 19 12 02 is formed also from the removal of the fastenings, while plastics (from inserts) and rubber (from rib pads) belong to other waste code (19 12 94 plastic and rubber) (Ordinance No.2, 2014).

### Experimental program

Around 300 kg crushed stone of fraction 0/63 mm from recycled reinforced concrete sleepers was delivered for testing to the UACEG testing laboratory (UTL) by Requesta EOOD. Recycling is done by Requesta EOOD at plants at 8th railway line "Plovdiv-Burgas" in the section "Yambol-Burgas". Innovative recycling technology is used and is approved by NCRI. An utility model (under intellectual property rights) has been requested. Discarded sleepers of type CT3 and CT4 are used as source materials. The company and its equipment have recycled more than 145 000 sleepers. Technology allows calibrating of fractions with maximum grain size 30-125 mm. Smaller is the fraction, higher is the share of fines in it, which usually is unsuitable.

It has been found, that the probable remaining compressive strength of concrete, determined by the methodology in (EN 12504-2, 2012), varies between 50 and 70 MPa, which shows that concrete even from discarded used sleepers has preserved its high strength.

Conformity assessment of recycled crushed stone from mechanical recycling of reinforced concrete sleepers is done in UTL using standardised test methods. Based on recycled crushed stone performance, 2 product types are outlined:

- Non-fractioned recycled crushed stone 0/63 mm under EN 13242:2002+A1:2007 (EN 13242+A1, 2007) and the national annex (EN 13242+A1/NA, 2017);
- Recycled coarse aggregate for concrete (RA) under EN 12620:2002+A1:2008 (EN 12620+A1, 2008), the national annex (EN 12620+A1/NA, 2017) and EN 206:2013+A2:2021 (EN 206+A2, 2021).

Recycled material (RM) from both types has high degree of homogeneity and is of category Rc90 determined under (EN 933-11, 2009) which makes it highly reliable and suggests persistence of performance indicators.

Series of tests are done on fresh and hardened concrete mixes with 30% and 50% replacement of natural limestone coarse aggregate (CA) by recycled aggregate (RA) of fraction 4/22.4 mm, obtained by sieving of fraction 0/63 mm. The grain's density determined under (EN 1097-6, 2013) of CA and of RA is similar Table 1. The grading of RA falls within the standard areas for fraction 4/22.4 mm. Properties of concrete with RA are compared to these of a controlled mix with intended compressive strength class C30/37 and consistency class S2 (slump 50-90 mm). Sand-to-coarse aggregate

ration and water-to-cement ration remain constant. Taking into account the higher water absorption of the RA (Silva, de Brito, & Dhir, 2014), the RA are wetted in advance in order to preserve workability of the mix. To achieve similar aggregate skeleton, 2 fractions of CA (4/11.2 and 11.2/22.4 mm).

#### Non-fractioned recycled crushed stone

Grading of crushed stone 0/63 mm determined under (EN 933-1, 2021) is classified as category GA85. This makes the material suitable for road beds from non-fractioned crushed stone and for base course and backfilling, including for traffic category “heavy and very heavy”, as well as road shoulders and parking lots. The grading meets the requirements for base course of the Technical specification of the Bulgarian Agency for road infrastructure (ARI) (2014) (MRRB&ARI, 2014).

Coefficient of uniformity is  $u = d_{60}/d_{10} = 16$  which meets the requirements for rock materials for road construction ( $u \geq 10$ ). With respect to the index of flat grains, FI20, the material is suitable for all applications specified in table NA.5a of (EN 13242+A1/NA, 2017). Shape index of SI20 makes the recycled non-fractioned material suitable for all applications specified in NA.6a of (EN 13242+A1/NA, 2017). With respect to the fine fraction content, the RM is of category f5 and can be used for all applications of table NA.8a. (EN 13242+A1/NA, 2017) including road base course for heavy and very heavy traffic, road shoulders and parkings. Sand equivalent SE=82% characterises the material as excellent and suitable for all uses in table NA.8b (EN 13242+A1/NA, 2017). Since the recycled material is obtained by concrete crushing, it falls under category C90/3 with respect to content of crushed and broken grains and fully round grains. This makes the material suitable for all applications in table NA.7a. (EN 13242+A1/NA, 2017).

RM shows high resistance to fragmentation and wear. Los Angeles coefficient is LA30 and micro-Deval coefficient (for fraction 10/14 mm) is MDE15.

Water absorption determined under (EN 13286-47, 2021) differs depending on the grain size: lowest value of 1.9% is for fraction 31.5 /63 mm, the highest of 11.5% is for fraction 0.063/4 mm and for fraction 4/31.5 mm it is 3.4%. Considering the share of each fraction in the total grading, the weighted average water absorption of RM is 5.1%. This imposes testing for frost resistance. The category for maximum resistance to magnesium sulphate is MS18 determined for fraction 10/14 mm. Therefore, there are no limitations for application of the RM as sub-base course and ground base even for heavy and very heavy trafficked roads.

Non-fractionated RM meets the requirements for crushed stone for base course from the TS of ARI (table 4202.1.3) (MRRB&ARI, 2014) with respect to the California bearing ratio CBR<sub>min</sub> (EN 13286-47, 2021) after 4-day soaking of samples compacted to density 98% of the maximal apparent density. CBR value is 105%, the max density at optimal humidity (5%) being 2010 kg/m<sup>3</sup>.

According to water-soluble sulphate content the category is SS0.2 and according to total sulfur content the category is S1 which makes the RA suitable for all applications in tables NA 14a. and NA 15a. of (EN 13242+A1/NA, 2017).

Coarse recycled aggregate for concrete

Because of the presence of old cement paste, the RA have relatively rougher and cracked surface and higher porosity than CA. This determines the difference in their physico-mechanical properties but for RA from reinforced concrete sleepers these differences are small because of the high performance of the original concrete and the good recycling technology. Mechanical properties are almost the same and the most substantial difference is in the water absorption Table 1. The process of aggregate's water absorption in time is studied in order to take into account its influence on the workability of the concrete mix. The indicator at the 2nd hour is considered as representative and the as preliminary wetting of RA is done by 1.3% wt.

INDICATOR	UNIT	RA	CA	
		4/22.4 mm	4/11.2 mm	11.2/22.4 mm
Bulk density	kg/m <sup>3</sup>	1295	1500	1440
Density of the grains	kg/m <sup>3</sup>	2830	2840	
Resistance to fragmentation at static load	%	9,7	7,8	8,9
Resistance to fragmentation	LA	LA30	LA25	LA30
Water absorption	%	3,4	0,4	0,5
Flat grain index	%	FI20	FI20	FI20

**Table 1.** Properties of RA and CA, fraction 4/22.4 mm

Properties of RA from recycled reinforced concrete sleepers meet all recommendations for use of RA in concrete in conformance with table E.3 of (EN 206+A2, 2021). Category Rc90 and true density >2100 kg/m<sup>3</sup> classify RA as type A recycled material suitable for concrete of all compressive strength classes (including >C30/37) in the following quantities: <50% for environmental impact class X0 and <30% for the other



classes because RA originates from known CDW without contamination (table E.2 of (EN 206+A2, 2021)).

Behaviour of fresh concrete with 30% RA does not differ to that of concrete with CA. For 50% RA content, an increase by 12% of the superplasticizer is needed to achieve the same workability.

Experimental studies of the hardened concrete show that at equal other conditions (cement content, water-to-cement ratio, sand-to-coarse aggregate ratio) the replacement of CA with RA leads to slight reduction of the strengths (determined under (EN 12390-3, 2019):

- Compressive strength of concrete with RA is by 5% (at 30% replacement) to 10% (at 50% replacement) lower compared to that of control mix but the design class 30/37 is always achieved; higher results for compressive strengths are achieved if the RA are pre-washed – for concrete with 30% replacement there is even slight increase (3%) and for concrete with 50% RA the decrease is only 8%;
- Splitting tensile strength (determined under (EN 12390-6, 2009 )) of concrete with 30% RA is by 18% lower that of concrete with CA only, but after washing, the decrease is insignificant (<6% for concrete with 50% RA). Actually, the purification by flotation is usually one of the steps in the technological process at which reinforced concrete waste is recycled to RA for concrete, because this is how the light impurities are removed (sulphates, chlorides).

Modulus of elasticity (determined under (prEN 12390-13, 2021)) is even less influenced by the use of Ras and is around 35 GPa for all three types of concrete (0%, 30% and 50% RA).

Therefore, the clauses in the Bulgarian national annex to the standard for concrete (EN 206+A2/NA, 2021), that do not allow use of RA in concrete of class higher than C16/20 are unfounded and discriminatory. Global science and practice have proven long time ago that RA is suitable for concrete, including high-performance concrete (self-compacting, high-strength) (Limbachiya, Leelawat, & Dhir, 2000), (Panda & Bal, 2013).

The limitations in (EN 206+A2, 2021) regarding the replacement of CA with RA arise mostly from possible problems with the durability (transportation properties, patho-

logic reactions) of concrete with RA due to the porosity of RA, impurities (especially when RA are from demolition of buildings) (Hadjieva-Zaharieva, 1998) and possible contamination. However, our case study found that water impermeability of RA concrete (determined under (EN 12390-8, 2019), which is quite representative for the transportation properties, is marginally influenced – at pressure 0.6 MPa, the water penetration depth is 28 mm for concrete with CA, 29 mm for concrete with 30% RA and 33 mm for concrete with 50% RA.

## **CONCLUSION**

Non-fractionated recycled crushed stone 0/63 mm from reinforced concrete sleepers has the necessary technical performance to be used in road beds from non-fractionated rock material, base course and backfilling, including for heavy and very heavy trafficked roads, as well as in road shoulders and parking lots because it meets the requirement of the applicable technical specifications (EN 13242+A1, 2007) (EN 13242+A1/NA, 2017) (MRRB&ARI, 2014) for these uses. Non-fractionated recycled crushed stone fraction 0/63 originating from recycled reinforced concrete sleepers is inert under the criteria of (Ordinance No.6, 2013) and can be used for other engineering and landscaping purposes, including for backfilling, when it meets the requirement of the project (C&C, 2021).

Recycled material fraction 4/22.4 has properties that classify it as type A aggregate suitable for concrete of all compressive strength classes (including higher than C30/37) (EN 206+A2, 2021). It is proven that including 30% RA from selected (or sorted) CDW from high-quality primary concrete does not result in changes in the behaviour of the fresh concrete and the strength and deformation properties of concrete and replacement of 50% of CA with RA leads to relatively small reduction of strength and practically the same water impermeability. Therefore, the clauses in the Bulgarian national annex for concrete (EN 206+A2/NA, 2021) can be qualified as discriminatory. Actually, relevant requirements for RA should be set and those RA that meet these requirements should be allowed as concrete ingredients. This would facilitate the implementation of the Bulgarian legislation requiring the use of at least 2% recycled materials for new construction of buildings receiving public funding.

Research is forthcoming for optimisation of the recycling technology in terms of applications of crushed stone from recycled reinforced concrete sleepers. Research on the behaviour of concrete with RA is ongoing with respect to preparing proposals for amendment of the national legislation.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The research is performed within the Project BG05M2OP001-1.002-0019: „Clean technologies for sustainable environment, water, waste, energy for circular economy“ (Clean&Circle), for development of a Centre of Competence, financed by the Operational programme “Science and Education for Smart Growth” 2014-2020, (C&C, 2021), co-funded by the EU through the European structural and investment funds.

## **REFERENCES**

- Balkanec.** (2021). Retrieved 08 22, 2021, from <http://balkanec.bg/nkzhi-shte-ukrepva-nestabilen-skat-na-gara-kaloti-na-45384.html>
- C&C.** (2021). Clean & Circle. Retrieved 08 22, 2021, from <http://www.clean-circle.eu>
- EN 1097-6.** (2013). BDS EN 1097-6 Tests for mechanical and physical properties of aggregates- Part 6: Determination of particle density and water absorption.
- EN 12390-3.** (2019). BDS EN 12390-3 Testing hardened concrete- Part 3: Compressive strength of test specimens.
- EN 12390-6.** (2009). BDS EN 12390-6:2009 Testing hardened concrete- Part 6: Tensile splitting strength of test specimens. EN 12390-8. (2019). EN 12390-8:2019 Testing hardened concrete - Part 8: Depth of penetration of water under pressure. EN 12504-2. (2012). EN 12504-2:2012 Testing concrete in structures - Part 2: Non-destructive testing- Determination of rebound number.
- EN 12620+A1.** (2008). BDS EN 12620:2002+A1:2008 Aggregates for concrete.
- EN 12620+A1/NA.** (2017). BDS EN 12620:2002+A1:2008/NA:2017 Aggregates for concrete – National Annex (NA).
- EN 13242+A1.** (2007). EN 13242:2002+A1:2007 Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction.
- EN 13242+A1/NA.** (2017). EN 13242:2002+A1:2007/NA:2017 Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction- National Annex (NA).

- EN 13286-47.** (2021). BDS EN 13286-47:2021 Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling.
- EN 206+A2.** (2021). BDS EN 206:2013+A2:2021 Concrete- Specification, performance, production and conformity.
- EN 206+A2/NA.** (2021). BDS EN 206:2013+A2:2021/NA:2021 Concrete- Specification, performance, production and conformity National Annex (NA).
- EN 933-1.** (2021). EN 933-1:2021 Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution- Sieving method.
- EN 933-11.** (2009). BDS EN 933-11:2009 Tests for geometrical properties of aggregates- Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.
- Getzner.** (2021). Guidelines on installation and use of reinforced concrete sleepers with pads for sleepers. Retrieved 08 22, 2021
- Hadjieva-Zaharieva, R.** (1998). Durabilité des bétons a base de granulats recyclés, Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.
- Limbachiya, M., Leelawat, T., & Dhir, R.** (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*, 33(9), 574-580. MRRB&ARI. (2014). Technical specification.
- NCRI, S.** (2018). Guidelines on structure and maintenance of upper construction of railways and railway switches. SC NCRI.
- OCWMURCM.** (2012). Ordinance for construction waste management and use of recycled construction materials, issued SG 89/13.11.2012.
- Ordinance No.2.** (2014). Ordinance No. 2 for waste classification, issued SG 66/08.08.2014, last amendment SG 86/06.10.2020.
- Ordinance No.6.** (2013). Ordinance No.6 for the conditions and requirements for construction and use of landfills and other facilities for waste recovery and disposal, issued SG/13.09.2013, last amendment SG 36/01/05.2021.
- Panda, K., & Bal, P.** (2013). Properties of Self Compacting Concrete Using Recycled Coarse Aggregate. *Procedia Engineering*, 51, 159-164.

- Postolova, N., Tododrov, S., & Zaharieva, R.** (2016). Innovative solutions for the recovery of used redundant railway materials in construction. *Mechanics, Transport, Communications*, vol. 14 issue 3/3, <https://mtc-aj.com/article.1364.htm>. prEN 12390-13. (2021). prBDS EN 12390-13 Testing hardened concrete-Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression.
- Silva, R., de Brito, J., & Dhir, R.** (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*(65), 201-217.
- WFD.** (2008). Waste Framework Directive/Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste.
- WML.** (2012). Waste management law, last amendment SG issue 19/05.03.2021.



# URBANISMO SOSTENIBLE: UN ANÁLISIS INTRODUCTORIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA MOVILIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LAS CIUDADES

Javier Cárcel-Carrasco<sup>1</sup>, Aurora Martínez-Corral<sup>2</sup>, Carolina Aparicio-Fernández<sup>3</sup>, Elisa Peñalvo López<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [fracarc1@csa.upv.es](mailto:fracarc1@csa.upv.es)

<sup>2</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [aumarcor@csa.upv.es](mailto:aumarcor@csa.upv.es)

<sup>3</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [caap@csa.upv.es](mailto:caap@csa.upv.es)

<sup>4</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [elpealpe@upvnet.upv.es](mailto:elpealpe@upvnet.upv.es)

## ABSTRACT

Hoy en día, se busca el diseño y remodelación de entornos urbanos para lograr ciudades verdes, saludables y sostenibles. El efecto de la contaminación del aire en las ciudades debido a los gases de combustión de los vehículos es una parte importante del problema. Debido al efecto indirecto causado por la pandemia de Covid-19, los poderes políticos en Europa han impuesto medidas de confinamiento para los ciudadanos imponiendo restricciones de movimiento en las grandes ciudades. Esta medida indirecta nos ha dado un terreno de experimentación para mostrar cómo la reducción de la circulación de vehículos tiene un efecto a corto plazo en los niveles de contaminación del aire en las ciudades. Por ello, este artículo analiza el efecto en Madrid. Esta ciudad ha sido elegida debido a su gran cantidad de tráfico rodado diario con altos niveles de contaminación; por lo tanto, la caída de la contaminación del aire se puede ver claramente en el período analizado. Los resultados mostrados a través de este estudio indican que la reducción de los vehículos de combustión afecta en gran medida a los niveles de contaminación en las diferentes ciudades. Durante el periodo de confinamiento, se ha experimentado una notable mejora de la calidad del aire donde los valores contaminantes bajaron hasta el 80% respecto al año anterior. Esto debería servir para concienciar a los ciudadanos y a los poderes políticos para adoptar medidas que induzcan el diseño de ciudades sostenibles.

**Keywords:** Dioxido de nitrogeno; PM10; Tráfico en la carretera; La contaminación del aire; COVID-19; Calidad del aire; Ciudades.

## INTRODUCTION

En Europa, la propagación de COVID-19 aumentó rápidamente en un corto período de tiempo (Jit *et al.*, 2020), y para mantener la seguridad entre los ciudadanos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propuso varias medidas (Sohrabi *et al.*, 2020). Una de las medidas más restrictivas implementadas con el surgimiento del COVID-19 fue la restricción de movilidad, que está directamente ligada a la actividad del individuo ya que hubo confinamiento domiciliario (Amer *et al.*, 2020), lo que resultó en una fuerte caída del tráfico diario. Como consecuencia, la calidad del aire mejoró gradualmente (Pérez *et al.*, 2010).

PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>, son dos contaminantes tóxicos que presentan graves daños a la salud cuando se inhalan (Khaniabadi, 2017). PM<sub>10</sub> se refiere a las partículas físicas o líquidas de polvo, cenizas, materiales metálicos, cemento, etc. dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro se encuentra entre 2.5 y 10 μm (Marcazzan *et al.*, 2001). La razón principal por la que los habitantes de las ciudades visitan más áreas verdes es por el bajo contaminación del aire. (Rigolon *et al.*, 2016) o lugares públicos diseñados por el sistema de infraestructura pública (Kronenberg *et al.*, 2020), y fueron visitados con frecuencia una vez que se levantaron las restricciones en diferentes etapas (Xie *et al.*, 2020).

Por otro lado, NO<sub>2</sub> se refiere al dióxido de nitrógeno, que es una composición que se forma durante los procesos de combustión en vehículos motorizados o plantas industriales (Setiabudi *et al.*, 2004), que puede inducir enfermedades respiratorias graves cuando se expone a altas concentraciones durante mucho tiempo (Khaniabadi, 2017). Debido a sus efectos negativos para la salud, se establecieron algunas normativas en las diferentes regiones y países del mundo (Prtr España, 2020).

Italia fue el primer país europeo con un alto número de casos, que aumentó exponencialmente hasta un total de 314,861 casos (registrados el 1 de octubre de 2020) (Worldometers Coronavirus Cases en Italia, 2020). Para controlar las anomalías, el gobierno italiano impuso medidas como el confinamiento y cierre de actividades no esenciales (Gatto, 2020) con la intención de rebajar la movilidad entre los ciudadanos. Estas restricciones de movilidad están asociadas indirectamente con la calidad del aire y la contaminación (Roorda-Knape *et al.*, 1998). Por tanto, este artículo aborda la contaminación en la ciudad española de Madrid. Lo que se ve claramente es la situación pre-COVID-19 en cuanto a contaminación y luego de la preocupación pública por esta enfermedad junto con las restricciones de movilidad



en diferentes países (Venter, 2020). España fue el segundo país en anunciar el estado de alarma el 14 de marzo, que en seguida puse la restricción de la movilidad no esencial (Petetin, 2020). Durante el estado de alarma se cancelaron vuelos internacionales en varios países con el fin de reducir la propagación del virus (Suzumura, 2020).

La mayoría de los países europeos enfrentaron el impacto de COVID-19 a principios de marzo, aunque algunos países diferían entre sí, principalmente debido a que el número de casos de COVID-19 aumentó en diferentes períodos de tiempo que se muestran en la Tabla 1. Estos períodos de tiempo se representan como diferentes etapas, en las que cada etapa indica una alteración de las medidas aplicadas en cada país para controlar la propagación de las infecciones. Dependiendo de factores como población total, número de casos y medidas específicas, estas etapas se prolongaron o acortaron.

CITIES	STATE OF ALARM	LOCKDOWN LIFTING	STAGE	STAGE	STAGE	STAGE
Milan (Italy)	8 March	04 May	3 June	15 June	-	-
Prague (Cz.Republic)	11 March	7 April	20 April	25 May	-	-
<b>Madrid (Spain)</b>	<b>14 March</b>	<b>11May</b>	<b>25 May</b>	<b>10 June</b>	<b>21 June</b>	<b>21 June</b>
Paris (France)	17 March	11May	2 June	22 June	11 July	24 July
London (U.K)	23 March	18May	2 June	15 June	4 July	10 August

**Tabla 1.** Estado de alarma y diferentes etapas durante el bloqueo.

**Fuente:** elaboración propia.

A través de los datos estudiados, se puede señalar que al implementar restricciones de movilidad, se puede mejorar la calidad del aire en las ciudades, se puede utilizar para crear conciencia sobre las consecuencias de la contaminación en nuestra vida diaria y las medidas necesarias para mejorarla.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se han resumido los datos recogidos con el fin de comprender y analizar el impacto de la aparición del COVID-19 en la calidad del aire y los niveles de contaminación de varias ciudades, siendo Madrid la ciudad de interés.

Para el estudio y análisis de los diferentes contaminantes del aire se utilizan herramientas especiales como las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos, las cuales se encuentran ubicadas en varios puntos de diferentes ciudades y

áreas. Estas estaciones miden los principales contaminantes presentes en entornos urbanos como azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), las partículas en suspensión con fracciones menores a 10 micrones ( $\text{PM}_{10}$ ) y menos de 2,5 micrones ( $\text{PM}_{2,5}$ ) y compuestos orgánicos (COV, benceno, tolueno, xileno). Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y  $\text{PM}_{10}$  requieren especial atención (AQICN, 2020). En el caso de este estudio actual, el análisis de diferentes contaminantes atmosféricos se ha realizado a través de instrumentos como el monitoreo del aire GAIA, el cual se describe a continuación y disponible en línea en fuentes de datos como AQICN (AQICN, 2020) donde se encuentran los diferentes contaminantes como el  $\text{NO}_2$  o  $\text{PM}_{10}$  se pueden estudiar con los datos disponibles de diferentes años. Por lo tanto, en este documento se realizó una comparación entre 2020 y 2019.

En este trabajo también se han utilizado la Agencia Espacial Europea, también conocida como ESA, y los satélites de monitoreo de contaminación de la NASA (ESA / Copernicus, 2020; NASA, 2020). En este caso, la información sobre la calidad atmosférica la proporcionan imágenes tomadas desde satélites donde, junto con la calidad atmosférica, también se estudian la radiación solar y el ozono estratosférico. El satélite utilizado para recopilar datos es Sentinel-5P, especializado en recopilar datos sobre diversas partículas y gases traza como dióxido de nitrógeno, ozono, formaldehído, dióxido de azufre, metano, monóxido de carbono y aerosoles, dañinos para los seres humanos y la salud planetaria si se presentan en valores altos.

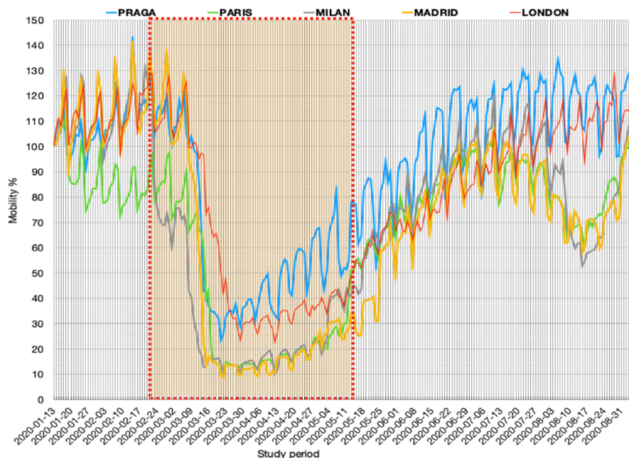
También se ha utilizado la herramienta GAIA A13 con sus lecturas de sensor, para detectar valores de PM. El estudio de materia de partículas (PM) nos brinda las lecturas y datos oficiales de AQI (plataforma de datos históricos de calidad del aire) para estudios posteriores. Gaia A13 está equipado con tres sensores de PM, un sensor meteorológico. Además de las partículas, los sensores también estudian elementos como la temperatura, la detección de presión y la humedad relativa.

Otra herramienta utilizada en este documento es la tendencia de movilidad de Apple, que es un conjunto de datos que contiene las tendencias de movilidad de COVID 19 en países / regiones y ciudades de todo el mundo. El objetivo de esta recopilación de datos fue proporcionar información sobre las autoridades sanitarias que buscan formas de frenar la propagación del COVID-19. Con los datos recopilados de esta herramienta, la variación en la movilidad humana y automovilística es clara.

## ÁREA DE ESTUDIO

En este trabajo se estudia la tendencia de la movilidad para comprender la alteración en los niveles de contaminación; por tanto, para este estudio se han analizado los datos de Madrid. Esta ciudad fue elegida por su elevado tráfico rodado diario, que afecta indirectamente a la calidad del aire.

A través de los datos estudiados se ha elaborado la Figura 1 con los datos de movilidad en diversas ciudades europeas. El periodo de estudio de este dato es desde enero hasta finales de agosto de 2020, y su comparación con 2019. También se destaca el periodo en el que la reducción del tránsito se mantuvo en valores inferiores, como se puede apreciar en la Figura 1, elaborado con la movilidad de Apple. tendencia (Informes de tendencias de movilidad de Apple, 2020).



**Figura 1.** Evolución de la movilidad en las ciudades europeas desde enero de 2020 hasta septiembre de 2020.

**Fuente:** Elaboración propia con datos recopilados de la tendencia de movilidad de Apple (Informes de tendencias de movilidad de Apple, 2020).

En la figura 1 se puede observar una reducción significativa de la movilidad. La caída comienza en el período en el que las autoridades y las organizaciones de salud implementaron medidas estrictas. El período de bloqueo en cada ciudad también es notable, ya que depende de los casos de COVID-19, la propagación y las muertes. Al observar la Figura 1, se puede deducir el patrón, ya que las ciudades comenzaron a suavizar las medidas de bloqueo después de dos meses en los que la movilidad cayó a valores mínimos.

## RESULTADOS

El tema de estudio de este artículo se centra en factores activos como las tendencias de movilidad en las ciudades europeas y la evolución de contaminantes en el aire como PM10 y NO<sub>2</sub>. Por lo tanto, los resultados de la evolución de la movilidad antes, durante y después del bloqueo se muestran en la siguiente subsección.

### Análisis de las tendencias de la contaminación y la calidad del aire en Madrid

Madrid es, entre otras, la ciudad española con mayores niveles de contaminación, debido a un gran número de movimientos de tráfico todos los días. Esto hace muy notorio el contraste de los valores de movilidad que se aprecian desde el período previo al bloqueo hasta el momento en que se declaró el estado de alarma. En España, el número de casos activos pasó de cientos a miles en la primera quincena de marzo (Worldometers, 2020), lo que indujo al Gobierno a declarar el Estado de Alarma el 14 de marzo.

Tras dos meses de encierro obligatorio, el Estado estableció un sistema para revertir la situación social a la normalidad, organizando una desescalada a través de diferentes pasos, que serían supervisados por cada región de España para decidir cuándo avanzar un paso en la transición. La ciudad de Madrid entró en la “Fase 0”, el 11 de mayo, con una duración de dos semanas, con excepción de las actividades al aire libre como caminatas y deportes, hasta el 25 de mayo. Cuando la ciudad pasó a la “Fase 1”, se eliminaron algunas limitaciones y restricciones en las actividades al aire libre y se abrieron bares y restaurantes. Dos semanas después, Madrid entró en la “Fase 2” donde se abrieron actividades culturales con aforo. El 21 de junio, Madrid pasó a una fase denominada “Nueva Normalidad” donde las actividades eran menos restrictivas en varios aspectos.

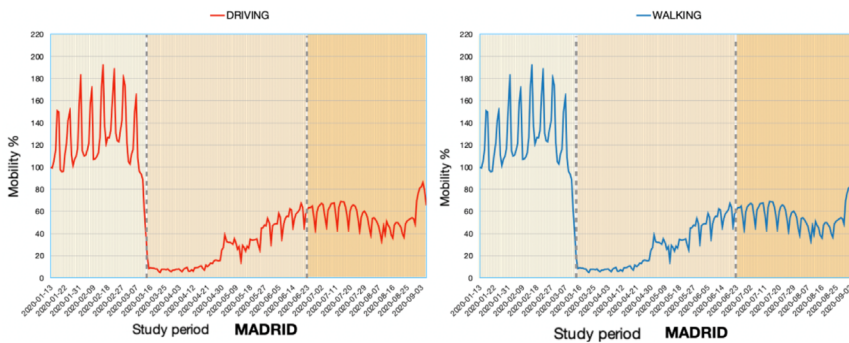
Esta evolución de la “desescalada” tuvo un impacto directo en el tráfico ya que los desplazamientos disminuyeron drásticamente tras el Estado de Alarma, como se puede observar en la Figura 2, que indica la evolución de la movilidad, elaborada con datos extraídos de la movilidad de Apple. tendencia (Informes de tendencias de movilidad de Apple, 2020).

Esta caída en el transporte indica que el tráfico es un punto vital para mejorar la calidad del aire, ya que el tráfico está directamente relacionado con la emisión de gases nocivos al medio ambiente como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>). En la figura 3 se puede ver cómo en diferentes regiones de España la calidad del aire mejoró radicalmente respecto al mismo período del año pasado.

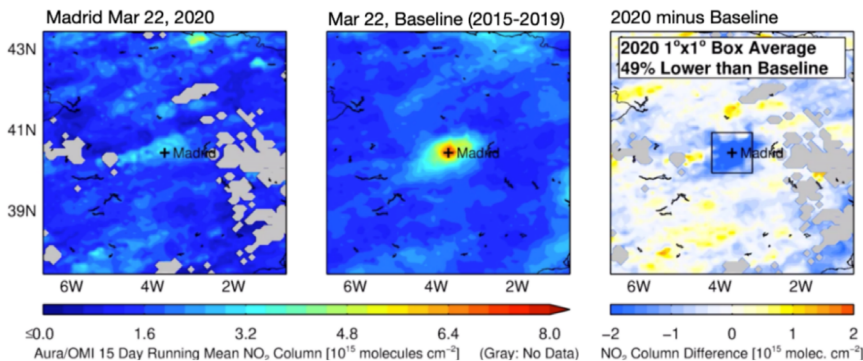
En grandes ciudades como Barcelona, Madrid, Valencia y Bilbao entre otras, los contaminantes atmosféricos descendieron de casi 160 a menos de 20 µg / m<sup>3</sup> como en el caso de Madrid. En total, la disminución de los valores de NO<sub>2</sub> en Madrid fue del 49% en comparación con la línea de base desde 2015 hasta 2019.

Por otro lado, el análisis de la contaminación atmosférica en Madrid muestra claramente las diferentes fases de desescalada que tuvo la ciudad, donde cada fase está conectada con un aumento paulatino de la contaminación atmosférica. Esta tendencia se muestra en la Fig. 4 que analiza la evolución de PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub> desde enero hasta agosto de 2020, período en el que la pandemia ascendió a su peor situación en España. Esta figura ha sido elaborada con datos extraídos del sitio web AQICN (AQICN, 2020).



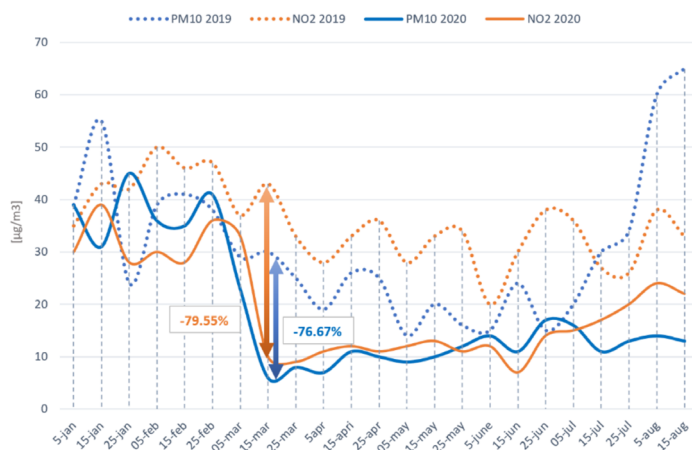
**Figure 2.** Evolución de la movilidad en Madrid de enero a septiembre de 2020.

**Fuente:** Elaboración propia con datos recogidos de la tendencia de movilidad de Apple (Apple MobilityTrendsReports, 2020).



**Figure 3.** Concentraciones de dióxido de nitrógeno en España el 22 de marzo de 2010 a partir del período de referencia (2015-2019).

**Fuente:** NASA AURA (NASA AURA, 2020).



**Figura 4.** Gráfico de contaminantes atmosféricos en Madrid (estación de medición de F.Ladreda) de enero a agosto de 2019 y 2020.

**Fuente:** Elaboración propia por datos recogidos de AQICN (AQICN, 2020).

La figura 4 muestra cómo en el período 2019-2020, la ciudad tuvo valores iniciales de alrededor de 30 y 40 de PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>. En el caso de 2020, esta tendencia continúa hasta el estado de alarma (14 de marzo de 2020). Después de este período, se puede ver una caída drástica tras las restricciones de movilidad establecidas por el Gobierno español. Los valores continúan siendo bajos hasta la fase 0 (4 de mayo de 2020), donde se relajaron algunas restricciones, lo que resultó en un ligero aumento de contaminantes como se muestra en la Figura 4. Con cada fase, los valores aumentan gradualmente; sin embargo, estos valores permanecen por debajo de los valores antes de la pandemia o 2019. Como se observa en la Figura 4, los valores de contaminantes como PM<sub>10</sub> cayeron en un 76,67% y NO<sub>2</sub> en un 79,55%.

## DISCUSIÓN

Este trabajo ha analizado los valores desde enero hasta agosto de 2020. El inicio de 2020 está marcado por valores en torno a 100 µg / m<sup>3</sup>, lo que indica los altos niveles de contaminantes en el aire en el período de medición. Una vez declarado el estado de alarma por parte de las autoridades y la Organización Mundial de la Salud (OMS), los valores disminuyeron drásticamente un 83,64%. Los valores generales de PM<sub>10</sub> se pueden ver en la Tabla 2:

CITIES	JANUARY	MARCH	AUGUST
Milan (Italy)	110 µg/m <sup>3</sup>	18 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
Prague (Cz.Republic)	48 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup>	16 µg/m <sup>3</sup>

Madrid (Spain)	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Paris (France)	44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
London (U.K)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabla 2.** Valores de PM10 en diferentes ciudades durante diferentes períodos de tiempo.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores del contaminante atmosférico, PM10, se redujeron drásticamente de 110  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  a menos de 50  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  en un corto período de tiempo, lo que indica el alto impacto del tráfico en el medio ambiente. La facilidad de cierre se produjo después de varios meses desde que se declaró, lo que provocó un aumento de los contaminantes en el aire; sin embargo, los valores de los contaminantes una vez que se levantaron las restricciones de movilidad son notables. Los valores fueron mayores que en el período de encierro, pero estos valores nunca alcanzaron el estado “normal”, mejorando la calidad del aire de las ciudades luego de varios meses de declararse la restricción de movilidad y estado de alarma, como se puede ver en la Tabla 2, marcando los tres períodos principales de estudio: El comienzo del año, el período de encierro y después del encierro. Una vez levantadas las restricciones, los valores de la calidad del aire se mantuvieron en cifras positivas como Madrid (12  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ).

Estos resultados deberían motivar al sistema global a repensar las leyes, regulaciones y políticas de movilidad actuales, de modo que las emisiones puedan reducirse con el fin de lograr una mejor calidad del aire en las grandes áreas urbanas. Por lo tanto, este estudio muestra la importancia de la conciencia del efecto humano sobre la contaminación, y se ha estudiado en el presente artículo. Una reducción en el uso del transporte público y privado da como resultado una reducción de diferentes contaminantes en el aire como PM10 y  $\text{NO}_2$ . Esta tendencia comparte el mismo patrón en diferentes ciudades ya que todas las ciudades mencionadas han presentado una fuerte disminución en cuanto a contaminación. Según los datos, puede relacionarse con la salud de los ciudadanos, ya que una mejor calidad del aire conduce a una mejor calidad de vida. La falta de contaminantes es difícil de eliminar en las grandes ciudades, pero con la acción humana y el interés político ha demostrado su impacto en el medio ambiente.

## CONCLUSION

Como se observa, una consecuencia positiva del surgimiento de esta pandemia es la conciencia sobre la situación actual que se vive a nivel mundial, lo que cuestiona la normativa y legislación medioambiental. Esto motiva la modificación de las políticas

ambientales a largo plazo, ya que la mejora de la calidad del aire y el medio ambiente es altamente concebible con la ayuda de actividades humanas conscientes con respecto a la salud planetaria y la calidad del aire.

Un bloqueo estricto de un corto período de tiempo ha demostrado un efecto positivo importante en el medio ambiente y la calidad del aire de diferentes ciudades. La obstrucción de las actividades industriales, económicas y de transporte junto con las restricciones de movilidad nos han brindado una oportunidad única para estudiar el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente.

Por tanto, este estudio demuestra cómo la aparición del COVID-19, con la falta de movilidad durante aproximadamente dos meses, resultó en la disminución de la concentración en el aire de partículas como dióxido de nitrógeno y PM10 a valores mínimos en la ciudad de Madrid, para comprender la reducción significativa en la concentración de contaminantes en el aire. Se aprecia una caída drástica en los niveles de NO<sub>2</sub> y PM10 de acuerdo con la fecha del decreto del Estado de Alarma, cuando las emisiones redujeron hasta el 50% en Madrid (de 30 a 15 µg / m<sup>3</sup>); Por tanto, la acción humana que, en este caso, fue motivada por la aparición del COVID-19, supuso importantes mejoras en la calidad del aire y ha mostrado su impacto en las grandes ciudades, haciendo de esta acción una clave para potenciar el actual problema de contaminación que tiene una característica que se puede resolver.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the European Union under the project Green Cities for Climate and Water Resilience, Sustainable Economic Growth, Healthy Citizens and Environments with reference 730283 and the framework of Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency.

## REFERENCES

- Airborne Nitrogen Dioxide Plummets over China.** Available online: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxideplummets-over-china> (accessed on 10 September 2020).
- Amer, F., Hammoud, S., Farran, B., Boncz, I., & Endrei, D.** (2020). Assessment of countries' preparedness and lockdown effectiveness in fighting Covid-19. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 15, 1–8.



- Apple** (n.d.). Apple Mobility Trends Reports. Available online: <https://covid19.apple.com/mobility> (accessed on 12 September 2020).
- ESA/Copernicus**. Coronavirus Lockdown Leading to Drop in Pollution across Europe. Available online: <https://www.esa.int/eseach?q=covid-19> (accessed on 10 September 2020).
- AQICN**. Air Quality Data. Available Online: <https://aqicn.org/data-platform/register/> (accessed on 3 August 2020).
- Gatto, M.; Bertuzzo, E.; Mari, L.; Miccoli, S.; Carraro, L.; Casagrandi, R.; Rinaldo, A.** Spread and dynamics of the COVID-19 epi-demic in Italy: Effects of emergency containment measures. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2020, 117, 10484–10491.
- Hagen, L.J.** Fine particulates (PM10 and PM2.5) generated by breakage of mobile aggregates during simulated wind erosion. *Trans. ASAE* 2004, 47, 107.
- Jit, M., Jombart, T., Nightingale, E. S., Endo, A., Abbott, S., & Edmunds, W. J.** (2020). Estimating number of cases and spread of CORONAVIRUS disease (COVID-19) using critical care admissions, United KINGDOM, February to MARCH 2020. *Eurosurveillance*, 25(18).
- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A.** (2017). Exposure to Pm10, No2, and O3 and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2781–2789
- Kronenberg, J.; Haase, A.; Łaszkiwicz, E.; Antal, A.; Baravikova, A.; Biernacka, M.; Dushkova, D.; Filčák, R.; Haase, D.; Ignatieva, M.; et al.** Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in postsocialist cities. *Cities* 2020, 106, 102862.
- Marcazzan, G.M.; Vaccaro, S.; Valli, G.; Vecchi, R.** Characterisation of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmos. Environ.* 2001, 35, 4639–4650.
- NASA AURA**. Available online: [https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/no2\\_index.html](https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/no2_index.html) (accessed on 8 September 2020).
- Pérez, N., Pey, J., Cusack, M., Reche, C., Querol, X., Alastuey, A., & Viana, M.** (2010). Variability of PARTICLE Number, black carbon, and PM10, PM2.5, and Pm1levels and Speciation: Influence of road traffic emissions on urban air quality. *Aerosol Science and Technology*, 44, 487–499

- Petetin, H.; Bowdalo, D.; Soret, A.; Guevara, M.; Jorba, O.; Serradell, K.; Pérez García-Pando, C.** Meteorology-normalized impact of COVID-19 lockdown upon NO<sub>2</sub> pollution in Spain. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2020, 20, 11119–11141.
- Prtr España. Partículas PM10.** Available online: <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007> (accessed on 8 September2020).
- Rigolon, A.** A complex landscape of inequity in access to urban parks: A literature review. *Landsc. Urban Plan.* 2016, 153, 160–169.
- Roorda-Knape, M.C.; Janssen, N.A.; De Hartog, J.J.; Van Vliet, P.H.; Harssema, H.; Brunekreef, B.** Air pollution from traffic in city districts near major motorways. *Atmos. Environ.* 1998, 32, 1921–1930.
- Setiabudi, A.; Makkee, M.; Moulijn, J.A.** The role of NO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in the accelerated combustion of soot in diesel exhaust gases. *Appl. Catal. B Environ.* 2004, 50, 185–194.
- Suzumura, T.; Kanezashi, H.; Dholakia, M.; Ishii, E.; Napagao, S.A.; Pérez-Arnal, R.; Garcia-Gasulla, D.** The Impact of COVID-19 on Flight Networks. *arXiv* 2020, arXiv:2006.02950.
- Sohrabi, C., Alsafi, Z., O’Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Agha, R., & Agha, R.** (2020). World health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*, 76, 71–76.
- Venter, Z.S.; Aunan, K.; Chowdhury, S.; Lelieveld, J.** COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2020, 117, 18984–18990.
- Worldometers.** Coronavirus Cases in Italy. Available online: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/italy/>(accessed on 1 October2020).
- Worldometers.** CoronavirusCasesinSpain.Availableonline:<https://www.worldometers.info/coronavirus/country/spain/>(accessed on 1 October2020).
- Xie, J.; Luo, S.; Furuya, K.; Sun, D.** Urban Parks as Green Buffers During the COVID-19 Pandemic. *Sustainability* 2020, 12, 6751.

# **CIRCULAR CONSTRUCTION: REUSING WASTE MATERIALS**

**Claudia Sicignano<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>PhD, Master, University of Naples, Federico II; e-mail: [claudia.sicignano@unina.it](mailto:claudia.sicignano@unina.it)*

## **ABSTRACT**

Although reuse in the broadest sense also includes the reuse of components of historic buildings, the relevant reuse from the point of view of the size of the waste problem is the re-introduction of waste materials into a new production process, possibly within the same cycle that generated them. A fundamental role is played by the initial design phase of the building, which must be conceived in function of a future final disassembly of the building and not of its demolition. The selective disassembly of buildings is aimed at making available monomaterial fractions suitable for treatment in special recycling plants that allow waste to be used as secondary raw materials. The data that emerged showed that selective demolition is economically viable compared to traditional demolition in the hypothesis that the two opposing scenarios are selective demolition with a very high percentage of recovered materials, therefore valorised as secondary raw materials, and the traditional demolition with transfer of rubble to special waste landfills.

The environmental advantage of selective demolition is undoubted because it achieves many positive results at the same time: a drastic reduction in the amount of waste to be deposited in the area, protection from the risks of soil pollution associated with reuse for filling and a saving in natural raw materials equal to the percentage of recycled material returned to the production cycle. Many researches carried out recently and still in progress at international level agree in confirming that a particular disassembly of the building and appropriate treatments allow a high level of quality in the recovery of materials that can thus compete with the natural aggregates traditionally used.

**Keywords:** Circular construction, circular economy, waste materials.

## **INTRODUCTION**

The production of waste is increasing in the various European countries, which is why both EU legislation and an up-to-date “technological culture” is promoting the use of waste as a secondary raw material and recommending the methodological

approach of life cycle analysis (LCA) for the assessment of the related environmental impacts.

Waste can be divided into reusable, i.e. made up of those elements that can be brought back to their origin by preserving their shape, internal and external fixtures, fences, balcony gratings, wooden and/or steel beams, etc.; and recyclable, i.e. made up of those elements that can be brought back to their origin by preserving their shape. Recyclable, i.e. made up of waste that can be returned to its origin, such as lithoid materials, wood and metals in general, and waste that, subjected to thermal destruction, provides energy, including organic components such as PVC flooring; unusable, i.e. made up of undesirable components present in the part to be recycled and which must be landfilled or treated separately.

The composition can be differentiated between the construction phase, which, like the maintenance phase, generates very heterogeneous waste, including timber and scaffolding, plastics, cardboard, metals, empty packaging, scraps of cladding, insulation and waterproofing materials, ceramic materials, brick and concrete waste, and the demolition phase, which generates more homogeneous waste with a prevalence of brick and concrete.

The demolished concrete, which can be placed within the recyclable fraction, will increase to a large part of the rubble, as a consequence of the demolition of buildings built up to the 1950s-60s. Although reuse in the broadest sense also includes the reuse of components of historic buildings, the relevant reuse from the point of view of the size of the waste problem is the re-introduction of waste materials into a new production process, possibly within the same cycle that generated them.

## **PAPER**

Since the physical and chemical environment that surrounds man is a closed system, in which all parts are mutually interconnected, the only possible way to combat environmental degradation due to the depletion of raw materials is to ideally impose a circular direction on the resource transformation processes, keeping the recycled raw materials, which have thus become secondary raw materials, within the same production cycle. In the construction process, all raw materials used in the environment are reintroduced in some form at the time of demolition, but to close the circle, a high quality form of recycling must be implemented. From the outset, the term “waste” indicates that there is provision for subsequent reuse, after treatment in appropriate facilities, of the rubble produced that has thus “escaped” its fate as

“waste” that can no longer be reused. Recycling in a lower quality application will not, however, close the loop, but only extend the useful life of a product. In order to reduce the amount of waste, identified as material destined for landfill, a fundamental role is played by the initial design phase of the building, which must be conceived in function of a future final disassembly of the building and not of its demolition. At the basis of the building process there are certainly some actions that the designer can undertake which, besides the use of recycled materials in new constructions, can contribute to reduce the use of resources by reducing the amount of waste produced and increasing the recycling rate of waste.

From the point of view of the life cycle, an ad hoc design of the component and the building allows choices to be made in the direction of separation of the component at the end of its useful life. It is therefore desirable to introduce a design practice which avoids the use of associated components, such as foil panels with insulation, and the gluing or sealing of components together, which may facilitate assembly but make separation at the end of the useful life of the building impossible. Up to now, and in most cases in Italy, most demolition is carried out with the help of mechanical means such as excavators, crushers, machines with telescopic arms that can be equipped with pliers, hydraulic shovels and shears, which allow to separate three types of material: wood, iron, concrete combined with bricks and others. This separation is certainly still coarse and not sufficient to guarantee the valorisation of the materials belonging to the lithoid fraction, which should include the two distinct sub-fractions of “only concrete” and only “mixed brick rubble”. In the field of waste materials, the only case of almost total recovery for a new use that fully exploits its potential occurs in the case of iron from the reinforcements, which is sold in hanks to the steelworks to be reused following new casting processes, while for wood the post-use events are much more uncertain and range from shredding and regeneration as chipboard to exploitation as fuel.

What could be defined as the most interesting and percentage-wise material recycling, i.e. the recycling of the lithoid fraction, is however only achievable at the highest level through the treatment in a fixed crushing plant of the fraction distinguished as “only concrete” and therefore not achievable through the demolition practices of the type most widespread in our country today. The ideal objective of recycling the material in the same production cycle, i.e., in this case, the reuse of old crushed concrete as aggregate, therefore remains among the desiderata of those involved. The ideal of recycling the material in the same production cycle, i.e. in this case the reuse of old crushed concrete as an aggregate, is therefore still the wish of those

involved in the industry. It should be pointed out that such a practice, on the one hand avoiding the landfilling of unsorted rubble, which is therefore not guaranteed to be free of fractions that may be harmful to the environment, and on the other hand encouraging its deposit in the territory, does not in any way protect against the risk of soil pollution.

In fact, the belief that waste as a whole is chemically inert should be reconsidered, despite the presence of innovative synthetic materials such as waterproofing, insulation or protective materials.

The selective disassembly of buildings is aimed at making available monomaterial fractions suitable for treatment in special recycling plants that allow waste to be used as secondary raw materials. The general rule is that, even in the case of waste, the more homogeneous the material, the higher the chances of high-quality recycling compared to recycling where the material is underused from a performance point of view. However, homogeneous fractions of material are currently only available at the end of the useful life of the building, due to the limited availability within the existing building stock of constructions that have been designed in some way from the beginning to allow easy final disassembly. The two different times of the building dismantling process in which it is possible to intervene in order to divide the waste into fractions as homogeneous as possible are the separation at the origin with storage in separate containers, before the actual demolition, or the sorting inside the heaps of materials that can still be separated, once the demolition is finished. The sorting of the two fractions “concrete only” or “bricks plus concrete” in the heaps stored at the entrance of the treatment plants belongs to the second group of operations but, compared to a separation at source, can at this point only be carried out to a limited extent. The initial sorting and separation requires the aid of de-construction techniques that are referred to under the general term of selective demolition. The main purpose of deconstruction is therefore to concretely increase the level of recyclability of the waste generated on the demolition site, whatever the starting configuration of the building, according to an approach that favours the aspect of the quality of the material obtainable from recycling. Following analysis and monitoring on typical sites, the procedure followed for the demolition work involved the removal of external moving parts such as waterproofing and roofing and all materials classifiable as harmful and dangerous, starting from the top; then the removal of technological installations (electrical, heating, air conditioning and air exchange, water and waste water, sanitary installations), internal and external fixtures, internal floors and wooden partitions, and plasterboard finishing works, demolition of structural parts

and their storage in separate containers. The aggregation of the waste revealed an absolute prevalence of the two fractions concrete and ceramic materials with a very limited presence of wood and metals and a residue of material that can be defined as a whole as miscellaneous rubble that cannot be reused in any way.

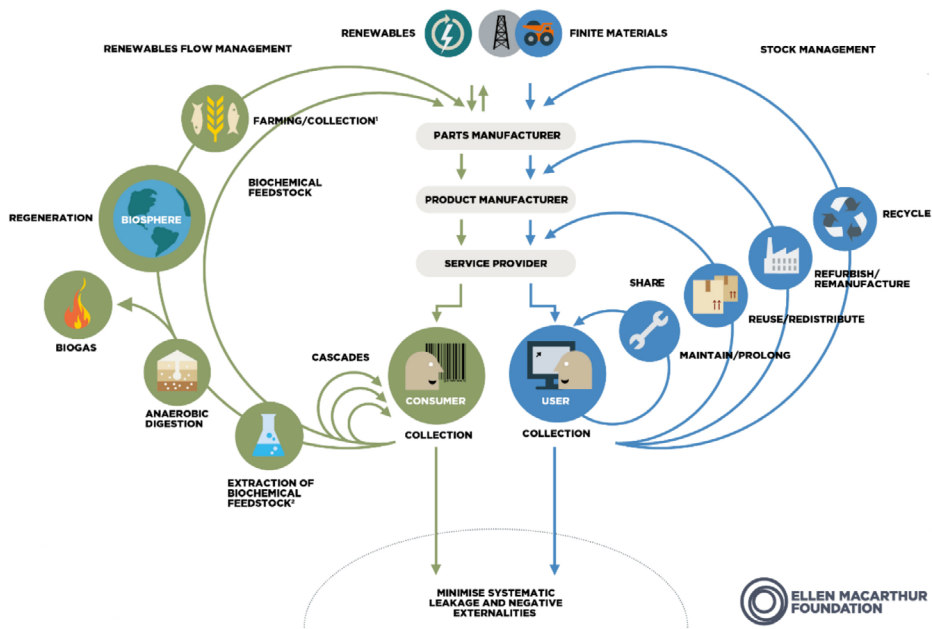
A typical operation carried out and analysed yielded a quantity of recyclable material for all fractions equal to 94% of the total, for a cost distribution that saw dismantling accounting for 58% of the total costs, transport for 21% and recycling/disposal for 20.5%. In the end, it emerged that not only did the costs of dismantling vary greatly according to the functional sub-system concerned, but that within the item “dismantling” labour and equipment had a different impact each time. In addition, the very limited costs of the equipment required for the dismantling of electrical installations, sanitary installations, guttering and external installations were offset by a significantly higher financial commitment for equipment than for labour in the case of the demolition of foundations. On a broader scale, one wonders what has enabled other European countries (especially Scandinavian and northern European ones) to make the “leap” towards selective demolition and recovery of inert waste in the building sector, compared to the Italian situation, which has only been tackling this problem for a few years.

The Italian situation presents a building heritage with a very long life cycle compared to the rest of Europe; in Italy the design and construction culture based above all on restoration, recovery, reuse and renovation has had and continues to have a decisive role in this sector. In the search for a threshold beyond which it becomes more convenient to proceed to the demolition of the building organism, and which therefore allows the maximum exploitation of the waste produced rather than implementing a conservation intervention, it is fundamental to consider a limited number of factors to which the diffusion of waste recycling is linked. In Europe, however, there are a number of small and large problems to be taken into account, such as the reduced availability of low-cost landfill sites, the scarcity of quarried material, the particularly short life cycle of buildings, a taxation policy that penalises the landfilling of recyclable waste and modulates the costs of landfilling or receiving it at plants according to the homogeneity of the material or the availability of already separated monomaterial fractions; the existence of a control system on demolition activities that is subject to the issuing of the so-called “demolition permit”, which is compulsory by law.

Achieving this in Italy is not easy. In fact, these actions are more a programme of intentions than an operational reality. These include poorly controlled waste pro-

duction, lack of treatment facilities, lack of incentives for recovery in terms of landfill costs, disposal taxes, distances between landfills and treatment facilities, mandatory recycling of certain fractions and their inclusion in tender specifications, and the absence of control instruments such as demolition permits.

The model study came up with a probable forecast of the costs and time needed for a selective demolition in place of the traditional one that actually took place. The data that emerged showed that selective demolition is economically viable compared to traditional demolition in the hypothesis that the two opposing scenarios are selective demolition with a very high percentage of recovered materials, therefore valorised as secondary raw materials, and traditional demolition with transfer of rubble to special waste landfills.



**Figure 1:** Circular economy system diagram (February 2019)

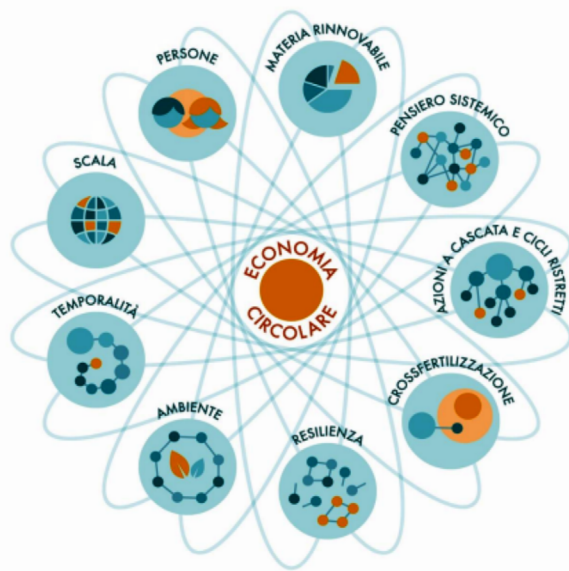
**Source:** Ellen Mac Arthur Foundation- [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org)

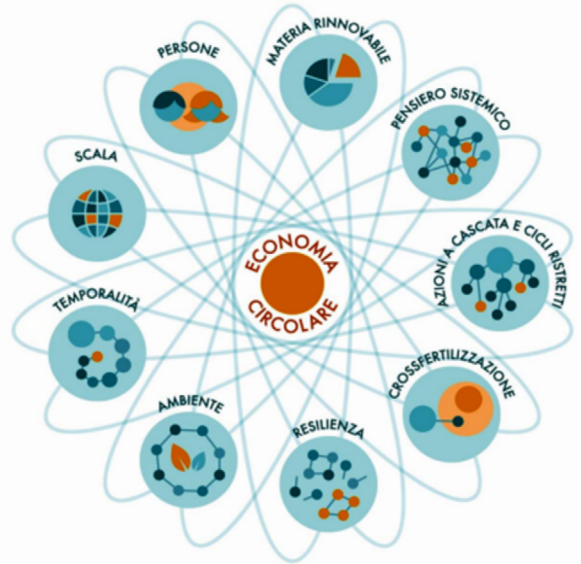
Selective demolition brings economic benefits, unlike traditional demolition, which ceases to exist when the rubble from traditional demolition is used for landfill, thus cutting the cost of landfilling.

The environmental advantage of selective demolition is undoubted because it achieves many positive results at the same time: a drastic reduction in the amount of waste to be deposited in the area, protection from the risks of soil pollution associat-

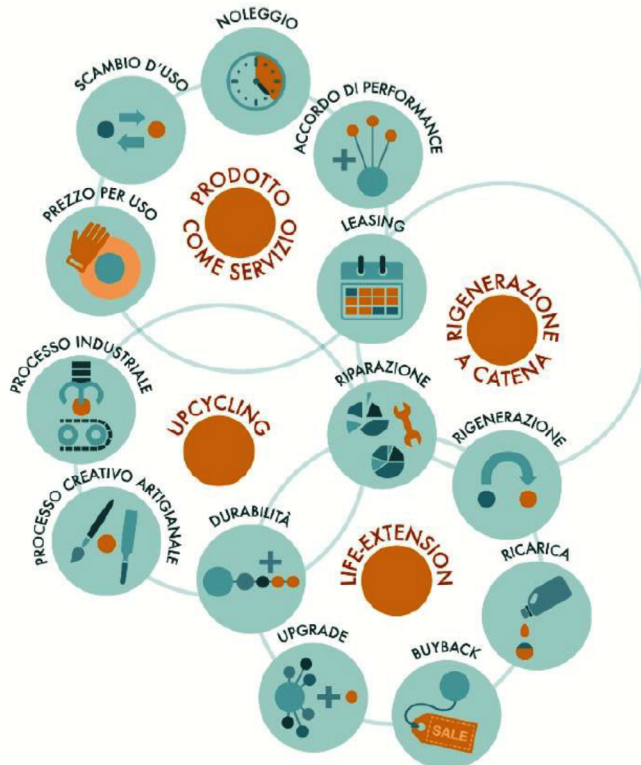


ed with reuse for filling and a saving in natural raw materials equal to the percentage of recycled material returned to the production cycle. If the production cycle in question is the same or equivalent to the original one, the “circle closes” and the greatest environmental benefit is achieved. In the actual case, only a very low percentage of the demolition rubble, i.e. the “plastics and waterproofing materials” fraction, was delivered to the landfill for municipal waste. The quantity of iron recovered was 100 tonnes, while the remaining material, crushed with a mobile plant, was stored in a warehouse to be used later for filling. For the purposes of comparison, since it is not meaningful to compare traditional demolition with selective demolition without also taking into account any disposal costs in landfills for inert waste, it was assumed that the company followed the latter procedure and disposed of the rubble at the market price. The actual mechanical demolition was carried out starting from the roofs. The technological installations were not removed beforehand but were demolished together with the building. The equipment used was an excavator equipped with a grapple, a crusher and a bucket. With this equipment it was possible to coarsely separate iron, wood, plastic and waterproofing material. The work lasted 27 days. An interpretation of this comparison underlines that at present selective demolition, while competitive with conventional landfill demolition, is not yet competitive with the current practice of using rubble for backfilling. However, if the sector were better regulated and there were more controls on the truly inert nature of the material used for filling, the fraction that could be re-used would be smaller, the percentage of materials to be disposed of or treated separately would increase and thus the picture of convenience would change.





**Figure 2:** Atomic diagram of the circular economy particles.  
**Source:** What is the circular economy (2016).



**Figure 3:** Outline of circular economy business models.  
**Source:** What is the circular economy (2016)

The benefits concern several fronts at the same time and above all the net increase in the quantity and quality of the materials to be sent to the respective recycling processes, with savings in virgin raw materials which, in the case of the lithoid fraction, are also limited resources, and the reduction of harmful emissions into the soil resulting from the deposit of not completely inert material on the territory according to the practice of filling. An example from the case analysed is the discrepancy between the amount of iron recovered through post-demolition sorting, which amounted to 116 tonnes (18 % of the total iron) and that actually present in the building as counted in the inventory on the basis of the available mapping, which amounted to approximately 642 tonnes and which could have been recovered almost entirely through selective demolition. The study has shown that up to 97% of the material can be recovered by selective demolition, whereas traditional demolition, such as that carried out, can only recover 0.3%. The use of a mobile crusher for size reduction in the case of traditional demolition did save on landfill costs and the purchase of virgin raw material, but it also made available material that was not necessarily inert and could even potentially pollute the environment.

## **CONCLUSION**

Selective demolition is undoubtedly a fundamental contribution to the increasing recycling of construction waste which, as has been shown, can be more economical than traditional demolition when the costs of deconstruction are compensated by a reduction of the costs for the landfilling of materials and/or their reuse. Selective demolition combined with the treatment in fixed plants of the lithoid fraction, which constitutes the most relevant part of the waste because of the construction techniques mostly used in Italy, makes it possible to approach the ideal condition of closed-type recycling in which the secondary raw materials are reused in the same production process of origin. Many research carried out recently and still in progress at international level agree in confirming that a particular disassembly of the building and appropriate treatments allow a high level of quality in the recovery of materials that can thus compete with the natural aggregates traditionally used.

## **REFERENCES**

**Bari: Laterza Stati Generali della Green Economy** (2016), La città futura: manifesto della Green Economy per l'architettura e l'urbanistica. Roma. Disponibile da: <http://www.statigenerali.org>

**Bompan E. e Brambilla I. N.** (2016). Che cos'è l'economia circolare. Milano: Ambiente

**Bonomi A., Della Puppa F. e Masiero R.** (2016). La società circolare: Fordismo, capitalismo molecolare, sharing economy. Roma: Derive Approdi

**Candia S., Pirlone F., Spadaro I.** (2017), L'economia circolare dei rifiuti come prospettiva di riuso del territorio. Caso studio: Genova. Relazione presentata a: Atti della XIX Conferenza nazionale SIU, Cambiamenti, Responsabilità e strumenti per l'urbanistica al servizio del paese, Catania. Disponibile da: <http://media.planum.bedita.net>

**Cultura di manutenzione per l'economia circolare.** Principi e criteri per una lunga vita dei prodotti. Michele Di Sivo, Daniela Ladiana. Pisa University Press, 2021

**Della Fontana M., Musco F.** (2017), i flussi di acqua, energia e cibo nell'economia circolare: il caso di Amsterdam. Relazione presentata a: Atti della XIX Conferenza nazionale SIU, Cambiamenti, Responsabilità e strumenti per l'urbanistica al servizio del paese, Catania. Disponibile da: <http://media.planum.bedita.net>

**Edilizia circolare.** Colloqui.AT.e, 2018. Ediz. multilingue di F. Cuboni, G. Desogus, E. Quaquero (a cura di)

**Ellen MacArthur Foundation** (2015), Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition. Disponibile da: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>

**Ellen MacArthur Foundation** (2017), Cities and Circular Economy: An initial exploration. Disponibile da: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>

**Greenpeace Italia** (2017), <http://www.greenpeace.org/italy/it/>. Consultato in data 14 novembre 2017.

**Hellweg S., Milà i Canals L.** (2014). Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. Science, 344, 1109-1113.

**Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia.** Dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare di Adolfo Baratta. Editore Timía, 2019

**Progettare con l'esistente.** Riutilizzo di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare di Antonello Monsù Scolaro (Autore). Franco Angeli, 2017

**Progettare e sviluppare l'economia circolare.** Un'esperienza didattica sulla trasformazione di rifiuti in nuove risorse per l'architettura e il design, a cura di Elena Montacchini, Silvia Tedesco, Nicolò Di Prima. Anteferma Edizioni, 2021

**Marchiori Carmen** (2017). Economia Circolare. Slide del corso di Etica della Sostenibilità Ambientale del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Brescia.

**Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo Economico** (2017), Verso un modello di economia circolare per l'Italia: Documento di inquadramento e di posizionamento strategico, Roma. Disponibile da: <http://www.sviluppoeconomico.gov.it>

**Sostenibilità ambientale**, economia circolare e produzione edilizia Copertina flessibile, 2015 di ISTEA (a cura di)

**Verso un'economia circolare** (2018), <http://www.versounaeconomicocircolare.it/>. Consultato in data 21/02/2018. Capitolo 7: Bibliografia 202

**Zanon B.** (2008). Territorio, ambiente, città: Il territorio della sostenibilità. Firenze: Alinea



# ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACION ACTUAL EN ITALIA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (C&D): DESAFIOS Y OPORTUNIDADES

Javier Cárcel-Carrasco<sup>1</sup>, Aurora Martínez-Corral<sup>2</sup>, José Ramón Albiol-Ibáñez<sup>3</sup>, Elisa Peñalvo López<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [fracarc1@csa.upv.es](mailto:fracarc1@csa.upv.es)

<sup>2</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [aumarcor@csa.upv.es](mailto:aumarcor@csa.upv.es)

<sup>3</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [joalib1@csa.upv.es](mailto:joalib1@csa.upv.es)

<sup>4</sup>Universitat Politècnica de València (Spain). Email: [elpealpe@upvnet.upv.es](mailto:elpealpe@upvnet.upv.es)

## ABSTRACT

El volumen de residuos procedentes de la Construcción y Demolición en Europa aumenta cada año, la Unión Europea ha decidido tomar el control del asunto recojiendouna prácticas y objetivos comunes a alcanzar. Este artículo analiza cómo funciona la gestión de residuos en Italia ajustando su sistema a la Unión Europea, en materia de Construcción y Demolición, teniendo en cuenta la disposición de material procedente de la producción de C&D (Construction and Demolition). En Italia, la disposición puede diferir SEGÚN las regiones en las que se divide, y esto debe tenerse en cuenta a la hora de analizar información que refleje los distintos aspectos logísticos vinculados al territorio. También es necesario considerar cómo el volumen de residuos puede variar SEGÚN el tamaño de la región considerada y el tipo de desarrollo industrial al que pertenece. El análisis de la situación italiana muestra sus logros respecto la canti- dad de residuos C&D reciclados que después del 2010 alcanza un valor igual o superior al mínimo establecido por la Union Europea, aunque todavía existen barreras en el campo de su gestión. A través de la recolección de datos, se ha visto el diferente volumen que se genera en las actividades relacionadas con la construcción en el país, junto con el volumen de residuos recuperados. Así, el objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento general sobre los residuos producidos por la Construcción y Demolición en Italia y las prácticas de gestión de residuos adoptadas SEGÚN la Unión Europea.

**Keywords:** Residuos de C&D; construcción; demolición; Unión Europea; reciclaje.

## INTRODUCTION

La Unión Europea desea lograr una “sociedad fundada en el reciclaje, que busque evitar la producción de residuos pero que, en cualquier caso, los utilice como recurso” (ADELLA *et al.*, 2020). Considerando solo los residuos derivados de la con-

strucción y demolición, este tipo se produce mundialmente en grandes cantidades (Letcher & Vallero, 2011). El nivel de peligrosidad es bastante bajo, y es fácil evitar las normativas vigentes sobre su disposición, desechandolos en lugares no autorizados (Pillari, 2019). En el caso italiano, considerando el año 2018, ÚLTIMO año del que se conocen los datos, la cantidad de residuos especiales generados fue de alrededor de 143 millones de toneladas, de las cuales 59 millones de toneladas fueron producto ÚNICAMENTE de las actividades de C&D (ISPRA, 2020). Esto significa que el nivel de producción de residuos C&D alcanza el 40% de los residuos generados, en línea con los datos europeos, y representa una fuente valiosa si se gestiona correctamente (Hoornweg *et al.*, 2013). Los resultados sobre generación y residuos recuperados implican no solo a todo el país sino también a las regiones. Como se muestra en la Figura 1, el país está dividido en regiones, pero se hace una distinción más amplia entre tres categorías: norte, centro y sur.



**Figura 1.** Regiones de Italia y división entre territorios.

**Fuente:** elaboración propia.

Las distintas partes en las que se divide el país ofrece una gran variedad de información que muestra cómo la economía y el desarrollo industrial se vincula directamente a los diferentes datos obtenidos (Barbaro, 2018; European Commission, 2018; European Commission, 2020). Debe tenerse en cuenta que las tres zonas tienen una



ligera división que contribuye de distinta al desarrollo del país; en el norte se desarrollan más las las industrias y la producción, el centro es la zona administrativa con la capital y en el sur encontramos la mayoría de la producción agrícola. El artículo pretende enfatizar cuáles son las zonas con mayor cantidad de residuos producidos y reciclados y las razones de tal comportamiento. Este país presenta un sistema de recolección de datos detallado y actualizado sobre la gestión de residuos a nivel nacional, sin embargo, uno de los principales problemas es que los datos no están homogeneizados a nivel regional (Comisión Europea, 2015). Las 20 regiones diferentes del país recolectan la información utilizando sus normativas y escalas internas, y cuando es necesario recolectarlos para un estudio más amplio a nivel nacional, generalmente no es posible o solo se queda a nivel estadístico (Palaia & Campioli, 2015). Como consecuencia de las estrategias adoptadas por la Unión Europea, la decisión sobre la aplicación de la normativa sobre el Green Public Procurement requerirá la inclusión de criterios ambientales claros y verificables para los productos y servicios en el proceso de contratación pública (Comisión Europea, 2020).

Italia fue el primer país, entre los Estados miembros de la UE, en imponer la obligación de aplicar CAM (Criterios Ambientales Mínimos) para las estaciones de contratación pública, relanzando la importancia que juegan las compras de tipo verde como herramienta estratégica (Ronchi & Nepi, 2013). El uso de estas prácticas aspira a un sistema de datos colectivo unificado con información más clara sobre los resultados nacionales y regionales. Con los buenos resultados en residuos de C&D reciclados que alcanzaron más del 75% en 2017 (último año para el que se reportan los datos), la implicación en el país para alcanzar el estándar europeo se encuentra en buen camino, pero aún así, la política y las barreras sociales, como las prácticas ilegales implementadas en el pasado, mantienen un nivel de desconfianza en el uso de residuos reciclados (European Union, 2008). Por tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar cuestiones que afectan de forma indirecta y directa al proceso de residuos y el papel de la normativa vigente por parte de la Unión Europea. En el caso de Italia se realiza un estudio extenso, donde se analizan las diferentes producciones de residuos junto con las tasas de recuperación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los datos recopilados en este estudio representan a todo el país, pero se presta especial atención a las diferencias y resultados entre las 20 regiones que lo forman. Toda la información recogida es bastante estadística, procedente del análisis y la interpretación de las diferentes evidencias recogidas. Los escenarios presentados re-

flejan la naturaleza diversa del territorio y cómo las políticas implementadas y la organización interna pueden afectar la producción de residuos. Una fuente fundamental para la recolección de datos está representada por el sitio web gubernamental oficial de ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale); esta institución es la encargada de recopilar todos los datos de todo tipo de residuos, incluido el C&D (ISPRA, 2020). Gracias a la información almacenada por ISPRA, la situación en todo el país se puede analizar fácilmente; pero queda difícil una visión completa. La organización para la gestión de residuos en este país está dividida entre regiones con su administración y su forma de recopilar datos. Este aspecto representa pros y contras; el sistema permitió una mejor administración diseñada para adecuar cada región a cada necesidad diferente pero ofrece datos difíciles de comparar debido a los parámetros considerados en cada zona. El material analizado es el resultado de un trabajo de recopilación realizado por ISPRA en el que se han agrupado todos los datos de producción referentes a residuos y en nuestro caso residuos de C&D. Los datos tomados en consideración fueron elegidos por su relevancia para el estudio realizado. Se consideraron datos de toda la nación y posteriormente de las diferentes regiones. Para tener una comprensión más clara de la situación actual con respecto a la gestión de residuos C&D, también se han consultado otras fuentes. Gracias a la Unión Europea (European Union, 2008), se pudo llegar a conocer una gran escala de datos y la Comisión Europea cumplimentó la información mostrando los parámetros y requisitos requeridos para un país europeo sobre la gestión de residuos (European Commission, n.d.; European Commission, 2018; European Commission, 2020). Se ha comprobado información adicional en EUROSTAT (Dell’Osso, 2020) y de un informe elaborado por la empresa DELOITTE con la colaboración de ISPRA (Comisión Europea, 2015).

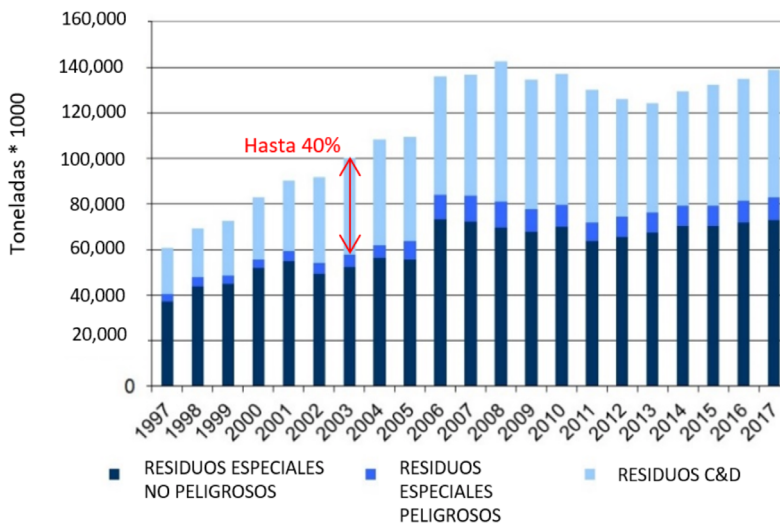
## **RESULTADOS**

En esta sección del artículo se exponen los datos analizados sobre los residuos C&D en Italia. Los datos recopilados se refieren a la tasa de generación de residuos y la tasa de residuos recuperados en todo el país y las diferentes regiones. El volumen de residuos varía según la zona considerada, directamente ligado a su economía y desarrollo industrial.

### Evolución de los residuos C&D en Italia

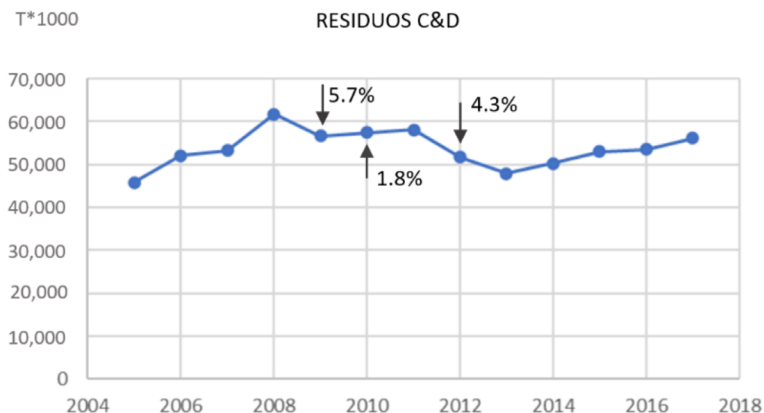
En el país los residuos generados se clasifican como residuos especiales y municipales; en cuanto a los residuos de C&D, pertenece al grupo de residuos especiales. Esta categoría presenta dos subgrupos principales, residuos peligrosos y no peligro-

El grupo C&D puede ser peligroso o no; por lo general, el volumen alto pertenece a la categoría de no peligrosos, y esto significa que las posibilidades de ser reutilizado son altas. Esto se puede ver en la Fig.2 donde es evidente que la cantidad de residuos de C&D es de hasta un 40%, especialmente después de 2003. Durante el año 2017, la producción de residuos especiales alcanzó casi 140 millones de toneladas y el volumen de residuos C&D no peligrosos fue de 56 millones de toneladas (ISPRA, 2020). Analizando un período mayor, es mucho más fácil comprender el comportamiento de la producción de residuos a lo largo del tiempo. Entre los años 1997 y 2006, la producción de residuos especiales experimentó un fuerte aumento seguido de una tendencia de crecimiento más contenida. Como se muestra en la Figura 3, debido a la crisis económica que sufrió el país durante los años 2008 y 2009, se produjo una reducción en la producción de residuos especiales del 5,7%. En 2010, gracias a una mejor situación económica, el aumento de la producción alcanzó el 1,8%, y luego, tras el descenso de la actividad constructora, volvió a sufrir una desviación del 4,3%.



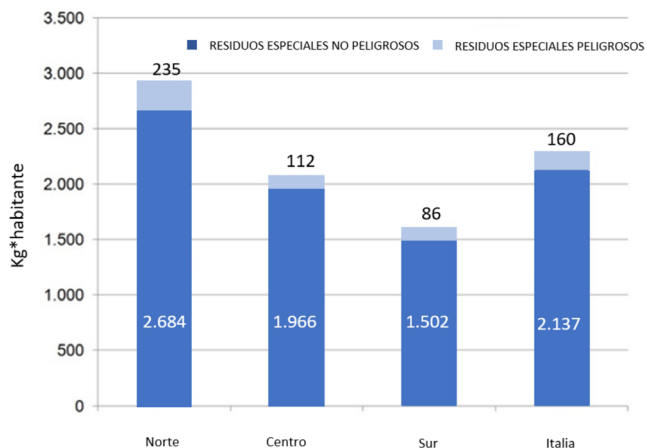
**Figura 2.** Producción de residuos especiales en Italia.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.



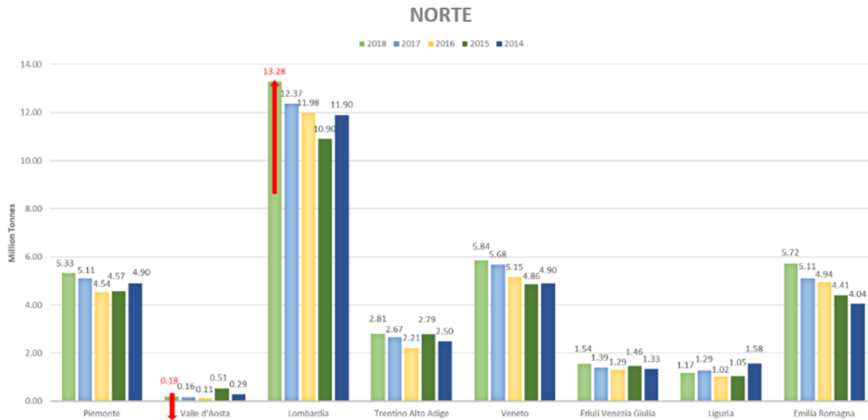
**Figura 3.** Producción de residuos C&D en Italia.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

Este dato confirma la relación directa de la producción de este tipo de residuos a la situación económica que vive el país. En Fig. 4, analizando las tres partes principales en las que habitualmente se divide el país, la producción de residuos se concentra en la parte más desarrollada del país donde se encuentran las principales industrias. El norte de Italia presenta un nivel de producción de residuos de casi 3000 kg por habitante, elevado frente a los 1500 kg por habitante que produce la parte sur. El promedio de producción de residuos para los italianos es de 2300 kg por habitante; la diferencia entre las distintas partes del país pone en evidencia un viejo problema interno en el que la parte sur con el paso de los años queda subdesarrollada desde ciertos puntos de vista prefiriendo actividades agrícolas. Este aspecto es consecuencia directa de las políticas implementadas y de las características territoriales ofrecidas.



**Figura 4.** Producción de residuos especiales en las principales partes de Italia.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

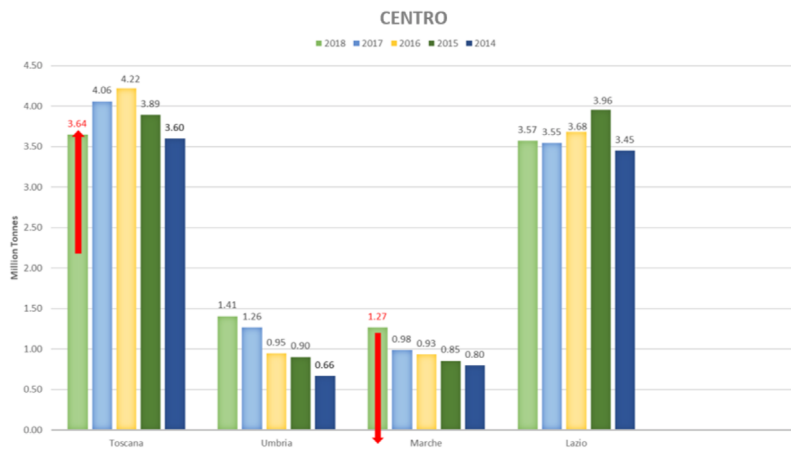
Analizando en profundidad las regiones, los resultados obtenidos son diferentes porque su tamaño y actividad son diversos. Estudiando de cerca las Fig. 5.1, 5.2 y 5.3, los datos se han dividido en las tres categorías principales en las que se suele estudiar el país: norte, sur y centro. Los datos recopilados abarcan un lapso de cinco años en los que se produjo una crisis económica y de alguna manera afectó la producción de residuos C&D.



**Figura 5.1.** Producción de residuos C&D en las regiones del norte del país.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

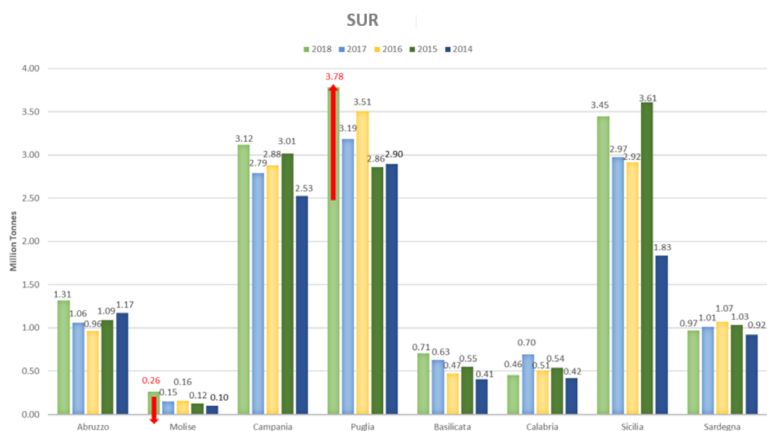
La región con mayor tasa de producción es Lombardia con más de 13 millones de toneladas de residuos en 2018. Esta región es la más grande del país, con una ferviente actividad industrial, y este dato es un claro reflejo de su estado. Incluso en 2014 la producción de residuos de esta zona de Italia presentó un nivel de producción de material de hasta 11 millones de toneladas, la tasa más alta entre todas las regiones que forman parte de la zona norte. Pequeñas regiones como Valle D'Aosta, con un paisaje ambiental difícil, donde sus puntos fuertes no están en su producción industrial sino en su naturaleza y territorio, son las que tienen una baja producción de residuos, alcanzando menos de 0,18 millones de toneladas anuales (ISPRA , 2020). La situación en el centro es similar, con la mayor cantidad de residuos agrupados en las regiones más grandes como Toscana con un valor de hasta 3,6 millones de toneladas de residuos en 2018, seguida por Lazio con 3,5 millones en 2018. En el centro, porque el número de regiones que lo componen es reducido, los resultados son más homogéneos con dos regiones con tasas más altas y las otras dos con números reducidos, pero en el rango de más de 1 millón como en marzo de 2018, como se muestra en la figura 5.2.



**Figura 5.2.** Producción de residuos C&D en las regiones del norte del país.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

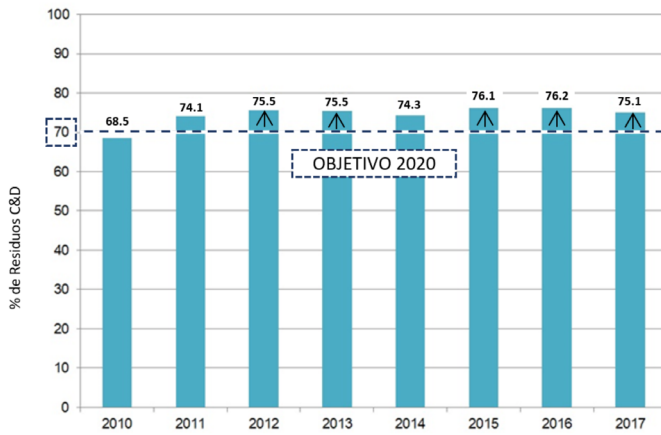
Como se muestra en la Figura 5.3, el Sur, similar al Norte, comprende ocho regiones diferentes que generalmente crean escenarios distintos con respecto a los datos. La principal producción de residuos es generada por Puglia, alcanzando 3,7 millones de toneladas en 2018. Este dato está lejos de los 13 millones generados por Lombardia en 2018, pero es el dato más importante para la zona sur. Como era de esperar, la producción de residuos en esta parte del país dominada por la actividad agrícola es baja, con una diferencia de casi 10 millones de toneladas en la cantidad de residuos. Los datos más bajos se recopilan en Molise, que produjo solo 0,26 millones de toneladas de residuos C&D en 2018, teniendo en cuenta que se trata de una región pequeña con baja actividad industrial.



**Figura 5.3.** Producción de residuos C&D en las regiones del norte del país.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

La adecuada recolección del material permite un mejor manejo del mismo y siguiendo el artículo 181 del Decreto Legislativo 152/06 inciso b, para 2020, al menos el 70% en términos de peso, reutilización, reciclaje y otros tipos de recuperación de material, incluido el relleno, debe ser alcanzado. El comportamiento del país bajo este aspecto es bastante bueno, a partir de 2011, la cantidad de residuos preparados para su reutilización ha superado la cantidad establecida, llegando al 75% de los residuos generados (ISPRA, 2020). Como se muestra en la Figura 6, el nivel requerido por la Unión Europea del 70% no se alcanzó antes de 2010. Este comportamiento cambió a partir de 2011, cuando se superó en un 4,1% la meta marcada del 70% de residuos, con una actitud alcista que llegó al 76,2% en 2016, el mejor dato obtenido hasta la fecha.



**Figura 6.** Preparación para reutilización, reciclaje y otras formas de recuperación de material, excluido el relleno.

**Fuente:** Elaboración propia con datos ISPRA.

### Desafíos en Italia con respecto a la gestión sostenible de residuos

Los desafíos existentes en el sector socavan la posibilidad de que este campo alcance la condición de componente activo de la economía. Como se puede observar en la Tabla 1, los desafíos se pueden resumir en nueve puntos de relevancia.

DESAFÍOS
1-Desconfianza en el uso de productos derivados de residuos
2-Falta de datos fiables sobre la producción de residuos inertes
3-Falta de herramientas técnicas actualizadas
4-Separación de residuos deficiente en origen y uso de prácticas de demolición selectiva
5-Falta de tributación minera

6-Falta de prohibición u obligación de contribuir para el vertido de residuos inertes
7-Obligación de realizar análisis de residuos enviados a valorización / reciclaje
8-Criterio End of Waste
9- Mercado CE

**Tabla 1.** Desafíos en Italia con respecto a la gestión de C&D

**Fuente:** Elaboración propia.

El uso de materiales provenientes de actividades de C&D en Italia es bastante reticente debido a las prácticas ilegales relacionadas frecuentes en el pasado. El material de desecho se suele utilizar en obras viales, donde sus características son las mismas que los materiales extraídos de una nueva fuente, pero si no se tratan adecuadamente antes de su uso, pueden crear serios problemas para la empresa constructora, tanto de carácter legal como técnico. Es fundamental completar correctamente el proceso de reciclaje para tener un material de buena calidad a posteriori. Teniendo en cuenta este aspecto, los datos oficiales de producción de residuos de C&D proporcionados por ISPRA son solo estimados y es probable que aún existan prácticas ilícitas en la actualidad. Para aprovechar todas las cantidades de residuos producidos por la rehabilitación y demolición de edificios, sería útil una intervención en la administración pública. Con la cuantificación correcta de los datos, se puede analizar y estimar un valor adecuado de los residuos C&D reutilizados si se alcanza el porcentaje requerido del 70% solicitado por la Unión Europea. Las principales razones de la reducción de la producción a gran escala de áridos reciclados y la difusión de su uso pueden incluir la ausencia o falta de herramientas específicas, como las especificaciones especiales, actualizadas a las normas requeridas por los criterios europeos. Por tanto, el sector de la obra pública debe asegurarse de que el Pliego de Condiciones Particulares se actualice en base a la legislación técnica europea más reciente, que ya no distingue los áridos en función de su origen, sino en función de sus características. Debido a la forma tradicional de gestionar los residuos, Italia no requiere un compromiso particular en las actividades de selección en la fuente de los diferentes tipos de residuos, pero según los requisitos de la Comisión Europea, durante las actividades de C&D, se deben identificar los diferentes tipos de residuos mediante una auditoría preventiva y tras la elaboración de un plan de gestión de residuos (European Union, 2008). Otro tipo de actividad que incentiva el uso de elementos reciclados es la tributación de materias primas; el aumento en el coste de este último podría ayudar a su uso solo donde se requieren agregados de mayor rendimiento, dejando otros usos a los agregados reciclados o tierra reutilizada. La introducción de una prohibición del vertido de residuos inertes podría crear un efecto similar que ayudaría al consiguiente desarrollo de las actividades de reciclaje. El marco regulatorio actual prevé la obli-



gación de realizar análisis de los residuos enviados para ser reciclados y la exención para los residuos a eliminar, afectando de tal manera todo lo reciclado y los residuos producidos por micro-reestructuraciones de viviendas privadas. También es necesario tener en cuenta que a menudo la entrega a las plantas de valorización se realiza en pequeñas cantidades, que sin embargo deben ser avaladas por el productor de residuos. Esto no puede suceder ya que el costo del análisis sería mucho mayor que el de denegación. El concepto de Endofwaste (Fin de Residuos) para establecer criterios técnicos y ambientales para concretar cuándo los residuos dejan de ser tales y se convierten en un producto que ya no está sujeto a la legislación sobre residuos, podría ayudar a la causa de la gestión de los mismos, pero los criterios aún no se han definido a nivel europeo. Las normas europeas relevantes para los áridos reciclados han introducido el concepto de que los productos puestos en el mercado deben evaluarse por sus características de rendimiento y no por su naturaleza. Solo el marcado CE de los áridos puede garantizar al usuario final las características del material adquirido. En una correcta tendencia del mercado, le corresponde al usuario solicitar características mínimas a los áridos y al fabricante garantizarlas. Por tanto, es el fabricante quien asume la responsabilidad tanto de determinar las propiedades de los materiales como de establecer un proceso de control en la fábrica. Se cree que si los diseñadores y directores de obra, en los que se prevé el uso de áridos, requirieran el acompañamiento del material con la documentación necesaria, se solucionarían la mayoría de los problemas del mercado de áridos reciclados.

### Análisis de vertederos en Italia

En muchos países europeos, el vertido corresponde a la última etapa antes de que se pierda el potencial de residuos de C&D. Con respecto a Italia, la eliminación, que la legislación identifica como residual en la jerarquía de gestión de residuos, consiste en el tratamiento final y el almacenamiento de residuos y desechos que no pueden explotarse más. Típicamente, la disposición puede identificarse con el depósito en vertederos, incluso si la legislación incluye en esta definición todos los procesos preliminares de tratamiento que se llevan a cabo sobre los residuos con el fin de minimizar los impactos finales. Los residuos solo pueden ser vertidos en vertederos si cumplen con los criterios de admisibilidad de la categoría de vertedero correspondiente según lo establecido por el decreto D.Lgs 13/01/2003, n. 36. Para determinar la admisibilidad de residuos en vertederos, se utilizan algunos métodos de muestreo y análisis. Teniendo en cuenta que los vertederos de residuos peligrosos tienen un nivel de protección medioambiental superior a los de residuos no peligrosos, y que estos últimos tienen un nivel de protección medioambiental superior a los de resid-

uos inertes, la entrega de residuos que cumplan los criterios de admisión a cualquier categoría de vertedero en vertederos con un mayor nivel de protección se permite. Según los últimos datos recogidos por Eurostat (Dell’Osso, 2020), los residuos minerales de la construcción y demolición en el país en 2021 han alcanzado un valor del 2,2% sobre la producción total. La cantidad de residuos de C&D depositados en vertederos tuvo un valor de 37 millones de toneladas en 2014, que disminuyó a 18 millones de toneladas en 2018. A través de estos datos se puede observar la tendencia de los residuos destinados a vertedero que está en continuo descenso.

## **CONCLUSION**

El presente trabajo aborda el estado actual de la situación de la gestión de C&D en Italia, mostrando los buenos resultados en alcanzar los niveles de reciclaje y reutilización de residuos establecidos por la Unión Europea, alcanzando un nivel del 75,1% de material de desecho de C&D preparado para ser reciclado. Sin embargo, se deben atender más cambios y mejoras en cuanto a los diversos resultados entre regiones. Como se muestra en la comparativa entre Lombardia, Valle D’Aosta y Molise, los datos todavía están demasiado afectados por el territorio y el desarrollo de cada zona, la respuesta a la situación económica ha sido impulsada por el desarrollo industrial de cada región, siendo más afectado si está más desarrollado. Este aspecto es imposible de eliminar, pero se podría lograr un resultado más homogéneo si las regulaciones y las reglas se adaptan de la misma manera en todas partes. Otro aspecto a abordar es la gestión de los residuos que no se reciclan (European Commission, 2018), incluso si el 76% de los residuos de C&D se reciclaron, el 24% está destinado al vertedero (Comisión Europea, 2015). Estos datos todavía tienen un valor demasiado alto, pero están mejorando en los últimos años. El principal material casi reciclado en su totalidad es el residuo de tipo mineral, del cual sólo el 3% llega a los vertederos. Para otros materiales sigue en vigor la desconfianza del usuario, la mala separación en origen de los residuos y la falta de prácticas de demolición selectiva (Comisión Europea, 2018). Cuando se abarquen también estos aspectos, se podría continuar el camino hacia una mejor gestión incluyendo la sostenibilidad y las buenas prácticas.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This work was supported by the European Union under the framework of Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency.

## REFERENCES

- ADELLA, L., D'ALESSANDRO, P., & TUSCANO, J.** (2020, December). Istituto Superiore per La PROTEZIONE E La Ricerca Ambientale. ISPRA. Retrieved May 2021, from [https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani\\_ed-2020\\_n-331-1.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani_ed-2020_n-331-1.pdf).
- Barbaro, G.** (20(European Commission, 2018)). Rifiuti Speciali NON PERICOLOSI DA C&D: LA GESTIONE eco-efficiente in Italia. Architettura Ecosostenibile: bioarchitettura e sostenibilità. Retrieved 2021, from <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/rifiuti-speciali-non-pericolosi-ced-gestione-eco-efficiente-italia-760>.
- Dell'Osso, G.** (2020). An overview about the current situation ON C&D waste ... Dicattechpoliba. Retrieved 2021, from <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/7/284/html>.
- European Union.** (2008, December). Construction and demolition waste. European Commission. Retrieved 2021, from [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en).
- European Commission, .** (2018, May). Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori ... European Commission. Retrieved 2021, from <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/attachments/1/translations/it/renditions/native>.
- European Commission, .** (2020). European Statistical Recovery Dashboard. Home-Eurostat. Retrieved April 22, 2021, from <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- EU** (2020). CONDEREFF. Interreg Europe. Retrieved April 2021, from <http://www.interregeurope.eu/condereff>.
- European commission, .** (n.d.). European commission, official website. European Commission- European Commission.
- Retrieved April** (European Commission, 2018), 2021, from [https://ec.europa.eu/info/index\\_en](https://ec.europa.eu/info/index_en).
- European Commission, .** (2015, October). Screening template for construction and DEMOLITION waste ... European Commission. Retrieved 2021, from [https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW\\_Italy\\_Fact-sheet\\_Final.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW_Italy_Fact-sheet_Final.pdf).

- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., & Kennedy, C.** (2013). Environment: Waste production must peak this century. *Nature*, 502, 615–617. <https://doi.org/10.1038/502615a>
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.** (2020). Retrieved May 2021, from <https://www.isprambiente.gov.it/it>.
- Letcher, T., & Vallero, D.** (2011). Construction waste. In *Waste: A handbook for management* (1st ed., pp. 207–218).essay, ELSEVIER.
- Longo, D.** (2007). *Decostruzione E riuso: Procedure e TECNICHE Di valorizzazione Dei Residui EDILIZI in Italia*. Google Books. Retrieved 2021, from [https://books.google.com/books/about/Decostruzione\\_e\\_riuso\\_procedure\\_e\\_tecnic.htm?id=X3\\_N4dQJ8UMC](https://books.google.com/books/about/Decostruzione_e_riuso_procedure_e_tecnic.htm?id=X3_N4dQJ8UMC).
- Paleari, M., & Campioli, A.** (2015). I rifiuti da costruzione e demolizione: Lca della ... *Ingegneria dell’Ambiente*. Retrieved 2021, from [https://www.ingegneriadellambiente.net/vol2\\_n4/356-1464-1-PB.pdf](https://www.ingegneriadellambiente.net/vol2_n4/356-1464-1-PB.pdf)
- Pillari, G.** (2019, June). Riciclo Dei rifiuti edili E smaltimento degli scarti DA DEMOLIZIONE. *Architettura Ecosostenibile: bioarchitettura e sostenibilità*. Retrieved May 2021, from <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/riciclo-rifiuti-edili-smaltimen-to-demolizione-220>.
- Ronchi, E., & Nepi, M.** (2013). L’Italia del RICICLO L’italia 2017 DEL RICICLO 2017 I ... FONDAZIONE PER LO SVILUPPO
- SOSTENIBILE.** Retrieved September 2021, from [https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2017/\(European Commission, 2018\)/Rapporto\\_Italia\\_del\\_riciclo\\_2017.pdf](https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/(European%20Commission,%202018)/Rapporto_Italia_del_riciclo_2017.pdf). [https://www.regione.lazio.it/binary/rl\\_attivitaproduttive\\_rifiuti/tbl\\_contenuti/Policy\\_brief\\_n.\\_4\\_CONDEREFF.pdf](https://www.regione.lazio.it/binary/rl_attivitaproduttive_rifiuti/tbl_contenuti/Policy_brief_n._4_CONDEREFF.pdf)
- Zeli Wang, Heng Li, Xintao Yang,** Vision-based robotic system for on-site construction and demolition waste sorting and recycling, *Journal of Building Engineering*, Volume 32, 2020, 101769, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101769>.



Ingeniería y Tecnología

