

Antonello Monsù Scolaro<sup>1</sup>, Lia Marchi<sup>2</sup>, Sara Corridori<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Design ed Urbanistica, Università degli Studi di Sassari, Italia

<sup>2</sup> Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

amscolaro@uniss.it

lia.marchi3@unibo.it

corridorisara.sc@gmail.com

**Abstract.** Il progressivo consumo di risorse vergini e la crescente produzione di rifiuti caratterizzano ormai da anni il settore delle costruzioni: le innovazioni di processo e di prodotto basate sulla valorizzazione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) a partire dalla loro localizzazione e identificazione prefigurano interessanti riduzioni degli impatti ambientali. L'articolo presenta la metodica e i risultati di una mappatura di scarti e residui edilizi condotta in Sardegna allo scopo di individuarne possibili scenari di valorizzazione. La localizzazione dei siti in cui i residui vengono prodotti insieme alla conoscenza del loro possibile reimpiego ha permesso di delineare filiere organizzate in simbiosi industriale, capaci di metabolizzare i propri scarti.

**Parole chiave:** Rifiuti C&D; End of waste; Risorse secondarie; Mappatura territoriale; Simbiosi industriale.

## Introduzione

In Europa si consumano all'anno tra 1.200 e 1.800 milioni di tonnellate di materiali per nuove costruzioni e ristrutturazioni, la cui estrazione e trasformazione causa dal 5 al 12% delle emissioni di gas serra (Eurostat, 2018). Le costruzioni generano inoltre il 35% del totale dei rifiuti e l'Eurostat ne prevede la produzione di circa 1,13 miliardi di tonnellate nel 2030, insieme al raddoppio del consumo di risorse primarie – materiali da cava e metalliferi – entro il 2060 (OECD, 2018). L'UE auspica da anni una maggiore efficienza nell'uso delle risorse e nel 2020 ha lanciato una strategia per integrare le politiche sui cambiamenti climatici con l'efficienza energetica degli edifici, aumentando gli interventi di riqualificazione, riducendo le demolizioni e le ricostruzioni e valorizzando l'efficienza dei materiali da costruzione. Tuttavia, le quote di recupero, riciclo e riutilizzo di rifiuti dei cicli edilizi differiscono molto tra i Paesi Membri a causa dei diversi apparati normativi, degli assetti industriali e delle diverse capacità di innovazione tecnologica di processo e di prodotto (Osmani *et al.*, 2019). Inoltre, la capacità di applicare i principi

dell'economia circolare è molto differente tra gli operatori delle costruzioni: più sviluppata nei produttori industriali, meno nei clienti, progettisti e costruttori (Adam *et al.*, 2017). Un miglior tracciamento dei flussi di rifiuti da C&D e una gestione che ne consenta una chiara identificazione dell'origine; una più efficace caratterizzazione fisico-chimica che permetta di conoscere le sostanze in essi contenute e un'innovazione dei trattamenti di valorizzazione finalizzati al reimpiego in altri cicli produttivi sono tra i possibili campi di azione per migliorare la qualità di prodotti e materiali riciclati ed aumentare la fiducia dell'utente, ampliando così il relativo mercato e, di conseguenza, le quantità di rifiuti valorizzabili (Ecorys, 2016).

## Rifiuti, sottoprodotti ed end of waste: possibilità di riutilizzo di residui da C&D

La Commissione Europea ha più volte ribadito come l'implementazione dei processi di riutilizzo e riciclo e la valorizzazione delle Materie Prime Secondarie (MPS) potrebbero favorire la crescita dei mercati e aumentare la competitività delle imprese della filiera edilizia (COM (2015) 445 final). La gestione efficiente dei residui dei cicli edilizi emerge dunque come strategia potenzialmente molto efficace per accelerare la conversione del settore verso la circolarità. Già nel 2008, la WFD (*Waste Framework Directive*), anticipando i principi di circolarità delle risorse, aveva specificato le possibili operazioni di valorizzazione dei rifiuti, definendone la gerarchia. Il "riutilizzo" è relativo a «prodotti o componenti che non siano ancora diventati rifiuti», che pertanto possono essere reimpiegati per finalità analoghe a quelle per cui erano stati ideati; la "pre-

La Commissione Europea ha più volte ribadito come l'implementazione dei processi di riutilizzo e riciclo e la valorizzazione delle Materie Prime Secondarie (MPS) potrebbero favorire la crescita dei mercati e aumentare la competitività delle imprese della filiera edilizia (COM (2015) 445 final). La gestione efficiente dei residui dei cicli edilizi emerge dunque come strategia potenzialmente molto efficace per accelerare la conversione del settore verso la circolarità. Già nel 2008, la WFD (*Waste Framework Directive*), anticipando i principi di circolarità delle risorse, aveva specificato le possibili operazioni di valorizzazione dei rifiuti, definendone la gerarchia. Il "riutilizzo" è relativo a «prodotti o componenti che non siano ancora diventati rifiuti», che pertanto possono essere reimpiegati per finalità analoghe a quelle per cui erano stati ideati; la "pre-

## Mapping of building cycle waste for scenarios of industrial symbiosis

**Abstract.** For years, the building sector has been marked by the progressive exploitation of raw materials and the growing production of waste. The product and process innovations, based on waste valorisation starting from their geographical location and identification, prefigure potential reductions of environmental impacts. This paper presents the methodology and findings of the mapping of waste from construction and manufacturing processes, carried out in Sardinia to identify possible scenarios of valorisation. The geographical location of waste production both in construction and manufacturing processes, along with their possible reuse, have allowed the definition of some supply chains which are able to process their own waste, according to industrial symbiosis scenarios.

**Keywords:** C&D waste; End of waste; Secondary raw materials; Territorial mapping; Industrial symbiosis.

## Introduction

Every year in Europe, between 1,200 and 1,800 tons of raw materials are consumed for new buildings and refurbishment works: their extraction and manufacturing generate 5 to 12% of total greenhouse gas emissions (Eurostat, 2018). Furthermore, constructions produce 35% of the total amount of waste and, according to Eurostat, the production is likely to increase up to 1.13 billion tons by 2030, along with the doubling of raw material consumption – mining materials and metal-bearing ones – by 2060 (OECD, 2018). A more efficient use of primary resources has been expected by the European Community for years now; in 2020, a strategy was launched to integrate the climate change policies with buildings' energy efficiency, by increasing the refurbishment works, decreasing renovations and demoli-

tions and by improving the building materials' efficiency.

Nevertheless, the percentages of recovery, recycling and reuse of waste from construction cycles has considerable differences among the member States, due to the different regulatory frameworks and industrial structures, as well as the expertise of product and process technological innovations (Osmani *et al.*, 2019). Furthermore, in the building sector, the application of circular economy principles has been quite different among professionals: it is more developed in the manufacturing sector, less developed among customers, designers and builders (Adam *et al.*, 2017). A finer tracking system of construction and demolition waste, along with stronger management and identification which starts from their origin, a more efficient physico-chemical characterisation in order to detect the

parazione per il riutilizzo” consiste in operazioni di controllo, pulizia e riparazione, necessarie al reimpiego di prodotti e componenti di rifiuti; il “recupero”, compreso il “riciclo”, riguarda invece i rifiuti (materiali e componenti) affinché diventino materiali alternativi (secondari), capaci di sostituire quelli solitamente impiegati nei processi produttivi. Il “sottoprodotto” è invece una sostanza o un oggetto derivato da un processo produttivo e può essere reimpiegato senza ulteriori trattamenti nello stesso processo.

La WFD aveva inoltre introdotto il regime *end of waste*, la «cessazione della qualifica di rifiuto»: ovvero un insieme di operazioni di “recupero”, incluso il “riciclo”, affinché un qualsiasi oggetto (prima rifiuto) diventi un prodotto o un materiale secondario purché abbia un mercato; posseda chiare specifiche e requisiti tecnici d’impiego e non comporti impatti complessivi negativi sull’ambiente o sulla salute umana<sup>1</sup>.

Tuttavia, nel settore delle costruzioni, a scala europea, è stata ad oggi emanata una sola direttiva *end of waste* – sui materiali bituminosi – a riprova di come la varietà materica, tipologica, le caratteristiche geometrico-dimensionali e le sostanze chimiche contenute nei rifiuti da C&D rendano complesse le operazioni di riutilizzo, recupero e riciclo, limitandone il reimpiego in cicli produttivi secondari (EEA, 2020). Attualmente, sebbene la maggior parte dei Paesi Membri abbia raggiunto il target del 70% di riutilizzo o preparazione per il riutilizzo dei rifiuti inerti da C&D (Osmani *et al.*, 2019), un importante contributo deriva da operazioni di *backfilling*, che però riducono drasticamente il valore materico del residuo sfruttato (Whittacker *et al.*, 2019). In Italia, su dati ISPRA, nel 2017 i rifiuti da C&D ammontavano al 42,3% del totale dei rifiuti speciali prodotti, il 75% è soggetto a riuti-

lizzo, riciclaggio e altre forme di recupero di materia: gli inerti, che ne sono la parte più cospicua, per il 59% vengono recuperati e per il 10% smaltiti. Tuttavia, la variabilità dei dati sulle quote di recupero di materia nei differenti Paesi Membri impedisce di sapere se e quali siano effettivamente le pratiche in atto nella riduzione del prelievo di risorse primarie, auspicata tra il 17-24% entro il 2030 dall’UE.

Attualmente, la valorizzazione dei rifiuti da C&D appare rallentata sia da fattori come il carente monitoraggio e identificazione dei flussi e delle tipologie, che limitano la conoscenza dei materiali (da riciclo) in ingresso e condizionano la qualità di quelli in uscita; sia dagli alti costi di trasporto e trasformazione che, insieme agli elevati prezzi di acquisto dei prodotti e dei materiali secondari rispetto ai primari, ne limitano l’ampliamento del mercato (BIS, 2011; Deloitte, 2017). Sotto il profilo normativo, sono ancora numerose le barriere che limitano ad esempio l’utilizzo degli inerti di recupero per impieghi strutturali, causando l’accumulo di grandi quantità di materiali riciclati negli impianti di trattamento, il che scoraggia aziende ed investitori (FFS, 2019). Infine, sotto il profilo tecnico, stabilire le condizioni di idoneità al reimpiego di componenti e materiali edilizi post consumo è ancora un procedimento di complessa attuazione (Antonini, 2004). Ulteriori barriere sono associate ai dubbi sul profilo ambientale dei processi di riciclo che talvolta risultano più impattanti della produzione primaria richiedendo pertanto un attento monitoraggio in chiave LCA (Giorgi *et al.*, 2019). Pertanto, sebbene il processo sia avviato, si potrà migliorare se si renderanno disponibili dati più precisi su origine, identificazione, separazione, raccolta, trasporto e stoccaggio provvisorio, completati dalla caratterizzazione fisico-chimico e meccanica dei flussi di rifiuti

presence of hazardous substances and innovative treatments which could allow them to be reused or integrated in other production cycles could be several various ways to improve the quality of recycled materials and increase the customer’s confidence, as well as to extend the market and, consequently, to increase the amount of waste that could be valorised (Ecorys, 2016).

#### **Waste, by-products and end of waste: reuse possibilities of C&D waste**

The European Commission has affirmed several times how the implementation of reuse and recycling processes and the valorisation of Secondary Raw Material could encourage the growth of the market and increase the competitiveness of construction industry companies (COM (2015) 445 final). Therefore, an efficient management of the building’s life cycle resi-

dues appears to be a potentially effective strategy to accelerate the conversion of the sector towards circularity. In 2008, the WFD (*Waste Framework Directive*), by predicting the principles of resource circularity, specified the feasible operations concerning the recovery of waste, defining its hierarchy. The term “reuse” refers to “products or components which have not become waste yet”, therefore, they can be reused for purposes comparable to those they were designed for. The “reuse setup” consists of control, cleaning and repair operations, necessary for the reuse of products and waste components; the “recovery”, which also includes “recycling”, is an action whose purpose is to manage waste (materials and components) in order to obtain alternative (secondary) materials, capable of replacing those which are normally used in the production process-

es. The “by-product” is a substance or an object resulting from a production process that can be reused in the same process without any further treatment. Furthermore, the WFD has introduced the *end-of-waste* procedure, which is a set of “recovery” operations including “recycling”, in order to make any object (previously considered waste) a product or a secondary material, as long as it has a feasible market, clear specifications, technical requirements for its use, and providing that it does not result in negative impacts on the environment or human health<sup>1</sup>. However, at European level, just one *end-of-waste* directive has been enacted in the construction sector on bituminous materials, as there is evidence of how the material, typological, geometrical and dimensional characteristics’ variety and the chemicals contained in the C&D waste makes the

reuse, recovery and recycling operations utterly complex, by limiting their reuse in secondary production cycles (EEA, 2020). Currently, even though the target of 70% reuse or reuse preparation of C&D inert waste (Osmani *et al.*, 2019) has been reached by the majority of the Member States, a significant contribution comes from backfilling operations which, at the other end, drastically reduce the material value of the exploited residue (Whittacker *et al.*, 2019). In Italy, according to ISPRA data, in 2017 the C&D waste amounted to 42.3% of total special waste production, 75% was subject to reuse, recycling and other forms of material recovery: regarding the aggregates, which are the most conspicuous part, 59% were recovered and another 10% disposed of. However, the data variation on the recovery material rates in the various Member States prevents

che vengono prodotti (Antonini, 2000) finalizzati a reali possibilità di reimpiego e valorizzazione anche in chiave *end of waste* (Barbuta *et al.*, 2015; IDEA, 2018).

### Scenari operativi e sperimentazioni integrate di valorizzazione: *harvest map* e simbiosi industriale

Il progetto SUSPROC ha indagato alcune tipologie di residui considerabili *end of waste*, quindi ha valutato l'impatto ambientale dei processi di riciclo relativi ad alluminio, acciaio, aggregati inerti e rifiuti organici, sulla cui base è stata emanata la prima *End of Waste Regulation* relativa ad alcuni tipi di rottami metallici, seguita dai regolamenti sul vetro e sul rame.

Altri approcci propongono la mappatura dei rifiuti da C&D a scala territoriale come base di conoscenza dei flussi e dei materiali disponibili finalizzata alla loro valorizzazione. Il progetto europeo *REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction* (RE<sup>4</sup>), a partire dalla localizzazione territoriale, identificazione, separazione e caratterizzazione fisico-chimico e meccanica di alcuni rifiuti da C&D, ha messo a punto componenti strutturali prefabbricati in cui queste risorse secondarie hanno sostituito fino al 50-85% quelle vergini, secondo un più ampio processo di valorizzazione in chiave *end of waste*.

La *harvest map*, ad esempio, è una piattaforma open source ideata per valorizzare i materiali a fine vita e alimentare nuove costruzioni secondo i principi dell'economia circolare a piccola scala: una prima fase di ricerca di materiali di scarto, surplus di

Alcune soluzioni sono state individuate nell'emanazione degli *end of waste criteria* o criteri di qualità per i materiali e prodotti secondari (Tecnopolis, 2016). Il

us from understanding what are the actual experiences in the reduction of primary resource withdrawal, which, in the EU, is intended to be between 17-24% by 2030. At present, the exploitation of C&D waste appears to be slowed down, both by factors such as the lack of monitoring and the flows and type identification – which limit the incoming (recycling) materials and affect the quality of the outgoing ones – and by the high shipping and processing charges, which, together with the elevated purchase prices of processes and secondary materials (compared to the primary ones), limit market expansion (BIS, 2011; Deloitte, 2017). From a regulatory perspective, there still exists a number of barriers which restrict, for instance, the use of recovery aggregates for structural purposes, producing the build-up of large amounts of recycled material into

treatment plants, which often discourages companies and investors (FFS, 2019). Finally, from a technical perspective, it still remains a challenging process to establish the eligibility conditions for the post-consumer components and building materials' reuse (Antonini, 2004). Additional barriers are related to the doubts on the environmental profile of the recycling processes, which are sometimes more impactful than the primary production and, consequently, require careful monitoring in terms of LCA (Giorgi *et al.*, 2019). Thus, even though the process has already started, it could be improved by making available more accurate data about the origin, identification, separation, collection, transport, temporary storage and physical, chemical and mechanical characterisation of waste production (Antonini, 2000), in order to establish actual reuse

produzione e rifiuti da C&D (Jongert *et al.*, 2007) da riutilizzare in ambito progettuale, è seguita da una loro classificazione per macro categorie di materiali e/o localizzazione geografica, tipologia, disponibilità, quantità, parametri estetici. In Italia, l'*harvest map* è attiva tramite il progetto Miniere Urbane promosso da Giacimenti Urbani e coinvolge al momento quindici aziende distribuite su tutto il territorio nazionale, che hanno messo a disposizione i propri prodotti di scarto, mentre è in corso di stipula una convenzione con il Borsino dei rifiuti per ottenere una certificazione dei materiali di scarto, inclusi i sottoprodotti.

La mappatura e conoscenza di scarti e rifiuti è anche alla base dei processi produttivi in Simbiosi Industriale (Chertow, 2000), che presuppone la condivisione delle risorse e la valorizzazione dei rifiuti tra filiere produttive per limitare gli impatti ambientali e favorire il *decoupling* economico dei settori produttivi (Neves *et al.*, 2020). Sull'esempio di Kalundborg (1972) in Danimarca, prima e più conosciuta esperienza di simbiosi industriale, sono nati altri distretti connessi alle filiere delle costruzioni diffusi in più parti del mondo. In Italia, la *Italian Circular Economy Stakeholder Platform* (ICESP) raccoglie e promuove le iniziative di economia circolare sul territorio, tra cui alcune pratiche di simbiosi industriale nella filiera delle costruzioni (es. produzione di calcestruzzo con aggregati provenienti da rifiuti C&D). Mentre il progetto MATER\_SOS ha mappato gli scarti di filiere produttive della regione Emilia-Romagna allo scopo di sviluppare e prototipare materiali da costruzione a basso impatto ambientale che impieghino fino al 60% di materie prime seconde.

Queste esperienze definiscono i margini di innovazione possibile e mostrano come la valorizzazione degli scarti e dei rifiuti dell'industria delle costruzioni richieda una preliminare mappa-

and exploitation possibilities in terms of *end-of-waste* (Barbuta *et al.*, 2015; IDEA, 2018).

### Operational scenarios and integrated experimentation of exploitation: *harvest map* and industrial symbiosis

Certain solutions have been identified in the enacting of the *end-of-waste* criteria for materials and secondary products (Tecnopolis, 2016). The SUSPROC project has investigated certain types of waste – which can be considered *end-of-waste* –, it then assessed the environmental impact of the recycling processes related to aluminium, steel, aggregates and organic waste, on the basis of which it was enacted as the first *End of Waste Regulation* on certain types of metal scraps, followed by other Regulations on glass and copper. Other approaches suggest the C&D

waste mapping on a territorial scale as the basis for the knowledge of flows and available materials, aimed at their exploitation. The European project *REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction* (RE<sup>4</sup>), starting from the geographical location, identification, separation, physical-chemical and mechanical characterisation of several types of C&D waste, has developed prefabricated structural components, in which these secondary resources have replaced up to 50-85% of the virgin ones, according to a wider *end-of-waste* enhancement process. For instance, the *harvest map* is an open source platform whose aim is to exploit the *end-of-life* materials and sustain new construction, in line with the principles of small-scale circular economy: an early stage of research of

tura delle risorse “secondarie” disponibili in un determinato areale geografico, alla quale segue una successiva conoscenza delle caratteristiche dei rifiuti e dei residui disponibili, indispensabile per definire i possibili scenari di valorizzazione e le modalità di reimpiego (Fig. 1). Riducendo la scala territoriale di osservazione, si limiterà anche il margine di errore spesso dovuto alle stime sulle quantità di rifiuti prodotti su larga scala ed alla mancata conoscenza degli stessi. Progressivamente, le evidenze raccolte prospettano la possibilità di attivare specifiche filiere produttive in simbiosi industriale, contribuendo ad implementare l'economia circolare dei territori e riducendo al contempo l'impatto ambientale dei processi produttivi connessi al settore delle costruzioni (Fig. 2).

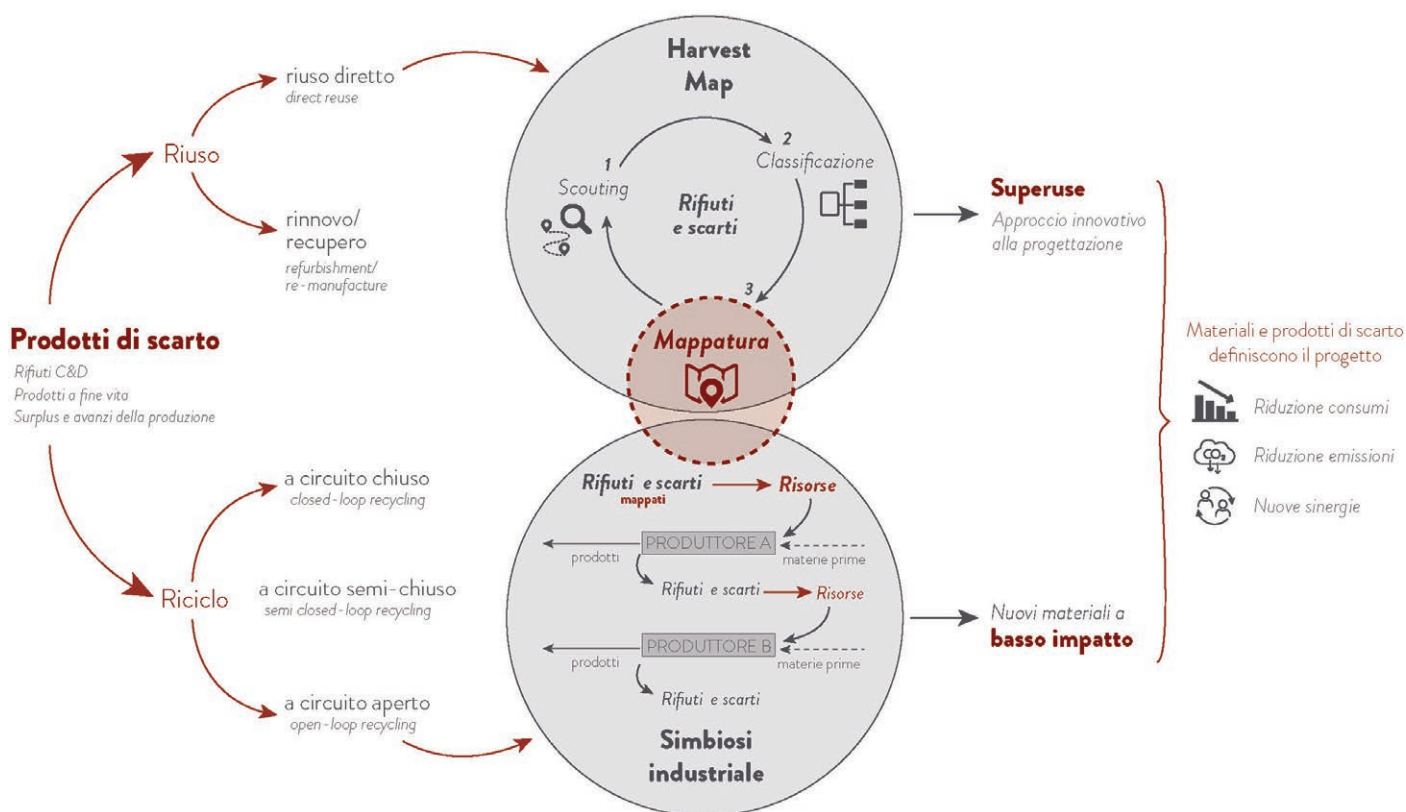
**Mappatura di rifiuti da C&D per ipotesi di valorizzazione in filiere produttive secondarie**

L'articolo illustra la metodica e i risultati della ricerca “Implementazione di filiere produttive ed innovazione tecnologica nel riutilizzo di scarti ed eccedenze”. Stante la relativa attendibilità dei dati sui flussi di rifiuti da C&D sia la difficoltà di individuarne l'origine, l'obiettivo generale della ricerca è stato di mappare per l'intera Sardegna i siti di pro-

duzione di scarti e rifiuti correlati ai cicli edilizi, ovvero prodotti dalla lavorazione di materiali, prodotti e componenti di impiego nelle costruzioni. L'innovazione risiede nell'aver individuato i luoghi di produzione e, analizzati i cicli produttivi, aver identificato alla fonte la tipologia di scarto, rifiuto o residuo prodotto, per poi proporre ipotesi di gestione e valorizzazione integrata a scala territoriale. Così, in base alla disponibilità e diffusione geografica delle risorse secondarie mappate, è stato possibile ipotizzare filiere produttive in simbiosi industriale mettendo a sistema anche l'attuale apparato impiantistico regionale di trattamento dei rifiuti.

*Approccio metodologico*

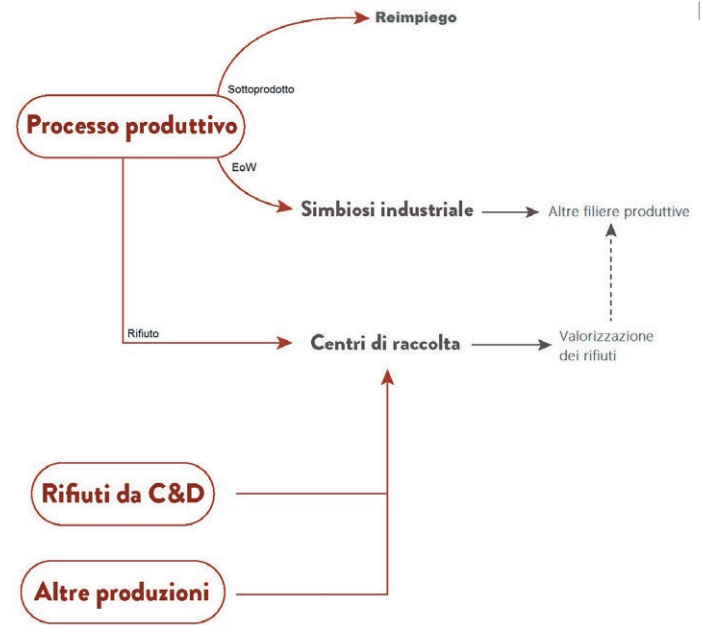
La ricerca, condotta tra il 2016 e il 2018, si è avvalsa dei dati sulla produzione di rifiuti speciali del PRGRS (Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti Speciali) approvato a fine 2012 dalla Regione Sardegna, elaborati dall'ISPRA su base MUD nazionali del 2009 e da ARPAS Sardegna sul catasto regionale rifiuti. Analizzati i dati generali, il campo è stato ristretto ai rifiuti da attività di C&D e più in particolare ai materiali isolanti; plastici; bituminosi; metallici; sughero; al legno; ai laterizi; alla ceramica; al cemento e alla pietra ornamentale per verificarne le possibilità di



reimpiego o riciclo in altre filiere produttive come risorse secondarie. Sono stati tralasciati i rifiuti “inerti misti - CER 170904” perché, nonostante ammontino circa al 70% in peso sul totale della macrocategoria CER 17, se ne conoscono i procedimenti di recupero e smaltimento.

I flussi dei rifiuti selezionati sono di difficile tracciamento poiché i relativi impianti di trattamento operano in regime semplificato (art. 214, D.lgs. 152/2006), pertanto senza obbligo di registrazione dei quantitativi gestiti: sono stati quindi mappati i siti dei processi produttivi (lavorazione del legno; dei metalli; degli isolanti; dei lapidei, ecc.) cui i rifiuti prodotti potevano farsi risalire. Le sedi sono state ottenute incrociando i dati ISTAT sul censimento delle Industrie in Sardegna con i codici delle attività commerciali (ATECO). Successivamente, per ogni processo produttivo di interesse sono state ricostruite le fasi di lavorazione e quindi sono stati identificati *step by step* gli scarti, i sottoprodotti e i rifiuti generati, identificando i potenziali cicli produttivi di reimpiego. Per completare il quadro conoscitivo, sono stati localizzati anche gli impianti di trattamento rifiuti presenti sul territorio regionale – discariche, impianti di riciclaggio o di trattamento preliminare – sia sulla base dei dati disponibili sul portale SardegnAmbiente, sia in base alle autorizzazioni degli impianti in funzione e l'albo regionale dei gestori rifiuti.

Infine, a scopo esemplificativo, relativamente alla filiera del legno, è stato identificato un possibile network di gestione e valorizzazione integrata in simbiosi industriale con altre filiere produttive a scala regionale, incrociando i siti di produzione degli scarti con gli impianti di trattamento, integrati da siti intermedi di stoccaggio temporaneo. Quest'ultima fase, reiterabile per le altre categorie di rifiuti di interesse, permette di verificare se l'as-



setto impiantistico, anche soltanto riferito ad un areale delimitato, sia o meno capace di gestire e valorizzare i potenziali flussi di materie prime secondarie e, di conseguenza, dove sia necessario intervenire per implementare il sistema in termini di impianti e reti infrastrutturali.

### Risultati e prime evidenze

Dal 1997 al 2008 i rifiuti speciali in Sardegna sono triplicati, raggiungendo le 4.376.923 t/anno; riducendosi del 40,9% nei successivi dieci (2017) (Fig. 3). Analizzando i dati in relazione alle riduzioni del PIL regionale, nell'ultimo decennio i rifiuti da C&D sono aumentati rispetto al totale, a fronte della riduzione delle spese per gli investimenti, ma soprattutto rispetto alla diminuzione del 12,6% del numero di imprese di costruzione. Il motivo è da ricercarsi nella mancanza di innovazione nei processi costruttivi e dei materiali da costruzione. Inoltre, l'analisi

waste materials, surplus production and C&D waste (Jongert *et al.*, 2017) – to be reused within the design field – is followed by their classification by macro categories, such as materials and/or geographical location, typology, availability, quantity and aesthetic parameters. In Italy, the *harvest map* operates through the Urban Mines project promoted by *Giacimenti Urbani* and it currently involves fifteen companies distributed throughout the national territory, which have made their waste products available; meanwhile, an agreement with *Borsino dei rifiuti* is in the process of being concluded, in order to obtain a waste material certificate – including by-products.

The mapping and knowledge of waste materials is also the foundation of the production processes in Industrial Symbiosis (Chertow, 2000): it involves resource sharing and waste valorisation

among supply chains in order to limit environmental impacts and to encourage the economic decoupling of the production sector (Neves *et al.*, 2020). Following the example of Kalundborg (1972) in Denmark, the very first and most popular example of industrial symbiosis, other districts connected to the construction industry were born all over the world. In Italy, the *Italian Circular Economy Stakeholder Platform* (ICESP) collects and promotes circular economy initiatives throughout the territory, including some industrial symbiosis practices in the construction industry (for instance: concrete production with aggregates coming from C&D waste), whilst the MATER\_SOS project has mapped the waste of production chains in the Emilia-Romagna region with the purpose of developing and prototyping building materials with low environmental impact, which

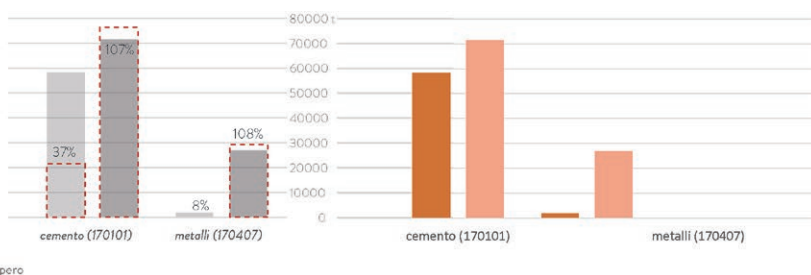
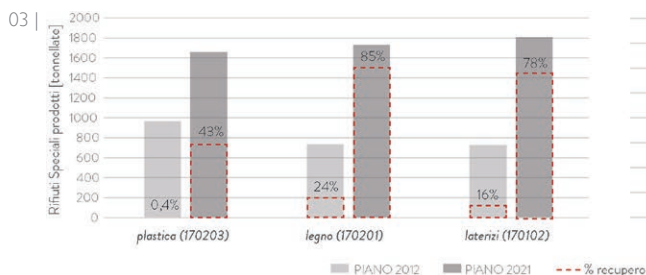
can use up to 60% of secondary raw materials.

These experiences define the possible room for innovation and show how waste derived from the construction industry require a preliminary mapping of the “secondary” resources available in a certain geographical area, followed by the knowledge of the waste and residue characteristics, which is essential for defining the potential exploitation scenarios and reuse methods (Fig. 1). The margin of error, often attributable to assessments of the quantity of waste which is produced on a wide scale and the lack of knowledge, could be limited by reducing the territorial scale of observation. Progressively, the collected evidence suggest the opportunity to activate specific production chains in industrial symbiosis, contributing to the implementation of circular economy within the

territories and, likewise, reducing the environmental impact of production processes related to the construction sector (Fig. 2).

### Mapping C&D waste for valorisation scenarios in secondary production chains

The paper describes the methodology and findings of the study titled “Implementation of production chains and technological innovation through the reuse of waste and surplus materials”. Given the scarce reliability of data on C&D waste flows and the difficulty in identifying their origins, the general objective of the research was to map the production sites of scrap and waste related to building construction processes for the entire Sardinia region: that is, waste resulting from processing of materials, products and components for use in the construc-



dei dati ha confermato le difficoltà di tracciamento dei dati sui rifiuti da C&D, evidenziando una discrepanza di oltre il 33% in meno tra i valori nazionali elaborati da ISPRA su dati MUD e i dati regionali basati sulle quantità effettivamente lavorate dagli impianti.

Il successivo focus sui rifiuti da C&D ha permesso sia di verificare l'andamento tendenziale della macrocategoria CER 17 – dal 1997 al 2019 – sia di valutare le oscillazioni delle sub-categorie di rifiuti interessati dalla presente sperimentazione (Fig. 4). L'analisi dei dati ha reso evidente come il 73% dei rifiuti da C&D sia sottoposto ad operazioni di trattamento e recupero (R), mentre il rimanente 27% è smaltito o messo a dimora (D): le operazioni prevalenti riguardano il riciclo/recupero di sostanze inorganiche (R5) dai rifiuti misti da attività da C&D (29%), da miscele bituminose (20%) e da terre e rocce (19%); il riciclo/recupero dei metalli e dei composti metallici (R4), di ferro e acciaio (64,1%) e di metalli misti (25,5%); la messa in riserva (R13) per gli inerti da C&D (24%) e per le miscele bituminose (16,7%). Il deposito sul suolo (D1) o preliminare ad ulteriori trattamenti preliminari allo smaltimento (D15) riguarda le rimanenti frazioni di inerti misti da C&D e le terre e rocce da scavo. Relativamente alle altre categorie di rifiuti da C&D, nulla è emerso circa eventuali flussi di materia soggetti a recupero semplificato come previsto dal D.M. 05/02/98, confermando la difficoltà di tracciarne l'origine ed i flussi reali.

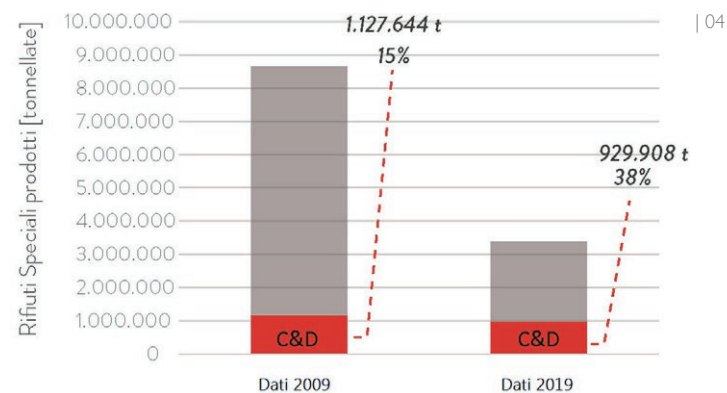
tion industry. The novelty lies in localising the places of production and, once their manufacturing processes have been examined, detecting the resulting type of waste from its very origin, hence advancing management and valorisation scenarios integrated on a territorial scale. Thus, based on the availability and geographic diffusion of the mapped secondary resources, it was possible to hypothesise production chains in industrial symbiosis while also incorporating the existing regional waste management system.

#### Methodology

The research was undertaken between 2016 and 2018 and made use of the data on the production of Special Waste from the PRGRS (Regional Plan for the Management of Special Waste) approved at the end of 2012

by the Sardinia region, then processed by ISPRA based on the national 2009 MUDs, and by ARPAS Sardegna based on the regional waste inventory. After analysing the general data, the study focused on waste from C&D activities and more specifically on insulating materials; plastics, bituminous, metals, cork, wood, bricks, ceramics concrete and ornamental stones to verify their potential reuse or recycling in other production chains as by-product resources. The waste category "mixed inert - CER 170904" has been omitted because, despite accounting for 70% of the total CER 17 macro-category, its recovery and disposal procedures are already known.

The streams of selected waste are difficult to trace since their treatment plants operate under a simplified system (Art. 214, Legislative Decree 152/2006) without being required to



La successiva localizzazione e mappatura delle attività produttive correlate ai rifiuti non mappabili, ha permesso di restituire a scala regionale una costellazione di siti di produzione, distribuiti più o meno capillarmente sull'intero territorio, distinti per dimensione e quantitativi prodotti, ai quali si è fatta risalire l'origine dei flussi potenziali di materia prima secondaria (Fig. 5).

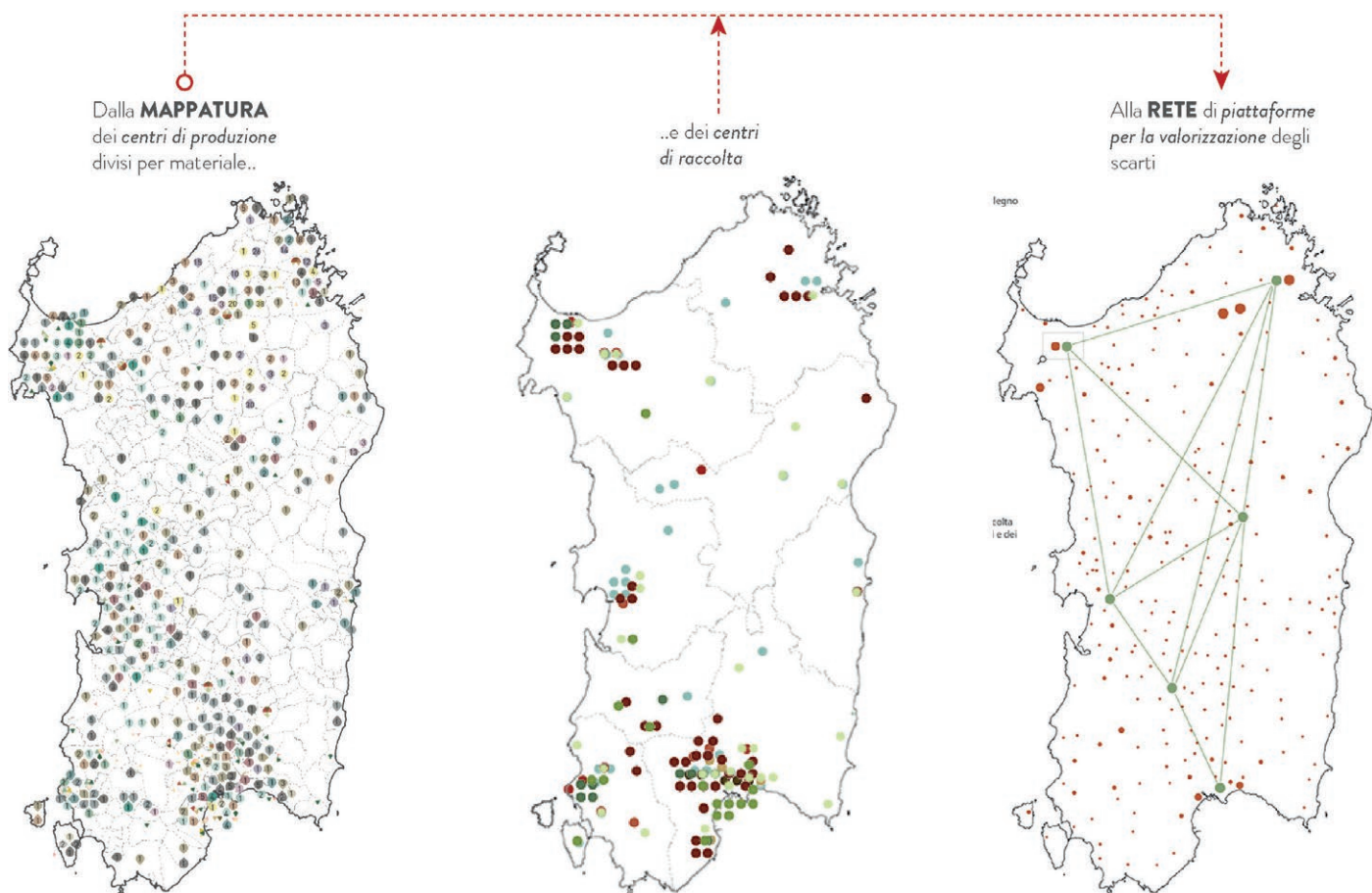
Contestualmente, la localizzazione degli impianti di trattamento rifiuti esistenti – recupero (R) e deposito (D) – ha restituito una evidente discrasia rispetto agli auspicabili obiettivi di un'efficace valorizzazione delle frazioni di residui di cicli produttivi

register the quantities they manage. Therefore, the production process sites from which the waste produced could have originated have been mapped, including the processing of wood, metals, insulating materials and stones. The sites' locations were obtained by crossing ISTAT data on the census of industries in Sardinia with the codes of manufacturing activities (ATECO). The processing steps for each production process were then traced out: the scraps, by-products and waste produced were identified, as well as the possible production chains where they could be reused.

To complete the framework, the waste treatment plants present in the regional territory were also located – landfills, recycling or preliminary treatment plants – using both the data available on the SardegnaAmbiente portal, and the authorisations of the

operative plants and the regional register of waste managers.

Finally, an example on the wood supply chain was performed by identifying a possible management and valorisation network integrated in industrial symbiosis with other production chains on a regional scale: this was accomplished by crossing waste production sites with treatment plants, which were integrated by intermediate temporary storage sites. This final step, which can be repeated for the other waste categories, allows for the verification of whether the plant structure, even if only referring to a limited area, is capable of handling and enhancing the potential flows of secondary raw materials and, as a result, whether it is necessary to intervene to implement the system in terms of plants and infrastructural networks.



### Results and initial findings

From 1997 to 2008, Sardinia's share of Special Waste tripled, reaching 4,376,923 tons per year, then decreased by 40.9 percent over the next ten years (2017) (Fig. 3). Analysing the data in relation to regional GDP reductions, C&D waste results increased in the last decade compared to the total, against the reduction of investment expenses, but particularly against the 12.6 percent decrease in the number of construction enterprises. This may be due to a lack of innovation in construction processes and materials. Furthermore, the data analysis confirmed the difficulties in tracking C&D waste data and revealed a difference of more than 33% less between national values processed by ISPRA based on MUDs and regional data based on the amounts actually processed by the plants.

The subsequent focus on C&D waste enables both the verification of trends in the CER 17 macro-category (from 1997 to 2019) and the evaluation of variations in selected waste sub-categories (Fig. 4). According to data analysis, 73 % of C&D waste is subject to treatment and recovery operations (R), while the remaining 27% is disposed of (D): the main operations concern recycling/recovery of inorganic substances (R5) from mixed C&D waste (29%), from bituminous mixtures (20%) and from earth and rocks (19%); the recycling/recovery of metals and metal compounds (R4), iron and steel (64.1%) and mixed metals (25.5%); the reserve (R13) for C&D aggregates (24%) and bituminous mixtures (16.7%). The depositing on the ground (D1) or in advance of further treatments preliminary to disposal (D15) concerns the remaining frac-

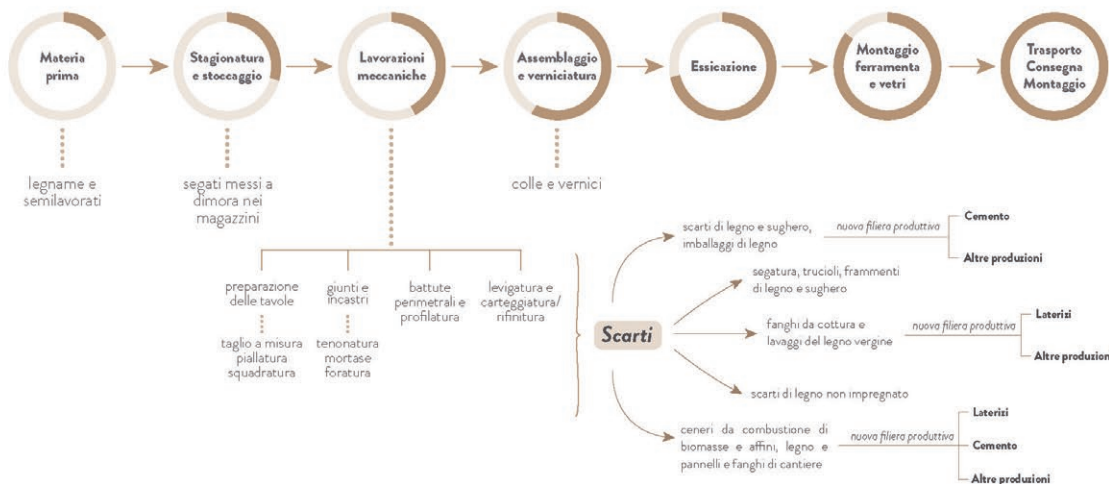
tions of mixed C&D aggregates and the excavated earth and rocks. With respect to the other C&D waste categories, nothing was discovered regarding any content flows subject to simplified recovery under Ministerial Decree 05/02/98, confirming the difficulty in tracking their origin and actual flows. The subsequent localisation and mapping of production activities related to non-mappable waste has returned a constellation of production sites at a regional level, scattered more or less throughout the entire territory, categorised by size and produced quantity, to which the origin of potential secondary-raw material flows can be traced (Fig. 5). Furthermore, the location of the existing waste treatment plants – recovery (R) and storage (D) – has shown a strong discrepancy with respect to the desired objectives of an efficient val-

orisation of the fractions of residues from construction-related production cycles. On a regional scale, the majority of plants and treatment sites recover material by aggregate recycling with fixed or mobile plants, or they are disposal plants or landfills, often located in industrial areas close to major urban centers (Cagliari and Sassari in particular), which discourages the transport of small amounts of waste. The census of companies operating in the field, on the other hand, did not highlight waste treatment plants aimed at recovering materials other than aggregates from C&D or obtaining secondary raw materials: these are usually recovery and temporary storage plants, or places where crushing and pre-packaging for export outside the region are done. In the final step considering the wood production chain, it has been de-

06 | **LEGNO**



**Processo produttivo**



correlati alle costruzioni. A scala regionale, la maggior parte degli impianti e dei siti di trattamento recuperano materia tramite riciclo di inerti con impianti fissi o mobili, oppure si tratta di impianti di smaltimento o discariche, spesso localizzati in aree industriali prossime ai centri urbani maggiori (Cagliari e Sassari in particolare), fattore spesso scoraggiante il trasporto di piccoli quantitativi di rifiuti. Per contro, il censimento delle aziende di settore attive non ha evidenziato impianti di trattamento rifiuti finalizzati al recupero di materia diversa dagli inerti da C&D oppure per l’ottenimento di materie prime seconde: si tratta in genere di impianti di recupero e stoccaggio temporaneo, oppure dove si pratica la frantumazione e il confezionamento preliminari all’esportazione fuori regione. Nell’ultima fase della sperimentazione, considerando la filiera del legno, è stato descritto uno scenario di gestione dei flussi dei

prodotti secondari, ovvero una rete di trasporto, stoccaggio, lavorazione intermedia con la possibilità di alimentare altre filiere produttive in simbiosi industriale per realizzare manufatti in legno-cemento; laterizi alveolari; arredi (Fig. 6).

**Conclusioni e visioni future**

La mappatura dei siti di produzione di alcune categorie di rifiuti quantitativamente inferiori

agli inerti da C&D, introduce un approccio innovativo alla loro valorizzazione perché ha permesso di localizzare le materie prime seconde riutilizzabili, lasciando intravedere logiche ubicazioni di altre filiere produttive che si alimentano di tali materiali in simbiosi industriale. I limiti emersi riguardano la necessità di classificare e caratterizzare preliminarmente i rifiuti disponibili, insieme alla difficoltà di tracciamento dei flussi e ad una più ac-

scribed as a scenario of by-product management: i.e. a transport, storage and intermediate processing network with the possibility of feeding other production chains in industrial symbiosis to produce products in wood-concrete; alveolar bricks and furnishings (Fig. 6).

**Conclusion and further developments**

The mapping of certain categories of waste, quantitatively lower than those from construction and demolition, leads to an innovative approach to valorise them as secondary raw materials; this also reveals where it should be environmentally appropriate to locate the supply chains, which feed on these secondary resources in industrial symbiosis processes. Moreover, the research pointed out how hard it could be to follow and

quantify the waste stream due to the lack of reliable data; thus, it is necessary to classify and distinguish the available waste located in a certain geographical area as a starting point to implant and ensure the viability of supply chains, based on an industrial symbiosis approach. These scenarios also require the introduction of new industrial policies, aimed at improving industrial plants and production processes by embedding waste treatment plants to manage and reuse waste as secondary raw materials; all of it supported by an efficient management, logistics and transport network. On an industrial scale, this approach could be adapted, depending on territorial-distinctive features, as an opportunity to enhance industrial policies by involving public administrators, entrepreneurs, local players and stakeholders.

**NOTES**

<sup>1</sup> In 2018, Directive 851/EC abrogated the WFD and more precisely regulated the end-of-waste procedures, requiring the identification of the incoming waste materials eligible for the purposes of the recovery operation in order to specify the processes and techniques of treatment and to establish the quality criteria for the materials obtained, product standards and applicable requirements for the final declaration.



curata stima dei quantitativi, indispensabili a garantire l'impianto e la sussistenza di filiere in simbiosi industriale.

Tali scenari richiedono un cambio di prospettiva nelle politiche industriali, coadiuvate da un'implementazione degli impianti e una innovazione dei processi produttivi, integrando nelle aree industriali impianti per il trattamento e il reimpiego dei rifiuti come materie prime seconde, sostenute anche da un'efficace rete di gestione, logistica e trasporto. L'approccio offre interessanti margini di scalabilità industriale e adattamento a differenti areali territoriali in seno alle peculiarità locali, offrendo la base per politiche industriali che coinvolgano amministratori, imprenditori e attori della filiera.

#### NOTE

<sup>1</sup> Nel 2018 la Direttiva 851/CE ha abrogato la WFD e regolamentato più precisamente le procedure *end of waste*, chiedendo di individuare i materiali di rifiuto in entrata, ammissibili ai fini dell'operazione di recupero; di precisare i processi e le tecniche di trattamento; di stabilire i criteri di qualità per i materiali ottenuti, le norme di prodotto e i requisiti applicabili per la dichiarazione finale di conformità.

#### REFERENCES

- Adam, K. *et al.* (2017), "Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers", *Waste and Resource Management*, Vol. 170, pp. 1-11.
- Antonini, E. (2004), "Valutazione dell'idoneità al reimpiego di componenti edilizi", in Gangemi, V. (Ed.), *Riciclare in Architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, Napoli, Italia, pp. 115-121.
- Antonini, E. (Ed.) (2000), *Residui da costruzione e demolizione: una risorsa ambientalmente sostenibile. Il progetto VAMP e altre esperienze di valorizzazione dei residui*, Franco Angeli, Milano, Italia.
- Barbuta, M. *et al.* (2015), "Wastes in Building Materials Industry", available at: <https://www.intechopen.com/books/agroecology/wastes-in-building-materials-industry>.
- BIO Intelligent Service (2011), *Service contract on management on construction and demolition waste - SRI. Final report*.
- Chertow, M.R. (2000), "Industrial symbiosis: Literature and taxonomy", *Energy Environment*, Vol. 25, pp. 313-37.
- Deloitte (2017), "Study on Resource Efficient Use of Mixed Wastes, Improving management of construction and demolition waste - Final Report", Prepared for the European Commission, DG ENV.
- Ecorys (2016), *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol*, European Commission, Brussels, Belgium.
- European Environment Agency (2020), "Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy", available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges/construction-and-demolition-waste-challenges/download.pdf.static> (accessed 10 January 2021).
- Eurostat (2018), *Eurostat Statistics for Waste Flow Generation 2016*, European Commission, Brussels, Belgium.
- Fondazione Sviluppo Sostenibile (2019), *L'Italia del Riciclo 2019. Rapporto annuale sul riciclo ed il recupero dei rifiuti*, Roma, Italia.
- Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2019), "Guidelines for Effective and Sustainable Recycling of Construction and Demolition Waste", in Benetto, E. *et al.* (Eds.), *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies. From Science to Innovation*, Springer International Publishing, pp. 211-222.
- IDEA (2018), *Development and implementation of initiatives fostering investment and innovation in construction and demolition waste recycling infrastructure*, European Commission, Brussels, Belgium.
- Jongert, J. *et al.* (2007), *Superuse: Constructing New Architecture by Shortcutting Material Flows*, Oio Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- Neves, A. *et al.* (2020), "A comprehensive review of industrial symbiosis", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 247.
- OECD (2018), "Global Material Resources Outlook to 2060. Economic drivers and environmental consequences", available at: <https://www.oecd.org/publications> (accessed 14 January 2019).
- Osmani, M. and Villoria-Sáez, P. (2019), "A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 241.
- Osmani, M. and Villoria-Sáez, P. (2019), "Current and Emerging Construction Waste Management Status, Trends and Approaches", in Letcher, T.M. and Vallero, D.A. (Eds.), *Waste A Handbook for Management. II ed.*, Academic Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 365-380.
- Tecnopolis (2016), "Regulatory barriers for the circular economy. Lessons from ten case studies, final report", available at: [https://ec.europa.eu/growth/content/regulatory-barriers-circular-economy-lessons-ten-case-studies\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/regulatory-barriers-circular-economy-lessons-ten-case-studies_en) (accessed 3 July 2017).
- Whittaker, M.J. *et al.* (2019), "Novel construction and demolition waste (CDW) treatment and uses to maximize reuse and recycling", *Advance in Building Energy research*, Vol. 5, pp. 1-18.