

Approccio circolare per l'innovazione tecnologica con scarti della filiera agroindustriale

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Corrado Carbonaro, Roberto Giordano, Jacopo Andreotti, Denis Faruku,
Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

corrado.carbonaro@polito.it
roberto.giordano@polito.it
jacopo.andreotti@polito.it
denis.faruku@polito.it

Abstract. Il settore delle costruzioni è oggi in grado di fungere da catalizzatore di processi circolari in sinergia con diverse filiere industriali, comprese quelle che includono il riutilizzo di sottoprodotti vegetali, potenzialmente utilizzabili come materie prime seconde (MPS). Tali processi trovano collocazione in un cluster di ricerca, descritto attraverso quattro progetti, articolati secondo un metodo di lavoro sperimentale, di monitoraggio prestazionale e di verifica di impatto ambientale. Le attività del cluster hanno portato alla collaborazione tra aziende e università, ponendo le premesse di innovazioni di processo e di prodotto, evidenziando la necessità di implementare strumenti e policies per rendere efficienti le filiere di recupero e stoccaggio delle MPS.

Parole chiave: Simbiosi industriale; Riciclaggio scarti agro-industriali; Prototipi circolari; Tecnologie circolari; Tecnologie edili innovative.

Leconomia circolare dei prodotti: quadro normativo e linee di tendenza

Il supporto internazionale e locale alla “liberalizzazione dell’uso dei rifiuti” e alla normazione delle procedure sta sortendo l’effetto di moltiplicare le azioni di riuso e riciclo di Materie Prime Seconde (MPS) nell’Architettura. L’obiettivo, già promosso all’interno del documento presentato dall’UE circa l’economia circolare per la progettazione degli edifici (EU Commission, 2020), è quello di innescare un mercato locale o nazionale del rifiuto, nel momento in cui la filiera di raccolta e trasformazione sia ormai stabilmente in grado di auto-alimentarsi. Il mercato del rifiuto è in costante ascesa: piattaforme informatiche, quali Waste-outlet, Recycle Blu, BaleBid, forniscono lo spazio virtuale per vendere o concedere gratuitamente un rifiuto a chi ne sia interessato. Ciò produce, da un lato, una riduzione dei costi di smaltimento, dall’altro, la possibilità di accedere a delle MPS a basso costo. Il processo di normazione ha inciso fortemente sullo sviluppo del mercato, delle competenze e

Il supporto internazionale e locale alla “liberalizzazione dell’uso dei rifiuti” e alla normazione delle procedure sta sortendo l’effetto di moltiplicare le azioni

A circular approach to technological innovation with waste from the agri-industrial supply chain

Abstract. Today’s construction sector is able to act as a catalyst for circular processes in synergy with various industrial supply chains, including those that include the reuse of plant by-products, which can potentially be used as secondary raw materials (SRM). These processes fall within a research cluster described through four projects, articulated on the basis of an experimental work method, performance monitoring and assessment of environmental impact. The activities of the cluster have led to collaboration between companies and universities, laying the foundations for process and product innovation, highlighting the need to implement tools and policies to streamline SRM recovery and storage chains.

Keywords: Industrial symbiosis; Recycling of agri-industrial waste; Circular prototypes; Circular technology; Innovative building technologies.

delle tecnologie; In Italia sono stati introdotti i requisiti minimi ambientali (CAM) con il D.L. 19 aprile 2017, n. 56. I CAM prevedono che negli appalti pubblici per la progettazione o la costruzione di edifici, siano adottati dei criteri ambientali obbligatori che afferiscono sia alla fase di progettazione sia alla scelta dei sistemi tecnologici adottati. Per i materiali da costruzione, a seconda della tipologia, la norma individua limiti minimi di contenuto di materia riciclata e criteri premianti in relazione al contenuto di materiale rinnovabile o riciclabile. Ciò ha certamente segnato un punto di svolta, “destabilizzando” il processo di elaborazione e gestione delle procedure di appalto e innescando lo sviluppo di professionalità e processi d’innovazione tecnologica, certamente positivi per il settore delle costruzioni.

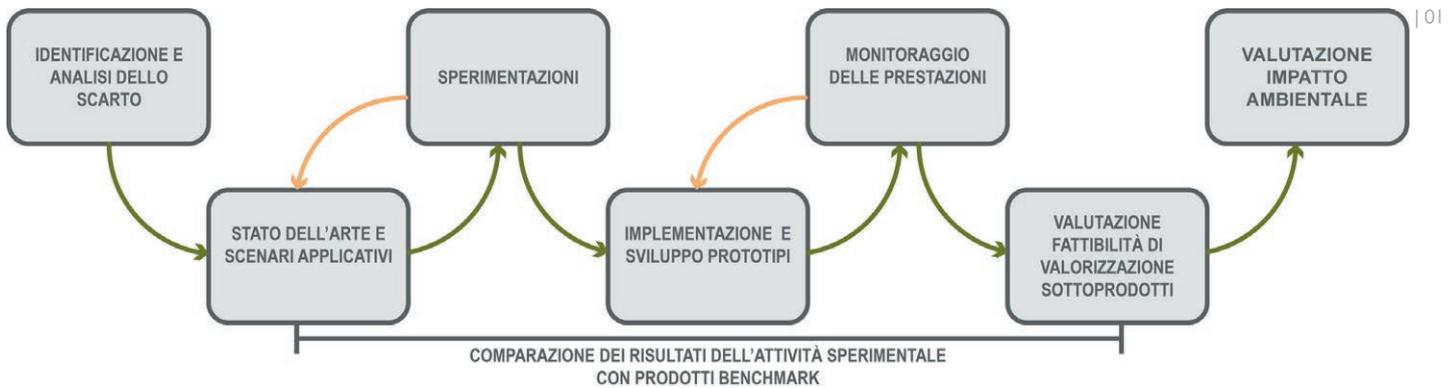
In Italia, il processo di transizione verso tecnologie che utilizzino risorse da MPS, è stato ulteriormente accelerato con il D. L. 17 marzo 2020, n.18, il quale ha introdotto il cosiddetto “superbonus”, una misura fiscale incentivante per la quale le spese di riqualificazione energetica sostenute dal 1° luglio 2020 al 31 dicembre 2021, possono essere detratte fiscalmente per il 110% del costo dell’opera, a patto che i materiali utilizzati per le riqualificazioni siano conformi ai requisiti minimi dei CAM. Tali norme e incentivi hanno avuto effetti diretti sia sull’utenza pubblica (CAM) sia su quella privata (superbonus), determinando da parte dei produttori di materiali edili una spinta alla riconversione circolare dei prodotti offerti, pena l’esclusione della parte più ampia del mercato edile del biennio 2020-2022.

In questo quadro normativo, appare evidente la necessità di individuare strategie che inneschino sinergie industriali di filiera,

The circular economy of products: regulatory framework and trends

International and local support for the “liberalisation of the use of waste” and for the standardisation of its procedures is multiplying the reuse and recycling of secondary raw materials (SRM) in architecture. The aim, already promoted in the document presented by the EU on the circular economy for the design of buildings (EU commission, 2020), is to trigger a local or national market for waste, now that the collection and processing chain is firmly able to sustain itself. The waste market is growing steadily: IT platforms, such as Waste-outlet, Recycle Blu and BaleBid, provide virtual space to sell or give away your waste for free to anyone interested. On the one hand, this reduces disposal costs, and, on the other, it offers access to low-cost SRM. The standardisation

process has strongly impacted the development of the market, skills and technologies, as in the Italian case concerning the introduction of minimum environmental requirements (CAM). Introduced by Legislative Decree no. 56 of 19 April 2017, they stipulate that, in public contracts for the design or construction of buildings, mandatory environmental criteria relating to both the design phase and the choice of technological systems adopted must be implemented. In the case of building materials and depending on the type, the standard identifies minimum limits of recycled material content and rewarding criteria in relation to the content of renewable or recyclable material. This has definitely marked a turning point, destabilising the process of drafting and managing procurement procedures, and triggering the development of professionalism and



con l'obiettivo di sfruttare le MPS o i sottoprodotti derivanti dalle altrui produzioni. Tradizionalmente le filiere o i cluster produttivi si sono sviluppate prevalentemente tra aziende del medesimo settore produttivo, ma negli ultimi anni il modello dell'economia circolare ha imposto una nuova tendenza, che favorisce lo sviluppo di collaborazioni tra ambiti industriali non tradizionalmente affiliati. Il motivo risiede nel fatto che ottimizzare le filiere d'ambito, già rese efficienti, sia più oneroso rispetto al processo di innovazione di prodotto, innescata, ad esempio, da sinergie con il mondo agricolo e forestale. È necessario quindi sviluppare competenze trasversali e sistemi locali che coinvolgano soggetti produttivi di differenti ambiti, affinché ogni risorsa naturale e MPS disponibile sia sfruttata completamente e nella maniera più efficace (Munaro *et al.*, 2020).

Un metodo per l'innovazione

Le attività di ricerca di seguito descritte sono state condotte da un team di ricerca del Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino con il supporto del Laboratorio Sistemi Tecnologici Innovativi (LaSTIn).

technological innovation processes, which are clearly positive for the construction sector. In Italy, the process of transition to technologies that use resources from SRM has been further accelerated by the passing of Legislative Decree no. 18 of 17 March 2020, which introduced the so-called "superbonus". This is a tax incentive for which spending for energy requalification incurred between 1 July 2020 and 31 December 2021 can be deducted for tax purposes. The amount deductible is 110% of the cost of the work, as long as the materials used for the requalification comply with the minimum requirements of the CAM. These rules and incentives have had direct effects on both public (CAM) and private (superbonus) users, encouraging the manufacturers of building materials to adopt a circular reconversion of the products offered, or otherwise be excluded from the

bulk of the construction market in 2020-2022. In this regulatory framework, there is a clear need to identify strategies that trigger industrial supply chain synergies, with the aim of exploiting SRM or by-products from other processes. Traditionally, supply chains or production clusters have developed mainly between companies in the same production sector, but in recent years the circular economy model has imposed a new trend, coinciding with the development of collaborations between industrial sectors that are not traditionally affiliated. The reason lies in the fact that optimising already highly efficient supply chains is more costly than the process of product innovation triggered, for example, by synergies with the agricultural and forestry sectors. This makes it necessary to develop transversal expertise and local systems

that involve production companies from different sectors, so that every available natural resource and SRM is fully and effectively exploited (Munaro *et al.*, 2020).

Pur trattandosi di progetti che hanno raggiunto differenti livelli di sviluppo, si caratterizzano secondo un approccio comune: identificazione e prima analisi dello scarto; definizione dello stato dell'arte e definizione delle sue possibili applicazioni; sperimentazioni e prima valutazione dei risultati conseguiti; implementazione dell'attività sperimentale e sviluppo di prototipi; monitoraggio delle prestazioni dei prototipi; valutazione della fattibilità di valorizzazione degli scarti come materie prime seconde; valutazione dell'impatto ambientale evitato per effetto del recupero e riciclaggio degli scarti (Fig. 1).

In relazione della tipologia di scarto – altresì definito *output* – il tempo dedicato a ogni fase è variabile: in alcuni casi si connota per una certa programmabilità, in altri, al contrario, attraverso un'evoluzione variabile non definibile a priori. Ciò non è però da ricondurre a una mancata competenza dei processi programmatici, è da ricondurre alle condizioni spesso incerte di chi opera in progetti di ricerca finalizzati a perseguire gli obiettivi dell'economia circolare; condizioni che prevedono che i processi di produzione siano concepiti in modo aperto, dando avvio a connessioni in cui i flussi di *output* di un sistema possano diventare flussi di *input* (materie prime seconde) in grado di alimentarne un altro.

activity and development of prototypes; monitoring of the mechanical and physical/technical performance of the prototypes; assessment of the feasibility of exploiting waste as a secondary raw material; assessment of the environmental impact avoided as a result of waste recovery and recycling (Fig. 1).

A method for innovation

The research activities described below were carried out by a research team from the Department of Architecture and Design of Politecnico di Torino with the support of the Innovative Technological Systems Laboratory (LaSTIn).

Although the projects have reached different levels of development, they are characterised by a common methodological approach: identification and initial analysis of waste; definition of the state of the art and of its possible applications; experimentation and initial assessment of the results attained; implementation of the experimental

In relation to the type of waste - also referred to as *output* - the time dedicated to each phase is variable: in some cases, it is characterised by a certain degree of programming, in others by a variable evolution that cannot be defined in advance. This is not, however, due to a lack of expertise in planning processes, but due to the often uncertain conditions of those who work in research projects aimed at pursuing the goals of the circular economy, which envisage that production processes be conceived in an open manner, initiating

Il punto di partenza è meno definito sia in merito alle proprietà intrinseche del residuo sia nel perimetro della ricerca che ha contorni più incerti. In passato il rifiuto era conosciuto a priori, poiché proveniva da attività di costruzione e demolizione, dove materiali e componenti erano “parte” delle abilità cognitive degli attori del processo edilizio (Gangemi, 2004; Antonini, 2001). L'avvio di processi virtuosi di recupero era influenzato più dai limiti di natura normativa o dal moderato ed eterogeneo numero di centri di trasformazione.

Oggi si assiste a un parziale rovesciamento delle condizioni, il quadro legislativo prevede norme in grado di facilitare i processi di riciclaggio, mentre i rifiuti avviati a recupero sono aumentati (Italia del Riciclo, 2020); ciò che è cambiato è il rifiuto all'origine. Operare in un contesto di tipo circolare, comporta inevitabilmente un approccio di tipo ipotattico, nel quale l'*output* non è conosciuto a priori, lo si incontra e lo si studia in conformità alle condizioni specifiche di un contesto di riferimento (geografico, sociale ed economico).

Un sistema circolare deve prevedere una sinergia pianificata e consolidata tra le aree urbane ed extra urbane limitrofe (ARUP, 2017), dove le prime si occupano di gestire i processi di riciclaggio per sfruttarli in edilizia, mentre le seconde orientano la produzione e la raccolta di scarti in relazione al fabbisogno delle filiere produttive.

I risultati dei progetti di ricerca qui presentati ne sono una plastica dimostrazione. Sono stati sviluppati in un territorio a cavallo tra il Piemonte e la Rhône-Alpes, con un certo tipo di vocazione agricola. I rifiuti e i sottoprodotti sono stati messi a disposizione da un settore oggi trainante per l'economia locale: il settore agrotecnico, che sta dimostrando un particolare interesse

connections in which the output flows of one system can become input flows (secondary raw materials) capable of feeding another.

The starting point is less clearly defined, both in terms of the intrinsic properties of the residue and the perimeter of the research, which has more uncertain contours.

In the past, however, waste was known a priori, as it came from construction and demolition activities, where materials and components were “part” of the cognitive skills of the players in the building process (Gangemi, 2004; Antonini, 2001). The start of virtuous recovery processes was influenced more by regulatory limits or by a moderate and heterogeneous number of transformation and recycling centres.

Today, we are witnessing a partial reversal of conditions. The legislative framework includes provisions to

facilitate recycling processes and the amount of waste sent for recycling has increased (Italia del Riciclo, 2020); what has changed is the waste at the origin. Operating in a circular context inevitably involves a hypo-tactical approach, in which the output is not known a priori, it is encountered and studied in compliance with the specific conditions of a reference context (geographical, social and economic).

A circular system should envisage a planned and consolidated synergy between neighbouring urban and extra-urban areas (ARUP, 2017), where the former are responsible for managing recycling processes to exploit them in the construction sector, while the latter direct the production and collection of waste in relation to the needs of production chains.

The results of the research projects presented here are a plastic demonstration

a intercettare le innovazioni di un'economia circolare.

Ne discende che uno dei principali compiti del ricercatore è, in primo luogo, di comprendere i caratteri del contesto e – successivamente – di progettare scenari di riciclo.

Il laboratorio, qui da intendere nella sua accezione di luogo dove si svolgono attività di carattere empirico, ha un compito strategico, poiché è qui che - sulla base di uno stato dell'arte che contempla studi non solo circoscritti al settore delle costruzioni - si svolgono i primi, talvolta incerti, esperimenti. La fase di sperimentazione iniziale è però anche quella più stimolante, dove in alcuni casi si assemblano i rifiuti e/o i sottoprodotti con le materie prime impiegate in edilizia; la produzione di numerosi campioni e provini è fase necessaria per definire il migliore mix tra i componenti. Non a caso la definizione adottata è *mix design*, ovvero, progettazione della miscela.

L'enfasi su una o più delle attività descritte all'inizio di questo paragrafo può inoltre condurre alla realizzazione di due tipologie di esperienze complementari ma distinte. In relazione a un quadro di obiettivi specifici dei progetti di ricerca, in alcuni casi il lavoro è finalizzato alla progettazione di un nuovo prodotto. In altri è invece la progettazione della filiera, nella quale alcuni strumenti di analisi e di valutazione, a partire dalla *Life Cycle Assessment* (LCA), sono utilizzati come indicatori per valutare l'efficienza ambientale delle trasformazioni che si intendono apportare a un processo produttivo. Che si parli di innovazione di prodotto o che si faccia riferimento all'innovazione di processo, lavorare nell'ambito di ricerche connesse all'economia circolare, conduce spesso a immaginare nuove professionalità (figure intermedie in grado di favorire una prima valorizzazione di un scarto in una futura MPS) cui spetta il compito di trasforma-

of this. They were developed in an area between Piedmont and the Rhône-Alpes region, with a certain type of agricultural vocation. The waste and by-products were made available by the agri-technical sector, which is now a driving force in the Piedmontese economy and is displaying a particular interest in intercepting the innovations of a circular economy.

It follows that one of the main tasks of the researcher is, firstly, to understand the characteristics of the context and only subsequently to design recycling scenarios.

The laboratory, understood here as a place where empirical activities are carried out, has a strategic role to play, as it is here that the first, sometimes uncertain, experiments are carried out – on the basis of a state of the art that contemplates studies that go beyond the construction sector – trusting in

a positive match between results and expectations. The initial experimentation phase is also the most stimulating, with waste and/or by-products being assembled, in some cases with materials traditionally used in the construction process, in which the production of numerous samples and specimens is a necessary step to define the best mix of components. It is no coincidence that the definition adopted is *mix design*.

Emphasis on one or more of the activities described at the beginning of this paragraph may also lead to the realisation of two complementary but distinct types of experience. In relation to a framework of specific research goals, in some cases the work is aimed at designing a new product. In others, the focus is on the design of the supply chain, in which certain analysis and evaluation tools, starting with *Life*

Tab. 01 | Quadro sinottico reale e stimato delle filiere agroindustriali, elaborazione degli autori
Real and estimated synopsis of agri-industrial supply chains, elaboration by the authors

Regione Piemonte	Nocciola		Vite	Mais	Frumento	Riso	Canapa
Superficie coltivata (ha)	25.418		43.872	138.891	68.495	111.632	47
Sottoprodotto	Guscio	Cuticola	Raspo	Tutolo	Paglia	Paglia	Canapulo
Lavorazione che produce il residuo	Scusciatura con piastre battenti	Tostatura ad infrarossi	Pigiatura con rulli	Cippatura con kit Harcob ¹	Trebbiatura	Trebbiatura	Trebbiatura
Resa ad ettaro del sottoprodotto (t/ha)	1,98	0,032	0,33	1,3	4	3	5,5
Disponibilità potenziale annua (t/anno)	50.485	822,7	14.418	180.558	273.980	334.896	258,5
Valore medio di mercato (euro/t)	195	NA	NA	65	55-100 ²	70	6
Ricavi potenziali (euro)	9.844.575	NA	NA	11.736.270	15.068.900	23.442.720	1.551
					27.398.000		

Tab. 01

re un lavoro sperimentale in un nuovo modello di sviluppo del contesto, ovvero del territorio indagato.

Un'ulteriore conferma delle complementarità che può essere rintracciata tra sviluppo di prodotto e di processo, la si trova nella sintesi delle ricerche descritte di seguito, nelle quali il punto di partenza comune è rappresentato dalla tipologia dei sottoprodotti, tutti derivanti da scarti della lavorazione agricola. Operare in modo continuativo su questa tipologia di scarti, pur in un sistema fragile per le ragioni sopra esposte, ha portato al coinvolgimento di alcuni attori del territorio, che hanno consentito al team di ricerca di acquisire nuove conoscenze, favorendo un successivo travaso di *know-how*, da una ricerca a all'altra. Ne è nato un cluster di ricerche denominato *all you can't eat* (Giordano *et al*, 2020) la cui finalità principale è di valorizzare dei sottoprodotti, che non entrano nella catena alimentare dell'uomo e che possono trasformarsi in input per nuovi prodotti o nuovi processi.

Nell'ambito di *all you can't eat* sono stati condotte analisi rivolte alla comprensione delle fasi che generalmente caratterizzano la produzione: dalla raccolta, ai processi di lavorazione, fino al prodotto finito. La tabella 1 restituisce un quadro sinottico del

cluster; per alcune tipologie di prodotti agricoli sono stati individuati i relativi sottoprodotti, le rese per ettaro, i quantitativi potenzialmente disponibili e i prezzi di vendita (fonti: ISTAT, ENAMA e Borsa Merci Piemonte).

Prodotti e processi circolari: la sintesi di alcune esperienze

Sono di seguito illustrati quattro progetti condotti nell'ambito del Cluster All You Can't Eat. I primi due si rivolgono principalmente a un'innovazione di processo, i successivi a un'innovazione di prodotto.

CIBUS (*Circular economy In the Building Sector from agri-food waste*) è un progetto di ricerca, sviluppato nell'ambito del bando Talenti della Società Civile promosso da Fondazione Giovanni Gorla e Fondazione CRT con l'obiettivo di esplorare le modalità di reimpiego dei settori corilicolo e vitivinicolo. La ricerca ha coinvolto un gruppo di aziende del territorio piemontese, afferenti a diversi settori: agricolo (Az. Agricola F.lli Durando, Portacomaro, AT), biomedicale (Nobil Bio Ricerche, Portacomaro, AT) ed edile (Sarotto Group, Narzole, CN).

L'indagine sui processi della filiera della nocciola ha evidenziato

Cycle Assessment (LCA), are used as indicators to assess the environmental efficiency of the transformations to be made to a production process. Consequently, whether we are talking about product innovation or process innovation, working in the field of research related to the circular economy often leads to imagining new professional figures (intermediate figures capable of promoting an initial transformation of waste into a future SRM) who have the task of transforming an experimental work into a new model of development of the context, i.e. of the territory investigated.

Further confirmation of the complementarity that can be traced between product and process development can be found in the synthesis of the researches described below, in which the common starting point is represented by the type of by-products, all of which

originate from agricultural processing waste. Continuous work on this type of waste, even in a system which is fragile due to the reasons outlined above, has led to the involvement of a number of players in the area, who have allowed the research team to acquire new knowledge, favouring a subsequent transfer of know-how from one research project to another. This led to the creation of a research cluster called *all you can't eat* (Giordano *et al.*, 2020), the main aim of which is to exploit by-products that do not enter the human food chain and can be transformed into inputs for new products or processes.

Within the framework of *all you can't eat*, analyses have been carried out to understand the phases that generally characterise production: from harvesting to processing and the finished product. Table 1 offers a synoptic

picture of the cluster; the relative by-products, yields per hectare, potentially available quantities and sales prices have been identified for some types of agricultural products (sources: ISTAT, ENAMA and Borsa Merci Piemonte).

Circular products and processes: a synthesis of some experiences

Four projects conducted within the All You Can't Eat cluster are illustrated below. The first two are mainly aimed at process innovation, the subsequent ones at product innovation.

CIBUS (*Circular economy In the Building Sector from agri-food waste*) is a research project developed within the framework of the *Talenti della Società Civile* call for proposals promoted by *Fondazione Giovanni Gorla* and *Fondazione CRT*, with the aim of exploring ways of reusing the agricultural and viticultural sectors. The re-

search involved a group of companies in the Piedmont region, all belonging to different sectors: agriculture (Az. Agricola F.lli Durando, Portacomaro, AT), biomedical (Nobil Bio Ricerche, Portacomaro, AT) and construction (Sarotto Group, Narzole, CN).

The survey on the processes of the hazelnut supply chain showed that production is characterised by a large number of by-products. About 56% of the total harvest is made up of residues. More specifically, 54% are shells and the remaining 2% are cuticles. In the first case, the by-product is obtained from shelling operations, while from the roasting process it is possible to separate the hazelnuts from the cuticle, the protective layer that envelops the fruit.

There aren't, however, virtuous recovery and recycling cycles to offset this quantity of residues (51.307 t/year).

come la produzione sia caratterizzata da un ingente quantitativo di sottoprodotti. Infatti, circa il 56% del totale raccolto è costituito da residui. Più specificatamente, il 54% è costituito da gusci e il restante 2% da cuticole. Nel primo caso, il sottoprodotto è ricavato dalle operazioni di sgusciatura, mentre dal processo di tostatura è possibile separare le nocciole dalla cuticola, lo strato protettivo che avvolge il frutto.

A tale quantitativo di residui (51.307 t/anno) non corrispondono però cicli virtuosi di recupero e riciclaggio. Attualmente, infatti, il guscio è utilizzato principalmente nel settore energetico, mentre la cuticola trova impiego come ammendante per terreni. In tal senso CIBUS ha evidenziato le potenzialità di applicazione dei gusci come aggregato leggero per malte e conglomerati. La stabilità chimico-fisica del sottoprodotto, assimilabile a quella del legno, nonché la possibilità di macinare il prodotto ottenendo diverse pezzature, ne facilita le operazioni di stoccaggio, trasporto e applicazione. Nel caso della cuticola, in virtù dell'elevato contenuto di polifenoli (Yuan, 2018), è stato ipotizzato di estrarre le molecole per produrre cosmetici e, successivamente, recuperare la cuticola esausta per realizzare pannelli da rivestimento (Fig. 2).

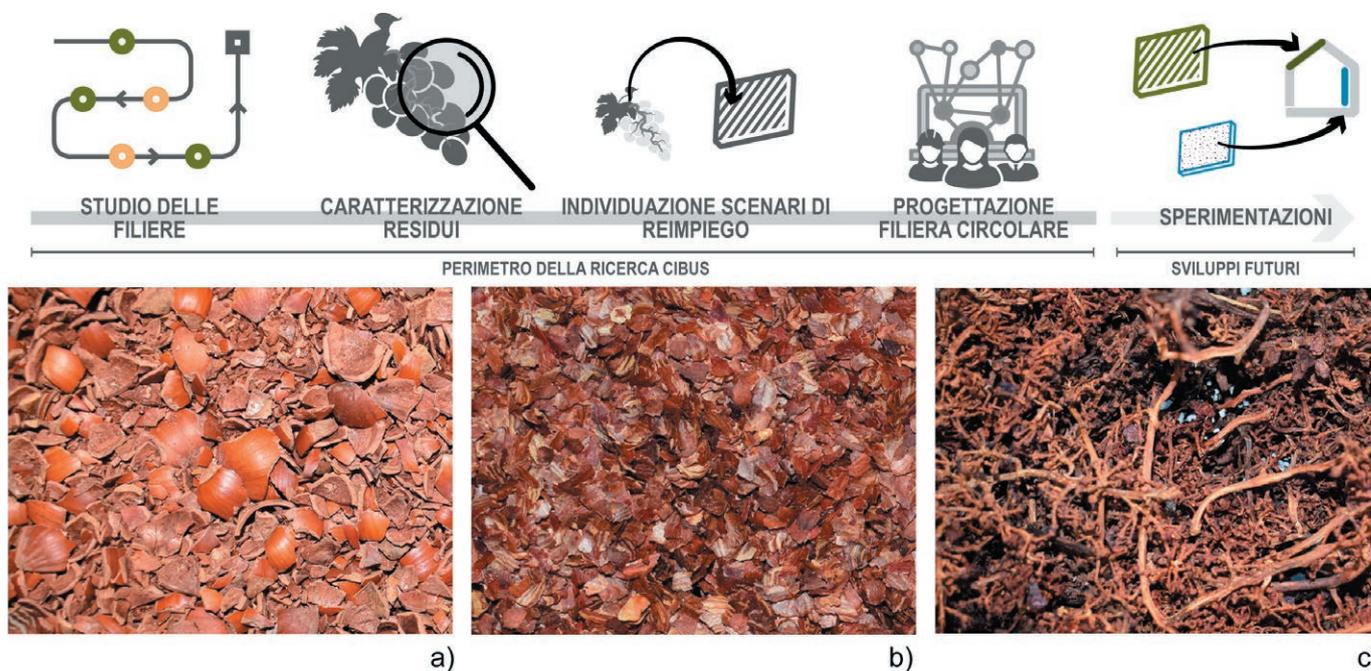
L'analisi sulla filiera vitivinicola ha definito il quadro dei sottoprodotti ottenibili lungo il processo produttivo (Fig. 2). In particolare, il mosto ha una resa in vino del 70%, mentre il 30% sono sottoprodotti (4% raspi, 14% vinacce e 12% feccia). In particolare i raspi sono una risorsa potenzialmente disponibile (14.418 t/

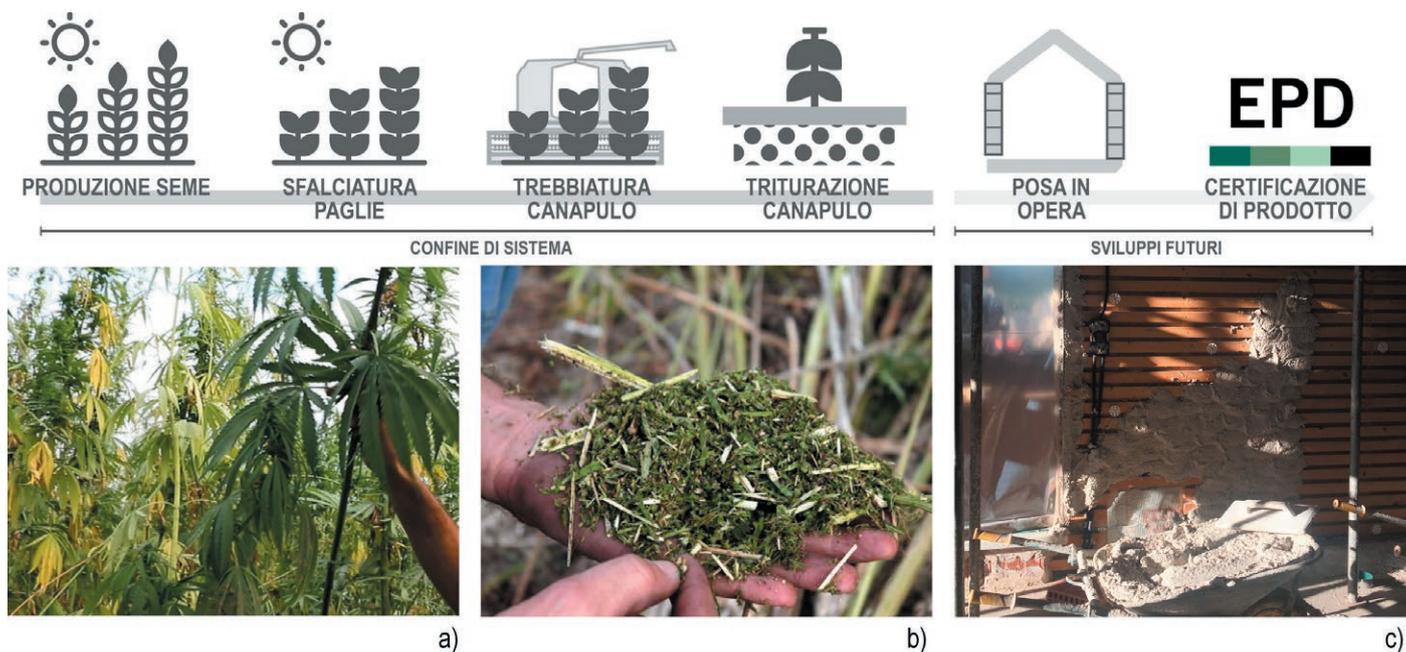
anno) ma non valorizzata, da sperimentare nella produzione di pannelli, sfruttando la lignina presente nel residuo come legante. Lo "Studio di filiera della canapa" è stato realizzato in accordo con l'azienda Calcelegnocanapa (Cervere, CN) nell'ambito di una consulenza per le Scuole Edili di Cuneo. Cinque imprese produttrici di tecnologie edilizie sono state coinvolte al fine di individuare: strategie di riduzione degli impatti ambientali, eventuali forme di innovazione e procedure di certificazione ambientale di prodotto. Uno degli studi svolti, sulla base della metodologia LCA (ISO 14040:2006), ha inteso valutare il processo innovativo di valorizzazione del canapulo, sottoprodotto ricavato dalle operazioni di trebbiatura, come aggregato per il settore delle costruzioni.

L'azienda coinvolta, ha avviato una coltivazione di canapa autoctona a Cervere su un terreno agricolo di 2,6 ettari. Tale varietà di canapa si caratterizza per le quantità di canapulo prodotto grazie all'altezza media della pianta (ca. 6 m) e al diametro del fusto (3/5 cm). Poiché al momento la sostenibilità economica della produzione di canapa deriva in larga parte dalla vendita del seme, l'azienda ha sviluppato un nuovo modello di business per valorizzare il sottoprodotto di minor valore: il canapulo ricavato dall'apparato vegetale (5,5 t/ha).

Lo studio si è sviluppato a partire dai requisiti tecnologici dell'aggregato di canapulo (come la densità o la granulometria), valutandone i processi di lavorazione (Fig. 3). Successivamente è stato condotto lo studio LCA per valutare gli impatti ambientali

02 |





del processo produttivo dell'azienda e, infine, sono stati elaborati scenari alternativi di produzione e di innovazione dei processi che compongono la filiera. Nella prima fase sono stati analizzati i principali flussi di *input* e *output* legati alla produzione di 1 t di canapulo valutando l'impatto ambientale, in termini di *Embodied Energy* (EE), contenuto di energia primaria del materiale, pari a 3990 MJ/t e *Embodied Carbon* (EC), indicatore delle emissioni di CO₂ eq contenute nel materiale, pari a 282,2 kgCO₂ eq/t. Per la fase di confronto degli scenari di implementazione del processo produttivo, sono state sostituite le apparecchiature per la raccolta, sminuzzatura e vaglio del canapulo, incentivando la transizione verso fonti energetiche rinnovabili, e sono stati calcolati i nuovi impatti ambientali.

Currently, the shell is mainly used in the energy sector, while the cuticle is used as a soil conditioner. In this sense, CIBUS has highlighted the potential application of shells as a light aggregate for mortars and conglomerates. The chemical and physical stability of the by-product, similar to that of wood, as well as the possibility of grinding the product to obtain different sizes, facilitates storage, transport and application. In the case of the cuticle, due to its high polyphenol content (Yuan, 2018), the extraction of the molecules for use in the production of cosmetics has been considered, followed by the recovery of the used cuticles to make cladding panels (Fig. 2). The analysis on the wine supply chain defined the framework of the by-products obtainable along the production process (Fig. 2). Must, in particular, has a 70% yield in wine, while 30%

is accounted for in by-products (4% stalks, 14% marc and 12% lees). The stalks are a potentially available resource (14.418 t/year) but are not exploited. They should undergo experimentation for use in the production of panels, exploiting the lignin present in the residue as a binder. The "Hemp supply chain study" was carried out in agreement with Calcegnocanapa, a company located in Cervere, in the province of Cuneo, as part of a consulting activity for Cuneo Building School. Five building technology companies were involved in order to identify strategies to reduce environmental impacts, possible forms of innovation and environmental product certification procedures. The aim of one of the studies carried out, on the basis of the LCA methodology (ISO 14040:2006), was to assess the innovative process of the valorisation

I risultati dello scenario ipotetico hanno evidenziato una riduzione potenziale del consumo energetico del 50% e una diminuzione delle emissioni di CO₂ del 36%.

ECOFFI (*Ecological Concrete Filled Fibers*) è un progetto di ricerca condotto in collaborazione con Sarotto Group s.a.s (Narzole, CN) e Vicat Group (L'Isle d'Abeau, FR), con l'obiettivo di sviluppare conglomerati in calcestruzzo leggero attraverso il riciclaggio di sottoprodotti agricoli locali.

ECOFFI è stato suddiviso in tre fasi. Inizialmente, è stata condotta un'indagine sulle principali colture piemontesi, da cui è emerso che le quantità di residui potenzialmente riciclabili derivano dalla coltivazione del mais e del riso.

Nella seconda fase sono stati sperimentati i sottoprodotti agri-

of shives, a by-product obtained from threshing operations, as an aggregate for the construction sector.

The company involved in the research has begun cultivating native hemp in Cervere (CN) on 2.6 hectares of farmland. This variety is characterised by the quantity of hemp produced, thanks to the average height of the plant (approx. 6 m) and the diameter of the stem (3/5 cm).

As the economic sustainability of hemp production is currently derived mainly from sales of the seeds, the company has developed a new business model to promote the least valuable by-product: the shives available from the plant (5.5 t/ha). The study was developed starting from the technological requirements of the shive aggregate (such as density or grain size) and assessing its processing (Fig. 3). Subsequently, the LCA study

was carried out to assess the environmental impacts of the company's production process and, lastly, alternative production and innovation scenarios of the processes that make up the supply chain were elaborated. During the first phase, the main input and output flows related to the production of one ton of shive were analysed, assessing the environmental impact in terms of Embodied Energy (E.E.), the primary energy content of the material, which was 3990 MJ/t, and Embodied Carbon (C.C.), an indicator of the CO₂ eq emissions contained in the material, which were 282.2 kgCO₂ eq/t. When comparing the production process implementation scenarios, the equipment for collecting, shredding and screening shive was replaced, encouraging the transition to renewable energy sources, and the new environmental impacts were calculated.

coli nella realizzazione di diversi campioni di cui gli ingredienti impiegati nella formulazione del calcestruzzo sono: cemento naturale Prompt (legante), acqua, acido citrico (additivo), tutolo di mais (aggregato) e paglia di riso (fibra). Ogni mix design è stato progettato con percentuali variabili di legante e aggregato. Il tutolo è stato setacciato per identificare le classi granulometriche ottimali (0,85-1,04 mm e 2-6,3 mm). I risultati ottenuti sui primi campioni hanno evidenziato problemi di coesione per via delle proprietà igroscopiche del tutolo e per presenza di interstizi tra i granuli, colmata poi da fibra costituita da paglia di riso tritata (2-10 cm) per confezionare dei mix design coesi.

Successivamente sono state determinate la misura della densità apparente ($\rho = 540 \text{ kg/m}^3$) e la resistenza caratteristica media a compressione R_{ck} (UNI EN 772-1:2015, UNI EN 772-6:2002) su provini maturati a 30 giorni. Il valore R_{ck} ottenuto è pari a 0,5 MPa, per deformazioni del 10%, dato che non si discosta da prodotti benchmark utilizzati a fini comparativi³. Per quanto riguarda le prestazioni termiche (UNI EN 12664:2002, UNI EN 12667:2002), la conducibilità termica ($\lambda = 0,088 \text{ W/mK}$) è stata monitorata presso i laboratori del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, il valore λ ha consentito di determinare la trasmittanza termica ($U_{40\text{cm}} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$) di un blocco (20 x 30 x 40 cm). Il blocco soddisfa i requisiti previsti per le zone climatiche E e F.

Terminate le attività di monitoraggio (Fig. 4) è stato effettuato uno studio LCA per valutare gli impatti ambientali relativi a 1 kg di prodotto. L'EE da fonti non rinnovabili e rinnovabili (3,03 MJ/kg), è in linea con valori determinati per blocchi in calcestruzzo alleggeriti (Giordano, 2010), inoltre la quota di energia primaria da fonti rinnovabili (14%) è risultata superiore alla media. L'EC (-0,16 kgCO₂/kg), classifica il provino come "carbon neutral", per via del "credito" di carbonio assorbito dai componenti vegetali durante il ciclo di crescita.

Il progetto di sviluppo industriale SI2 (*Sistemi Isolanti Innovativi*), finanziato dalla Regione Piemonte sui fondi POR-FESR (2010-2014), ha sviluppato sette prodotti da costruzione sulla base di un approccio integrato tra aziende manifatturiere di prodotti edili (Vimark e Artimestieri), un'azienda di lavorazione di materie derivanti dall'agricoltura (Agrindustria), due dipartimenti universitari (DAD e DENERG del Politecnico di Torino), l'Agenzia Territoriale per la Casa di Torino e CLUSTER srl.

Il progetto ha sviluppato soluzioni circolari per la riqualificazione di edifici esistenti: tre termointonaci (uno con tutolo di mais e paglia e due con sughero da tappi di scarto), un massetto termico e una pittura termica (con sughero da tappi di scarto) e un intonaco termodinamico con materiali a cambiamento di fase. In una prima fase sono state selezionate un ventaglio di

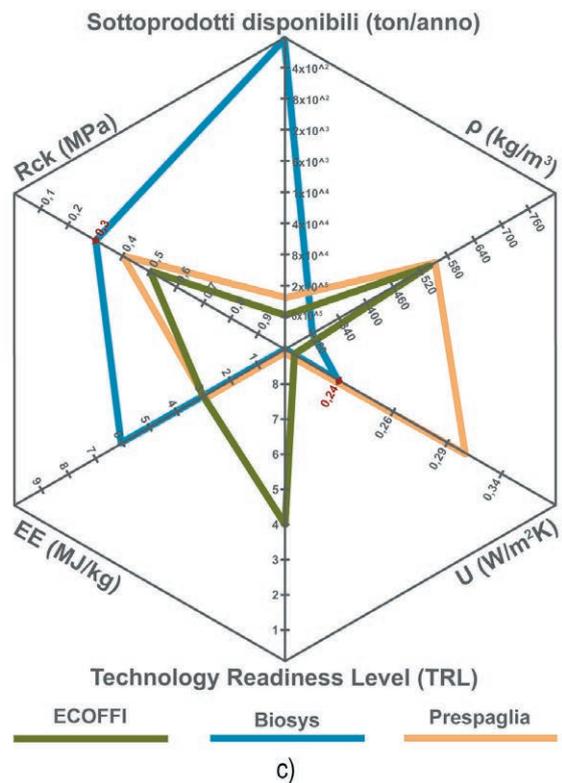
04 |

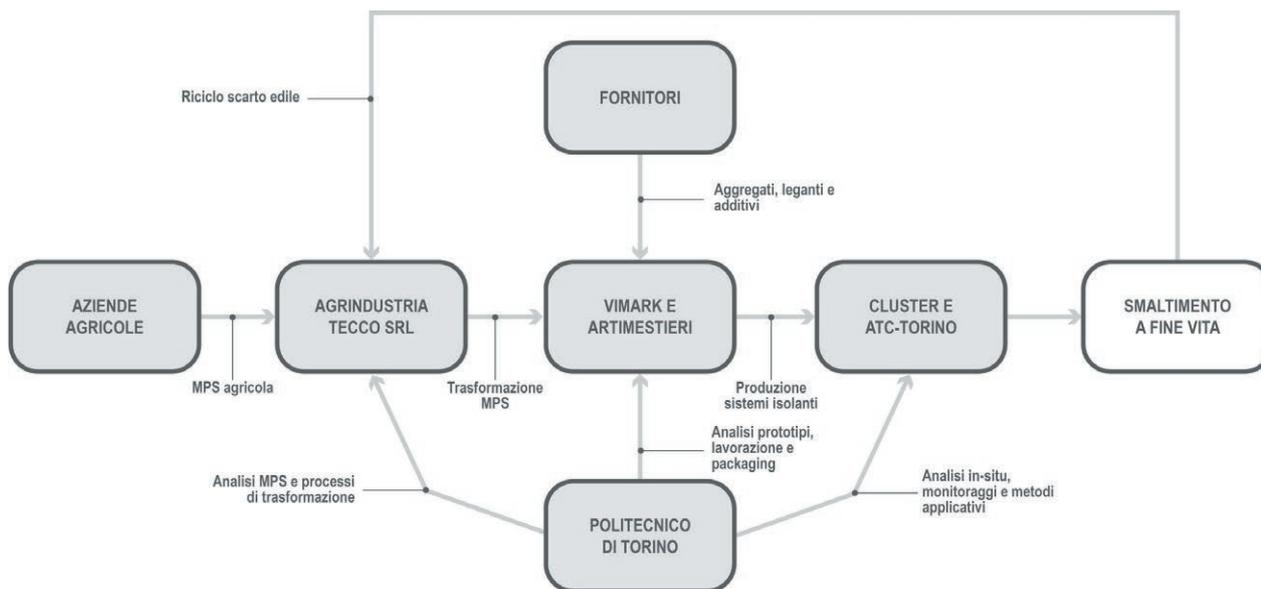


a)



b)





The results of the hypothetical scenario showed a potential reduction in energy consumption of 50% and a 36% decrease in CO₂ emissions. ECOFFI (*Ecological CONcrete Filled Fibers*) is a research project conducted in collaboration with Sarotto Group s.a.s (Narzole, CN) and Vicat Group (L'Isle d'Abeau, FR), with the aim of developing lightweight concrete conglomerates by recycling local agricultural by-products. ECOFFI was divided into three phases. Initially, a survey of the main crops in Piedmont was carried out, revealing that the largest quantities of potentially recyclable residues came from the cultivation of corn and rice. The second phase experimented with agricultural by-products, creating several samples. The ingredients used in the formulation of the concrete were: prompt natural cement (binder), wa-

ter, citric acid (additive), corn cob (aggregate) and rice straw (fibre). Each mixture was designed with varying percentages of binder and aggregate. The cob was sieved to identify the optimal particle size classes (0.85-1.04 mm and 2-6.3 mm). The results obtained on the first samples showed cohesion problems due to the hygroscopic properties of the cob and the presence of gaps between the granules. These gaps were subsequently filled with chopped rice straw fibre (2-10 cm) to make cohesive design mixtures. The measurement of the apparent density ($\rho = 540 \text{ kg/m}^3$) and the average characteristic compressive strength R_{ck} (UNI EN 772-1:2015, UNI EN 772-6:2002) were then determined on specimens matured for 30 days. The R_{ck} value obtained was 0.5 MPa for deformations of 10%, a figure that was in line with the benchmark products used for

comparative purposes³. The measurement of the apparent density ($\rho = 540 \text{ kg/m}^3$) and the average characteristic compressive strength R_{ck} (UNI EN 772-1:2015, UNI EN 772-6:2002) were then determined on specimens matured for 30 days. The R_{ck} value obtained was 0.5 MPa for deformations of 10%, a figure that does not differ from benchmark products used for comparative purposes³. As far as thermal performance is concerned (UNI EN 12664:2002, UNI EN 12667:2002), thermal conductivity ($\lambda = 0.088 \text{ W/mK}$) was monitored at the laboratories of the Energy Department of the Polytechnic of Turin. The λ value made it possible to determine the thermal transmittance ($U_{40\text{cm}} = 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$) of a block (20 x 30 x 40 cm). The block met the requirements for climate zones E and F. Upon completion of the monitoring activities (Fig. 4) an LCA study was

carried out to assess the environmental impacts related to 1 kg of product. The E.E. from non-renewable and renewable sources (3.03 MJ/kg) is in line with values determined for lightweight concrete blocks (Giordano, 2010). The share of primary energy from renewable sources (14%) was higher than average. The E.C. (-0.16 kgCO₂/kg) classifies the sample as "carbon neutral", due to the carbon "credit" absorbed by the plant components during the growth cycle. The industrial development project SI2 (Sistemi Isolanti Innovativi), financed by the Piedmont Region using POR-FESR funds (2010-2014), developed seven building products based on an integrated approach between building product manufacturing companies (Vimark and Artimestieri), a company that processes agricultural by-products (Agrindustria), two university

MPS derivanti da filiere agricole piemontesi sulla base di analisi di laboratorio di tipo meccanico (prove a compressione, trazione e flessione) tecnologiche (densità, imbibizione, compatibilità legante-aggregato, viscosità e lavorabilità) termo-fisiche (conduttività termica) e ambientali (LCA).

La validazione delle formulazioni è stata ottenuta attraverso ad un processo iterativo costituito da progetto/verifica/implementazione (Fig. 5), che ha portato le miscele ad una configurazione finale con prestazioni in linea con i prodotti sul mercato. In particolare, per gli intonaci, la selezione dei materiali e delle lavorazioni in ottica circolare è risultata vincente per ottenere un prodotto a basso impatto ambientale sia nella fase di produzione sia nella fase d'uso. Ad esempio, un kg di intonaco sperimentale (VGT 014) con tutolo di mais e paglia di frumento, ha un E.C. di 0,081 kgCO₂eq contro lo 0,0854 kgCO₂eq del termo intonaco di benchmark con EPS, mentre i valori di trasmittanza termica tra i due sono allineati (rispettivamente $\lambda=0,086$ W/mK e $\lambda=0,087$ W/mK). Le prestazioni termiche di laboratorio sono state confermate dalla campagna di monitoraggio su edifici dimostratori, i quali hanno fornito risposte positive in merito alle fasi di applicazione, alla compatibilità su supporti (laterizio, pietra) e alle performance termiche in situ (Carbonaro *et al.*, 2016).

Conclusioni

In relazione alle esperienze maturate risulta evidente che al fine di favorire la diffusione dei principi dell'economia circolare, è necessario sviluppare sistemi locali che coinvolgano soggetti di differenti settori, in modo che ogni risorsa (a partire dai rifiuti) sia sfruttata nella maniera più efficace. Un'azione sinergica tra soggetti normalmente non abituati alla collaborazione, richiede

departments (DAD and DENERG at Politecnico di Torino), the Agenzia Territoriale per la Casa di Torino and CLUSTER srl.

The project developed circular solutions for the renovation of existing buildings: three thermal plasters (one made with corn cob and straw and two made with cork obtained from used bottle corks), a thermal screed and a thermal paint (with cork from waste corks) and a thermodynamic plaster with phase change materials. In the first step, a range of MPS from Piedmontese agricultural supply chains were selected on the basis of mechanical (compression, traction and flexural tests), technological (density, imbibition, binder-aggregate compatibility, viscosity and processability), thermophysical (thermal conductivity) and environmental (LCA) laboratory tests. The validation of the formulations

was obtained from a design/verification/implementation process (fig. 5), which brought the mixtures to a final configuration with performances in line with the products on the market. For the plasters in particular, the selection of materials and processes from a circular point of view was successful in obtaining a product with a low environmental impact both during production and use. For example, one kg of experimental plaster (VGT 014) with corn cob and wheat straw has an E.C. of 0.081 kgCO₂eq, compared to 0.0854 kgCO₂eq of the benchmark thermal plaster with EPS, while the thermal transmittance values between the two are similar ($\lambda=0.086$ W/mK and $\lambda=0.087$ W/mK respectively). Thermal performance in the laboratory was confirmed by the monitoring campaign on demo buildings, which provided positive responses regard-

però competenze e saperi interdisciplinari che gli organismi di ricerca sono in grado di assolvere in tutto, o in parte, poiché già dotati di metodi e strumenti in grado di affrontare le sfide dell'innovazione. In particolare, all'architetto-ricercatore spetta il compito di governare i processi che possono portare alla valorizzazione di uno scarto e alla nascita di nuovi prodotti e di coordinare i saperi degli specialisti di volta in volta coinvolti nell'attività di ricerca.

I partner dei progetti hanno inoltre maturato competenze con possibili ricadute sul piano economico, che possono condurre a ulteriori sviluppi dei risultati. Si delineano altresì nuove potenziali figure imprenditoriali, coerenti con i nuovi modelli di business "circolari".

Vi sono ovviamente da considerare alcune criticità che competono la verifica dei requisiti connessi alla normativa tecnica che regola il settore delle costruzioni e limiti che riguardano la disponibilità delle risorse agro industriali che sono il risultato di processi di lavorazione stagionali.

Vi è infine da sottolineare l'indispensabile ruolo che possono assolvere gli organi del territorio, cui spetta il compito di sostenere anche economicamente l'innovazione di processo e di prodotto, e, di conseguenza, facilitare una transizione fattivamente circolare.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i partner industriali coinvolti nei progetti di ricerca citati.

Un grazie ai colleghi del gruppo di ricerca di Tecnologia e Ambiente del DAD, i colleghi del DENERG e il personale del LaSTIn (Politecnico di Torino).

ing application, compatibility on substrates (brick, stone) and in-situ thermal performance (Carbonaro *et al.*, 2016).

Conclusions

In relation to the experiences gained, it is clear that in order to promote the dissemination of the principles of the circular economy, it is necessary to develop local systems involving players from different sectors, so that every resource (starting with waste) can be exploited in the most effective way. A synergic action between players who are not normally used to working together requires interdisciplinary skills and knowledge that can be supplied, in full or in part, by research organisations, as they already have the methods and tools needed to meet the challenges of innovation. The architect-researcher, in particular, is responsible

for managing the processes that can lead to the use of waste and the creation of new products, and for coordinating the knowledge of the specialists involved in the research activity.

The project partners have also acquired skills with potential economic spin-offs, which can lead to further development of the results. New potential entrepreneurial figures are also emerging, consistent with the new "circular" business models. Obviously, there are some critical issues to be considered, such as the verification of the requirements related to the technical regulations governing the construction sector and limitations concerning the availability of agri-industrial resources generated by seasonal processing. Lastly, it is important to emphasise the fundamental role that can be played by local authorities, whose job is to support process and product innovation,

NOTE

¹ Il kit Harcob è un'attrezzatura ausiliaria per mietitrebbie da mais.

² Il valore medio di mercato oscilla in base al periodo della raccolta e alle dimensioni delle balle di paglia.

³ I prodotti benchmark utilizzati per la comparazione sono il Biosys e Prespaglia.

REFERENCES

Antonini E. (Ed), (2001) *Residui da Costruzione e Demolizione: una risorsa ambientale sostenibile*, Franco Angeli, Milano, Italia.

Arup (2017), *The urban bio-loop: growing, making and regenerating*, Arup, Milano, Italia.

Carbonaro, C., Tedesco, S., Thiebat, F., Fantucci, S., Serra, V. and Dutto M., (2016) "An integrated design approach to the development of a vegetal-based thermal plaster for the energy retrofit of buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 124, pp. 46-59.

European commission (2020), "Circular Economy principles for building design", available at: [https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984/](https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984/attachments/1/translations/en/renditions/native)

[attachments/1/translations/en/renditions/native](https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984/attachments/1/translations/en/renditions/native), (accessed 15 February 2021).

Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (Ed) (2020), "L'Italia del Riciclo", available at: <https://www.fondazionevilupposostenibile.org/> (accessed 15 February 2021).

Gangemi V. (Ed.) (2004), *Riciclare in Architettura*, Clean, Napoli, Italia.

Giordano, R., Montacchini, E.P. and Tedesco, S., (2020), "All you can't eat: research and experiences from agri-food waste to new building products in a circular economy perspective", in Salomone, R., Cecchin, A., Deutz, P., Raggi, A., Cutaia, L. (Eds.), *Industrial symbiosis for the circular economy: operational experiences*, Springer, pp. 149-164.

Giordano, R. (2010), *I Prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri.

Munaro, M.R., Tavares, S.F. and Bragança, L. (2020), "Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 260, 121134.

Yuan, B., Lu, M., Eskridge, K.M., Isom, I.D. and Hanna, M.A. (2018), "Extraction, identification, and quantification of antioxidant phenolics from hazelnut (*Corylus avellana* L.)", *Shells, Food chemistry*, Vol. 244, pp. 7-15.

also at economic level, thereby facilitating an effectively circular transition.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the industrial partners involved in the research projects mentioned.

Thanks also go to our colleagues from the Technology and Environment research team at the DAD, our colleagues at DENERG and the staff of LaSTIn (Politecnico di Torino).

NOTES

¹ The Harcob kit is a piece of auxiliary equipment for corn harvesters.

² The average market value oscillates depending on the harvest period and the size of the straw bales.

³ The benchmark products used for comparison are Biosys and Prespaglia.