

End-of-Life of building materials: innovative upcycling experiment for brick recovery

Original

End-of-Life of building materials: innovative upcycling experiment for brick recovery / Andreotti, J.. - STAMPA. - (2026), pp. 83-96. (RE-CYCLING. VII INTERNATIONAL CONFERENCE. ECOLOGICAL INTELLIGENCE FOR A CIRCULAR AND TRANSFORMATIVE ARCHITECTURE Valencia (ESP) 5 giugno 2026).

Availability:

This version is available at: 11583/3011990 since: 2026-06-12T15:13:00Z

Publisher:

Universitat Politècnica de València

Published

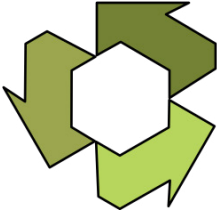
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)



RE-CYCLING

VII INTERNATIONAL CONFERENCE

Luis Palmero
Graziella Bernardo
Stefania De Gregorio

EDITORS

PROCEEDINGS

ECOLOGICAL INTELLIGENCE FOR A CIRCULAR
AND TRANSFORMATIVE ARCHITECTURE

Valencia, 05 June 2026 | Universitat Politècnica de València

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 segazione	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 edilizi	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. 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
<i>Reuse and memory: Charterhouse elements in Serra San Bruno's urban fabric</i>	
Lorenzo Russo, Giuseppe Fortunato	
Facciate prefabbricate in pannelli di calcestruzzo. Strategie di riqualificazione	317
<i>Prefabricated concrete panel façades. Renovation strategies</i>	
Francesco Spada, Laura Greco	
El Análisis de Ciclo de Vida como herramienta estratégica en la rehabilitación del patrimonio edificado	331
<i>Life Cycle Assessment as a strategic tool in the rehabilitation of built heritage</i>	
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
<i>Ecological intelligence and Geographic Information Systems (GIS) in the management of hydrometeorological risks for the regeneration of the territory in the Port of Veracruz</i>	
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, Bensu Berk	

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

End-of-Life of building materials: innovative upcycling experiment for brick recovery

Jacopo Andreotti

PhD and research fellow, Politecnico di Torino, Department of Architecture and Design, Italy. jacopo.andreotti@polito.it

Abstract: The construction sector is one of the major contributors to Greenhouse Gas emissions and waste generation in Europe, making the adoption of decarbonisation and circular economy strategies particularly urgent. In this framework, construction and demolition waste, such as clay brick and ceramic-based materials, accounts for a significant fraction of both mass and volume. Although the brick industry has already integrated circular practices into production by incorporating secondary raw materials, end-of-life brick waste is still mainly managed through downcycling practices, leading to a loss of material value.

This paper presents an innovative approach to enhance the recovery of post-production and post-use brick waste through technological cross-fertilisation with the Autoclaved Aerated Concrete sector. The research, developed within the project '*Circularità delle risorse materiche*' and carried out in collaboration between academic institutions and industrial partners, investigates the feasibility of producing a lightweight, porous material from crushed brick waste.

The experimental activity was organised into three sequential laboratory phases. The first two, based on traditional binders and AAC-like formulations, did not achieve satisfactory results due to issues such as sample fragmentation and disintegration. The third phase introduced a geopolymer-based approach, which resulted in cohesive specimens characterised by a widespread porous structure, with densities ranging from 700 to 950 kg/m³ and porosity values up to 68%.

Preliminary results highlight the potential of the new material as a massive thermal insulation solution and as a component for wall cladding systems or suspended ceilings with sound-absorbing and hygrothermal regulation properties. Further performance testing and assessments of industrial scalability are currently ongoing, contributing to the development of new high-value circular pathways for end-of-life brick recovery.

Keywords: circular economy, upcycling, brick waste recovery, geopolymer & lime, brick mousse.

* Autore corrispondente



1. Introduzione

Il settore delle costruzioni è da molti anni il soggetto principale verso cui si rivolgono i piani strategici europei. Tali piani sono finalizzati a ridurre i consumi di risorse materiche ed energetiche e la produzione di rifiuti, poiché dal suddetto settore dipendono il 36% delle emissioni di anidride carbonica equivalente (CO₂eq) rilasciate annualmente a livello continentale (Ramboll et al., 2025).

In questo senso, l'Unione Europea (UE) ha da tempo identificato la rilevanza dei flussi materici (risorse in ingresso e rifiuti in uscita da un determinato sistema) attraverso il *Green Deal*; il cui obiettivo è promuovere interventi di prevenzione, riuso e riciclo di alta qualità. La transizione in esso illustrata verso un'economia attenta all'importanza della materia – non solo 'ambientale' ma anche 'culturale' (Andreotti et al., 2023) – è supportata da diverse direttive e piani *ad-hoc*.

La Direttiva Quadro sui Rifiuti (2008/98/CE, in continuo aggiornamento) ha fissato un target minimo al 2020 del 70% di rifiuti avviati a processi di riuso, riciclo e recupero. Da qui la crescente importanza rivolta ai rifiuti da C&D, dato che essi costituiscono una frazione voluminosa e pesante, specialmente se gli interventi riguardano edifici realizzati con: mattoni e blocchi forati, tegole, vetro, cemento e calcestruzzo (de Gier et al., 2024). La salvaguardia del 'valore della materia' (Baratta et al., 2023b) è supportata poi dal *Circular Economy Action Plan* (CEAP) – il cui obiettivo è quello di promuovere la riduzione dei tassi di rifiuti conferiti in discarica attraverso modelli virtuosi di recupero – e dal recente aggiornamento del *Construction Products Regulation* (CPR) (UE 3110, 2024), le cui principali novità riguardano: l'introduzione del passaporto digitale quale strumento atto a favorire la tracciabilità dei flussi materici e l'integrazione dei criteri ambientali sul ciclo di vita, in ottica di rendere obbligatoria la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) per tutti i prodotti da costruzione. Tale azione si inserisce in un più ampio pacchetto di iniziative, che passa attraverso l'aggiornamento della Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD IV) (UE 1275, 2024). Al suo interno, la verifica delle prestazioni energetiche è accompagnata dalla valutazione delle emissioni di CO₂eq lungo tutto il ciclo di vita del manufatto edilizio, dall'estrazione delle risorse (A) fino allo smaltimento delle stesse al termine della loro vita utile (C) (Giordano and Andreotti, 2023).

In questo scenario, l'Italia ha recepito il quadro di strumenti europeo sull'economia circolare. Si evidenzia una tendenza positiva per il 2025, rispetto alla media europea (<70%), con il 73% dei rifiuti speciali non pericolosi avviati a recupero e riciclo, a cui si somma il 9,9% destinato a incenerimento e a trattamenti biologici o fisico-chimici (ISPRA, 2025). Inoltre, i recenti aggiornamenti sui Criteri Ambientali Minimi (CAM) hanno introdotto informazioni più dettagliate in relazione agli studi *Life Cycle Assessment* (LCA) per gli interventi pubblici (MASE, 2025) e al principio *Do No Significant Harm* (DNSH). Tale principio, derivante dalla tassonomia europea, vincola gli investimenti pubblici legati al PNRR a dimostrare di non arrecare danni all'ambiente, promuovendo di fatto il disassemblaggio degli edifici e la transizione verso un'economia circolare.

La ricerca si inserisce quindi in un contesto dinamico e si focalizza, nell'ambito dei materiali da costruzione, sul comparto dei laterizi. Esso rappresenta per l'Italia – e per le regioni mediterranee del continente europeo – un importante riferimento da cui attingere risorse per la realizzazione di nuovi edifici o per la ristrutturazione degli esistenti. Il laterizio, sia esso inteso come mattone, blocco forato, tegole e coppi, travetti e pignatte, è un elemento caratteristico del patrimonio edilizio storico e contemporaneo; capace ormai da tempo di sfruttare i principi di economia circolare in fase di produzione, mediante l'additivazione di scarti nella miscela di base (Baratta et al., 2023a). Tuttavia, tale propensione ad accogliere e valorizzare scarti provenienti da altri settori non si verifica durante il suo fine vita, inteso come il momento in cui il prodotto non è più in grado di soddisfare i requisiti prestazionali per cui è stato progettato. In questa situazione il laterizio, classificato come rifiuto speciale non pericoloso (EER 170102 e 170103), subisce tradizionalmente un processo di riciclo che lo porta a divenire un 'aggregato recuperato',¹ le cui modalità di recupero vengono definite in riempimenti e colmate e confezionamento di malte e calcestruzzi; ovvero, processi di *downcycling* che riducono la prestazione e il valore della materia. Da qui l'obiettivo della ricerca di identificare nuove soluzioni di valorizzazione della materia, capaci di rispondere a specifiche esigenze di mercato, ambientali e culturali.

¹ D.M. 28 giugno 2024, n.127, Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152/2006.

2. Proposta originale: cross-fertilizzazione tecnologica e di know-how

Nell'alveo delle ricerche portate avanti dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, il progetto 'Circolarità delle risorse materiche'² si è confrontato con la necessità del settore dei laterizi di identificare nuovi modelli produttivi sostenibili. La ricerca – svolta in collaborazione con il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino, l'azienda Gruppo Ripa Bianca di Santarcangelo di Romagna e la società Sfridoo di Bologna – ha così esplorato nuove modalità di recupero del laterizio post-produzione e post-uso, con l'obiettivo di rispondere alla domanda: *“è possibile recuperare il laterizio a fine vita, evitando che le operazioni di riciclo ne riducano il valore, la qualità e le funzionalità?”*.

La soluzione al quesito ha richiesto una collaborazione multisettoriale e il trasferimento di tecnologie e di *know-how*, individuando, in principio, una serie di criticità (aziendali e di mercato) entro cui delineare uno spazio di sperimentazione. A livello aziendale, e per estensione a tutti gli stabilimenti produttivi di laterizio, le principali criticità riguardano il fabbisogno di metano, da cui derivano costi ed emissioni. Nonostante ciò, tali “derivati” sono giustificati dalla durabilità del materiale; il quale, senza alcuna operazione di manutenzione o riparazione, è in grado di mantenere le sue prestazioni per oltre 150 anni (TBE, 2020). Un'ulteriore criticità emersa durante il confronto con l'azienda riguarda il prodotto scartato post-produzione, il quale non è re-introducibile e deve essere smaltito. A livello di mercato, invece, i prodotti in laterizio non sono in grado, ad oggi, di fornire soluzioni leggere per tramezzature e controsoffitti o per svolgere funzioni di isolamento termico e acustico.

La ricerca ha così individuato un prodotto di riferimento, il Calcestruzzo Aerato Autoclavato (CAA). Conosciuto anche come calcestruzzo cellulare, il CAA (Figura 1) è un materiale sviluppato agli inizi del 1900 dall'architetto svedese John Axel Eriksson con l'obiettivo di valicare i problemi del legno relativi alla combustione, sensibilità all'umidità e continua manutenzione. Il CAA, costituito da una miscela di cemento, calce aerea, gesso, sabbia silicea acqua e polvere di alluminio, ha la capacità di “lievitare”, ovvero di espandere il suo volume per effetto dell'ossidazione della polvere di alluminio:

² Finanziato tramite D.M. 10 agosto 2021, n.1061, Dottorati di ricerca su tematiche green e dell'innovazione: nuove risorse dal PON Ricerca e Innovazione 14-20.

dovuta al contatto con l'ambiente basico (pH superiore a 7) indotto dalla miscela di calce aerea e acqua. Tale reazione provoca la produzione di bolle di idrogeno; le quali attraversando il composto portano a un aumento del volume (fino al 500%) e a una riduzione del peso (compreso tra ca. 300 e 900 kg/m³ a seconda del *mix-design*).



Figura 1. Posa di un blocco in CAA e confronto tra blocchi con porosità differente [Fonte: AsmitA India Reality & Ecotrend].

L'attività sperimentale è stata quindi rivolta al trasferimento della tecnologia di produzione del CAA al settore dei laterizi. Partendo da alcune esperienze condotte nel panorama internazionale (Bukhari et al., 2023; Raj

et al., 2020) è stata intrapresa un'attività di laboratorio organizzata in tre campagne sperimentali sequenziali, il cui processo iterativo è finalizzato a ottenere dei campioni equiparabili al prodotto di riferimento.

3. Mousse di laterizio, iter sperimentale

Le campagne sperimentali sono state suddivise in base alla tipologia di legante e di inerti, singoli o in combinazione, questi ultimi costituiti principalmente da cocciopesto – o *chamotte* – ottenuto per polverizzazione di scarti di laterizio del Gruppo Ripabianca.

3.1 Prima campagna

La prima campagna ha lo scopo di comprendere la relazione tra diversi tipi di leganti - cemento Portland (PC), cemento naturale (NC) e calce idraulica naturale (NHL) – con il cocciopesto e la polvere di alluminio (utilizzata come agente aerante). In questo caso, il cocciopesto è impiegato come sostitutivo della sabbia silicea. Le attività sperimentali hanno sviluppato 17 campioni: nessuno dei quali ha soddisfatto i requisiti prestazionali come mostrato nella Figura 2.



Figura 2. Frantumazione (sinistra) e disgregazione (destra) dei campioni sviluppati nel corso della prima campagna sperimentale [Fonte: autore].

I campioni hanno infatti evidenziato due tipi di problemi: frantumazione e disintegrazione. Il primo problema, osservato nei gruppi di campioni NC e NHL, è causato dalla rapida presa dei leganti, che provocano un arresto dell'espansione ma non della produzione di idrogeno. Il secondo, invece, caratterizza il gruppo di campioni PC ed è dovuto alla lenta presa del legante, che innesca un'espansione incontrollata senza attivare le proprietà meccaniche del cemento.

3.2 Seconda campagna

La seconda campagna ha reintrodotta alcune sostanze presenti nella miscela di CAA e utilizza una combinazione di leganti. Più nel dettaglio, i 20 nuovi campioni sono realizzati con una frazione di chamotte (50%) e sabbia silicea (50%) e sono suddivisi in due gruppi di leganti: cemento Portland + cemento naturale (PCN) e cemento Portland + calce aerata (PCA). Come nella prima fase, i nuovi campioni non hanno soddisfatto gli obiettivi prefissati. I problemi evidenziati sono di due tipi (Figura 3): limitata espansione nei campioni PCN e disintegrazione per i campioni PCA. Un'analisi più dettagliata ha rivelato che i problemi sono riconducibili al cocciopesto. Esso comprende una frazione di silice (quarzo) meno reattiva rispetto alla sabbia e, dal punto di vista granulometrico, si presenta come una polvere le cui particelle sono più piccole di quelle dei leganti. Questa caratteristica non consente ai leganti di funzionare correttamente e sviluppare le resistenze meccaniche.



Figura 3. Limitata espansione (sinistra) e disgregazione (destra) dei campioni sviluppati nel corso della seconda campagna sperimentale [Fonte: autore].

3.3 Terza campagna

La terza campagna abbandona la formulazione in stile CAA per esplorare il tema dei geopolimeri (Sambucci et al., 2021; Vasć et al., 2022). Si tratta di polimeri inorganici formati da reazioni chimiche tra sostanze alluminosilicate e soluzioni basiche ($\text{pH} > 7$). La reazione produce una rete tridimensionale (3D) di catene inorganiche con elevata resistenza meccanica. Il ricercatore ha sviluppato una serie di 13 miscele – visibili in Tabella 1 - combinando una soluzione basica, cocciopesto, polvere di alluminio, acqua con calce aerata, quest'ultima utilizzata per stabilizzare la reazione di espansione. Sebbene i geopolimeri siano in grado di consolidare anche a temperatura ambiente, si è deciso di essiccare i campioni in un forno a 80°C per 10 ore, al fine di accelerare il processo di indurimento. Tutti i campioni, come mostrato nella Figura 4, sono risultati coesivi.

Tabella 1. Mix-design dei campioni realizzati con soluzione geopolimerica
[Fonte: elaborazione dell'Autore].

	Cocciopesto (%)	Soluzione basica (%)	Calce aerea (%)	Polvere di alluminio (%)
G1	79,9	20,0	0	0,1
G2	82,9	17,0	0	0,1
G3	68,9	14,0	17	0,1
G4	65,2	13,0	21,7	0,1
G5	65,8	13,1	21,0	0,1
G6	67,3	13,4	19,2	0,1
G7	62,5	12,4	25,0	0,1
G8	65,2	13	21,7	0,1
G9	67,3	13,4	19,2	0,1
G10	68,9	13,7	17,3	0,1
G11	70,3	14	15,6	0,1
G12	69,7	13,8	16,4	0,1
G13	70,4	9,4	20,1	0,1

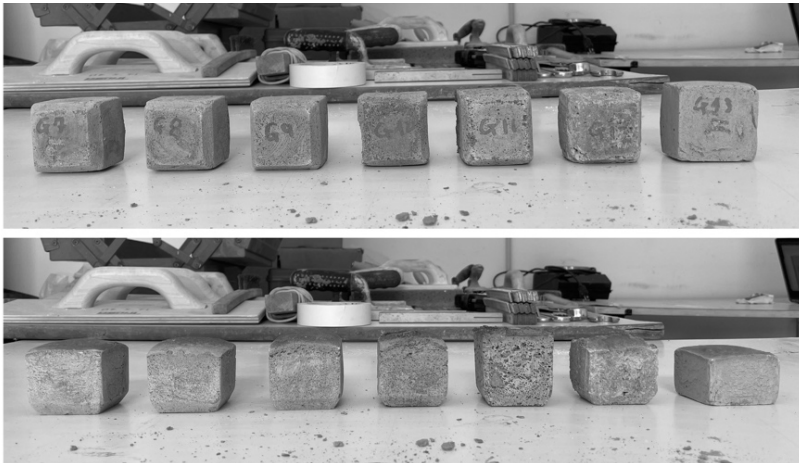


Figura 4. Provini sviluppati con combinazione di cocciopesto, soluzione geopolimerica e calce aerea [Fonte: autore].

4. Risultati e prospettive

La ricerca, attualmente in corso, è impegnata nell'attività di monitoraggio delle prestazioni in collaborazione con il Dipartimento di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Granada e con il Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT) del Politecnico di Torino. I risultati dei test iniziali evidenziano che il contenuto di calce è inversamente proporzionale al fenomeno di espansione. In altre parole, i campioni con un contenuto di calce più elevato sono caratterizzati da un minor volume dei pori, il quale influenza la densità apparente del materiale. In questo senso, le misurazioni sui campioni G9 e G11 mostrano un intervallo di densità compreso tra 700 e 950 kg/m³ e una porosità che contraddistingue il 55-68% del materiale (per il CAA i valori di densità sono compresi tra 300 e 900 kg/m³ e di porosità tra 50 e 80%). I test si sono concentrati prioritariamente sullo studio della struttura porosa del materiale, al fine di comprendere le sue relazioni con le prestazioni termiche, acustiche e meccaniche, attraverso: prove idriche, resistenza ai cicli di gelo e disgelo e alla cristallizzazione dei sali e analisi al porosimetro (Tabella 2).

Tabella 2. Studio della struttura porosa del materiale e confronto con valori tipici per i prodotti CAA [Fonte: elaborazione dell'Autore].

Tipologia di prova	G9	G11	CAA
Assorbimento di acqua per immersione	Assorbimento libero (Ab) 57,19% e forzato (Af) 71,63; Coefficiente di saturazione (S) 66,77%; Grado di interconnessione dei pori (Ax) 20,16%; Porosità apparente (P) 64,4%	Assorbimento libero (Ab) 71,38% e forzato (Af) 88,09; Coefficiente di saturazione (S) 68,99%; Grado di interconnessione dei pori (Ax) 19,00%; Porosità apparente (P) 68,58%	Valori tipici di Af tra 27-55% (Abhilasha et al., 2023); Coefficiente di saturazione (S) n.d.; Grado di interconnessione dei pori (Ax) elevato (Laukaitis and Fiks, 2006); Porosità apparente (P) >70% (Qu and Zhao, 2017)
Resistenza al gelo disgelo	Estrema sensibilità alla gelività, il materiale non è applicabile in condizioni ambientali esterne dove la temperatura è prossima o inferiore a 0°C.		Estrema sensibilità in condizioni di elevata saturazione (punto critico 50-70%) (Narayanan and Ramamurthy, 2000).
Cristallizzazione dei sali	Scarsa sensibilità alla cristallizzazione dei sali, dovuta all'elevato grado di interconnessione dei pori (Ax) che consente ai sali di cristallizzare senza intaccare le proprietà meccaniche del materiale; possibile applicazione in ambienti esterni salini.		I sali, specialmente in alte concentrazioni, può danneggiare la struttura porosa e ridurre la resistenza meccanica (Abuku et al., 2018).
Porosimetria a intrusione di mercurio (1-1E-06 mm)	55,31%	47,01%	65-90% (Abhilasha et al., 2023)

I risultati preliminari dimostrano l'efficacia della proposta originale di individuare una nuova soluzione di recupero del laterizio a fine vita, riducendo il fenomeno di *downcycling*. Il materiale, sulla base dei primi riscontri prestazionali, non può essere utilizzato a fini strutturali ma, data la presenza di una struttura porosa capillare e diffusa, può trovare impiego come: 1) isolante termico massivo, 2) elemento di rivestimento, parietale o per controsoffitti, con funzione fono-assorbente e termo-igrometrica. Ulteriori test prestazionali e di trasferimento a scala industriale sono in corso di programmazione.

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare il dott. Michele Marconi, l'arch. Mario Lazzaroni, il prof. Adolfo F.L. Baratta, il prof. Roberto Giordano, il prof. Giuseppe Cultrone e il prof. Jean-Marc Tulliani per il supporto alla ricerca.

Riferimenti bibliografici

- Abhilasha, K.R., Lakhani, R., Mishra, R.K., Khan, S. (2023). Utilization of Solid Waste in the Production of Autoclaved Aerated Concrete and Their Effects on its Physio-mechanical and Microstructural Properties: Alternative Sources, Characterization, and Performance Insights. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 17(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00569-x>.
- Abuku, M., Ogura, D., & Hokoi, S. (2018). Measurement and modeling of water sorption isotherm for salt-laden autoclaved aerated concrete. *Japan Architectural Review*, 1(1), 167-174. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.10022>.
- Andreotti, J., Montacchini, E., Tedesco, S. (2023). Schermi avanzati: il riuso di pareti in mattoni dell'esistente. *Costruire in Laterizio*, vol. 193, pp. 60-65. Maggioli S.p.A.: Santarcangelo di Romagna.
- Baratta, A.F.L., Andreotti, J., Trulli, L., Calcagnini, L. (2023a). Product innovation for the ecological transition. Brick and glass recycling. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 13, pp. 227-236. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/13192023>.
- Baratta, A.F.L., Calcagnini, L., Magarò, A. (2023b). Il Riciclaggio come processo creativo di innovazione. *RECYCLING: Il valore della materia nella transizione ecologica del settore delle costruzioni*, V, pp. 17-23. Anteferma Edizioni Srl: Conegliano (TV).
- Bukhari, S.A., Patil, D., Gogate, N.G., Minde, P.R. (2023). Utilization of waste materials in non autoclaved aerated concrete blocks: State of art review, *MaterialsToday: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.334>.
- de Gier, A., Gottlieb, S.C., Buser, M. (2024). Categorizing construction waste: Closing the gap between European waste regulation and management practices. *Sustainable Futures*, 7, 100194. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100194>.

- Giordano, R., and Andreotti, J. (2023). DEC50: Building decarbonisation tools. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (26), 207–216. <https://doi.org/10.36253/techne-14435>.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (2025). Rapporto Rifiuti Speciali Edizione 2025: Dati di sintesi. Disponibile al sito: <https://www.isprambiente.gov.it> (consultato il 03.02.2026).
- Laukaitis, A., & Fiks, B. (2006). Acoustical properties of aerated autoclaved concrete. *Applied Acoustics*, 67(3), 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.07.003>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) (2025). Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione e direzione lavori di interventi edilizi e opere di ingegneria civile, esecuzione di lavori, inclusi gli interventi di costruzione, ristrutturazione, manutenzione e adeguamento. Disponibile da: <https://www.mase.gov.it/portale/cam-vigenti> (consultato il 03.02.2026).
- Narayanan, N., Ramamurthy, K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, 22(5). [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0).
- Raj, A., Borsaikia, A.C., Dixit, U.S. (2020). Manufacturing of Autoclaved Aerated Concrete (AAC): Present Status and Future Trends. *Advances in Simulation, Product Design and Development*. Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9487-5_69.
- Ramboll, BPIE, Tu Graz, and KU Leuven (2025). Analysis of Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of EU Buildings and Construction: Analysis of Results and Implications. Disponibile da: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/2247112> (consultato il: 03.02.2026).
- Sambucci, M., Sibai, A., Valente, M. (2021). Recent Advances in Geopolymer Technology. A Potential Eco-Friendly Solution in the Construction Materials Industry: A Review. *Journal of Composite Science*, 5(4), 109. <https://doi.org/10.3390/jcs5040109>.
- Tiles & Bricks Europe (2020). Internal Guidance Document on TBE PCR for Clay Construction Products. Disponibile da: <https://www.tiles-bricks.eu> (consultato il: 04.02.2026).

- Unione Europea (2024). Direttiva 2024/1275 del 24 aprile 2024 sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia. Disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=it> (consultato il 03.02. 2026).
- Unione Europea (2024). Regolamento 2024/3110 del 27 novembre 2024 che fissa norme armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e abroga il regolamento n. 350/2011. Disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=it> (consultato il 03.02. 2026).
- Vasíc, M.V., Terzić, A., Radovanović, Ž., Radojević, Z., Warr, L.N. (2022). Alkali-activated geopolymerization of a low illitic raw clay and waste brick mixture, An alternative to traditional ceramics. *Applied Clay Science*, 218, 106410. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106410>.
- Qu, X., & Zhao, X. (2017). Previous and present investigations on the components, microstructure and main properties of autoclaved aerated concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 135, 505–516. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.208>.

