Atti del V Convegno Internazionale

RECYCLING

Proceedings of the 5th International Conference

a cura di / edited by
Adolfo F. L. Baratta
Laura Calcagnini
Antonio Magarò

anteferma

RECYCLING

a cura di
Adolfo F. L. Baratta
Laura Calcagnini
Antonio Magarò

anteferma

ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

le grafiche sono realizzate mediante tecnologia TTI (*Text to Image*) ovvero tramite un algoritmo di intelligenza artificiale che interpreta *prompt* basati sulle parole chiave relative agli argomenti trattati nel presente volume degli atti.

the graphics are produced using TTI (Text to Image) technology: an artificial intelligence algorithm that interprets keyword-based prompts related to the topics covered in this volume of proceedings.

los gráficos se elaboran mediante la tecnología TTI (Text to Image): un algoritmo de inteligencia artificial que interpreta indicaciones basadas en palabras clave relacionadas con los temas tratados en este volumen de actas.

Atti del V Convegno Internazionale
Il valore della materia nella transizione ecologica del settore delle costruzioni

Proceedings of the 5th International Conference
The value of building materials in the ecological transition of the construction sector

Acta de el V Congreso Internacional
El valor de la materia en la transición ecológica en el sector de las construcciones

a cura di | edited by | editado por
Adolfo F. L. Baratta
Laura Calcagnini
Antonio Magarò

ISBN: 979-12-5953-046-2

Anteferma Edizioni Srl
via Asolo 12, Conegliano, TV
edizioni@anteferma.it
Prima edizione: maggio 2023

Progetto grafico
Antonio Magarò
www.conferencerecycling.com

Copyright
Questo lavoro è distribuito sotto Licenza Creative Commons
Attribuzione - Non commerciale - No opere derivate 4.0 Internazionale

RECYCLING

Il valore della materia nella transizione ecologica del settore delle costruzioni

---

The value of building materials in the ecological transition of the construction sector

---

El valor de la materia en la transición ecológica en el sector de las construcciones

COMITATO SCIENTIFICO

Rossano Albatici - Università degli Studi di Trento
Paola Altamura - Sapienza Università di Roma
Adolfo F. L. Baratta - Università degli Studi Roma Tre
Graziella Bernardo - Università degli Studi della Basilicata
Laura Calcagnini - Università degli Studi Roma Tre
Eliana Cangelli - Sapienza Università di Roma
Agostino Catalano - Università degli Studi del Molise
Fabiola Colmenero Fonseca - Universitat Politècnica de València (Spagna)
Giuseppe Cultrone - Universidad de Granada, Spagna
Michela Dalprà - Università degli Studi di Trento
Michele Di Sivo - Università degli Studi "Gabriele D'Annunzio"
Carlos Alberto Duica Cuervo - Universidad El Bosque (Colombia)
Ornella Fiandaca - Università degli Studi di Messina
Camilo Alberto Forero Pineda - Universidad de Boyacà Tunja (Colombia)
Fabio Enrique Forero Suarez - Universidad El Bosque (Colombia)
Francesca Giglio - Università Mediterranea di Reggio Calabria
Roberto Giordano - Politecnico di Torino
Martino Hutz - Technische Universität Wien (Austria)
Rafaella Lione - Università degli Studi di Messina
Antonio Magarò - Università degli Studi Roma Tre
Luigi Marino - Università degli Studi di Firenze
Luigi Mollo - Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"
Antonello Monsù Scolaro - Università degli Studi di Sassari
Florian Musso - Technische Universität München (Germania)
Luis Manuel Palmero Iglesias - Universitat Politècnica de València (Spagna)
Francisco Palomino Bernal - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (Messico)
Elisabetta Palumbo - Università degli Studi di Bergamo
Claudio Piferi - Università degli Studi di Firenze
Hector Saul Quintana Ramirez - Universidad de Boyacá Sogamoso (Colombia)
Ramiro Rodríguez Pérez - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (Messico)
Alessandro Rogora - Politecnico di Milano
Monica Rossi Schwarzenback – HTWK Leipzig (Germania)
Andrés Salas Montoya - Universidad Nacional de Colombia (Colombia)
Camilla Sansone - Università degli Studi del Molise
Marzia Traverso - RWTH Aachen University (Germania)
Antonella Violano - Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"

COMITATO ORGANIZZATORE

Jacopo Andreotti – Università degli Studi Roma Tre
Massimo Mariani – Università degli Studi Roma Tre
Antonella G. Masanotti – Università degli Studi Roma Tre
Daniele Mazzoni – Università degli Studi Roma Tre
Mónica Alexandra Muñoz Veloza - Politecnico di Torino
Luca Trulli – Università degli Studi Roma Tre

Indice

Table of Contents

Índice

Premessa / Foreward / Prólogo

_16 Premessa. Il Riciclaggio come processo creativo di innovazione
Foreword. Recycling as a creative process of innovation
Adolfo F. L. Baratta - Laura Calcagnini - Antonio Magarò

Saggi / Essays / Ensayos

_26 Decarbonizzazione dei manufatti edilizi: metodologie per la valutazione della Whole Life Carbon e focus sulla fase di fine vita
Decarbonising buildings: Whole Life Carbon assessment methods and end-of-life stage focusing
Jacopo Andreotti - Roberto Giordano

_36 Re-manufacturing and re-use practices for extending the value of short-life building components
Nazly Atta - Anna Dalla Valle - Serena Giorgi - Salvatore Viscuso

_48 Il vetro piano in edilizia: dati e considerazioni in merito a produzione e riciclo
Flat glass in the construction industry: production and recycling data and considerations
Maria Antonia Barucco

_58 Vivienda circular: Minimización de impactos ambientales y residuos de la construcción
Circular housing: minimizing environmental impacts and construction waste
Fabiola Colmenero Fonseca - Juan Francisco Palomino Bernal - Ramiro Rodríguez Pérez

_68 Lost in transition. The burden of material resources for renewable energy sources
Massimiliano Condotta - Chiara Scanagatta - Elisa Zatta

_80 La gestione dei rifiuti edili in Europa: stato dell'arte e prospettive future
Construction waste management in Europe: state of the art and prospects
Marco Giampaoletti - Fabrizio Amadei

_92 Dalla cultura del riciclo alle buone pratiche
From the recycling culture to the best practices
Enza Santoro - Gigliola Ausiello

Ricerche / Researches / Investigaciones

_108 Stampa 3D in argilla e lolla di riso. Dall'architettura al design per la transizione ecologica
3D printing in clay and rice husk. From architecture to design for the ecological transition
Paola Altamura - Anna Chiara Perotta

_120 La circolarità delle risorse come driver d'innovazione nel settore dei laterizi
Circularity of resources as a driver of innovation in the brick sector
Jacopo Andreotti

_132 Il rovesciamento della piramide. Superiuso dei Termovalorizzatori di Colleferro
The reverse Pyramid. Superuse of Colleferro Incinerators
Serena Baiani - Paola Altamura - Gabriele Rossini

_146 Note per la lettura ambientale di uno stock edilizio scolastico
Notes for the environmental survey of a school buildings' stock
Roberto Bosco - Savino Giacobbe - Renata Valente

_158 L'evoluzione normativa dei Criteri Ambientali Minimi per l'economia circolare nel settore edile: materia riciclata e disassemblabilità dei prodotti
The regulatory evolution of Minimum Environmental Criteria for the circular economy in the building sector: recycled material and disassemblability of products
Laura Calcagnini

_174 Territorial Ecosystem for circular economies: Eco3R research project
Guido Callegari - Guglielmo Ricciardi - Giuseppe Roccasalva - Paolo Simeone

_184 BIM for recycling management in architectural design
Agostino Catalano - Luigi Mollo - Camilla Sansone

_194 L'innovazione circolare dei blocchi per murature: soluzioni che nobilitano il rifiuto
The circular innovation of wall blocks: solutions that ennoble waste
Alessandra Cernaro

_210 Contribución a la economía circular:incorporación de vidrio en la producción de ladrillos
Contributing to the circular economy: glass addition in brick making
Laura Crespo-López - Giuseppe Cultrone

_220 Modelo International Standards para la sostenibilidad de edificios (Etapa de uso y mantenimiento)
International Standards Model for Building Sustainability (Stage of use and maintenance)
Fabiola Colmenero Fonseca - Consuelo Gómez-Gómez - Andrés Salas Montoya

_236 Harvest map of tangible and intangible resources in Watamu for sustainable architecture
Stefania De Gregorio

_248 Estudiando el pasado para construir el futuro. La Arquitectura Vernácula y su aporte a la construcción del futuro como medida de mitigación del cambio climático
Carlos Alberto Duica Cuervo

_262 L'innovazione tecnologica dei serramenti in PVC verso "modelli di produzione e consumo sostenibili"
The technological innovation of PVC window-frames toward production and consumption sustainable models
Ornella Fiandaca

_274 Valutazioni multicriteriali per l'efficienza nei processi di riciclaggio
Multicriteria evaluation for recycling process efficiency
Fabrizio Finucci - Antonella G. Masanotti - Daniele Mazzoni

_286 Fotovoltaico tra prestazione e sostenibilità: una sfida per il futuro
Photovoltaics between performance and sustainability: a challenge for the future
Letizia Giusti - Marianna Rotilio - Gianni Di Giovanni

_296 Il riutilizzo di spolia edili: Qasr Rabba in Giordania. Un caso esemplare
The reuse of building spolia: Qasr Rabba in Jordan. An exemplary case
Jacqueline Gysens Calzini - Luigi Marino

_308 Calcestruzzo con aggregati di laterizio riciclato. Machine learning per la previsione prestazionale e trattamento dei dati per la gestione dell'errore
Recycled brick aggregate concrete. Machine Learning for performance prediction and data processing for error management
Antonio Magarò

_318 Assessing the externalities of a waste management system via life cycle costing: The case study of the Emilia-Romagna Region (Italy)
Chiara Magrini - Alessandro Dal Pozzo - Alessandra Bonoli

_330 Potenzialità d'utilizzo nell'ambiente costruito delle risorse di prossimità
Potential use of proximity resources in the built environment
Marco Migliore - Matteo Clementi - Giancarlo Paganin

_340 Scarti di granito e cave dismesse per futuri scenari eco-innovativi in Sardegna
Granite scraps and abandoned quarries for future eco-innovative scenarios in Sardinia
Antonello Monsù Scolaro - Cheren Cappello

_352 Valutazione BIM-based ex ante dei rifiuti da C&D per la demolizione selettiva
BIM-based preliminary C&D waste assessment for selective demolition
Marina Rigillo - Giuliano Galluccio - Federica Paragliola - Sara Piccirillo - Sergio Tordo

_366 Concretos de alta resistencia con humo de sílice y con diferentes fuentes de agregados gruesos
High strength concretes with silica fume and three different sources of coarse aggregates
Andrés Salas Montoya - Fabiola Colmenero Fonseca

_376 Circular strategies within building processes: emerging needs and perspectives
Cinzia Talamo - Giancarlo Paganin - Nazly Atta

_390 Il vetro piano: potenziale inespresso di un rifiuto da costruzione e demolizione
Flat Glass: untapped potential of a construction and demolition waste
Luca Trulli

Architetture / Architectures / Arquitecturas

_406 Valorización de residuos de producción industrial en elementos de cierre de edificios
The valorisation of industrial production waste in building closure elements
Graziella Bernardo - Luis Manuel Palmero Iglesias

_418 Architectural jam sessions. Harmonized improvisations from recycled components in Casamatta, Mulini di Gurone, Malnate, Italy
Gian Luca Brunetti

_430 Il recladding degli edifici per uffici. Un esempio applicato di progettazione integrata
The recladding of office buildings. An applied example of integrated design
Michele Conteduca - Valerio Fonti

_442 Riuso e riciclo di elementi e componenti prefabbricati per gli stadi di Qatar 2022
Reuse and recycling of prefabricated elements and components for Qatar 2022 stadiums
Massimo Mariani

_454 Construcción circular en asentamientos informales: de residuos a hogares
Circular construction in informal settlements: from waste to home
Mónica Alexandra Muñoz Veloza

_468 Esperienze di progetto attraverso processi di “urban mining”
Design experiences through “urban mining” processes
Alessandro Rogora - Paola Leardini

_482 C'erano una volta vecchi attrezzi e scarti agricoli: il progetto di un Parco Circolare
Once upon a time there were disused farm tools and agricultural wastes: the Circular Park project
Silvia Tedesco - Elena Montacchini - Annalisa Gino - Jacopo Gasparotto

Ringraziamenti / Acknowledgment / Agradecimientos

_496 Ringraziamenti
Acknowledgement

Dalla cultura del riciclo alle buone pratiche

From the recycling culture to the best practices

Enza Santoro *_enza.santoro@unina.it*
Ph.D. Student
Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Gigliola Ausiello *_ausiello@unina.it*
Professore Ordinario
Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Summary

The building sector needs to pay attention to the environment because it is one of the most energy-intensive sectors; it consumes large amounts of natural raw materials and produces a large amount of waste that goes to landfill. The main materials used in construction have a mining cycle that will be exhausted in a not too long.
The extraction of materials, such as sand, gravel and stones require a lot of energy consumption, and also changes the environment. There are many solutions to protect the environment, including the use of recycled materials. Urban landfills can be a waste of raw materials that are already used in other sectors and would be suitable for new purposes. This practice, born in ancient times and developed especially in Roman times, is difficult to spread today compared to the achievements with traditional materials.
The aim of the paper is to show, through the analysis of pilot projects, what objectives can be achieved through the use of reused or recycled materials. This objective is to raise awareness among citizens, professionals, policymakers and construction companies to extend recovery, reuse and recycling to the construction.
Examples from real buildings and data collected from research make it possible to demonstrate that recycled materials can be a real alternative to raw materials. Increasing attention to this issue could incite the promulgation of new standards for these products in order to spread their use.

Building materials, Circular economy, Recycling,
Urban waste, Roman architecture

La pratica del riciclo nella storia

Nell'analisi dei materiali impiegati nel settore delle costruzioni, i materiali riciclati rappresentano una innovazione rispondente agli obiettivi di tutela delle risorse naturali e degli ecosistemi e dotata di potenzialità residue tali da promuoverne l'impiego. Tuttavia, nonostante l'applicazione di questi materiali sembri essere una pratica innovativa, essa fonda le sue radici in altre epoche storiche ed è antica quanto l'abitare.

I primi e importanti esempi di riciclo nel settore delle costruzioni sono quelli connessi ai rifiuti di demolizione, che sono riconducibili a vari momenti storici. In epoca medioevale era diffusa l'applicazione di colonne, capitelli, cornici, frammenti di laterizi mal ripuliti e materiale di spoglio vario derivanti dalla precedente demolizione di altre costruzioni.

Figura 1. Particolare di una strada a Pompei con coccipopesto [Elaborazione degli autori].

Nel Rinascimento si annoverano vari esempi di costruzione con elementi di riciclo, tra questi spiccano: la costruzione del palazzo Strozzi a Firenze, per la quale furono adoperati mattoni e rifiuti di demolizione e la costruzione della cattedrale di San Pietro, per la quale furono impiegati dei blocchi di travertino prelevati dal Colosseo [Ausiello, 2000]. Altri esempi peculiari di tale metodologia costruttiva si ritrovano nel secondo dopoguerra; a Milano le macerie degli edifici crollati in seguito ai bombardamenti furono utilizzate nella costruzione di una collina artificiale, in Germania si utilizzarono materiali di demolizione provenienti dai crolli secondo indicazioni fornite dalle norme DIN. La più grande e importante testimonianza di impiego di materiali riciclati nelle costruzioni risale all'epoca romana. I romani avevano ben noti, nella pratica operativa, tanto i concetti del riciclaggio, quanto quelli del restauro, che seguivano canoni ben precisi, tanto che le stesse strutture del governo imperiale imponevano l'utilizzo dei materiali provenienti dalla demolizione di opere pubbliche fornendo le opportune istruzioni.
L'innovazione e le potenzialità di tale pratica costruttiva possono essere catturate nelle parole di Plinio "*... quid non escogitat vita fractis etiam testis utendo, sic ut firmius durent, tunsis calce addita, quae vocant Signina!*" (Che cosa non escogita la vita, riciclando anche i cocci - o le tegole - rotti, pestati e aggiunti alla calce affinché durino salde quelle strutture che chiamano signine!) [Braconi, 2009]. Ancor prima dell'epoca imperiale, le tegole venivano prelevate da edifici dismessi, frantumate e poi poste in opera con malta di calce per la realizzazione dei coronamenti dei muri in crudo. Un esempio lampante di riciclaggio in epoca romana è rappresentato dal cocciopesto (Figura 1), ricavato dalla frantumazione di tegole, scarti di produzione e materiali proveniente dalle demolizioni legati con malta di calce. Il materiale ha trovato ampia diffusione grazie alle caratteristiche di idraulicità e resistenza tali da far pervenire intatti massetti di pavimentazioni e rivestimenti murali. Assai diffusa era anche la pratica del riempimento, effettuato con frammenti di intonaco, pietre, pezzi di malta e ceramica per azioni di innalzamento delle quote stradali e delle pavimentazioni interne [Ausiello & Sommese, 2022]. Nella casa dei Gladiatori, ad esempio, la preesistente *domus* sannitica fu smantellata e le macerie di demolizione furono riutilizzate per creare uno strato di riporto utile ad innalzare di circa un metro la quota dei pavimenti e l'impianto del giardino [Esposito, 2018]. La cultura del riciclo, per quanto attiene il reimpiego di materiale litico e di pol-

veri e frammenti di materiale lapideo, raggiunge livelli eccezionali negli ultimi anni di vita di Pompei, specialmente dopo il terremoto del 62 d.C., in cui ferve un clima di ricostruzione che impiega una produzione di eccezionali quantità di rifiuti edili. L'impiego delle macerie, messe in opera senza alcuna rilavorazione, si configura come un'operazione sistematica che ripropone, a dispetto dell'evoluzione, l'opus incertum, nei paramenti delle murature di numerose fabbriche da restaurare [Adam, 1994].
Nel corso del tempo si sono susseguite numerose esperienze, fino ad arrivare alla fine dello scorso secolo che, in linea con la salvaguardia degli ecosistemi e la tutela della biodiversità, ha visto nascere e implementare numerose sperimentazioni ed esperienze applicative di prodotti di scarto per la realizzazione di elementi tecnici all'interno degli edifici.

Economia circolare e selezione dei materiali come strategia sostenibile

La riorganizzazione dei settori produttivi, necessaria a mitigare gli impatti ambientali, ha interessato anche il settore edile. L'approccio basato sul concetto di economia circolare può rivoluzionare lo schema produttivo tradizionale, fondato sull'impiego di risorse naturali, favorendo un nuovo sistema rigenerativo in cui si prolunghi il ciclo di vita dei prodotti, si limiti la produzione dei rifiuti e si riducano le emissioni [Geissdoerfer et al., 2017]. Nel contesto europeo tale approccio è stato diffuso, al fine di tutelare l'ambiente e salvaguardare le risorse naturali, attraverso un pacchetto di misure, tra cui la Direttiva (UE) 2018/851 focalizzata sul tema dei rifiuti. Nella Direttiva si evidenzia l'importanza del recupero di materia in quanto i rifiuti possono rappresentare una risorsa. Nel 2020 il piano d'azione per l'economia circolare [CE, 2020] ha introdotto indicazioni indirizzate alle principali catene di valore dei prodotti al fine di diffondere l'approccio circolare. In esso sono presenti indicazioni generali volte a ridurre la produzione dei rifiuti ed indicazioni specifiche rivolte al settore edile, tra cui la possibile istituzione di requisiti di contenuto riciclato per alcuni prodotti da costruzione. Partendo dalla fase di progettazione della tipologia edilizia, incentivare la produzione di edifici prefabbricati e pensati per essere facilmente smontabili, garantisce il riuso dei componenti che possono essere ottimizzati per le nuove applicazioni e riutilizzati [Akhimien et al., 2021]. La definizione della tipologia e dei materiali permette di considerarli eventualmente nell'analisi

LCA dei progetti mostrando i benefici del riutilizzo [Benachio et al., 2020]. Un nuovo valore può essere soprattutto ritrovato nei prodotti destinati a rifiuto che, altrimenti, andrebbero a gravare sulle già esaurite capacità di smaltimento in discarica. Prendendo, dunque, esempio dalle antiche tecniche costruttive che implementavano il riuso di elementi di fabbrica o di parti di essi, l'impiego di materiali riciclati o riutilizzati consente di operare avendo riguardo della sostenibilità ambientale, in termini di riduzione di emissioni e salvaguardia dei paesaggi naturali. L'utilizzo di materiali riusati e disponibili in loco, infatti, elimina gli impatti del trasporto e minimizza i tempi di realizzazione e i costi delle opere nell'ottica della sostenibilità economica. È importante sottolineare anche la connessione alla sostenibilità sociale; applicare prodotti riciclati o riutilizzati permette di sensibilizzare i cittadini alle pratiche di corretta gestione del ciclo dei rifiuti, come previsto nel piano d'azione per l'economia circolare [CE, 2020], e a renderli attori attivi nel processo costruttivo.
L'impiego dei materiali riutilizzati nel settore edile, in base alla letteratura attualmente presente, può essere diviso in tre livelli [Benachio et al., 2020]. Il micro-livello comprende il riutilizzo di specifici materiali utilizzati per la produzione di elementi con diversa funzione. Il livello medio include i casi in cui il riuso è applicato nell'intero edificio a tutti gli elementi di fabbrica e quelli in cui si definiscono preliminarmente le potenzialità di riuso dei materiali a fine del ciclo di vita dell'edificio. Infine, il macro-livello si occupa di definire le potenzialità di riutilizzo nel settore delle costruzioni in termini di prestazioni e benefici all'ambiente. Ciò mostra che la ricerca è abbastanza attiva e si occupa a varie scale della rivoluzione nell'industria edile.

Pratiche di riciclo e riuso

È fondamentale individuare i processi di trasformazione dei rifiuti distinguendo le trasformazioni fisiche e funzionali, più o meno reversibili, che i prodotti subiscono.
Nel 2020 l'Europa ha registrato una produzione complessiva di rifiuti urbani che ammonta a circa 231,3 milioni di tonnellate. In Italia si registra un decremento del 3,5% di produzione di rifiuti rispetto al 2019 e circa il 30,4% dei rifiuti trattati viene avviato al riciclaggio [ISPRA, 2022]. Particolarmente interessante è il dato sul tasso di riciclaggio, utilizzato per monitorare il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo sostenibile [ONU, 2015], monitoran-

do la quantità di rifiuti avviati al riciclo rispetto alla produzione totale degli stessi. In Italia si regista un aumento del 20,4% rispetto al dato precedente, ciò attesta una continua e specifica attenzione alla corretta gestione dei rifiuti [ISPRA, 2022]. In Tabella 1 si riportano le tipologie di rifiuti differenziati e le relative quantità.

I dati contenuti all'interno del rapporto sono utili per focalizzare l'attenzione su categorie di materiali disponibili in quantità elevate e valutarne l'eventuale applicazione nel settore edile [Parece et al., 2022; Soni et al., 2020]. Tra queste si evidenziano la carta, la plastica, il legno e il vetro già ampiamente utilizzati in studi sperimentali e realizzazioni.

La carta è adoperata per la creazione di blocchi e pannelli per l'isolamento termico e acustico ma non mancano applicazioni più significative come quella del *papercrete* o dei tubi di cartone [Rogora e Scudo, 2013].

Il *papercrete* è un conglomerato composto da carta, sabbia, cemento e acqua che può essere prodotto in blocchi e pannelli o adoperato come malta e intonaco per la realizzazione di intere partizioni verticali [Ausiello et al., 2022]. I tubi di cartone sono elementi tecnici inizialmente impiegati per la realizzazione delle *Paper Log Houses* [Ban, n.d.], edifici temporanei di emergenza [Rogora e Scudo, 2013]. La carta, sottoposta a trattamenti superficiali utili a rallentarne il degrado provocato dagli agenti atmosferici,

Frazione merceologica	Quantità 1000*t	% sul totale
Organico	7400	39
Carta e cartone	3600	19,1
Vetro	2300	11,9
Plastica	1700	8,8
Legno	1005	5,3
Ingombranti misti a recupero	957	5,1
Spazzamento stradale a recupero	499	2,6
Metallo	370	2
Rifiuti da costruzione e demolizione	364	1,9
Altro	327	1,7
RAEE	290	1,5
Tessili	154	0,8
Selettiva	57	0,3

Tabella 1. Tipologie e quantità dei rifiuti differenziati in Italia [Elaborazione degli autori, dati ISPRA].

viene arrotolata intorno ad uno stampo cilindrico metallico e incollata su sé stessa.
Una volta essiccata, essa è sfilata dal cilindro e si ottiene il tubo, elemento con buone prestazioni meccaniche che ne consentono l'impiego per la creazione di pareti di tamponamento [Venkatesan et al., 2023].
La plastica riciclata è usata per la realizzazione di pavimentazioni, pannelli isolanti, tubi e vespai. Realizzazioni sperimentali più estreme prevedono l'impiego di scarti plastici nella composizione di conglomerati leggeri o l'utilizzo di bottiglie di plastica [Rogora e Scudo, 2013; Dadzie, 2020] ad esempio per la realizzazione di pareti di tamponamento.

Figura 2. Particolare parete con bottiglie di plastica [Fonte https://bottleschools.org].

Si cita da esempio la costruzione di scuole in Guatemala (Figura 2) che ha previsto l'impiego di bottiglie di plastica per la realizzazione di chiusure verticali. Le bottiglie, inizialmente riempite con materiali inorganici affinché acquisissero massa e stabilità, sono state impilate lungo la loro verticale e bloccate legandole a una doppia rete metallica di sostegno [Hug It Forward, n.d.].
Il vetro riciclato è utilizzato per la produzione di rivestimenti, pannelli isolanti, smalti e materiale inerte espanso con funzione di alleggerimento all'interno di blocchi di muratura. Dal riciclo del vetro si può, inoltre, ottenere il granulato, materiale coibente e leggero impiegato al posto delle schiume plastiche per l'isolamento. Tra le applicazioni di riutilizzo più stravaganti vi è il Refugio de Materiales Reciclados (Figura 3) in Cile, in cui la facciata principale è composta da una serie di porte vetrate riutilizzate che appartenevano al patio di una casa precedentemente demolita [Martinez Nahuel, n.d.].
I metalli possono essere riciclati per ricavarne profili di vario tipo, elementi per la realizzazione di gabbie di armatura, elementi di protezione, lamiere o pali. È ampiamente diffuso, inoltre, l'impiego dei vecchi *container* per la

Figura 3. Refugio de Materiales Reciclados [fonte www.juanluismartinez-nahuel.cl].

Materiale	Prodotti di riciclo	Applicazioni
Carta	Pannelli isolanti termici e acustici Conglomerati alleggeriti	Papercrete Tubi di cartone (Paper Log House - Shigeru Ban) [Rogora e Scudo, 2013; Venkatesan et al., 2023; Shigeru Ban,n.d.]
Vetro	Rivestimenti Polvere di vetro utilizzata come filler Isolanti Granulato di vetro cellulare	Tamponature con porte vetrate (Refugio de Materiales Reciclados) [Martinez Nahuel J. L., n.d.]
Plastica	Rivestimenti Pannelli isolanti Tubi Vespai	Tamponature con bottiglie di plastica [Rogora e Scudo, 2013; Hug It Forward, n.d.]
Legno	Pannelli Pannelli OSB	Scarti di sughero e legno per la realizzazione dei pavimenti (Upcycle House – Lendager Group) [Lendager Arkitekter, n.d.]
Metalli	Profili di vario tipo Lamiere	Container come involucro edilizio (Upcycle House – Lendager Group) [Lendager Arkitekter, n.d.]
Rifiuti da costruzione e demolizione	Inerti artificiali Elementi strutturali Parti di tamponature	Facciate di vecchi edifici (Resource Rows apartment block – Lendager Group) [Lendager Arkitekter, n.d.]
Tessili	Isolanti Pannelli e Rivestimenti	Moquette per il rivestimento esterno (Waste House Brighton) [Baker-Brown D., 2016]
Gomma	Isolanti acustici, superfici impermeabili e drenanti, asfalti, pavimentazioni, prodotti isolanti, guaine, cordoli, componenti per infrastrutture	Pneumatici per la realizzazione di pareti portanti (Earthship – Michael Reynolds) [Rogora e Scudo, 2013; Reynolds M.1990]

Tabella 2. Sintesi dei materiali, dei prodotti e degli esempi applicativi [Elaborazione degli autori].

realizzazione di involucri come nel caso dell'*Upcycle House*, costruita in Danimarca, in cui la struttura portante è stata realizzata tramite il riutilizzo di due vecchi *container* utilizzati per il trasporto di merci [Lendager Arkitekter, n.d.].

Conclusioni

L'impiego di materiali riciclati e riutilizzati, in supporto a quelli tradizionali, è una prassi costruttiva antichissima alla base di varie tecniche associate ai materiali più svariati. Oggi, la scelta di materiali riciclati diventa una soluzione al problema dello spreco di risorse non rinnovabili e al sovraccarico nelle discariche rispondendo, dunque, agli obiettivi per lo sviluppo sostenibile definiti nell'Agenda 2030 [ONU, 2015].
I principi dell'economia circolare devono essere applicati già nella fase di progettazione degli edifici supportando il processo decisionale relativo ai materiali, alle tipologie edilizie e alle tecniche costruttive. L'immissione degli scarti all'interno del ciclo produttivo è sicuramente vantaggiosa se i prodotti, oltre a garantire prestazioni comparabili a quelli tradizionali, sono disponibili nelle vicinanze dei siti di costruzione e non devono subire trasformazioni complesse per la loro riproposizione.
In tal caso, infatti, è possibile limitare la spesa economica ed energetica legata alle operazioni di trasporto, riducendo i tempi di esecuzione e i costi. La facile reperibilità di alcuni rifiuti e il basso impatto ambientale rendono i prodotti di riciclo utilizzabili per la realizzazione di edifici con varie destinazioni d'uso.
Ciò che ne frena la diffusione è lo scetticismo nei confronti del materiale che ha già esaurito un ciclo, associato eventualmente alla realizzazione di costruzioni di emergenza e temporanee. Inoltre, l'impedimento è anche di tipo economico in quanto l'attenzione è spesso focalizzata sul raggiungimento del profitto a breve termine [Eberhardt et al., 2019] e poco ai benefici ambientali che si potrebbero ottenere con tale approccio. Questo è sicuramente imputabile anche alla mancanza di norme prestazionali e di standardizzazione dei processi nel riutilizzo dei materiali, specialmente quelli da costruzione [Akhimien et al., 2021].
Per ovviare a tali difficoltà, la ricerca potrebbe raccogliere, sistematizzare le informazioni attualmente disponibili in modo da identificare i prodotti più performanti e testarne l'impiego ai fini della commercializzazione. In tal

senso, gli esempi di edifici realizzati sono emblematici e rendono visibili le potenzialità dell'impiego degli scarti all'interno di un nuovo ciclo. Le applicazioni alla scala reale preannunciano nuovi linguaggi architettonici in cui l'immagine e la percezione della costruzione guardano al futuro, nel raccontare le potenzialità delle buone pratiche del riciclo.

Referenze bibliografiche

Adam, J. P. [1994]. *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Milano: Longanesi.

Akhimien, N. G.; Latif, E.; Hou, S. S. [2021]. "Application of circular economy principles in buildings: A systematic review", *Journal of Building Engineering*, 38, 102041.

Ausiello, G.; Santoro, E.; Passaro, L. V. [2022]. "Experimental study on papercrete bricks and mortar from recycling paper", *American Concrete Institute, ACI Special Publication*, SP-355, pp. 465-476.

Ausiello, G.; Sommese, F. [2022]. "Beaten earth floor in Pompeii between history and technology" in D'Agostino, S.; D'Ambrosio Alfano, F. R.; Manzo, E. (a cura di). *History of Engineering Proceedings of the 5th International Conference*, Napoli: Cuzzolin editore, pp. 747-760.

Ausiello, G. [2000]. "Dal cocciopesto al calcestruzzopesto. La cultura della demolizione" in AA.VV. (a cura di). *To recycle. Techniques, Experiences and Perspectives in Architecture and Industrial Design*, Napoli: Francesco Giannini & Figli, pp. 29-33.

Baker-Brown, D. [2016]. "Developing the Brighton Waste House: from zero waste on site to re-use of waste", *International Conference on Sustainable Built Environment*, SBE16, Hamburg.

Benachio, G. L. F.; Freitas, M. do C. D.; Tavares, S. F. [2020]. "Circular economy in the construction industry: A systematic literature review", *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046.

Braconi, P. [2009]. "Ostracus, astrico e lastrico: i pavimenti in cocciopesto degli antichi e l'opus signinum dei moderni" in Angelelli, C. (a cura di). *Atti del XIV Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM)*, Spoleto, 7-9 febbraio 2007, pp. 251-263.

Commissione Europea [2020]. "A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe", disponibile da https://eur-lex.europa. eu/legalcontent/ (Ultima consultazione 29.03.2023).

Dadzie, D. K.; Kaliluthin, A. K.; Kumar, D. R. [2020]. "Exploration of waste plastic bottles use in construction", *Civil Engineering Journal*, 6(11), pp. 2262-2272.

Eberhardt, L. C. M.; Birgisdottir, H.; Birkved, M. [2019]. "Potential of circular economy in sustainable buildings", *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 9, 092051.

Esposito, D. [2018]. "La polvere sotto il tappeto. Considerazioni sul problema dello smaltimento dei rifiuti a Pompei" in Bosso, R.; Nuzzo, E. (a cura di). *Symplegmata. Studi di archeologia dedicati a Simona Minichino*, Napoli: Giannini Editore, pp. 191-233.

Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N. M.; Hultink, E. J. [2017]. "The Circular Economy–A new sustainability paradigm?", *Journal of cleaner production*, 143, pp. 757-768.

Hug It Forward [n.d.]. "Bottle Schools Manual", disponibile da https://bottleschools.org/ (Ultima consultazione 17.02.2023).

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale [2022]. "Rapporto Rifiuti Urbani Edizione 2022", disponibile da www.isprambiente.gov.it (Ultima consultazione 25.02.2023).

Lendager Arkitekter [n.d.]. "Upcycle House", disponibile da https://lendager.com/project/upcycle-house/ (Ultima consultazione 10.01.2023).

Martinez Nahuel J. L. [n.d.] "Refugio de Materiales Reciclados", disponibile da www.juanluismartineznahuel.cl/product/refugio-dev-materiales-reciclados/ (Ultima consultazione 29.03.2023).

Organizzazione Nazioni Unite [2015]. "The sustainable development agenda", disponibile da www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/ (Ultima consultazione 20.02.2023).

Parece, S.; Rato, V.; Resende, R.; Pinto, P.; Stellacci, S. [2022]. "A methodology to qualitatively select upcycled building materials from urban and industrial waste", *Sustainability*, 14(6), 3430.

Reynolds, M. [1990]. *Earthship: How to build your own, vol. 1*, EUA: Solar Survival Architecture.

Rogora, A.; Scudo, G. [2013]. *Costruire alternativo. Materiali e tecniche alternative per un'architettura sostenibile*, Milano: Wolters Kluwer.

Ban, S. [n.d.]. "Paper Log House", disponibile da www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html (Ultima consultazione 02.03.2023).

Soni, A.; Das, P. K.; Hashmi, A. W.; Yusuf, M.; Kamyab, H.; Chelliapan, S. [2022]. "Challenges and opportunities of utilizing municipal solid waste as alternative building materials for sustainable development goals: A review", *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100706.

Venkatesan, S.; Afroz, M.; Navaratnam, S.; Gravina, R. [2023]. "Circular-Economy-Based Approach to Utilizing Cardboard in Sustainable Building Construction", *Buildings*, 13(1), p. 181.

finito di stampare nel mese di
maggio 2023

Il V Convegno Internazionale Recycling, dedicato a "Il valore della materia nella transizione ecologica del settore delle costruzioni" si è tenuto a Roma il 26 maggio 2023, confermandosi come uno dei principali luoghi di confronto tra accademici e *stakeholders*. Il Comitato Scientifico, composto da docenti ed esperti provenienti da 24 Atenei internazionali, distribuiti su 4 Paesi e 3 continenti, ha selezionato i migliori contributi tra quelli pervenuti secondo la procedura *double blind peer review*. Come di consuetudine, i contributi sono stati suddivisi nelle tre sezioni del Convegno Internazionale: "Saggi", "Ricerche" e "Architettura". La raccolta degli atti ha come obiettivo la definizione dello stato dell'arte del riciclaggio nel settore delle costruzioni, oltre a fotografare la direzione verso la quale il mondo della ricerca scientifica si sta orientando. La moltitudine di punti di vista che caratterizza il presente volume è, probabilmente, il suo maggiore valore, restituendo un profilo innovativo e creativo sul tema.

The 5th International Conference Recycling, dedicated to "The value of building materials in the ecological transition of the construction sector" was held in Rome on May 26, 2023 confirming its status as one of the main venues for dialogue between academics and stakeholders. The Scientific Committee, consisting of professors and experts from 24 international universities, spread over 4 countries and 3 continents, selected the best papers among the ones received according to the double blind peer review. As usually, the papers were divided into the three sections of the International Conference: 'Essays', 'Research' and 'Architecture'. The aim of the proceedings is to define the state of the art of recycling in the construction sector, as well as to take a framework of the direction in which the world of scientific research is heading. The multitude of viewpoints that characterises this volume is probably its greatest value, providing an innovative and creative profile on the subject.

Adolfo F. L. Baratta, *Architect and Ph.D. Since 2014, he is Associate Professor in Architectural Technology at the Roma Tre University.*

Laura Calcagnini, *Architect and Ph.D. Since 2019, she is Assistant Professor in Architectural Technology at Roma Tre University.*

Antonio Magarò, *Architect and Ph.D. Since 2021 he is Research Fellow in Architectural Technology at Roma Tre University.*

ISBN 979-12-5953-046-2

9 791259 530462

€ 22,00