

Catalogo ragionato dei prodotti biogenici in Europa. Una visione anticipatoria tra potenzialità tecniche e disponibilità

SAGGI E PUNTI
DI VISTA/
ESSAYS AND
VIEWPOINT

Olga Beatrice Carcassi, Ingrid Paoletti, Laura Elisabetta Malighetti,

Dipartimento di Architettura Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

olgabeatrice.carcassi@polimi.it

ingrid.paoletti@polimi.it

laura.malighetti@polimi.it

Abstract. I materiali biogenici hanno ricevuto l'attenzione globale per il fatto di provenire da materie prime capaci di autorigenerarsi, localmente disponibili e teoricamente biodegradabili, oltre che per la loro naturale capacità di stoccare l'anidride carbonica (CO₂) all'interno della biomassa. In un'ottica di economia circolare e di diffusione delle informazioni, questo catalogo ragionato mette a confronto le loro proprietà tecniche e ambientali assieme alla disponibilità all'interno del territorio europeo, per supportare i portatori di interesse verso una scelta consapevole dei prodotti e, durante la fase d'innovazione di processo, rispetto alla scelta delle materie prime per confezionare nuovi materiali/componenti edilizi da inserire in un mercato "circolare".

Parole chiave: Materiali biogenici; Scarto; Economia circolare; Industria 4.0; Innovazione di prodotto.

Introduzione

Il *Green Deal* Europeo (2019) spinge a costruire e rinnovare gli edifici esistenti in modo efficiente riducendo il consumo energetico e lo spreco delle risorse. Per decenni il focus è stato sull'efficienza energetica durante la vita degli edifici, e solo ultimamente il ruolo dell'energia incorporata ha ricevuto attenzione globale. Il motivo è legato al fatto che più gli edifici diventano ad energia quasi zero (NZEB), più le emissioni incorporate aumentano (Röck *et al.*, 2020). Una strategia efficiente per ridurle è lavorare a scala di materiale sostituendo i materiali convenzionali con quelli biogenici, con il beneficio ulteriore di stoccare il carbonio all'interno degli edifici stessi (Pittau *et al.*, 2018). Al contempo, il ritorno verso i materiali biogenici (come la paglia, e il legno) risponde anche al secondo obiettivo della direttiva europea, quello di spingere l'attuale modello del settore delle costruzioni verso un'economia circolare. Data la limitatezza delle risorse naturali e la produzione incontrollata di rifiuti, il fatto di scegliere materie prime capaci di autorigenerarsi e che sono scarti di altri processi, localmente disponibili e teoricamente biodegra-

dabili, contribuisce a sostenere un'economia senza rifiuti condividendo informazioni, realizzando *feedback* virtuosi tra processi di produzioni diverse e *upgrading* qualitativi nell'uso delle risorse. Ciò implica che la transizione verso tecnologie biogeniche sia supportata da una consapevolezza della effettiva disponibilità delle materie prime stesse.

Pertanto, l'obiettivo di questo saggio è di fornire, in una visione inedita, una base di partenza per sostenere questa trasformazione nel contesto europeo. Nello specifico, in una prima fase lo studio identifica le principali biomasse utilizzate come materiali da costruzione e le loro caratteristiche tecniche (derivate da un'attenta catalogazione dei prodotti presenti sul mercato e nella letteratura scientifica) per aiutare i portatori di interesse a capire l'attuale maturità e l'uso. Nella seconda fase, lo studio caratterizza le quantità di biomassa disponibili, secondo informazioni statistiche delle banche dati ufficiali, per capire le potenzialità di diffusione del loro uso in edilizia a scala industriale qualora le disponibilità risultassero significative.

Materiali biogenici per l'architettura in Europa

Il termine 'biogenico', significa derivato da biomasse (European Committee for Standardization, 2014); mentre un 'prodotto biogenico' è definito come 'completamente o parzialmente derivato da biomassa'. È essenziale caratterizzarne la quantità di biomassa ivi contenuta e al contempo quantificare la percentuale di carbonio biogenico (European Committee for Standardization, 2015), che permette il calcolo delle emissioni di CO₂ stoccate nella loro biomassa e, quindi, non emesse. L'attributo fondamentale di questi prodotto è

Reasoned catalogue of biogenic products in Europe. An anticipatory vision between technical potentials and availability

Abstract. Bio-based materials gained momentum in recent years due to their origin from raw materials capable of self-regeneration, locally available and theoretically biodegradable, as well as for their natural ability to store carbon dioxide (CO₂) within the biomass. In a circular economy and within the perspective of the diffusion of information, this reasoned catalogue compares their technical and environmental properties together with their availability within the European territory. The aim is to support stakeholders towards a conscious choice of products and, during the process innovation phase, to help them choose the raw materials for the composition of new building materials/components to be included in a "circular" market.

Keywords: Bio-based materials; Residues; Circular economy; Industry 4.0; Product innovation.

Introduction

The European Green Deal (2019) pushes to build and renovate existing buildings efficiently while reducing energy consumption and resource waste. For decades, the focus has been on energy efficiency during the use-phase of buildings, and only recently the role of embodied emissions has received global attention. The reason is related to the fact that the closer to zero energy buildings (NZEB) become, the more embodied emissions increase (Röck *et al.*, 2020). An efficient strategy to reduce them is to work at the material level, by replacing conventional materials with bio-based ones, with the additional benefit of storing carbon within the buildings' skins (Pittau *et al.*, 2018). At the same time, the return to bio-based materials (such as straw and wood) wants to respond to the second objective of the European

directive, which is to push the construction sector towards a more circular economy model. In a world where there is a joint action between finite resources and uncontrolled production of waste, choosing raw materials which are capable of self-regeneration and which are 'waste' from other processes, locally available and theoretically biodegradable, contributes to sustaining an economy without waste by sharing information, creating virtuous feedback between different production processes and qualitative 'upgrades' in the use of resources. This implies that the transition to biogenic technologies is supported by an awareness of the actual raw materials' availability.

Therefore, the aim of this essay is to provide, in a novel vision, a starting point to support this transformation in the European context. Specifically, in a first phase, the study identifies the

difatti la percentuale di materiale rinnovabile effettivamente contenuta al suo interno. Non è necessariamente vero che un prodotto *bio-based* è interamente costituito da biomassa. Questo fatto comporta delle problematiche poiché, se il resto della composizione materica non è di origine biogenica, è più difficile definire un progetto chiaro di riciclabilità o biodegradabilità per il fine vita dei prodotti presi in esame.

Analisi del mercato e della letteratura scientifica

Dall'analisi dei prodotti attualmente disponibili sul mercato europeo e dalla letteratura scientifica è stato possibile apprezzare la varietà di applicazioni per assolvere varie funzioni e comprendere appieno il livello di avanzamento tecnologico raggiunto.

Poiché la scelta delle finiture risponde principalmente a scelte estetiche del progettista e degli utenti finali (oltre al fatto che le prestazioni tecniche, la durabilità e gli anni di esercizio richiesti sono significativamente minori), si è scelto di escluderle dalla analisi e di concentrare l'attenzione sulle applicazioni come materiale isolante e strutturale. I risultati più interessanti dell'analisi sono raccolti e sintetizzati in tabella 1, dove è possibile apprezzare anche la varietà di biomasse utilizzate in ambito edilizio e le loro prestazioni tecniche e ambientali. Nello specifico le biomasse indagate sono: legno, grano, riso, erba, canapa, lana di pecora, cellulosa, sughero, posidonia oceanica e canne. Tutte, sono ottenute partendo dalla logica del 'rifiuto che diventa scarto' ad esclusione della canapa. Quest'ultima però ha la capacità di biorisanare il suolo, nonostante tale finalità non venga esplicitata dalle aziende produttrici qui analizzate. Un'ulteriore eccezione è relativa all'uso del legno strutturale e del sughero che hanno già una consolidata filiera 'circolare' nel mondo delle costruzioni.

main biomasses used as building materials and their technical characteristics (derived from a careful cataloguing of products on the market and in the scientific literature) to help stakeholders understand their current advancement and use. In the second phase, the study characterises the quantities of biomass available, according to statistical information from official databases, in order to understand the potential of diffusion of their use in construction on an industrial scale if the availability is significant.

Bio-based materials for European architecture

The term 'bio-based' means derived from biomass (European Committee for Standardisation, 2014); while a 'bio-based product' is defined as 'fully or partially derived from biomass'. It is, therefore, essential to characterise the

amount of biomass contained therein and, at the same time, the percentage of biogenic carbon (European Committee for Standardisation, 2015) to allow the calculation of CO₂ emissions stored in their biomass and, therefore, not emitted. As a matter of fact, the fundamental attribute of these products is the percentage of renewable material actually contained within it. At the same time, it is not necessarily true that a bio-based product is entirely composed of biomass, and if the rest of the material composition is not biogenic, it is more difficult to define a clear project of recyclability or biodegradability for the end-of-life phase.

Market and literature review

From the analysis of the products currently available on the European market and from the scientific literature review, it was possible to appreciate

Rispetto alla funzione strutturale, la biomassa ad oggi più utilizzata è il legno, il quale, oltre, alla sua tradizione millenaria, entra all'interno delle logiche costruttive contemporanee grazie l'avvento di miglioramenti tecnologici che permettono di superare i limiti dimensionali o di luce coperta, come per esempio accade con il legno lamellare (*CLT* e *Glulam*). Il mondo della ricerca sta cercando di sviluppare nuove formulazioni di calcestruzzo fibro-rinforzato aggiungendo fibre vegetali nella miscela, per migliorare da una parte la resistenza alla trazione e, al contempo, limitare le emissioni fossili per la riduzione dell'uso del cemento Portland come legante (Caldas *et al.*, 2020).

L'uso ai fini dell'isolamento termico risulta essere l'applicazione più diffusa. In particolare, i valori per la conducibilità termica l (tra 0,036-0,129 W/mK), di capacità termica specifica C (tra 1810 e 2500 J/kgK) e di resistenza alla diffusione del vapore acqueo m (tra 1-15), validano le proprietà di isolamento termico che si dimostrano un'ottima scelta da applicare a tutte le componenti dell'involucro. La porosità naturale è la chiave per il loro potenziale igrotermico. Con valori di m bassi, essi sono aperti alla diffusione dato che i pori, che prima permettevano il passaggio di acqua e sostanze nutritive all'interno della pianta, consentono nella configurazione di materiale da costruzione il passaggio dell'umidità evitando problematiche di condensa e cattiva qualità dell'aria all'interno dell'edificio. La capacità termica specifica di alcuni materiali biogenici è superiore al 50% rispetto ai materiali isolanti più diffusi (es. 2500 J/(kg K) della posidonia oceanica in comparazione agli 800 J/(kg K) del vetro cellulare). Questo e la densità relativamente alta (fino a 700 kg/m³ per la lolla di riso) offrono un'eccellente protezione contro il surriscaldamento estivo, per via della capacità di immagazzina-

the variety of building applications in order to fully understand the level of technological maturity achieved.

Since the choice of finishes mainly responds to aesthetic choices of the designer and end users (in addition to the fact that the technical performance, durability and years of operation required are significantly lower), it was decided to exclude them from the analysis and to focus attention on applications such as insulating and structural material.

The most relevant results of the analysis are collected and summarised in Table 1, where it is also possible to appreciate the variety of biomass used in buildings and their technical and environmental performance. Specifically, the biomass investigated are: wood, wheat, rice, grass, hemp, sheep wool, cellulose, cork, oceanic Posidonia and reeds. All of them are obtained starting
















from the logic of 'waste that becomes residue', except for hemp. The latter, however, has the capacity to bioremediate the soil, although this purpose is not explicitly stated by the producers analysed here. A further exception is the use of structural wood and cork, which already have a well-established 'circular' supply chain in the construction world.

For the structural function, the most widely used biomass today is wood, which, in addition to its ancient tradition, enters into the contemporary construction logic thanks to the advent of technological improvements that allow the size or length limits to be overcome, as, for example, with laminated timber (cross-laminated timber (CLT) and glued laminated timber (GLT)). The world of research is also trying to develop new formulations of fibre-reinforced concrete by adding plant

Tab. 01 | Catalogazione delle biomasse usate in edilizia rispetto a proprietà tecniche e parametri ambientali presenti nel mercato e nella letteratura scientifica Europea. Fonte: autore dell'articolo

Biomass Catalogue used in the construction sector showing the technical properties and environmental parameters found in the European market and scientific literature review. Source: author's scheme

Tab. 01

Biomass	In Building	Technical Properties						Environmental parameter		REFERENCES
		Symbol	f_t or f_c	λ	ρ	C	μ	Fire Resistance	Biomass Content (BC) [%]	
Unit		[N/mm ²]	[W/m/K]	[kg/m ³]	[J/(kg K)]	[-]	Class (EN 13501-1)			
WOOD										
CLT		$f_t = 338$ $f_c = 338$	0,12	420	1600	20+	D, d0	98	50	(Rubner Holding AG - S.p.A., 2018b) (Thomas and Martin, 2012)
Glulam		$f_t = 19,2$ $f_c = 24$	0,12	445	1600	20+	D, d0	98		(Rubner Holding AG - S.p.A., 2018a)
Fibre		/	0,038	52 ÷ 157	2100	2 ÷ 5	E	80		(CELENIT Isolanti naturali, 2021; GUTEX 2021; STEICO, 2021)
Wool		/	0,065	15	1810	1,5	B-s1, d0	38		
WHEAT										
Straw			0,048	110+ 379	2100	/	B-s1,d0	98	44,8	(EcoCocon, 2020) (de Ramos e Paula <i>et al.</i> , 2011)
RICE										
Husk			0,036- 0,129	130 + 700	/	6,6+ 12,3	B-s1, d0	100	39	(Ricehouse, 2018) (de Ramos e Paula <i>et al.</i> , 2011)
Straw			0,039	120	1900	3,1	REI 120 (EN 1365-1)	100		
GRASS										
Fibre			0,04	40	1850	1,5	E	70	42	(Gramitherm, 2020) (Adamovics <i>et al.</i> , 2018)
HEMP										
Fibre			0,041	37,5	2300	1,5	E	85-90	45	(Isohemp, 2020; Pittau <i>et al.</i> , 2018; THERMO Natur, 2017)
Shives				175 ÷ 424	1500- 1800	2,8+ 15	A1 e A2	80		
SHEEP										
Wool			0,035- 0,04	18 ÷ 37,5	1630+18 00	1+3	E e D-s2, d0	100	50	(Ekoplus, 2020; Nordtex, 2020; Thermafleece, 2020) (The Woolmark Company, 2019)
CELLULOSE										
Fibre			0,039	28 ÷ 65	2100	1	B-s2,d0	95	44,4	(ISOLARE 2021) (Bengtsson <i>et al.</i> , 2020)
CORK										
Solid			0,043- 0,047	180	2100	7+ 10	E	100	64,6	(Edizero, 2020) (Gil <i>et al.</i> , 2011)
SEAGRASS										
Oceanic Posidonia			0,037	/	2500	/	B2	100	41	(NeptuGmbH, 2021) (Pergent-Martini <i>et al.</i> , 2021)
REED										
Solid			0,055	155	/	2	B2	98	47	(Reet, 2017) (Bumane <i>et al.</i> , 2015)

Legend :  Insulation ;  Structure

re il calore per un tempo tale, in genere maggiore di 12 ore, da avere uno sfasamento ottimale della temperatura tra esterno ed interno durante il giorno.

Il comportamento al fuoco si dimostra interessante. Nel caso del materiale calce-canapa, dove si fa uso del canapulo (la parte legnosa della canapa) è possibile ottenere per esempio dei prodotti incombustibili in classe A, ossia con prestazioni analoghe a materiali convenzionali, come la lana di roccia. La posidonia e la lolla di riso, si collocano in classe B come materiali combustibili non infiammabili, mentre la maggior parte ricade in classe E ed D, come materiali combustibili non facilmente infiammabili. La prestazione acustica è invece una tematica non approfondita per questo genere di materiali, sebbene ricca di potenzialità.

I parametri ambientali, in relazione alla definizione di prodotto biogenico, riportano nella prima colonna la percentuale di biomassa (BC) contenuta; nella seconda il contenuto di carbonio (CC) che serve per quantificare quanto carbonio e, di conseguenza, CO₂ è catturata all'interno del prodotto invece di essere rilasciata in atmosfera. Nello specifico la quantità di carbonio stoccato è calcolato secondo l'equazione di seguito riportata (1):

$$\text{Stoccaggio di carbonio} = r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 \quad (1)$$

Dove r è la densità del prodotto e 3,68 è il peso molecolare dell'anidride carbonica rispetto al carbonio.

La questione delle 'emissioni evitate' è al centro di molti dibattiti scientifici (Hoxha *et al.*, 2020) ed i dati qui riportati facilitano l'approfondimento di questa tematica ad oggi molto discussa.

Oltre alla comprensione dei possibili impieghi architettonici e

fibres in the mixture, to improve both the tensile strength and, at the same time, limit fossil emissions by reducing the use of Portland cement as a binder (Caldas *et al.*, 2020).

The use for insulation appears to be the most common application given the biomass natural porous structure. In particular, the values for thermal conductivity (between 0.036-0.129 W/mK), specific heat capacity C (between 1810 and 2500 J/kgK) and resistance to water vapour diffusion m (between 1-15), validate the thermal insulation properties to be applied to all envelope components. Natural porosity is the key to their hygrothermal potential. With low m values, they are open to diffusion since in the configuration of building material, the pores, which previously allowed the passage of water and nutrients inside the plant, allow the passage of moisture, preventing

problems of condensation and poor indoor air quality. The specific thermal capacity of some biogenic materials is 50% higher than the most common insulating materials (e.g. 2500 J/(kg K) of oceanic Posidonia versus 800 J/(kg K) of cellular glass). This and the relatively high density (up to 700 kg/m³ for rice husk) offer excellent protection against overheating during summer due to the ability to store heat, typically lasting more than 12 hours, and create an optimal temperature offset between outside and inside during the day.

The data collected regarding fire resistance show that for the lime-hemp material, where hemp's woody part is used, it is possible to obtain class A fire retardant products, hence with a performance similar to conventional materials, such as rock wool. Others, such as oceanic Posidonia and rice husk, are in class B as non-flammable materi-

delle prestazioni tecniche dei materiali biogenici, è fondamentale indagare la disponibilità di queste materie prime rinnovabili, in particolare degli eventuali scarti non già utilizzati come *bio-fuel* e cibo.

Disponibilità europea

Considerando la domanda di biomassa in aumento in tutto il mondo, la necessità di un approccio equilibrato, globale e scientificamente solido delle fonti e degli usi della biomassa, il *Joint Research Center* (JRC) dalla Comunità Europea ha ricevuto mandato di fornire dati, modelli e analisi sull'offerta e la domanda di biomassa a livello europeo. La ricerca, che è partita nel 2015, copre tutte le fonti di biomassa. In questo contesto, il JRC ha sviluppato uno strumento interattivo *opensource EU Biomass Flows*, spiegato nel report di Gurría *et al.* (Gurría *et al.*, 2020). Questo *tool* fornisce una metodologia per la quantificazione della domanda e offerta di biomassa. Sebbene l'analisi comprensiva sia attesa per il 2022, il report intermedio propone un breve riassunto ed una spiegazione di come questi dati sono stati calcolati e una panoramica dello strumento stesso.

Partendo da questa analisi, è stato possibile apprezzare le informazioni esistenti in materia, e evidenziare le incertezze e le lacune che invece sono necessarie per completare il quadro attuale, quando è adottato un approccio *top-down*.

Difatti, rispetto alle biomasse sopra individuate, ad oggi solo per il grano ed il riso è stato possibile rifarsi a questo strumento. Per ovviare alla penuria d'informazioni, per le altre biomasse, altre banche dati di riferimento o report sono stati presi in considerazione (*Values Reference* in tabella 2).

La frammentarietà e inesattezza delle informazioni, ha messo in

als, while most are in class E and D, as combustible materials that are not easily flammable. Their acoustic performance has not yet been systematically analysed. The environmental parameters, in relation to the definition of biogenic product, show the percentage of biomass (BC) contained in each material in the first column; while in the second column, the carbon content (CC), which is used to quantify how much carbon and, consequently, CO₂ has been captured within the product instead of being released into the atmosphere. Specifically, the amount of carbon stored is calculated according to the following equation (1):

$$\text{Carbon storage} = r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 \quad (1)$$

Where, r is the product density and 3.68 is the molecular weight of carbon dioxide relative to carbon. The issue of

the 'avoided emissions' is at the centre of many scientific debates (Hoxha *et al.*, 2020) and the data reported here facilitate the deepening of them.

In addition to the possible architectural uses and technical performance of bio-based materials, to further push their entry into a conscious and competitive market, it is essential to understand the availability of these renewable raw materials, especially any residue that is not already used as biofuel and food.

European availability

Considering the increasing demand for biomass worldwide and the need for a balanced, comprehensive and scientific approach to biomass sources and uses, the European Community mandated the Joint Research Centre (JRC) to provide data, models and analysis on biomass supply and demand at European level. The research,

evidenza la limitatezza di un approccio di questo tipo, oltre ad aver dimostrato che per spingere la nascita di economie circolari è più efficace partire dalle caratteristiche peculiari di un luogo e dai suoi relativi residui. Ossia, un approccio *bottom-up*.

Dai riferimenti statistici è comunque possibile estrapolare le informazioni sul rendimento di una certa biomassa rispetto al terreno di crescita e anche le proporzioni, o *ratio*, per stimare i relativi residui inutilizzati e che non servono per la rigenerazione delle sostanze del suolo.

Se il paragrafo precedente ha permesso di comprendere le possibili potenzialità tecniche dei materiali biogenici, in questo, si sono voluti fornire i dati per capire le potenzialità di impiego in rapporto alle quantità in gioco concentrandosi sui dati numerici relativi agli scarti ottenibili da un certo territorio e da una certa biomassa. In tabella 2 sono stati inseriti i valori per le diverse biomasse analizzate assieme al tipo di residuo ottenibile, per anno di riferimento.

Se si tratta di biomasse agricole, i dati riportati sono quelli dell'area coltivata, della quantità prodotta di una certa biomassa, del rendimento del suolo specifico, delle proporzioni tra prodotto e scarto e, infine, degli scarti ad oggi non utilizzati. Il tasso di rimozione sostenibile per diverse colture è tra il 40-50% dei residui totali. In via conservativa, per le biomasse da coltivazione quali il riso, la paglia, la canapa e il canneto è stato usato il 40% per lasciare circa il 60% nei campi e favorire la rigenerazione delle sostanze nutritive nel suolo (Iqbal *et al.*, 2016). L'equazione (2) mostra come si è ottenuto il valore degli scarti disponibili da usare in altre filiere:

$$\text{scarti disponibili} = \text{produzione} \cdot \text{ratio tra prodotto e scarto} \cdot 40\% \quad (2)$$

Per la lana il dato interessante è la *ratio* tra pecora e lana prodotta, la quale è tutta considerata come uno scarto, ma si dovrebbe approfondire le quantità utilizzate nel mondo tessile.

La cellulosa da costruzione deriva dal riciclo della carta. Un dato interessante rilevato è l'eccesso di offerta di carta riciclata. Parte della carta europea recuperata, solitamente spedita verso il mercato cinese, non ha oggi un mercato di riferimento a causa dei divieti dello stesso stato cinese d'importare diverse categorie di 'rifiuti solidi', tra i quali la carta.

Il sughero è utilizzato per creare tappi delle bottiglie, ma solo il 30% soddisfa gli standard di qualità per fabbricare tappi di sughero naturale, mentre il resto è macinato e trasformato in granuli, e ritorna nel processo di produzione per fare tappi tecnici e sughero espanso, il quale è un ottimo candidato per dare origine a prodotti termoacustici.

La posidonia copre un'area nota di 1.224.707 ettari nel mar Mediterraneo. La sua presenza sulla costa è la testimonianza di un mare pulito e protegge le coste dall'erosione. Tuttavia, la pesca eccessiva praticata lungo le zone costiere può danneggiare l'ecosistema dei mari con una regressione stimata di queste praterie acquatiche pari al 34% negli ultimi 50 anni che provoca una presenza eccessiva dell'alga nelle spiagge. In virtù di questo, i comuni sono costretti a gestire la situazione e a smaltire, a proprie spese, la posidonia che è diventata pertanto un "rifiuto" generato da una dannosa azione umana. I dati sulle quantità sono troppo puntuali e pertanto non è stato possibile quantificare la poten-

which started in 2015, covers all biomass sources. In this context, the JRC has developed an interactive open-source tool called 'EU Biomass Flows', proposed by Gurría *et al.* (Gurría *et al.*, 2020). This tool provides a methodology for quantifying biomass supply and demand. Even if the comprehensive analysis is scheduled for 2022, the current report offers a brief summary and explanation of how this data was calculated and an overview of the tool itself.

Building on this analysis, it has been possible to appreciate the existing information on the subject while highlighting the uncertainties and information gaps that must be filled to have a complete picture of the current situation when a 'top-down' approach is taken. In fact, among the biomass previously identified, to date only the wheat and rice are inserted in this tool. To over-

Biomass	Year	Harvested Area	Production	Yield	Product to residue ratio	Available residues	Values Reference
Unit	[-]	[1000 ha] (year)	according to the biomass	[100 T dry matter/ha]	[-]	[1000 T dry matter]	
Wheat	2014	26550,53	137791 x 1000 T dry matter	5,2	1 : 1,31 (Ronzon, Piotrowski, and Carus 2015)	72202,627	(Ronzon <i>et al.</i> , 2015)
Rice	2014	431,06	2527 x 1000 T dry matter	5,9	rice grain/rice husk/rice straw = 1 : 0,25 : 1,25 (Zhang, Ghaly, and Li 2013)	husk = 631,80128 straw = 1263,60256	(Ronzon <i>et al.</i> , 2015)
Grass	2007	90000	31470 x 1000 T dry matter	0,35	1:1	31470	(Iqbal <i>et al.</i> , 2016)
Hemp	2013	15,7	85 x 1000 T dry matter	5,4	shives : fibres = 1,7 : 1 (Michael Carus 2017)	shives = 10 fibre = 17,2	(Carus, 2017)
Sheep wool	2015	/	85480 x 1000 heads (animals)	/	2.3–3.6 kg of raw wool can be derived from one sheep annually (Alyousef <i>et al.</i> 2020)	252,166	(Eurostat, 2021)
Cellulose	2018	/	57 x 1000 T dry matter	/	reused paper : oversupply of reused paper = 1 : 0,14 (EuRIC 2018)	8	(EuRIC, 2018)
Cork	2021	2200	340 x 1000 T dry matter	0,15	1 : 0,3 (Amorin Cork 2021)	102	(Amorin Cork, 2021)
Oceanic Posidonia	2015	1224	/	/	/	/	(Telesca <i>et al.</i> , 2015)
Reed	2013	4000	20000 x 1000 T dry matter	5	1 : 1	8000	(Köbbing <i>et al.</i> , 2013)

Tab. 02

zialità verso un ipotetico mercato delle costruzioni.

Rispetto all'uso del canneto, la letteratura sull'argomento dimostra che la regolare raccolta aumenta la vitalità della piantagione stessa ed è quindi raccomandabile.

Il legno non è stato inserito nell'analisi perché il suo flusso complessivo (Cazzaniga *et al.*, 2019) è caratterizzato già da un'elevata circolarità del settore rispetto agli usi a cascata dei singoli prodotti. In considerazione del fatto che la biomassa forestale è già largamente usata come materiale da costruzione e l'incremento dell'uso di questa biomassa potrebbe aumentare il carico ambientale sulle foreste, una strategia vincente potrebbe essere quella di fare un uso più efficiente dei suoi residui (come rami, foglie, corteccia e altre porzioni di legno), le cui rimozioni però non sono documentate.

Conclusioni

Con questo catalogo ragionato, è possibile supportare i portatori di interesse della filiera edilizia nella scelta dei prodotti e, durante la fase d'innovazione di processo, rispetto alla selezione delle materie prime per confezionare i nuovi materiali/componenti edilizi verso un mercato senza sprechi e circolare (Fig. 1). Guardando alla prima analisi, è possibile notare che i materiali biogenici non presentano per lo più capacità adeguate agli impieghi strutturali. Le applicazioni dei materiali *biobased* come isolanti sono invece oggetto di interesse per molte ricerche scientifiche e ambito di ricerca e sviluppo di aziende produttrici di componenti edilizi, grazie alla loro naturale struttura porosa e alle buone proprietà tecniche (Tab. 1). L'analisi delle disponibilità evidenzia l'importanza di migliorare l'accessibilità e la qualità dei dati dei flussi di biomasse nelle banche dati ufficiali, e, al con-

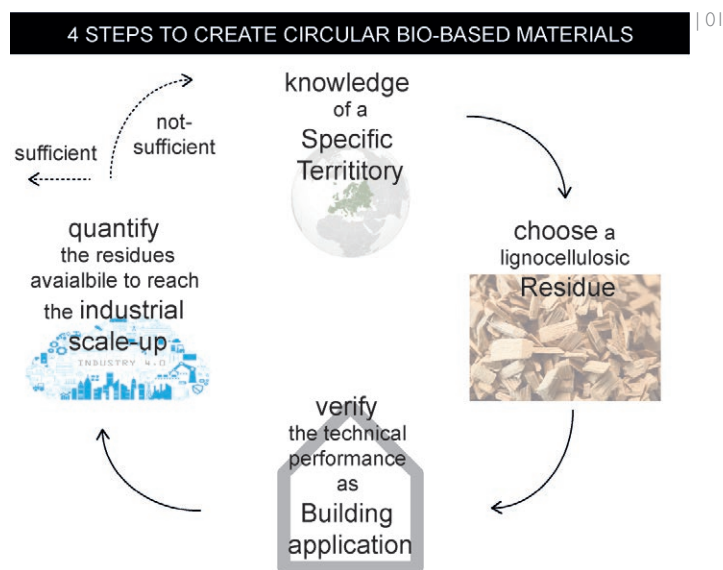
come this lack of information, other databases or reports have been taken into consideration for the other biomass ("Values Reference" in Table 2).

The fragmentary and inexact nature of the information has highlighted the limitations of an approach of this kind, and has also demonstrated that to push the creation of circular economies, it is more effective to start from the particular characteristics of a territory and to identify the residues according to a deep knowledge of its functioning. In other words, a 'bottom-up' approach. However, from the statistical references, it is possible to extrapolate information on the 'yield' of a certain biomass according to 'harvested area' and also the 'product to residue ratio' in order to estimate the relative unused residues that are not needed for the soil regeneration.

If the previous paragraph allowed us

to understand the possible technical potentials of bio-based materials, at this stage, the data to understand the potential use in relation to the quantities involved are provided by focusing on numerical data relating to waste obtainable from a certain territory and a certain biomass. In Table 2, the values for the different biomass highlighted were included along with the type of residue available by reference year.

For agricultural biomass, the data reported are those of the area cultivated, the quantity produced of a certain biomass, the specific soil yield, the proportions between product and residue and, finally, the remaining residue available. The sustainable removal rate for several crops is between 40-50% of total residues. Anyhow, conservatively, for crop biomass such as rice, straw, hemp and reed, the 40% were used to leave about 60% of total residues in



tempo, considerando la quota crescente in questo settore, promuovere un uso sostenibile e resiliente delle risorse. Seppure con le tecnologie emergenti di *remote sensing* si provi a diminuire il numero di passaggi e a rendere le informazioni più immediate, ad oggi i dati reperibili spesso sono incompleti ed incongruenti, a causa della difficoltà di misurare e quantificare tutti gli usi effettivi e le perdite.

Il limite rispetto agli strumenti ad oggi disponibili genera la necessità di sviluppare sistemi *bottom-up*. Essi partono da una conoscenza profonda di un territorio, la sua storia e le sue caratteristiche climatiche e di biodiversità, originando nuovi materiali per l'edilizia di origine *biobased* che siano economicamente e tecnicamente competitivi con i materiali convenzionali.

In questa direzione in un immediato futuro, le tecnologie 4.0, come lo *smart manufacturing* e la *block chain*, possono ulteriormente aiutare il loro ingresso nel mercato, ossia spingendo verso un'accettazione da parte dei professionisti, enti certificatori e dalla opinione pubblica, inserendoli all'interno nelle banche date

the fields and promote nutrient regeneration in the soil (Iqbal *et al.*, 2016). Equation (2) shows how the value of available residues to be used in other supply chains was obtained:

$$\text{available residues} = \text{production product to residue ratio } 40\% \quad (2)$$

The interesting data for the wool is the ratio between sheep and produced wool, all of which is considered waste, even if the quantity entering the textile world should be further investigated. The cellulose comes from recycled paper. An interesting finding is the oversupply of recycled paper. Some of this recovered European paper used to be shipped to the Chinese market. Nowadays, this quantity does not have a market due to the Chinese state's prohibitions on importing various categories of 'solid waste', including paper.

Cork is used to make bottle stoppers, but only 30% meets the quality standards to make natural cork stoppers, while the rest is turned into granules and goes back into the production process to make technical stoppers, expanded cork or composite cork which are excellent candidates for thermo-acoustic products.

The Posidonia covers an estimated area of 1,224,707 hectares in the Mediterranean Sea. Its presence on the coast is testimony of a clean sea and protects the coasts from erosion. Nonetheless, the overfishing practised along coastal areas can damage the ecosystem of the sea with an estimated regression of these aquatic meadows of 34% in the last 50 years causing an excessive presence of seaweeds on the beaches. To solve this, municipalities are forced to manage the situation and to dispose of the Posidonia at their own expense,

BIM come prodotti utilizzabili e noti, come si è iniziato a fare nel catalogo proposto in questo studio.

REFERENCES

- Adamovics, A., Platace, R., Gulbe, I. and Ivanovs, S. (2018), "The Content of Carbon and Hydrogen in Grass Biomass and Its Influence on Heating Value", *Engineering for Rural Development*, Vol. 17, n. 1, pp.1277-1281.
- Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohammadhosseini, H., Mustafa Mohamed, A., Siddika, A., Alrshoudi, F. and Alaskar A. (2020), "Utilization of Sheep Wool as Potential Fibrous Materials in the Production of Concrete Composites", *Journal of Building Engineering*, Vol. 30, pp. 101216.
- Amorin Cork (2021), "Recycling: A New Beginning", available at: <https://www.amorincork.com/en/sustainability/recycling/> (accessed 28 February 2021).
- Bengtsson, A., Hecht, P., Sommertune, J., Ek, M., Sedin, M. and Sjö, E., (2020), "Carbon Fibers from Lignin-Cellulose Precursors: Effect of Carbonization Conditions", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Vol. 8, pp. 6826-6833.
- Bumane, S., Poisa, L., Cubars, E. and Platace, R. (2015), "The Analysis of Carbon Content in Different Energy Crops", Nordic View to Sustainable Rural Development, *Proceedings of the 25thNJF congress*, Riga, Latvia, June 16-18, 2013, pp. 156-160.
- Caldas, L.R., Da Gloria, M.Y.R., Pitta, F., Andreola, V.M., Habert, G. and Toledo Filho, R. (2020), "Environmental Impact Assessment of Wood Bio-Concretes: Evaluation of the Influence of Different Supplementary Cementitious Materials", *Construction and Building Materials*, Vol. 268, pp. 121146.
- Carus, M. and Sarmento, L. (2017), *European Hemp Industry: Cultivation, Processing and Applications for Fibres, Shivs, Seeds and Flowers*, European Industrial Hemp Association (EIHA), Brussels, Belgium.
- Cazzaniga, N.E., Jonsson, R., Pilli, R. and Camia, A. (2019), *Wood Resource Balances of EU-28 and Member States*, EC Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg.
- CELENIT Isolanti naturali (2021), "BUILDING|CONSTRUCTION", available at: <https://www.celenit.com/it/elenco-prodotti-edilizia.php> (accessed 1 January 2021).
- de Ramos Paula, L.E., Trugilho, P.F., Napoli, A. and Bianchi, M.L. (2011), "Characterization of Residues from Plant Biomass for Use in Energy Generation", *CERNE*, Vol. 11, pp.17-20.
- EcoCocon (2020), "The Panel", available at: <https://ecococon.eu/gb/the-panel> (accessed January 1 2021).
- Edizero (2020), "EDISUGHERO Italian Cork", available at: <http://www.edisughero.com/it/> (accessed 1 January 2021).
- Ekoplus (2020), "DAEMWOOL", available at: http://ekoplus.nl/nl/_51north/product/documenten/DAEMWOOL_DSW_schapenwol_isolatiedeken.pdf (accessed 1 January 2021).
- EuRIC (2018), "EuRIC Statement on Paper Recycling Latest Developments - Tackling International Trade Issues to Move towards a More Circular Economy", available at: https://www.euric-aisbl.eu/images/PDF/ERPA_Statement_June2018.pdf (accessed 1 January 2021).
- European Committee for Standardization (2014), *EN 16575: Bio-based products - Vocabulary*.
- European Committee for Standardization (2015), *EN 16760: Bio-Based Products-Life Cycle Assessment*.
- Eurostat (2021), "Number of Sheep, Online Data Code: TAG00017", available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00017/default/table?lang=en> (accessed 1 January 2021).
- Gil, L., Marreiros, N. and Silva, P. (2011), "Insulation Corkboard Carbon Content and CO2 Equivalent", *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, Vol. 23, pp. 42-43.
- Gramitherm (2020), "products", available at: <https://gramitherm.ch/products/> (accessed 1 February 2021).
- Gurría, P., González, H., Ronzon, T., Tamosiunas, S., López, R., García Condado, S., Ronchetti, G., Guillén, J., Banja, M., Fiore, G. and M'Barek, which has therefore become a "waste" generated by a human action that has damaged the balance of an ecosystem. Data on quantities are too punctual and, therefore, it has not been possible to calculate the biomass that could potentially enter in a hypothetical construction market.
- With respect to reed use, literature on the subject shows that regular harvesting increases the vitality of the plantation itself and is therefore recommended.
- Wood was not included in the analysis because its overall flow (Cazzaniga et al., 2019) is already characterised by a high degree of circularity in the construction sector compared to the cascading uses of individual products. Given that forest biomass is already widely used as a building material and an increased use of it could cause an environmental burden on the forests, a winning strategy could be to promote a more efficient use of its residues (namely branches, leaves, bark and other portions of wood), which are however not documented.
- Conclusions**
- The intention of this reasoned catalogue is to support the stakeholders of the construction industry in their choice of products and, during the process innovation phase, in the selection of raw materials to produce new building materials/components to be included in a waste-free and circular market (Fig. 1).
- Looking at the first analysis, it is possible to notice that, apart from the components that make use of wood or wood fibres in the concrete mix, bio-based materials mostly do not present adequate capabilities for structural uses. On the contrary, applications such as insulation materials are the object of interest for many scientific researches and the field of research and development of companies producing building components. This interest is due to their natural porous structure and good technical properties (summarised in Table 1). The availability analysis highlights the importance of improving the accessibility and quality of biomass flow data in official databases and, considering the increasing share in this sector, promotes a sustainable and resilient use of resources. While emerging *remote sensing* technologies are trying to decrease the number of steps and make information more immediate, to date, the data available are often incomplete and inconsistent, due to the difficulty of measuring and quantifying all actual uses and losses.
- The limitation of the tools available to date generates the need to develop bottom-up systems. They start from a deep knowledge of a territory, its history and its climatic and biodiversity characteristics. This can be done by designing new building materials/components with a bio-based origin that are economically and technically competitive with conventional ones.
- In this direction, in the near future, the 4.0 technologies, such as *smart manufacturing* and *block chain* can further help their entry into the market, pushing towards acceptance by professionals, certification bodies and the public, by including them in the BIM databases as usable and known products, which the present catalogue already tried to begin creating with this study.

- R. (2020), *Biomass Flows in the European Union*, EC Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg.
- GUTEX (2021), "GUTEX Thermofibre", available at: https://gutex.de/fileadmin/uploads/Downloads/Technische_Merkblaetter/GUTEX_EN_TD_Thermofibre_2020-12.pdf (accessed 1 February 2021).
- Hiss Reet (2017), "Hiss Reet Platte - Die Ökologische Dämmung", available at: https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user_upload/nachhaltiges-bauen/hiss-reet-platte.pdf (accessed 1 January 2021).
- Hoxha, E., Passer, A., Ruschi Mendes Saade, M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Allacker, K. and Habert, G. (2020), "Biogenic Carbon in Buildings: A Critical Overview of LCA Methods", *Buildings and Cities*, Vol. 1, pp. 504–24.
- Iqbal, Y., Lewandowski, I., Weinreich, A., Wippel, B., Pforte, B., Hadai, O., Tryboi, O., Spottle, M. and Peters, D. (2016), *Maximising the Yield of Biomass from Residues of Agricultural Crops and Biomass from Forestry*, Ecofys Germany GmbH, Berlin, Germany.
- Isohemp (2020), "our products and services", available at: <https://www.iso hemp.com/en/hemp-blocks-naturally-efficient-masonry> (accessed 1 January 2021).
- ISOLARE (2021), "fibra di cellulosa: caratteristiche tecniche termiche", available at: <https://www.isolare.it/it/isolamento/fibra-di-cellulosa-caratteristiche-tecniche-term> (accessed 1 January 2021)
- Köbbing, J. F., Thevs, N. and Zerbe, S. (2013), "The Utilisation of Reed (*Phragmites Australis*): A Review", *Mires and Peat*, Vol. 13, pp. 1-14.
- NeptuGmbH (2021), "NeptuTherm", available at: <https://neptugmbh.de/> (accessed 1 January 2021).
- Nordtex (2020), "Prodotti", available at: <https://www.nordtex.it/> (accessed 1 January 2021).
- Pergent-Martini, C., Pergent, G., Monnier, B., Boudouresque, C.F., Mori, C. and Valette-Sansevin, A. (2021), "Contribution of *Posidonia Oceanica* Meadows in the Context of Climate Change Mitigation in the Mediterranean Sea", *Marine Environmental Research*, Vol.165, pp.105236.
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G. and Habert, G. (2018), "Fast-Growing Bio-Based Materials as an Opportunity for Storing Carbon in Exterior Walls", *Building and Environment*, Vol. 129, pp. 117-29.
- Ricehouse (2018), "I PRODOTTI RICEHOUSE", available at: <https://www.ricehouse.it/prodotti> (accessed 1 January 2021).
- Röck, M., Ruschi Mendes Saade, M., Balouktsi, M., Nygaard Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T. and Passer, A. (2020), "Embodied GHG Emissions of Buildings – The Hidden Challenge for Effective Climate Change Mitigation", *Applied Energy*, Vol. 258, pp. 114107.
- Ronzon, T., Piotrowski, S. and Carus, M. (2015), "Biomass Estimates. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset]", available at: <http://data.europa.eu/89h/jrc-datam-biomass-estimates> (accessed 25 January 2021).
- Ronzon, T., Piotrowski, S. and Carus, M. (2015), *DataM - Biomass Estimates (v3): A New Database to Quantify Biomass Availability in the European Union*, EC Joint Research Centre, JRC Technical Report, Luxembourg, Luxembourg.
- Rubner Holding AG S.p.A. (2018a), "Glued Laminated Timber – Brettschichtholz", available at: https://www.rubner.com/fileadmin/marken/rhi/Downloads/Zertifizierungen/ENVIRONMENTAL_PRODUCT_DECLARATION/Environmental_Product_Declaration.pdf (accessed 1 January 2021).
- Rubner Holding AG S.p.A. (2018b), "Rubner XLAM-Cross Laminated Timber-Brettsperrholz", available at: https://www.rubner.com/fileadmin/marken/holzbau/About/Certification/Bressanone/ENG_EPD_Cross_laminated_timber.pdf (accessed 1 January 2021).
- STEICO (2021), "Wood Fibre Insulation", available at: <https://www.steico.com/en/products/wood-fibre-insulation/> (accessed 1 January 2021)
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Frascetti, S., Gristina, M., Knittweis, L., Martin, C.S., Pergent, G., Alagna, A., Badalamenti, F., Garofalo, G., Gerakaris, V., Pace, M.L., Pergent-Martini, C. and Salomidi, M. (2015), "Seagrass Meadows (*Posidonia Oceanica*) Distribution and Trajectories of Change", *Scientific Reports*, Vol. 5, pp.1-14.
- The Woolmark Company (2019), "Wool and The Carbon Cycle", available at: https://www.woolmark.com/globalassets/_06-new-woolmark/_industry/research/factsheets/gd2405-where-does-carbon-come-from_122.pdf (accessed 1 January 2021).
- Thermafleece (2020), "Thermafleece-Cozy Wool", available at: <https://www.thermafleece.com/product/thermafleece-cosywool-sheep-s-wool-flexible-slab> (accessed 1 January 2021).
- THERMO Natur (2017), "THERMO HANF PREMIUM", available at: https://www.hempflax.de/wp-content/uploads/170511_TDB_THERMO_HANF_PREMIUM.pdf (accessed 1 January 2021).
- Thomas, S. C. and Martin, A. R. (2012), "Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis", *Forests*, Vol. 3, pp. 332-52.
- Zhang, Y., Ghaly, A.E. and Li, B. (2013) "Physical Properties of Rice Residues as Affected by Variety and Climatic and Cultivation Conditions in Three Continents", *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, pp. 1757-68.