

Approcci circolari

Innovazione di procedimento, processo e prodotto nel settore dei laterizi

La transizione verso un modello economico circolare – che incoraggi le pratiche del riuso, riciclo e recupero di materiali e prodotti – rappresenta un'opportunità per il processo produttivo dei prodotti da costruzione. Il contributo intende illustrare pratiche circolari nel settore dei laterizi mediante un approccio dal territorio al prodotto

Jacopo Andreotti, PhD student, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre

KEYWORDS

Economia Circolare

Laterizio sostenibile

Riciclaggio

Rifiuti e sottoprodotti

Circular Economy

Sustainable brick

Recycling

Waste and by-products

La transizione del settore edile verso un'economia circolare, così come predisposto dalla Commissione Europea [1], presuppone un ripensamento degli attuali processi di progettazione dell'ambiente costruito, unitamente a una riflessione sui processi produttivi e di progettazione di materiali e componenti. L'impiego di politiche circolari, utile anche per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, necessita di intervenire su: riduzione dell'utilizzo di materie prime, allungamento del ciclo di vita delle risorse, riciclo e successivo riutilizzo delle materie da recupero. Tra le principali strategie circolari, la più

diffusa nel settore delle costruzioni, supportata dalla politica [2] e da diverse esperienze di ricerca [3; 4], è la pratica del riciclo. In questo senso, per incentivare tale prassi e i materiali o prodotti da essa derivanti, l'Italia ha introdotto i Criteri Ambientali Minimi (CAM) [5], strumenti volti a indirizzare gli enti pubblici verso l'acquisto di prodotti a ridotto impatto ambientale e caratterizzati dall'impiego di scarti nei cicli di produzione.

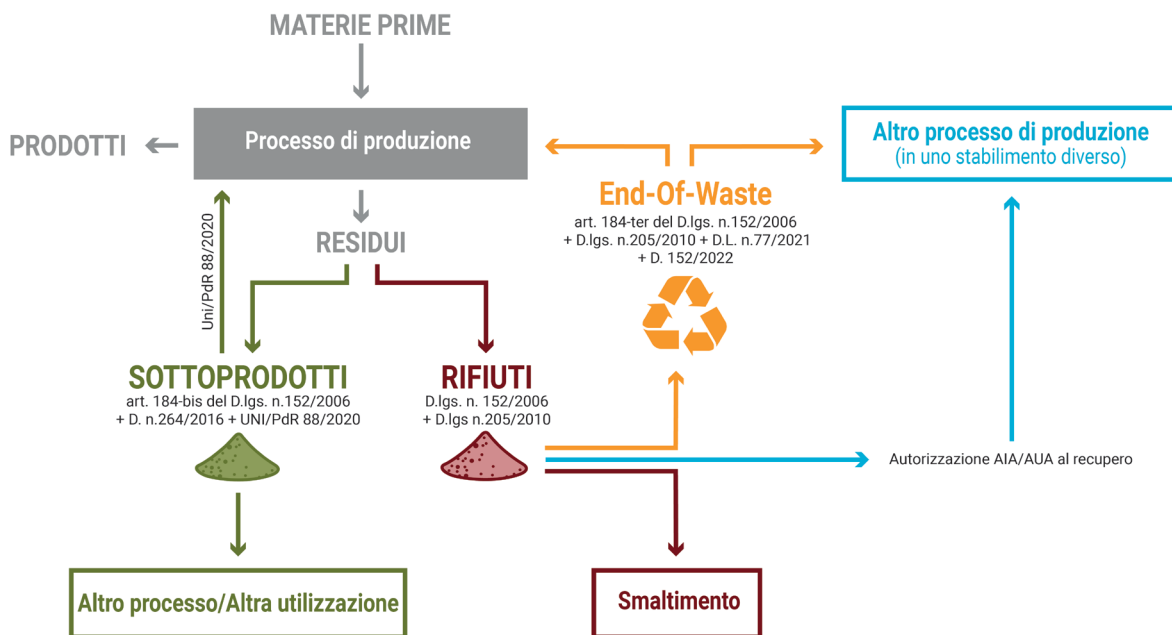
Il contributo intende quindi indagare lo stato dell'arte relativo alla gestione e lo scambio di rifiuti e sottoprodotti, o più generalmente degli "scarti", al fine di evidenziarne il ruolo pre-

Circular approaches for procedure, process, and product innovation in the brick industry

The 2030 Agenda, promoted by the United Nations, shows as waste management is one of the main challenges for the sustainable transition of Europe. Considering only the Italian area, statistics provided by Eurostat highlight an annual waste production of about 175 million tonnes, 26,4% of which comes only from the Building and Construction sector (B&Cs). In this context, the management and treatment of end-of-life products can also have either positive

or negative impacts on climate change. As a result, it is necessary to shift from a linear to a circular economy, encouraging practices of reuse, recycling, and recovery of materials and products. The application of circular approaches in the B&Cs could be an opportunity to rethink the current production processes of materials and the design processes of the built environment. Through a cross-sectional critical reading of the waste regulation in force in Italy, the article aims to illustrate possible circular

practices in the brick industry with a multi-scalar approach: from territory to the product. Overall, the article illustrates how the brick sector is a field of research in which circular scenarios can be the driver of process and product innovation. Nevertheless, applying these practices requires a systematic and programmatic vision: borrowed from long-term research experiences in collaboration with universities, research centers, and consulting companies.



1. Quadro sinottico sulla classificazione e gestione dei residui di produzione.

ponderante nei piani di sviluppo sostenibile, così come le opportunità di innovazione di procedimento, processo e prodotto che possono scaturire innescando politiche circolari nel comparto dei laterizi, attraverso una lettura multiscalare: dal territorio al prodotto.

Rifiuti e sottoprodotti

L'indagine sulla produzione di rifiuti in Italia evidenzia una media di 175 milioni di tonnellate di rifiuti ad anno; complessiva per tutti i settori produttivi, di questa il 26,4% è costituito da rifiuti da Costruzione e Demolizione (C&D) [6]. Nonostante un'elevata produzione annua, pari a 46 milioni di tonnellate di rifiuti, si rileva anche una pratica virtuosa di riciclo degli stessi: secondo i dati del report *L'Italia del Riciclo 2021* [7], il riciclo dei rifiuti da C&D si attesta al 78,1%, al di sopra dell'obiettivo del 70% fissato dall'Unione Europea per il 2020. Ciononostante, gli operatori del settore [8] indicano uno stallo nei flussi di utilizzo di materiali riciclati, a causa di una mancanza di mercati competitivi. In questo contesto, è necessario adottare politiche virtuose, volte a ridurre i materiali destinati allo smaltimento finale e a rinnovare il concetto di rifiuto: non più come un problema, ma come una risorsa. Tuttavia, le modalità di classificazione e gestione dei residui di produzione, unitamente al loro re-impiego, rappresentano un argomento complesso, soprattutto dal punto di vi-

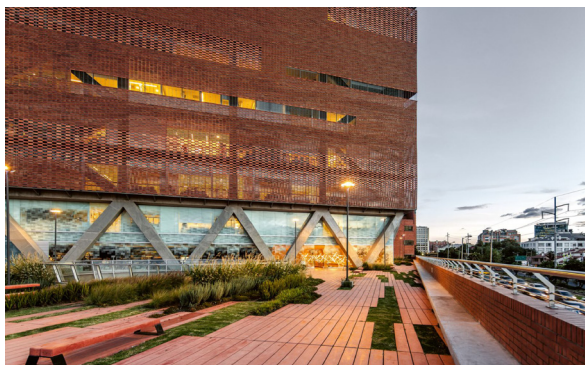
sta normativo. È quindi necessario procedere con l'illustrazione di alcune definizioni, al fine di evidenziarne criticità e opportunità.

La normativa italiana, in linea con le direttive UE, distingue i residui – intesi come materiali o sostanze non deliberatamente prodotti in un processo di produzione – in due differenti categorie: rifiuti e sottoprodotti, cui corrispondono precise definizioni e, soprattutto, modalità di trattamento (fig.1).

In relazione al termine rifiuto, il Testo Unico Ambiente (TUA) emanato con Decreto Legislativo n.152/2006, lo riconosce come: «*qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi*». L'impiego di un termine come quello di "disfarsi" ha provocato non poche difficoltà tecnico-giuridiche sulla classificazione delle sostanze. Al fine di facilitare la procedura di catalogazione è stato emanato il D.lgs. n.205/2010, corredato dal documento *Orientamenti tecnici sulla classificazione dei rifiuti* [9] e dalla Legge 108/2021, che riporta i codici EER (Elenco Europeo dei Rifiuti).

Contestualmente, al fine di ridurre il quantitativo di sostanze destinate allo smaltimento in discarica, è stata definita la procedura di *End-of-Waste* (EoW): un processo di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo, per il quale un rifiuto cessa di esserlo. La suddetta procedura, presente nell'art. 184-ter del TUA e revisionata nel D.lgs. 205/2010,

2. Ampliamento del polo ospedaliero Fundación Santa Fé di Bogotá (pubblicato su CIL 182 - Edilizia sanitaria).
© El Equipo Mazzanti



deve rispettare una serie di condizioni precise. La sostanza presa in esame deve: essere utilizzata per scopi specifici e conosciuti, avere un mercato o una domanda, soddisfare i requisiti tecnico-normativi applicati ai prodotti e, infine, non recare danni all'ambiente o alla salute umana. A tal proposito, per limitare la conversione impropria dei rifiuti in materia da recupero, è stato introdotto il Decreto-legge n. 77/2021, conosciuto come Decreto Semplificazioni, che apporta alcune modifiche, tra cui: «*un parere obbligatorio e vincolante dell'ISPRA o dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale territorialmente competente*». Inoltre, a corredo delle indicazioni presenti nel TUA e nei successivi decreti, la procedura di recupero dei rifiuti necessita dei provvedimenti autorizzativi ambientali: AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) e/o AUA (Autorizzazione Unica Ambientale). È opportuno, infine, segnalare che il 4 novembre 2022 è entrato in vigore il Decreto 152/2022, che stabilisce i criteri di EoW per i rifiuti da C&D, che cessano di essere classificati come rifiuti e acquisiscono la qualifica di aggregati riciclati. Sebbene le associazioni di categoria riferiscano che il documento non soddisfa alcuni aspetti tecnici, è certo che tale decreto può considerarsi un passo avanti verso la circolarità dei rifiuti inerti da C&D. Inoltre, focalizzandosi sui rifiuti in laterizio è realistico considerare un potenziale riutilizzo nella produzione di calcestruzzi e malte o, attraverso debite esperienze di ricerca, in nuove soluzioni per l'edilizia o il design.

A conclusione dell'illustrazione della normativa tecnica, si definisce sottoprodotto un residuo originato da un processo di produzione,

di cui rappresenta parte integrante ma il cui scopo primario non è la sua produzione. Con riferimento all'articolo 184-bis del TUA, è ammissibile considerare un residuo come un sottoprodotto, e non come un rifiuto, se rispetta quattro condizioni:

- 1) è originato da un processo produttivo ma non rappresenta il prodotto principale;
- 2) è verificato il suo impiego nel medesimo o in un altro processo produttivo [10];
- 3) è utilizzabile senza ulteriori trattamenti diversi dalla normale pratica industriale;
- 4) è legale e soddisfa i requisiti tecnici, di salute umana e ambientale.

Date le esternalità positive – in termini prestazionali e ambientali – di tali sostanze, ad integrazione della definizione e delle modalità di classificazione, sono stati emanati il Decreto n.264/2016 e la circolare n.7619/2017, con l'obiettivo di facilitare la circolazione dei sottoprodotti e aiutare produttori e utilizzatori nella verifica della sussistenza delle quattro condizioni vincolanti. In questo contesto, il settore dei laterizi può ritenersi un importante bacino in cui far confluire, adottando strategie e politiche circolari, rifiuti e sottoprodotti da avviare a processi di valorizzazione; lavorando su percorsi di ricerca volti ad additivare i residui di produzione nelle miscele, con l'obiettivo di ridurre i quantitativi di materie prime impiegate e i contributi ambientali a essi associati, o a sviluppare nuove soluzioni di prodotto, che necessitano un ripensamento della forma e delle caratteristiche del laterizio.

Circularità nel settore dei laterizi

L'adozione di una normativa chiara e in grado di valorizzare gli scarti come nuove risorse rappresenta una *conditio sine qua non* per consentire a tutti i settori, compreso quello dei laterizi, di transitare verso un modello economico circolare votato all'eliminazione del concetto di "rifiuto". Sebbene l'Italia – allineandosi alle politiche dell'UE – consideri prioritario investire su questo modello produttivo alternativo per il settore delle costruzioni, è anche sì vero che l'impiego di politiche circolari necessita di una riflessione approfondita.

L'economia circolare deve essere intesa come un modello sistematico [11] e sostenibile, attraverso l'uso efficiente e perpetuo delle risorse. In tal senso, il territorio assume un ruolo fondamentale nella condivisione di due tipologie di flussi materici: biologici e tecnologici. In analogia con quanto appena descritto, Michael Braungart [12] scrisse: «*Inizieremo a rendere il sistema umano e le industrie adeguate quando riconosceremo che la sostenibilità (ambientale, economica e sociale) è locale*». In linea con questi principi, l'adozione di politiche circolari nel settore delle costruzioni può essere svolta attraverso una riflessione multi-scalare su tre livelli:

- territorio, inteso come una "miniera", da cui attingere materiali ed energia rinnovabile [13];
- manufatto edilizio, concepito come una "banca", dove a fine vita i materiali possano essere disassemblati selettivamente per poterli riutilizzare o riciclare [14];
- prodotto, progettato come un "incubatore", in cui confluiscano scarti per realizzare prodotti longevi, a basso impatto ambientale e che, a fine vita, possano essere facilmente reinseriti nei cicli biologici e tecnologici [15].

In un simile scenario, è interessante comprendere e indagare quale ruolo possano avere i laterizi. Tali prodotti, in realtà, rispondono già ad alcuni requisiti del modello circolare. È noto, infatti, che il materiale presenta una stabilità e una durabilità nel tempo superiori rispetto ad analoghi prodotti da costruzione. Di fatti, come nel documento di *Tiles & Bricks Europe* [16], i laterizi sono caratterizzati da una vita utile di servizio di circa 150 anni. In virtù di tali caratteristiche, numerosi studi internazionali [17] [18] [19] evidenziano come sia possibile valorizzare i laterizi a fine vita. Si stima infatti che più del 90% dei rifiuti di laterizio possa essere avviato a processi di riuso, riciclo o recupero, mentre il restante 10% sia conferito in discarica senza alcun trattamento preventivo. Più nel dettaglio, la pratica del riuso degli elementi di copertura è particolarmente frequente nelle opere di ristrutturazione. Mentre, per quanto concerne i rifiuti delle attività

di demolizione, laddove il riuso non sia applicabile, è possibile avviare i laterizi a processi di riciclo, che restituiscono nuovi possibili utilizzi del materiale, come ad esempio aggregati per calcestruzzi e malte, riempitivi e stabilizzanti per strade, finiture per campi da tennis e, non ultimo, substrati per la coltivazione di piante. Il laterizio è inoltre un materiale modulare e versatile, che si presta a varie soluzioni tecnologiche: dalle strutture portanti ai rivestimenti di facciata e alle coperture. Per altro, è possibile identificare diverse soluzioni a secco e prefabbricate, che facilitano il riutilizzo e il riciclo a fine vita utile del materiale. Tra le esperienze più significative, vale la pena menzionare i progetti di: El Equipo Mazzanti, per il progetto del polo ospedaliero Fundación Santa Fé di Bogotá (fig.2), Palma + Hangar, per il padiglione temporaneo a Logroño (fig.3), e Note Design Studio, per lo stand riciclabile e rimodulabile alla Stockholm Furniture & Light Fair (fig.4).

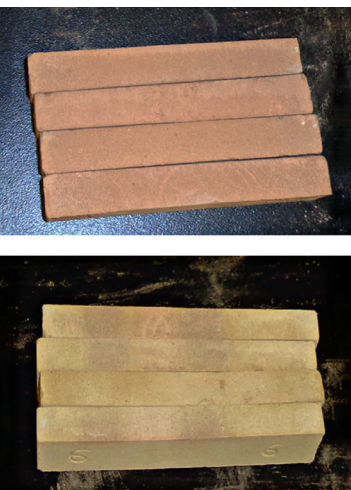
Ciononostante, il presente paragrafo intende porre particolare attenzione alle externalità positive che i principi di economia circolare possono innescare sul sistema prodotto. I vantaggi derivanti dall'adozione di politiche circolari possono, infatti, contribuire a innovare il settore dei laterizi. Tali politiche sono peraltro incentivate da diversi strumenti quali: PNRR [20] e CAM Edilizia [5]. Questi ultimi, nella loro versione più recente, oltre al quantitativo di materia da recupero pongono l'attenzione sull'intero ciclo di vita di un manufatto edilizio: dalla sua progettazione alla sua dismissione. Concentrandosi sulla fase di fine vita, si richiede l'adozione di un piano di demolizione selettiva e la possibilità di recuperare,



3. Padiglione temporaneo presso una fabbrica di tabacco di Logroño (pubblicato su CIL 188: Rigenerazione urbana).
© Luis Díaz Díaz



4. Stand riciclabile, rimodulabile e a basse emissioni di carbonio realizzato per Veste presso la Stockholm Furniture & Light Fair.
© Note Design Studio



5. Confronto tra provini additivati con ossidi di laminazione dei metalli.
1) 100% argilla vergine.
2) 60% argilla vergine + 40% ossidi.
© Taha et alii

riciclare o riutilizzare almeno il 70% dei componenti impiegati nel progetto, per facilitare la circolarità dei materiali e prodotti e ridurre, di conseguenza, il consumo e l'estrazione di risorse vergini. Tra le diverse strategie percorribili, ve ne sono alcune legate al riallineamento delle sinergie tra strutture produttive e di ricerca [21]. L'interazione tra le due aree può dare avvio a esperienze di ricerca a lungo termine al fine di innovare il procedimento, il processo e, non ultimo, il prodotto.

In quest'ottica, la contaminazione con pratiche circolari al metodo con cui si conduce un'operazione manuale o tecnica, può determinare un'innovazione di procedimento. A tal proposito, l'azione reciproca delle strutture produttive e di ricerca deve essere coadiuvata da uno *scouter*, cioè una figura capace di valutare le opportunità generate dal territorio. Questo soggetto ha il compito di osservare e indagare il territorio da cui prelevare differenti tipologie di scarti che devono rispondere a precisi scopi aziendali e ambientali; vale a dire rappresentare una valida alternativa alle frazioni di materiale vergine, siano esse: argilla, inerti, porizzanti, ecc. A livello internazionale, è opportuno menzionare importanti lavori di ricerca, votati alla sostituzione della frazione argillosa con differenti scarti, tra cui: fanghi di depurazione delle acque [22, 23], polveri vulcaniche [24] e ossidi di laminazione di prodotti siderurgici [25] (fig.5). Ribaltando la comune visione di innovazione di processo, che tendenzialmente prevede di operare all'interno dello stabilimento, le strategie circolari propongono una visione espansa dell'intero processo produttivo. Si intende altresì agire sul sistema di approvvigionamento delle risorse, mediante la collaborazione con altre aziende. Di conseguenza, l'innovazione origina azioni di simbiosi industriale, ovvero strategie di condivisione delle risorse, votate alla riduzione degli *output* negativi derivanti da un'inefficace gestione degli scarti. In questo senso, si evidenziano due possibili flussi di risorse: uno materico e l'altro energetico. Quest'ultimo, data la necessità di ridurre le emissioni di gas climalteranti e i fabbisogni

energetici nei processi produttivi, è uno degli elementi di maggior interesse del comparto del laterizio. È pertanto opportuno investigare i possibili benefici derivanti dall'impiego di combustibili eco-compatibili prodotti attraverso la valorizzazione degli scarti; un esempio virtuoso di questa pratica è riconducibile al progetto BIO4BIO, gestito dal Distretto Tecnologico Agrobiopesca [26]. Infine, è indispensabile agire sull'innovazione di prodotto a partire da materiali di scarto. Si rende necessario, in tal senso, sviluppare nuove soluzioni materiche per l'edilizia e il design che valichino la comune idea del laterizio. Tali esperienze, di fatti, necessitano di un ripensamento del materiale, della sua forma e delle sue prestazioni. Sebbene alcuni passi siano già stati fatti, si veda ad esempio il Coccio Blocco prodotto dallo studio MM (fig.6) [27] o i prodotti riciclati realizzati da StoneCycling (fig.7) [28], è cruciale avviare percorsi di ricerca volti a individuare nuovi prodotti eco-compatibili.

Conclusioni

Gunter Pauli scrisse: «*ci si renderà conto che generare rifiuti non è il problema che dobbiamo risolvere. Se una specie vivente non genera rifiuti, molto probabilmente è morta, o almeno molto malata. Il problema è che si sprecano i rifiuti che produciamo*». Ciononostante, l'economia circolare mira in primo luogo a un uso efficiente e longevo della materia [29], evitando lo spreco e la sovrapproduzione di prodotti, così da ridurre anticipatamente la produzione di rifiuti. In quest'ottica, è necessario incentivare la collaborazione tra i siti produttivi e il territorio, adottando strategie di condivisione e valorizzazione delle risorse riducendo le sostanze destinate alle discariche. Sebbene quantitativi e tipologie di rifiuti potenzialmente destinati al recupero negli impianti produttivi di laterizio siano regolamentati D.M. 186/2006, è indispensabile incentivare l'impiego di scarti in sostituzione della frazione di materia prima. A questo proposito, il settore dei laterizi può cogliere l'opportunità di intercettare le pratiche circolari e sperimentare nuovi scenari produttivi. Di con-



6. Blocco realizzato dallo studio MM con residui vegetali e polveri di laterizio cotto.
© Studio MM

sequenza, si rende necessaria l'adozione di una visione programmatica, attuata mediante il coinvolgimento di partner esterni quali: università, centri di ricerca e società di consulenza. Un'importante occasione è proposta dal Programma Operativo Nazionale "Ricerca e Innovazione" 2014-2020 (PON), le cui Borse

di Dottorato finanziate consentono di svolgere un'intensa attività di ricerca «*su temi orientati alla conservazione dell'ecosistema, della biodiversità, nonché alla riduzione degli impatti del cambiamento climatico e alla promozione di uno sviluppo sostenibile*» mediante un'attività sinergica tra Università e Impresa.



7. Upcycling di scarti di laterizio post-consumo per la realizzazione di blocchi per l'edilizia e il design.

- 1) Selezione del materiale.
 - 2) Frantumazione.
 - 3) Cottura.
 - 4) Prodotto finito.
- © StoneCycling

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Commissione Europea, COM 98, Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare, 2020. Disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX:52020DC0098>
- [2] Ministero della Transizione Ecologica. Strategia nazionale per l'economia circolare, 2021. Disponibile al sito: www.consultazione.gov.it/it/le-consultazioni/le-consultazioni-delle-amministrazioni-centrali/strategia-nazionale-economia-circolare/
- [3] J.M. Leal, S. Pompidou, C. Charbuillet, N. Perry, Design for and from Recycling: A Circular Ecodesign Approach to Improve the Circular Economy, Sustainability 12 (2020) 9861.
- [4] P. Morsetto, Targets for circular economy, Resource, Conservation & Recycling 153 (2020) 104553.
- [5] Decreto Ministeriale 23 giugno 2022 n.256, Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi. Disponibile al sito: <https://gpp.mite.gov.it/PDF/GURI%20183%2006.08.22%20-%20DM%20Edilizia.pdf>
- [6] Eurostat, Waste statistic, 2020. Disponibile al sito: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation
- [7] Fondazione per lo sviluppo sostenibile, L'Italia del Riciclo 2021. Disponibile al sito: www.fondazionevilupposostenibile.org/italia-del-riciclo-2021/
- [8] D. Berardi, A. Pergolizzi, Riciclare i rifiuti da costruzione e demolizione. L'economia circolare alla prova dei fatti, Rifiuti 216 (2022). Disponibile al sito: <https://laboratorioref.it/riciclare-i-rifiuti-da-costruzione-e-demolizione-leconomia-circolare-alla-prova-dei-fatti/>
- [9] Commissione Europea, 2018/C124/01, Orientamenti tecnici sulla classificazione dei rifiuti. Disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2018:124:FULL&from=FR>
- [10] Ente Italiano di Normazione (UNI), Prassi di Riferimento UNI/PdR 88:2020 – Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto, presente nei prodotti. Disponibile al sito: <https://www.uni.com>
- [11] K. Webster, The Circular Economy: A Wealtj of Flows. Ellen MacArthur Foundation Publishing, 2016.
- [12] M. Braungart, W. McDonough, Cradle to Cradle: remaking the way we make things, Random UK, 2009.
- [13] J. Jongert, C. Peeren, E. Van Hinte, Superuse: Costructing New Architecture by Shortcutting Material Flows, Oio Publishers, Rotterdam, 2007.
- [14] T. Rau, S. Oberhuber, Material Matters: l'importanza della materia. Un'alternativa al sovrasfruttamento. Edizioni Ambiente, Milano, 2019.
- [15] A.F.L. Baratta, Premessa. Il riciclaggio come ambito di ricerca per la pratica virtuosa, in: A.F.L. Baratta (a cura di), Pre-Free Up-Down Re-Cycle: Pratiche tradizionali e tecnologie innovative per l'end of waste, Anteferma Edizioni, Conegliano, 2021.
- [16] Tiles & Bricks Europe, Internal Guidance Document on TBE PCR for Clay Construction Products, 2020. Disponibile al sito: www.tiles-bricks.eu
- [17] Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, 2021. Disponibile al sito: www.camera.it/temiap/2021/06/25/OCD177-4986.pdf
- [18] T. Maqsood, S. Shoosharian, P. Wong, M. Khalfan, R. Yang, Resource circular economy: opportunities to reduce waste disposal across the supply chain – Brick. Sustainable Built Environment, National Research Centre Australia, 2019. Disponibile al sito: <https://sbenrc.com.au/research-programs/1-65/>
- [19] Brick Development Association, Clay Brick: End of Life Cycle, 2020. Disponibile al sito: www.brick.org.uk
- [20] K. Zhou, H.M. Chen, Y. Wang, D. Lam, A. Ajayebi, P. Hopkinson, Developing advanced techniques to reclaim existing end of service life (EoSL) bricks – An assessment of reuse technical viability, Developments in the Built Environment 2 (2020) 100006
- [21] A.F.L. Baratta, Trasferimento tecnologico in un settore industrial in crisi. Il rapporto tra università e industria dei laterizi italiana, in: R. Palumbo (a cura di), Ricerca e Progetto: Trasferimento di conoscenze, TECHNE 08 (2014).
- [22] T. Zat, M. Bandieira, N. Sattler, A.M. Segadães, R.C.D. Cruz, G. Mohamad, E.D. Rodriguez, Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production og eco-friendly bricks, Journal of Environmental Management 297 (2021) 113238.
- [23] N. Cangussu, L. Vasconcelos, L. Maia, Environmental benefits of using sewage slufe in the production of ceramic bricks, Environmental Science and Pollution Research (2022).
- [24] G. Cultrone, The use of Mount Etna volcanic ash in the production of bricks with good physical-mechanical performance: Converting a problematic waste product into resource for the construction industry, Ceramics International 48 (2022) 5724-5736.
- [25] Y. Taha, M. Benzaazoua, R. Hakkou, M. Mansori, Natural clay substitution by calamine processing waste to manufacture fired bricks, Journal of Cleaner Production 135 (2016) 847-858.
- [26] L. Falqui, J. Pace, La simbiosi industrial come strumento per la green economy, Chimica & Green Chemistry (2019).
- [27] Studio MM, Coccio Blocco. Disponibile al sito: <https://studio-mm.it/ricerca-e-sviluppo/bioedilizia/>
- [28] StoneCycling, WasteBasedBricks. Disponibile al sito: www.stonecycling.com/wastebasedbricks/
- [29] M. Lavagna, Percorsi di applicazione del Life Cycle Assessment nel settore edilizio, in: M. Lavagna (a cura di), LCA in Edilizia. Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia. Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni, Maggioli Editore (2022).