

RE-CYCLING

VII INTERNATIONAL CONFERENCE

Luis Palmero
Graziella Bernardo
Stefania De Gregorio

EDITORS

PROCEEDINGS

Proceedings of the



RE-CYCLING

VII INTERNATIONAL CONFERENCE

**ECOLOGICAL INTELLIGENCE FOR A CIRCULAR
AND TRANSFORMATIVE ARCHITECTURE**

Luis Palmero
Graziella Bernardo
Stefania De Gregorio
(Eds.)

UPV Conference

RE-CYCLING. VII International Conference. Ecological Intelligence for a
Circular and Transformative Architecture

© Editors

Luis Palmero

Graziella Bernardo

Stefania De Gregorio

© 2026 of the papers: the authors

© 2026 of this edition: Editorial Universitat Politècnica de València
www.lalibreria.upv.es / Ref.: 6892_01_01_01

ISBN: 978-84-1396-440-9

DOI: <https://doi.org/10.4995/9788413964409edUPV>



RE-CYCLING. VII International Conference. Ecological Intelligence for a Circular
and Transformative Architecture

This book is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike-4.0
International license

Scientific committee

Rossano Albatici - *Università degli Studi di Trento*
Paola Altamura - *Sapienza Università di Roma*
Pablo Altaba - *Universitat Politècnica de València*
Jacopo Andreotti - *Politecnico di Torino*
Giuseppe Andrisani - *Università degli Studi della Basilicata*
Adolfo F. L. Baratta - *Università degli Studi Roma Tre*
Francisco Palomino Bernal - *Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán*
Eduardo Bocci - *Università Telematica eCampus*
Laura Calcagnini - *Università degli Studi Roma Tre*
Eliana Cangelli - *Sapienza Università di Roma*
Agostino Catalano - *Università degli Studi Telematica eCampus*
Fabrizio Comodini - *Università Telematica eCampus*
Fernando Cos Gayón - *Universitat Politècnica de València*
Luis Cortés - *Universitat Politècnica de València*
Giuseppe Cultrone - *Universidad de Granada*
Mariangela De Vita - *CNR Roma*
Carlos Alberto Duica Cuervo - *Universidad El Bosque*
Michela Dalprà - *Università degli Studi di Trento*
Ornella Fiandaca - *Università degli Studi di Messina*
Francesco Focacci - *Università Telematica eCampus*
Fabiola Colmenero Fonseca - *Universidad Autónoma de Coahuila*
Juan Antonio García Esparza - *Universitat Jaume I*
Ilaria Giannetti - *Università degli Studi di Roma Tor Vergata*
Francesca Giglio - *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria*
Roberto Giordano - *Politecnico di Torino*
Antonella Guida - *Università degli Studi della Basilicata*
Martino Hutz - *Technische Universität Wien*
Jaime Llinares - *Universitat Politècnica de València*
Maria Teresa Lucarelli - *Università Mediterranea di Reggio Calabria*
Raffaella Lione - *Università degli Studi di Messina*
Antonio Magarò - *Università degli Studi Roma Tre*
Luigi Marino - *Università di Firenze*
José Miguel Molinés - *Universitat Politècnica de València*

Luigi Mollo - *Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"*
 Antonello Monsù Scolaro - *Università degli Studi di Sassari*
 Stefania Mornati - *Università degli Studi di Roma Tor Vergata*
 Andrés Salas Montoya - *Universidad Nacional de Colombia*
 Matteo Ocone - *Università Telematica eCampus*
 Ramiro Rodriguez Perez - *Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán*
 Claudio Piferi - *Università degli Studi di Firenze*
 Camilo Alberto Forero Pineda - *Universidad de Boyacá Tunja*
 Vito Porcari - *Università degli Studi della Basilicata*
 Annette Rudolf-Cleff - *Technische Universität Darmstadt*
 Hector Saul Quintana Ramirez - *Universidad de Boyacá Sogamoso*
 Andreas Schwarting - *HTWG Konstanz*
 Enzo Siviero - *Università Telematica eCampus*
 Donatella Radogna - *Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara*
 Alessandro Rogora - *Politecnico di Milano*
 Monica Rossi Schwarzenback - *HTWK Leipzig*
 Camilla Sansone - *Università degli Studi del Molise*
 Fabio Enrique Forero Suarez - *Universidad El Bosque*
 Antonella Violano - *Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"*

The Scientific Committee selected the contributions by a double-blind peer review procedure

Founding committee

Adolfo F. L. Baratta - *Università degli Studi Roma Tre*
 Agostino Catalano - *Università degli Studi Telematica eCampus*

Scientific Direction

Luis Palmero Iglesias - *Universitat Politècnica de València*

Graziella Bernardo - *Università degli Studi della Basilicata*

Stefania De Gregorio - *Università degli "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara*

Organizing Committee

Pablo Ariel Escudero - *Universitat Politècnica de València*

Carla De Juan - *Universitat Politècnica de València*

Ester Martínez - *Universitat Politècnica de València*

Pablo Palmero - *Universitat Politècnica de València*

Pilar Rodrigo - *Universitat Politècnica de València*

Lucía Tordera - *Universitat Politècnica de València*

TABLE OF CONTENTS

Introduction

Ecological intelligence for circular and transformative architecture	xv
Luis Palmero, Graziella Bernardo, Stefania De Gregorio	

Closing the loop: circular materials, recycling and upcycling strategies

Recycling as a design and technological practice: limits, and perspective of the six “Re-Cycling” conferences	3
Adolfo F.L. Baratta, Laura Calcagnini	
Circularidad material en la arquitectura popular del Cabanyal: reutilización estética y ambiental	17
<i>Material circularity in the popular architecture of Cabanyal: aesthetic and environmental reuse</i>	
Graziella Bernardo, Luis Manuel Palmero Iglesias	
From fragmentation to integration: the building as a circularity connector between tangible and intangible dimensions	33
Cinzia Maria Luisa Talamo, Noelia Huanca Coacalla, Nazly Atta, Giancarlo Paganin	
Diseño Circular en Acción: a design-build lab for circular living wall systems	59
Carlotta Fasano, Pablo Luis Palmero-Sánchez	
Campus mining: progettare e prototipare con gli scarti del Politecnico di Torino	71
<i>Campus mining: designing and prototyping with waste materials from the Politecnico di Torino</i>	
Nicolò Di Prima, Angela Lacirignola, Elena Montacchini, Silvia Tedesco	

End-of-Life of building materials: innovative upcycling experiment for brick recovery	83
Jacopo Andreotti	
Riciclo delle macerie edilizie: dal QT8 di Milano all'Ucraina di oggi	97
<i>Construction Debris Recycling: from QT8 Milan to Contemporary Ukraine</i>	
Matteo Ocone	
Upcycling dell'architettura industrializzata del secondo novecento: dall'inventario alle strategie di riuso delle componenti in acciaio	107
<i>Upcycling of industrialized architecture from the second half of the 20th century: from inventory to reuse strategies for steel components</i>	
Cristian Tolù, Stefania Mornati, Ilaria Giannetti	
Increasing circularity of small-scale wind turbines: the PANORAMA vertical axis prototype	119
Massimiliano Condotta, Tommaso Morbiato, Chiara Scanagatta, Elisa Zatta	
Nano-silica engineered cementitious matrices for sustainable construction: coupling mechanical strength with reduced thermal conductivity	133
Andres Salas-Montoya	
Analisi FT-IR di materiali alcalino-attivati ottenuti da fanghi di segagione	147
<i>FT-IR analysis of alkali-activated materials produced from sawing sludge waste</i>	
Antonio D'Angelo, Roberto Simonelli, Michelina Catauro, Sara Fasana, Marco Zerbinatti, Luigi Mollo	
Digital Twin e Material Passports per la valutazione dell'effetto serra degli edifici: un focus sulla fase di fine vita	157
<i>Digital Twins and Material Passports for assessing buildings' global warming potential: a focus on the end-of-life stage</i>	
Roberto Giordano, Federica Gallina, Benedetta Quaglio	
Il passaporto digitale per la tracciabilità della circolarità dei prodotti edili	169
<i>The Digital Passport for the traceability of the circularity of building products</i>	
Adriana S. Sferra, Giuseppe Piras, Francesco Muzi	

Hyperlocal architecture in regeneration strategies for the Abruzzo region	179
Donatella Radogna, Luciana Mastrodonardo, Maria Chiara Capasso, Valeria Lualdi	
Hyper-Local Self-Built Infrastructures for Slow Tourism	195
Matteo Clementi, Tae Han Kim, Jae Young Lee	
Designing and self-constructing in mountain contexts: prototyping for the Abruzzo inner areas (Italy)	209
Antonio Vasapollo, Stefania De Gregorio, Miju Kim	
 Living territory: adaptive reuse and circular urban transformations	
Costruire per il riuso. Pionierismi italiani per l'abitare provvisorio(1936-1945)	223
<i>Costruire per il riuso. Pionierismi italiani per l'abitare provvisorio (1936-1945)</i> Laura Greco, Francesco Spada	
Riuso eco-orientato del patrimonio produttivo del Mediterraneo. La Tonnara di Avola	235
<i>Eco-friendly reuse of the Mediterranean's productive heritage.</i> <i>The Tonnara di Avola</i> Rosa Maria Giusto, Mario Buono	
Riuso adattivo e riciclo: una rilettura dei processi di trasformazione urbana di Campo Santa Maria ad Amiternum	247
<i>Adaptive reuse and recycling: re-reading urban transformation processes at Campo Santa Maria ad Amiternum</i> Mariangela De Vita, Alfonso Forgione	
The superuse of urban warehouses to activate built environment stock	255
Jacopo Gasparotto	
Urban circularity and circular development: governance, infrastructure and limits of the ecological transition	267
Pablo Altaba Tena	

Monte de' Cocci in Rome. The testimonial value of historical waste, between Italy and Spain 277

Adolfo F.L. Baratta, Francesca Romana Stabile, Antonio Magarò,
Massimo Mariani

Regenerative approaches to industrial heritage: circular adaptive reuse toward culture 291

Gaia Garofali, Paola Altamura, Serena Baiani

Riuso e memoria: gli elementi della Certosa nel tessuto urbano di Serra San Bruno 305

Reuse and memory: Charterhouse elements in Serra San Bruno's urban fabric
Lorenzo Russo, Giuseppe Fortunato

Facciate prefabbricate in pannelli di calcestruzzo. Strategie di riqualificazione 317

Prefabricated concrete panel façades. Renovation strategies
Francesco Spada, Laura Greco

El Análisis de Ciclo de Vida como herramienta estratégica en la rehabilitación del patrimonio edificado 331

Life Cycle Assessment as a strategic tool in the rehabilitation of built heritage
Pablo Ariel Escudero, Isabela Cristina de Assis Berg

Bio-intelligent futures: ecological design and learning environments

Inteligencia ecológica y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de riesgos hidrometeorológicos para la regeneración del territorio en el Puerto de Veracruz 341

Ecological intelligence and Geographic Information Systems (GIS) in the management of hydrometeorological risks for the regeneration of the territory in the Port of Veracruz

María del Carmen Ixtepan Turrent, Fabiola Colmenero Fonseca, Juan Francisco Palomino Bernal, Ángela Sánchez Aldana, Ramiro Rodríguez Pérez

Decoding Venice: An Erasmus laboratory for ecological intelligence in architecture 353

Maria Antonia Barucco, Benu Berk

Metodología e inteligencia ecológica aplicada a la vivienda de interés social en Guanajuato con GIS, BIM y ACV	365
<i>Methodology and ecological intelligence applied to social housing in Guanajuato with GIS, BIM, and LCA</i>	
Fabiola Colmenero Fonseca, Ángela Sánchez Aldana, Juan Francisco Palomino Bernal, Ramiro Rodríguez Pérez, Javier Cárcel-Carrasco	
La stampa 3D/4D per materiali bio-eco ispirati in architettura	381
<i>3D/4D printing for bio-eco materials inspired by architecture</i>	
Alessandra Cernaro, Ornella Fiandaca	
Bio-based materials for the energy-efficient retrofitting of buildings	403
Agostino Catalano	
Learning from Bee's Ecological Intelligence: Biomaterials and honeycomb architecture	413
Stefania De Gregorio	
Recycling as a pedagogical strategy: the educational building as a sustainability laboratory. Architecture that teaches sustainability: the building as a learning tool	425
Pilar Rodrigo-Catalán, Carla De-Juan-Ripoll	

Upcycling dell'architettura industrializzata del secondo novecento: dall'inventario alle strategie di riuso delle componenti in acciaio

Upcycling of industrialized architecture from the second half of the 20th century: from inventory to reuse strategies for steel components

Cristian Tolù*

Dottorando, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Italy. Cristian.tolu@uniroma2.it

Stefania Mornati

Professoressa Ordinaria, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Italy. Stefania.mornati@uniroma2.it

Ilaria Giannetti

Professoressa Associata, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Italy. Ilaria.giannetti@uniroma2.it

Abstract: within the heritage of twentieth-century industrialised architecture, lightweight prefabrication systems represent a particularly significant field for investigating the reuse potential of building components, due to the standardisation of elements and the legibility of assembly processes. Within this framework, the present contribution proposes a procedure to translate industrialized buildings at the end of their service life into an inventory of traceable steel components and, subsequently, into estimated avoidable kgCO₂eq emissions.

The work is structured into the following phases: the development of a GIS-HBIM census of industrialised buildings characterised by lightweight systems in the Lazio region; the identification of a homogeneous cluster of buildings with steel-based systems, corresponding to the BDS-Tecnosider school programme; and the in-depth investigation of the case study of the “Alessandro Volta” Technical Institute in Tivoli.

For this case study, an as-built BIM model was developed from a knowledge base derived from archival sources, technical documentation, on-site surveys, and recent technical and performance-related data, with the specific aim of identifying the building's steel components. The model was then used to generate an inventory of the steel elements currently present in the structure. On this basis, the Life Cycle Inventory was defined, and a preliminary LCA was carried out to quantify the

* Autore corrispondente



RE-CYCLING
VII INTERNATIONAL CONFERENCE

ECOLOGICAL INTELLIGENCE FOR A CIRCULAR
AND TRANSFORMATIVE ARCHITECTURE
Valencia, 05 June 2026
Universitat Politècnica de València

potential avoided kgCO₂eq emissions from the reuse of the existing stock of steel components.

The study shows how a BIM/GIS census, integrated with information modelling and environmental assessment tools, can support the analysis of existing buildings by considering them as a source of reusable materials and components. From this perspective, the Tivoli case study provides a valuable testing ground for verifying replicable procedures for the identification, inventorying, and environmental valorisation of steel components in twentieth-century industrialised buildings.

Keywords: prefabricated buildings, steel, reuse, BIM, LCA.

1. Introduzione

Nel secondo Novecento la prefabbricazione ha sostenuto la crescita edilizia europea attraverso standardizzazione, modularità e ripetibilità (Giannetti, 2016a; Giannetti, 2016b). In Italia tali processi hanno interessato in modo significativo l'edilizia scolastica, spesso con strutture metalliche, componenti leggere e montaggio a secco (Giannetti, 2016b; Mornati, 2025, Giannetti, 2024). Una parte di questo patrimonio richiede oggi adeguamenti prestazionali, ma può essere letta anche come riserva di materiali e componenti. In questa prospettiva, decostruzione selettiva, riuso e riciclo assumono un ruolo centrale (Ente nazionale Italiano di Unificazione, 2020). Gli edifici realizzati con sistemi di prefabbricazione leggera, per organizzazione dei sottosistemi e leggibilità dei nodi, risultano coerenti con i principi del Design for Disassembly (International Organization for Standardization, 2020; Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, 2023).

Ne consegue che, il censimento digitale, supportato da modelli informativi e spaziali, degli edifici industrializzati consente di localizzare, classificare e selezionare casi omogenei, avviando la costruzione di uno stock materiale potenziale (Mornati, 2025). L'integrazione tra GIS e BIM/HBIM collega i dati territoriali e storico-tecnici alla scala del componente (European Committee for Standardization, 2019). In questo quadro il contributo si concentra sull'acciaio impiegato nelle scuole prefabbricate del secondo Novecento, in ragione del suo ruolo strutturale e della riconoscibilità di profili, serialità e connessioni meccaniche, che facilitano scomposizione,

tracciabilità e quantificazione (Giannetti, 2024; Nawrocka et al., 2023; Soust-Verdaguer et al., 2023).

Il ricorso al modello BIM, inoltre, costituisce lo strumento centrale per mettere a sistema le analisi conoscitive con la costruzione di un inventario di componenti in acciaio, potenzialmente riutilizzabili in altri contesti. In tal senso, il modello rappresenta la base per la costruzione di una raccolta di dati ambientali associati a un prodotto, "Life Cycle Inventory", e la valutazione preliminare di tale potenziale per associarlo al riuso delle componenti, espresso in kgCO_2eq potenzialmente evitabili (Soust-Verdaguer et al., 2023; Gao et al., 2024; European Committee for Standardization, 2011).

Il contributo si distingue per l'impiego congiunto di BIM e LCA, già ampiamente indagato in letteratura, per la valutazione di costruzioni esistenti ai fini del riuso delle componenti.

2. Metodo

Il metodo collega censimento, conoscenza dell'opera, BIM, disassemblaggio, inventario, LCI e LCA. Il censimento GIS-HBIM del patrimonio delle costruzioni industrializzate, caratterizzate da sistemi leggeri, nella regione Lazio, è assunto come base conoscitiva per individuare edifici omogenei per tipologia e sistemi costruttivi, con particolare riferimento a quelli caratterizzati da strutture in acciaio e sistemi a secco con connessioni leggibili (Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017).

Segue la costruzione della base conoscitiva mediante fonti storiche e tecniche, rilievo dello stato di fatto e documentazione prestazionale, necessaria a ricostruire la logica assemblativa, la gerarchia dei sottosistemi e le condizioni attuali dell'edificio (Giannetti, 2024). Su questa base viene sviluppato il modello BIM as-built come supporto informativo per identificazione, classificazione ed estrazione quantitativa degli elementi in acciaio (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, 2023; Studio Baffo S.r.l., 2024).

Il modello supporta, quindi, le analisi preliminari dello smontaggio dell'edificio considerando accessibilità, indipendenza, connessioni, standardizzazione, serialità e separabilità dei componenti (Tolù et al., 2024; Bologna et al., 2024). Da tale processo deriva l'inventario delle componenti in acciaio, definito da attributi minimi quali tipologia, profilo, posizione,

quantità e massa (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, 2023; Nawrocka et al., 2023). Il BIM fornisce i dati per il Life Cycle Inventory, costruito sulle componenti effettivamente presenti nello stato attuale (European Committee for Standardization, 2011). Infine, l'analisi LCA attribuisce allo stock attuale un valore ambientale espresso in kgCO_2eq potenzialmente evitabili.

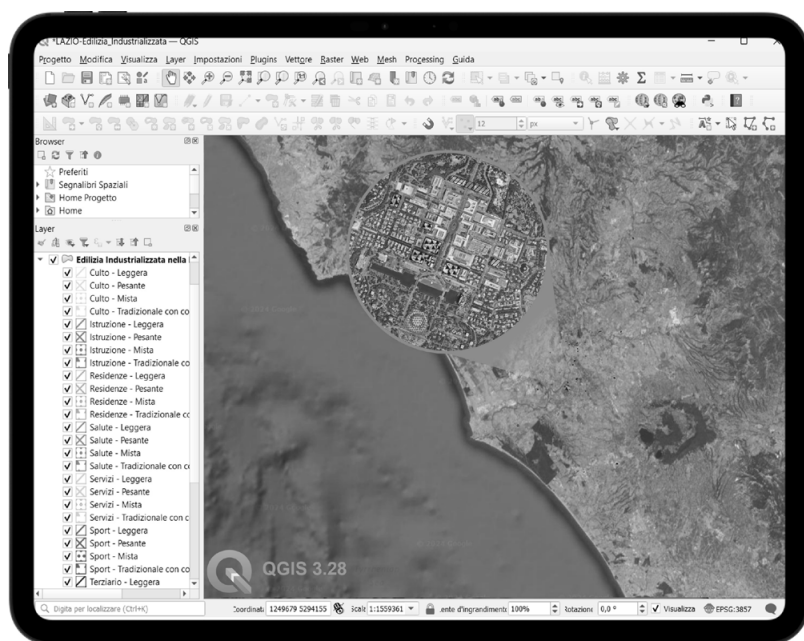


Figura 1. Censimento su piattaforma Web-GIS [Fonte: elaborazione degli autori].

Il modello supporta, quindi, le analisi preliminari dello smontaggio dell'edificio considerando accessibilità, indipendenza, connessioni, standardizzazione, serialità e separabilità dei componenti (Tolù et al., 2024; Bologna et al., 2024). Da tale processo deriva l'inventario delle componenti in acciaio, definito da attributi minimi quali tipologia, profilo, posizione, quantità e massa (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, 2023; Nawrocka et al., 2023). Il BIM fornisce i dati per il Life Cycle Inventory,

costruito sulle componenti effettivamente presenti nello stato attuale (European Committee for Standardization, 2011). Infine, l'analisi LCA attribuisce allo stock attuale un valore ambientale espresso in kgCO_2eq potenzialmente evitabili.

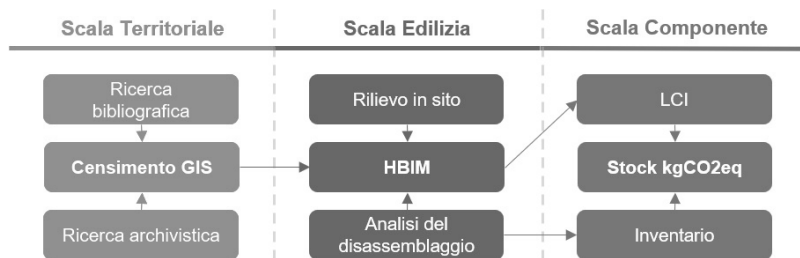


Figura 2. Workflow [Fonte: elaborazione degli autori].

3. Caso studio

Il metodo è stato applicato all'Istituto Tecnico Industriale "Alessandro Volta" di Tivoli, selezionato nel patrimonio censito per appartenenza al sistema BDS-Tecnosider, caratterizzato da una struttura metallica prefabbricata a secco, serialità dei componenti e leggibilità dei nodi bullonati (Mornati, 2025; Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017; Tolù et al., 2024; Leve-roni, 1968). Il complesso, articolato in più blocchi, presenta telai metallici a interasse regolare, travi principali e secondarie in profili standardizzati, controventi e coperture leggere, caratteristiche che ne rendono leggibile la logica di assemblaggio (Studio Baffo S.r.l., 2024; Archivio Centrale dello Stato, 2024; Archivio Ufficio Tecnico ITI A. Volta, 2024; Tecnosider S.p.A., 1962).

La procedura descritta si è, dunque, sviluppata secondo quattro fasi principali: i) conoscenza dell'opera e costruzione del modello BIM ii) valutazione della potenzialità di disassemblaggio; iii) costruzione dell'inventario dei componenti, iv) analisi LCA.

Relativamente alla prima fase, la conoscenza dello stato di progetto è stata costruita integrando le seguenti fonti archivistiche, bibliografiche e tecniche: Archivio Centrale dello Stato, archivio tecnico dell'Istituto,

documentazione di Roma Città Metropolitana, studi sul sistema Tecnosider e sul caso di Tivoli. Su tali basi sono stati ricostruiti impianto originario, logica modulare e principali dettagli costruttivi.

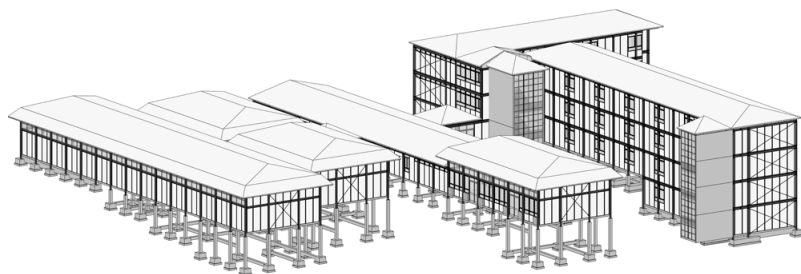


Figura 3. Istituto Tecnico Industriale Alessandro Volta a Tivoli
[Fonte: elaborazione degli autori].

Lo stato as-built è stato definito mediante rilievi speditivi, geometrici, fotografici e acquisizioni laser scanner LiDAR. Su questa base è stato sviluppato il modello BIM con LOD G, in coerenza con la UNI 11337-4:2017 (Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017). Nel modello sono confluite ulteriori informazioni provenienti da fonti e rilievi, comprese le proprietà materiche ricavate dalle analisi di vulnerabilità sismica e dalla documentazione tecnico-prestazionale fornita da Roma Città Metropolitana (Studio Baffo S.r.l., 2024; Tecnosider S.p.A., 1962).

Il modello informativo è stato, in seguito, utilizzato per interpretare il sistema costruito in termini di processo di disassemblaggio (Tolù et al., 2024; Bologna et al., 2024). L'analisi ha considerato accessibilità del sito, organizzazione delle operazioni di smontaggio, flessibilità dell'assetto spaziale, proprietà del sistema strutturale e livello di conoscenza storico-documentale disponibile. Il disassemblaggio ha così definito le condizioni preliminari per l'identificazione delle parti in acciaio inventariabili.

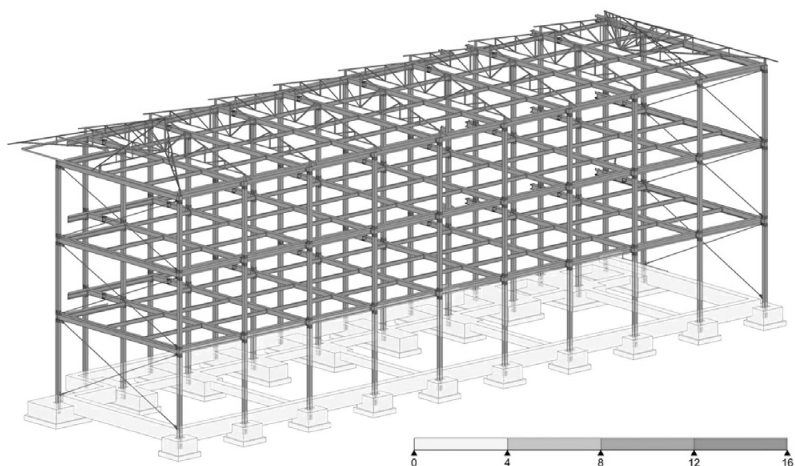


Figura 4. Analisi dell'indice di disassemblaggio [Fonte: elaborazione degli autori].

Dal BIM è stato quindi elaborato l'inventario delle componenti in acciaio presenti nell'edificio. L'inventario organizza tipologia, profilo, quantità, massa e ulteriori attributi, trasformando il manufatto in uno stock leggibile in funzione del riuso. Esso deriva direttamente dal modello BIM, assunto come base dati interrogabile per l'estrazione quantitativa delle componenti in acciaio.

Infine, ancora dal modello BIM sono stati estratti quantità e masse delle componenti in acciaio per costruire il Life Cycle Inventory. Su tale base, l'analisi LCA attribuisce allo stock attuale di acciaio un valore espresso in kgCO_2eq potenzialmente evitabili, assumendo le componenti presenti come risorsa materiale disponibile. La valutazione è stata sviluppata in coerenza con le EN 15804 ed EN 15978, considerando per gli elementi riusabili i soli moduli A1-A3, in quanto contributi evitabili nel caso di riuso. La sostituzione è stata assunta in rapporto 1:1 rispetto a componenti equivalenti, sulla base della qualità dell'acciaio riscontrata in sito e delle indagini condotte nell'ambito delle recenti analisi di vulnerabilità sismica; i fattori di emissione sono stati selezionati consultando diversi database ed EPD, privilegiando i prodotti maggiormente rappresentativi e localizzati quanto più possibile in prossimità del contesto di studio. Sono stati esclusi

i trasporti, nell'ipotesi di riuso in sito, così come le fasi successive, in quanto dipendenti da futuri scenari progettuali, fermo restando il comune beneficio derivante dall'evitare i moduli A1-A3. Il caso studio diventa così banco di prova per una procedura che restituisce una misura preventiva del potenziale ambientale associato al riuso dello stock esistente.

Tabella 1. Estratto dell'inventario delle componenti in acciaio riutilizzabili.
[Fonte: elaborazione degli autori].

Famiglia	Tipo	Lunghezza del taglio (m)	Conteggio
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	1.252	70
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	5.452	14
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	6.252	14
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	6.448	1
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	6.520	1
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	7.435	1
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	7.460	6
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	7.461	2
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	7.794	3
STR-BEAM-HE-STEEL	HE 120A	8.942	27
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	0.080	4
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	0.107	74
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	0.115	2
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	0.119	10
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	1.034	3
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	1.294	3
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	2.407	1
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	3.399	288
STR-BEAM-IPE-STEEL	IPE 180	3.694	6

4. Risultati

L'applicazione del metodo al caso studio ha trasformato il sistema edilizio in uno stock di componenti in acciaio riconoscibili, quantificabili e valutabili dal punto di vista ambientale. L'inventario, ricavato dal modello BIM as-built, ha restituito 18420 elementi in acciaio, per una massa complessiva pari a 216 777 tonnellate. Lo stock risulta caratterizzato da ripetitività tipologica, riconoscibilità geometrica e continuità materica, in coerenza con il sistema Tecnosider.

Dai dati estratti dal BIM è stato costruito il Life Cycle Inventory; la successiva LCA ha attribuito allo stock un valore preliminare pari a $2,13E+05$ kgCO₂eq potenzialmente evitabili. Il risultato quantifica il valore ambientale incorporato nello stock esistente e fornisce una base preventiva per qualificazione tecnica, selezione dei componenti e futuri scenari di valorizzazione.

Nello specifico, il dato risulta particolarmente rilevante poiché i moduli A1-A3, assunti come contributi evitabili nel caso di riuso, rappresentano circa il 93% delle emissioni associate agli elementi in acciaio, confermando la rilevanza di tale strategia per futuri scenari di valorizzazione.

Il metodo ha mantenuto continuità tra scala territoriale, edilizia e del componente, mostrando come un patrimonio censito possa essere reinterpretato come stock materiale e ambientale, disponibile a nuove utilizzazioni. Il caso Tivoli costituisce quindi un test applicativo estendibile ad altri edifici del medesimo cluster o a organismi con strutture in acciaio e sistemi a secco. Il BIM è stato usato per identificazione univoca degli elementi, estrazione delle quantità, costruzione dell'inventario e strutturazione dell'LCI.

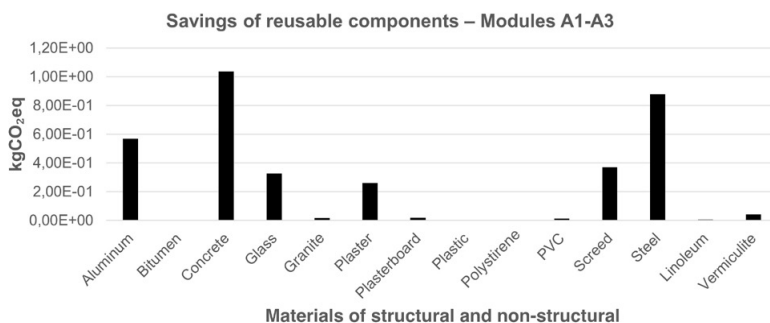


Figura 5. Impatti evitabile delle risorse caratterizzanti
[Fonte: elaborato degli autori].

5. Conclusioni

Il contributo ha proposto un percorso che collega censimento GIS, conoscenza dell'opera, BIM, disassemblaggio, inventario delle componenti, LCI e LCA per valutare preliminarmente il potenziale di riuso delle componenti in acciaio di un edificio scolastico industrializzato. L'applicazione all'ITI "Alessandro Volta" di Tivoli ha verificato la coerenza della procedura e la possibilità di costruire, a partire dal modello informativo, un inventario mirato delle componenti in acciaio e una stima della CO₂eq potenzialmente evitabile.

Il censimento GIS-HBIM è stato usato, ai fini del raggiungimento del primo obiettivo della ricerca, per riconoscere uno stock edilizio omogeneo e selezionare casi pertinenti. Il secondo obiettivo era sviluppare un metodo capace di garantire la tracciabilità degli elementi, l'estrazione delle quantità e la costruzione della base dati necessaria all'LCI; in questa prospettiva, la ricostruzione di un modello BIM, basata sull'integrazione tra documenti storici e rilievi in sito, si è configurata come lo strumento più idoneo (Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017; European Committee for Standardization, 2011; European Committee for Standardization, 2019). L'analisi ha mostrato che lo stock attuale dell'edificio può essere espresso anche in termini ambientali.

Il caso studio conferma l'utilità di un approccio progressivo che tiene in relazione scala territoriale, scala edilizia e scala del componente e che può essere ripreso per altri edifici del cluster Tecnosider e, con opportune verifiche, per ulteriori casi con strutture in acciaio e sistemi a secco. La replicabilità dipende da disponibilità di fonti, qualità del rilievo, coerenza del modello BIM e livello di dettaglio dell'inventario.

Riferimenti bibliografici

- Archivio Centrale dello Stato (2024). "Documentazione tecnica e fotografica relativi all'ITI A. Volta a Tivoli", Fondo Pietro Barucci, Roma.
- Archivio Ufficio Tecnico ITI A.Volta (2024). "Documentazione tecnica e fotografica relativa all'ITI A. Volta a Tivoli", Tivoli.
- Bologna, A., Garcia-Fuentes, J. M., Giannetti, I. & Neri, G. (a cura di) (2024). Design Workshop Results. Upcycling Architecture in Italy: Forging and Promoting a Renewed Building Culture. Torino: Politecnico di Torino.

- Ente Nazionale Italiano di Unificazione. (2017). "Edilizia e opere di ingegneria civile—Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni—Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti". (UNI 11337-4:2017).
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (2020). "Decostruzione selettiva – Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare". Milano, UNI (UNI/PdR 75:2020).
- European Committee for Standardization. (2011). "Sustainability of construction works—Assessment of environmental performance of buildings—Calculation method". (EN 15978:2011).
- European Committee for Standardization. (2019). "Sustainability of construction works—Environmental product declarations—Core rules for the product category of construction products". (EN 15804:2012+A2:2019).
- Gao, H., Wang, D., Du, X. e Zhao, Z. (2024). "An LCA-BIM integrated model for carbon-emission calculation of prefabricated buildings", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 203, 114775. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114775>
- Giannetti, I. (2016a). "Project and prototype: Industrialized and prefabricated construction in Italy (1945-1980)", *TEMA*, 1, pp. 25-30.
- Giannetti, I. (2016b). "The design of a system. Industrialized schools in Italy (1960-1975)", *TEMA*, 2.
- Giannetti, I. (2024). Esercizi di industrializzazione: sperimentazione costruttiva per l'edilizia scolastica (1951-1979). Milano: FrancoAngeli.
- International Organization for Standardization. (2020). Sustainability in buildings and civil engineering works—Design for disassembly and adaptability (ISO 20887:2020).
- Leveroni, A. (1968). "Un istituto tecnico industriale a Tivoli", *Prefabbricare*, 11, pp. 45-48.
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica. (2023). "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici". (D.Lgs. 36).
- Mornati, S. (a cura di) (2025). La prefabbricazione leggera nel Lazio. Milano: FrancoAngeli.

- Nawrocka, N., Machova, M., Jensen, R. L., Kanafani, K., Birgisdottir, H. e Hoxha, E. (2023). "Influence of BIM's level of detail on the environmental impact of buildings: Danish context", *Building and Environment*, 245, 110875. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110875>
- Soust-Verdaguer, B., Obrecht, T. P., Alaux, N., Hoxha, E., Saade, M. R. M., Röck, M., ... & Passer, A. (2023). "Using systematic building decomposition for implementing LCA: The results of a comparative analysis as part of IEA EBC Annex 72", *Journal of Cleaner Production*, 384, 135422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135422>
- Studio Baffo S.r.l. (2024). "Documentazione tecnica sulle strutture. Analisi della vulnerabilità sismica".
- Tecnosider S.p.A. (1962). "Elemento fondamentale per la realizzazione di costruzioni edili ad elementi prefabbricati con particolare impiego di materie metalliche", brevetto italiano n. 671799, depositato il 13/07/1962, Italia.
- Tolù, C., Mornati, S. e Giannetti, I. (2024). "Enhancing the heritage of light prefabrication in Italy: A digital platform to support 'selective dismantling'" in Cardaci, A., Picchio, F. e Versaci, A. (a cura di), *ReUSO 2024. Documentation, Restoration and Reuse of Heritage*, PUBBLICA, Alghero. pp. 1612–1621.