

### Abstract

*In construction, as it happens in other sectors of production, there is a continuous interest for the sustainability and for the protection of the environment. Nowadays The principle behind plannings and realizations is to live the Earth, building on it without twisting the natural laws, that are known thanks to the tests made in the last decades. One of the diffused and more effective ways to reach this objective are that to use recycled material. Certainly, these elements are considered refusals but they can be construction materials, with elevated technical characteristics and good performances, often as the traditional ones. This modus operandi represents an efficient solution to the waste of natural resources and, at the same time, an effective waste disposal method. Recycled materials are a valid alternative to typical ones, their transformation process requires less energy and less consumption of raw materials than production from scratch. The studies on waste disposal and processing operations show that it's more convenient to directly reuse waste, both for the effects on the ecosystem and for the economic point of view. These are simply recovered and, with few operations, become secondary raw materials that can evolve into different elements without any transformation, representing an integration and an alternative. In the article, the analysis of existing buildings, realized with high percentages of recovered or reused materials, shows which materials are actually used and which elements have been realized with them. These materials have been worked with sustainable and not very common construction techniques. These must adapt to the element and must enhance its main characteristics. The purpose of the article is to show that the studies and experiments, supported by examples of buildings made of recycled materials, can educate to accept the second raw material in the same way as the original one.*

**Keywords:** *Recycle and Upcycle | Earthship | Cardboard Tubes | Waste Frame | Containers*

### Introduction

The three words living, building and recycling are linked by a logical thread that comes from the philosophical thought and the theory of the German philosopher Martin Heidegger. Through the philosophical approach, Heidegger wants to understand what living and how living and building are linked to each other.

First of all, he analyses the etymological connection between these two words: living and building. The origin of the German term "bauen", which means to build, is "buan" that it specifies the action to remain, stay and, therefore, live. It turns out that building means living, understood as a symbol of man's experience on Earth, of "being there" as Heidegger would say. According to the philosopher, building is a thoughtful action of man towards the Earth, that it allows him to manifest his existence and to protect his space. The perception of living is not just a personal experience that must be lived in a subjective way or shared with others, but it should be a teaching that must be passed on to new generations with approaches that change over time, with rhythms that follow the mutations of the living. Living the Earth doesn't mean dominating it or exploiting it without limits, it's a synonymous with protecting the built and, in general, defending the Earth. One of the ways to protect the environment is to reduce the availment of natural sources, giving new life to the second-hand materials. Therefore, from the philosopher's thought, we understand that the binomial "living, building" can be completed with "recycling".

### Recycled and recyclable materials

One of the main topics currently in construction is the use of constructive principles that don't cheat natural laws. The structure must be sustainable throughout its life cycle, starting from the choice of materials, going through the construction, ending to its administration over time. In this connection, the first thing to do is to choose raw materials, according to their production cycle and their impact on the nature.

We need local and renewable sources to build sustainable; recycled materials are an excellent choice because they're accessible and available in large quantities all over the world and they don't influence the waste of natural raw materials. The recovery operations transform garbage into a secondary material, it's a primary resource with characteristics and performances that meet requirements of construction. These operations avoid the waste of materials and of the energy employed to produce them.

Man has always used to build his house with waste materials because they were easily available, free and ready to use, but currently we have a negative opinion on scrap. They're



Fig. 1 - Paper Log House, Shigeru Ban- Kobe, Japan, 1995.



Fig. 2 - Paper Log House, Shigeru Ban- Kobe, Japan, 1995.



Fig. 3 - Nomadic Museum, Shigeru Ban.

seen as elements that have exhausted their efficiency and are unsuitable, not even for buildings. In the common imaginary, we can find that kind of buildings, made by refuse, in the city's suburbs, where the populations exploit poor resources to build their homes, like in the favelas and the slums. Instead, many examples show that waste is an alternative to typical construction material because it use few energies to be work, has a low price and it acquires a new function becoming material

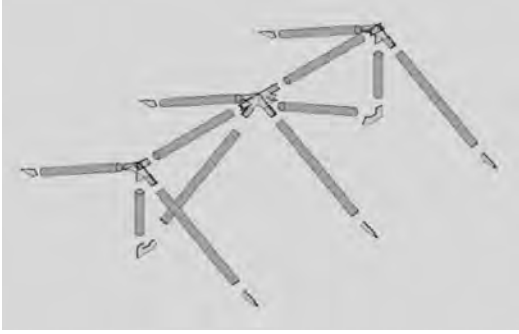


Fig. 4 - Sketch of the roof in cardboard tubes.



Fig. 5 - Papercrete, conglomerate made of paper, sand, concrete and water.



Fig. 6 - Bricks made of papercrete.

with different characteristics but same performance compared to traditional one. There are two ways to understanding recycling in modern construction. We can talk about recycling and recovery of existing spaces that are regenerated and change their intended use and, at the same time, about constructions with recycled and recyclable materials that acquire new functions and become building elements.

Houses built with waste are interesting for materials and construction types and also have educational value for citizens, pushing them to apply more and more recycling. Therefore, we can limit the impact on the ecosystem, reduce the use of natural sources and save money and energy for transformation.

We can distinguish two different actions: recycling and upcycling. We speak about recycling if waste is transported in sorting plants and, subsequently, in production plants to acquire shape and specific features. Instead, we speak about upcycle if materials are directly used in their original condition, without any composition and functionality transformation and without costs and expenditure of energy to regenerate them.

These materials are simply recovered and, with few operations, become second-hand materials useful to represent integration and alternative to traditional ones.

Paper, plastic, aluminum, glass and steel have recycling processes with overall impacts tolerable by the environment and, therefore, they're sent to selection plants.

Between the most recyclable and recycled materials certainly there is paper. As the matter of fact, the cellulose, which paper is made, can be used and turned several times with a lower price than the price we need to produce wood pulp. Recycled paper in construction doesn't remember anything solid and durable. However, this preconception was challenged by the Japanese architect Shigeru Ban, the creator of a new architectural language, he showed that it's possible to build quality architectures even with poor materials. He built emergency spaces (Fig. 01, 02) and structures for temporary exposures (Fig. 03), creating a way of building based on the use of cardboard tubes (Fig. 04). The recovered paper is carefully selected for the creation of cardboard tubes, they are firstly produced gluing on itself a sheet of recycled paper, then they are worked with substances that protect



Fig. 7 - Waste frame method.



Fig. 8 - Savno' s building, Conegliano, 2008.



Fig. 9 - Savno' s building, Conegliano, 2008. Thermal and acoustic insulation panels made of recycled PET. Available at: [www.savnoservizi.it](http://www.savnoservizi.it)



Fig. 10 - Savno' s building, Conegliano, 2008. Floor insulation made of cork. Available at: [www.savnoservizi.it](http://www.savnoservizi.it)



Fig. 11 - Escuela sustentable, Michael Reynolds - Jaureguiberry, Uruguay

them from the atmospheric agents. The tubes have good technical performances that allow their employment for the creation of curtain walls. They are gotten preparing the tubes in more lines and then filling with ground and insulating materials to increase their stability. At the end, the wall is completed adding two plates of OSB panels on the two faces, inside and outside.

One of first applications of recycled paper in construction is *papercrete* (Fig. 05), it is a light conglomerate and insulator made by paper, sand, concrete and water, that it can highly be used in blocks and panels (Fig. 06), poured or used for plaster. Currently, in the United States, there are some examples of buildings made by papercrete, mostly auto-built residences of small dimensions. Therefore, recycled paper is used mainly to build curtain walls and insulating materials. Much of the world's waste is plastic, which it must be recycled or reused as much as possible. In construction, recycled plastic is widely used for the construction of flooring, insulating panels, pipes, crawl spaces and window frames. The most extreme experimental projects involve the use of plastic bottles to produce curtain walls and the use of yoghurt pots such as disposable formworks in the concrete casting for the creation of a ventilated crawl space. The jars are a set of dense precise supports on which the formwork is arranged to contain the cast of the concrete slab. The

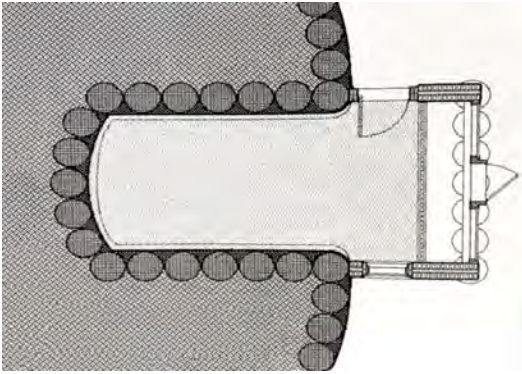


Fig. 12 - Plan of a common Earthship.

solution, which is a transposition of the one using the igloos, guarantees ventilation in the two orthogonal directions. Aluminum and steel are highly recyclable materials that have in the primary form the same characteristics that can be found after the recycling. With these materials we can create items as steel beams and pillars or aluminum frames and protection elements. The object mainly reusable in construction is the can; according to Michael Reynolds, a South American architect, it can be used for making external curtain walls. The architect has developed two constructive methods: the can-unity and the waste frame. The first one involves the assembly of eight cans, positioned orthogonal to each other and bound by a metal wire. Differently, the second (Fig. 07) involves the creation of the wall with a double layer of cans horizontally, divided by one or more slabs of insulating material and bound with mortar. Even glass, thanks to its properties, can be melted and recycled endless times; once recycled it's used for the construction of tiles, floors and insulating panels.

### Case studies with recycled materials

In Italy, the first building made with recycled materials is in Conegliano, near Treviso, where



Fig. 13 - Escuela sustentable, Michael Reynolds - Jaureguiberry, Uruguay. Detail of a pilaster

is based the Savno, a consortium that deals with waste management. The construction (Fig. 08) is almost entirely built with materials coming from recycling and it's rich in technological solutions, such as photovoltaic, geothermal and rainwater collection systems, which make it sustainable and exemplary with regard to environmental protection. The reinforced concrete structure is made of steel reinforcing bars, shaped using 130000 kg of recycled steel and, inside the curtain walls, there are two frames, made of the same material, supporting the covering boards. The interspace between the two frames is filled by thermal and acoustic insulation panels made of recycled PET (Fig. 09) deriving from 33.000 plastic bottles, while the closing panels are made of cork, from sawmill waste. The insulation of the floor (Fig. 10), however, is made of cork, from about 1 million caps, and cellulose fibers, made from recycled newspapers with the addition of mineral salts to increase the resistance to fire. In many cases, we choose to reuse an object in its original composition because, even if it is a waste in the original sector, its function doesn't end and it can be a resource for the construction. Well disused objects and their components are used especially when the recycling technique is too expensive both energetically and economically. An example is the rubber that requires a amount of thermal energy of recycling higher than that necessary to produce a new one. For this reason, the tires are used in their original composition to create ventilated crawl spaces or external walls, saving recycled energy. Earthships are passive buildings built with tires, developed by the Mexican architect Michael Reynolds (Fig. 11). The architect plans a sustainable and energy self-sufficient living space, designed to minimize the use of implants that, to fulfill their functions, have a too high environmental impact. In order to cover the heating requirements, it's necessary to choose appropriate materials that act as heat storage batteries, in order to ensure the thermo-hygrometric comfort inside the home. A massive and dense material stores

temperature and it is able to release heat to the surrounding space if it's necessary. According to the architect, the building materials must be conform to the notions of sustainability and independence: they should be easily available and maintain a low energy impact, so we prefer materials that don't need transformation with the resulting use of energy. In his opinion, the material that meets all these requirements is the tire full of tamped earth, it's a resistant material, accessible all over the world and having a shape that makes it a block to build a wall. The prototype designed by the architect told before has a characteristic "u" shape (Fig. 12), with three very thick and buried walls conforming the edifice to the boundary and it activates thermal exchanges with ground mass covering them, to avoid losses heat. The south wall, on the other hand, is designed as a sloping glass greenhouse to store warmth. The unit isn't an house but a single room, so the modules are multiplied several times to create a building with different spaces and related to the project site. For build a wall, the tires are settled in staggered rows and are filled with soil, then they are constipated to introduce more material, leveled, stacked on top of each other and, finally, they are covered by a casting earth raw that makes them compact. The lower part of the wall also acts as a foundation, the first row of tires is in direct contact with the ground in such a way as to have a continuous thermoregulatory exchange that it allows to cool the indoor in the hot season and to heat it in the cold one. The interior walls and the external columns (Fig. 13) are filled with aluminum cans fixed with a sand and cement mortar, they do not have any structural task but they act as insertions and their upper part works like a support net for cop plaster. Another example of second-hand objects is made by containers that they turn into new materials. Freight containers are modular steel elements that can be assembled in infinite ways with simplicity and economy as they are readily available and, moreover, they have a lower transformation cost than that of traditional reinforced concrete buildings. The



Fig. 14 - Upcycle House, Lendager Arkitekter - Nyborg, Denmark, 2013



Fig. 15 - Upcycle House, Lendager Arkitekter - Nyborg, Denmark, 2013. Detail of foundation's pile



Fig. 16 - Upcycle House, Lendager Arkitekter - Nyborg, Denmark, 2013. Containers used for the structure

containers act as a structure and a cover for the building, therefore, the use of other materials, such as bricks and concrete, decreases and, at the same time, the eco-sustainability of the construction is extended. Obviously, containers can also be used with other recycled materials, as for the Upcycle House (Fig. 14), a project by the Danish architects Lendager Arkitekter. The house is made of waste materials; hence the use of the term upcycle which in English means creative reuse of waste. The construction is placed on metal helical foundation piles (Fig. 15) and on a cellular glass granulate base, obtained from glass bottles recycling and used to isolate the structure from the ground. Above the granulated glass, there is a further base in polystyrene, obtained by crumbling the common food packs. The supporting structure (Fig. 16), which rests directly on the insulating mat, is made of two containers previously modeled in the laboratory to make doors and windows and to introduce the utilities. The curtain walls are made by two parts divided by the container. The external face is made by plasterboard panel covered with richlite, a material made by recycling paper, that protects from moisture and atmospheric agents. The internal one is coated by OSB panels, made of sawmill waste, and insulated with paper yarn obtained from old newspapers. The flooring is composed of recycled plastic granules and wood, with the exception of the kitchen made with champagne corks and generic ones and wood waste. Finally, the roof is covered by aluminum panels recycled from beer cans, also used for the fronts.

### Findings and conclusions

The analysis of the case studies shows that the waste has been placed in the building industry as an integration and an alternative to traditional materials and it can be useful for the construction of buildings with various intended uses. The great values of these materials are lower cost and time of works, as in many cases, the elements are dry assembled. This choice allows to industrialize the production process, to extend the useful life of the materials in the demolition phase and to increase, therefore, the recyclability rate of buildings. To such intention, we remember the example of the Upcycle House in which every element has been conceived and assembled so that, once the construction is damaged, the materials can be recycled or easily reused for the construction of other buildings can be recycled or comfortably used

a second time for the construction of other buildings.

The buildings made of recycled and recyclable materials, in short, are advantageous because they allow to preserve the natural raw materials, to reduce the impact on the environment and, finally, they are educational towards people, as they raise awareness on separate waste collection. An example is the building of the Savno society that manages the refusals in Conegliano (Italy). The building is made by recycled materials in order to show what can be gotten with the recycling and also to sensitise citizens to protect the territory departing from simple daily actions. The use of recycled and re-used materials allows to turn waste into building materials enabling, at the same time, to avoid its disposal in dump or through incinerator. In such way the impact on the ecosystem is limited, the use of natural resources decreases and the energy and the money necessary to transform the natural materials are saved. The concept of sustainability reaches maximum absolute when the recycled materials are used in combination with passive energetic solutions. The Earthships are an example of self-sustaining unities in which every element assumes such a conformation to guarantee the energetic self-sufficiency and the attainment of comfort inside the building without the use of the traditional active systems. Currently, applications are limited due to skepticism rooted in society towards innovation in general and recycling. There is still a long way to go so that we can educate ourselves to accept the second raw material in the same way as the original one, even more an house mainly composed of such materials. Nowadays, to gain this attitude, we can take more advantage of practical experiences related to the materials currently in circulation, they are provoking enough to ignite the attention on the recycling of materials and components that are at the end of their life cycle.

Richard Feynman, the father of nanotechnology<sup>1</sup>, in 1959 in a famous lesson said «There's Plenty of Room at the Bottom», he alluded to the possibility of direct manipulation of individual atoms. In the same way, it could be argued that the potential of recycled materials and components is certainly limitless and far superior to what it may seem

today and *there is a lot of space down at the bottom.*

### NOTES

1. The scientific discipline of the nanotechnology is born, at least in conventional sense, thanks to the American physicist Richard Feynman (Nobel Prize for the Physics in the 1965). He shows the possibilities regarding the manipulation of the matter at the atomic and molecular level in the chemical synthesis. During the annual meeting of the Society of American Physics, on 29 th December 1959, in a lesson from the title "There's Plenty of Room at the Bottom" he promotes a challenge. The challenge concerns the intuition, symbolic and famous, on the possibility to transcribe the 24 volumes of the British encyclopaedia on the point of a pin, that is 25.000 times smaller than the sum of the surfaces of all the pages of the same encyclopaedia.

### REFERENCES

- [1] Cuomo, F., Sferra, A., Pennacchia, E., (2015), *Uso, disuso, riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*, Franco Angeli, Milano
- [2] Jodidio, P. (2015), *Shigeru Ban. Complete Works 1985-2015*, Taschen GmbH, Colonia.
- [3] Reynolds, M., (1990) *Earthship: How to Build Your Own: 1*, Solar Survival Pr.
- [4] Rogora A., Scudo G., (2013), *Costruire alternativo - Materiali e tecniche alternative per un'architettura sostenibile*, Wolters Kluwer, Italia.
- [5] Rogora A. (2006), *Carta e cartone in edilizia*, Edicom Edizioni, Monfalcone (GO).
- [6] Tondi, A., Delli, S. (a cura di), (1998), *La casa riciclabile. I rifiuti in edilizia*, Edicom Edizioni, Monfalcone (GO).
- [7] *Earthship*. [Online] available at: <https://www.earthshipglobal.com/>
- [8] *Savno*. [Online] available at: <http://www.savnoservizi.it/>
- [9] *Shigeru Ban*. [Online] available at: <http://www.shigerubanarchitects.com/>
- [10] *Upcycle House*. [Online] available at: <https://lendager.com/arkitektur/upcycle-house>

### ABITARE, COSTRUIRE, RICICLARE

#### Sommario

*L'edilizia, in linea con quanto accade in altri settori di produzione, è mossa da un continuo interesse per la sostenibilità e per la tutela dell'ambiente. Il principio alla base delle attuali progettazioni e realizzazioni è quello di riuscire ad abitare la Terra costruendo su di essa, senza però stravolgere le leggi naturali, già ampiamente messe alla prova nei decenni scorsi. Uno dei modi meno diffusi e, al contempo, più efficaci per perseguire questa finalità è quello di utilizzare materiali riciclati. Tali elementi sono classificati come rifiuti ma cessano di esserlo per convertirsi in materiali da costruzione, con elevate caratteristiche tecniche e buone prestazioni, molte volte al pari dei materiali tradizionali. Questo modus operandi rappresenta un'efficiente soluzione al depauperamento delle risorse naturali e, allo stesso tempo, un efficace metodo di smaltimento dei rifiuti. I materiali riciclati sono una valida alternativa ai tipici materiali edili, a patto che il processo di trasformazione richieda un consumo di energia e materie prime minore rispetto alla produzione ex novo. Dagli studi sui metodi di smaltimento dei rifiuti e sulle operazioni di trasformazione risulta ancora più conveniente, sia dal punto di vista degli effetti sull'ecosistema sia dal punto di vista economico, riutilizzare direttamente le materie di scarto. Tali*

materiali sono semplicemente recuperati e, con poche operazioni, diventano materie prime seconde che possono dare vita a diversi elementi di fabbrica senza alcuna trasformazione, rappresentando un'integrazione e un'alternativa ai tradizionali materiali edili. Basandosi sull'analisi di edifici esistenti realizzati con alte percentuali di materiali recuperati o riutilizzati, nell'articolo verranno mostrati quali sono i materiali effettivamente impiegati e quali elementi di fabbrica sono stati realizzati con il loro impiego. L'utilizzo di questi materiali, essendo ancora in fase di studio, nelle applicazioni note, ha richiesto la sperimentazione di nuove tecniche costruttive sostenibili poco diffuse che si adattassero alla natura dell'elemento e ne esaltassero le caratteristiche principali. Il fine dell'articolo è quello di mostrare che gli studi e le sperimentazioni, avvalorati da esempi di edifici realizzati con materiali riciclati, possono educare ad accettare la materia prima seconda alla stessa stregua di quella originaria.

**Parole-chiave:** Riciclare e Riutilizzare | Earthships | Tubi di cartone | Waste frames | Containers

### Introduzione

I tre termini abitare, costruire e riciclare sono legati da un filo logico che prende forma grazie al pensiero e alla teoria del filosofo tedesco Martin Heidegger. Heidegger, attraverso l'indagine filosofica, si pone come obiettivo quello di capire cos'è l'abitare e come l'abitare e il costruire siano legati tra di loro. Nella logica della riflessione heideggeriana, la convergenza tra questi due termini è fortificata dalla radice etimologica che lega intimamente abitare e costruire. La radice del termine tedesco "bauen", che significa costruire, è "buan", che indica l'azione del "rimanere", del "trattenersi" e quindi dell'abitare. Da ciò risulta come il costruire indichi proprio l'abitare, inteso come il simbolo dell'esistenza dell'uomo sulla Terra, dell'esserci come direbbe Heidegger. Il costruire, secondo il filosofo, è un'azione premurosa dell'uomo nei confronti della Terra, che serve per manifestare la sua esistenza e per tutelare lo spazio occupato. «I mortali abitano in quanto essi salvano la terra [...] Salvare non significa soltanto strappare da un pericolo, ma vuol dire propriamente: liberare (freilassen) qualcosa per la sua essenza propria. Salvare la terra è più che utilizzarla o, peggio, sfiancarla. Il salvare la terra non la padroneggia e non l'assoggetta; da questi atteggiamenti, manca solo un passo perché si instauri uno sfruttamento senza limiti»<sup>1</sup>.

La percezione dell'abitare non è soltanto un'esperienza personale, da poter vivere in maniera soggettiva o in condivisione con altri, ma un insegnamento da trasmettere alle nuove generazioni con approcci che mutano nel tempo, con ritmi che più o meno seguono le mutazioni dell'abitare stesso. Abitare la Terra non vuol dire soggiogarla, dominarla o sfruttarla senza limiti; l'abitare è, o almeno dovrebbe essere, sinonimo di mettere al riparo il costruito e in generale di salvaguardare la Terra. Uno dei modi in cui si può perseguire questo obiettivo di tutela dell'ambiente è quello di ridurre l'utilizzo delle risorse naturali, dando nuova vita a materiali già impiegati. Attualizzando, dunque, il pensiero del filosofo, il binomio abitare-costruire si completa con il riciclare.

### Materiali riciclati e riutilizzati

Oggi in edilizia vi è interesse nei confronti dell'utilizzo di processi costruttivi che non stravolgano le leggi naturali. La sostenibilità dell'edificio, in particolare, deve essere promulgata in tutto il ciclo di vita, partendo dalla scelta dei materiali, passando per la realizzazione del fabbricato, fino alla sua gestione nel tempo. A tal proposito, il primo punto da prendere in considerazione è la scelta delle materie prime in base

al loro ciclo produttivo e al conseguente effetto sulla natura. E, se per costruire edifici sostenibili bisogna utilizzare risorse locali e rinnovabili, si può constatare quanto i materiali riciclati siano un'ottima opzione, perché sono facilmente accessibili e disponibili in notevoli quantità su tutto il pianeta e perché non influiscono sullo sfruttamento delle materie prime naturali. Per evitare di sprecare gli oggetti smaltiti, e con loro anche l'energia impiegata per produrli, si intraprendono operazioni di recupero, che trasformano gli scarti in materia prima seconda, una risorsa primaria dotata di definite caratteristiche e prestazioni rispondenti ai requisiti richiesti nel settore edile.

Da sempre l'uomo, per costruire la sua dimora, ha sfruttato materiali facilmente reperibili e pronti all'uso come i materiali di scarto, che rappresentavano una risorsa gratuita e facilmente utilizzabile. Ad oggi, invece, nell'immaginario collettivo le costruzioni con materiali di scarto sono quelle che si ritrovano nelle periferie delle città, dove le popolazioni più povere sfruttano i rifiuti per costruire i propri alloggi, come le favelas e le bidonville. In realtà, esistono esempi che dimostrano come, prestando attenzione a materiali e soluzioni alternativi, i rifiuti siano elementi che offrono risposte nuove agli usuali materiali edili, in quanto, con un minimo dispendio di energia e di risorse, possono acquisire una nuova funzione, diventando a loro volta materia prima per edifici con caratteristiche diverse da quelli tradizionali, ma con le stesse prestazioni. Esistono due modi di intendere il riciclo nell'edilizia moderna. Si può parlare di riciclo e recupero di spazi esistenti che vengono rigenerati, ovvero che cambiano destinazione d'uso e assumono una nuova vita. Al contempo possiamo, invece, parlare di costruzioni con materiali riciclati e riciclabili, che acquistano nuova funzione e diventano elementi di fabbrica al pari di quelli ottenuti con i materiali tradizionali. Possiamo distinguere due categorie di rifiuti utilizzati: materiali riciclati e materiali riutilizzati. Si parla di materiali riciclati se i rifiuti subiscono trattamenti nell'impianto di selezione e, successivamente, in impianti di produzione per acquisire forma e peculiarità definite. Si parla, invece, di materiali riutilizzati se essi sono impiegati direttamente nella loro condizione originaria, senza alcun trattamento che ne alteri la composizione e la funzionalità e senza costi e dispendi di energia per rigenerarli. Questi materiali sono semplicemente recuperati e, con poche operazioni, diventano materie prime seconde, che possono dare vita a diversi elementi di fabbrica senza alcuna trasformazione, rappresentando un'integrazione e un'alternativa ai tradizionali materiali edili.

La carta, la plastica, l'alluminio, il vetro e l'acciaio subiscono processi di riciclaggio con impatti complessivi tollerabili dall'ambiente e per questo vengono avviati agli impianti di selezione. Tra i materiali più riciclabili e riciclati vi è sicuramente la carta, in quanto la cellulosa di cui essa è composta può essere sottoposta a numerose trasformazioni che comportano un costo inferiore a quello di creazione della pasta di legno. L'impiego di carta riciclata nel comparto edilizio non rammenta nulla di solido e duraturo. Tuttavia questo preconcetto è stato sfidato da Shigeru Ban, architetto giapponese, inventore di un nuovo linguaggio architettonico capace di dimostrare che, anche con materiali poveri, è possibile costruire architetture di qualità. Infatti, ha costruito edifici di emergenza (Fig. 01, 02) e strutture per esposizioni temporanee (Fig. 03), creando una vera e propria tecnica costruttiva basata sull'utilizzo di tubi di cartone, vergine o riciclato (Fig. 04). La carta di recupero è attentamente selezionata per la creazione di tubi di cartone, prodotti incollando su se stesso un foglio di carta riciclata, sottoposta a trattamenti superficiali che ne rallentino il degrado provocato dagli agenti

atmosferici. I tubi hanno buone prestazioni tecniche che ne consentono l'impiego per la creazione di pareti di tamponamento, da completare con una finitura in lastre di OSB sui due lati. I tubi, disposti in più file, sono riempiti di terreno e materiali isolanti per aumentarne stabilità e comfort.

Una delle prime applicazioni della carta riciclata in edilizia è il Papercrete (Fig. 05), un conglomerato leggero e altamente isolante composto da carta, sabbia, cemento e acqua, che può essere usato in blocchi e pannelli (Fig. 06), colato o adoperato come intonaco. Attualmente esempi concreti di edifici costruiti con Papercrete si trovano negli Stati Uniti e sono per lo più abitazioni auto-costruite di piccole dimensioni. In linea di massima, dunque, la carta riciclata viene impiegata in edilizia generalmente per la creazione di blocchi e pannelli di tamponamento, ma soprattutto di materiali isolanti.

Gran parte dei rifiuti nel mondo sono materiali plastici, dunque la plastica è un materiale che deve essere quanto più possibile riciclato o riusato. In edilizia, la plastica riciclata è ampiamente utilizzata per la realizzazione di pavimentazioni, pannelli isolanti, tubi, vespai, ed infissi. Realizzazioni sperimentali più estreme prevedono l'impiego di bottiglie di plastica per la realizzazione di pareti di tamponamento e di vasetti di yogurt, come casseri a perdere nel getto cementizio per la creazione di un vespai areato. I vasetti costituiscono un insieme di appoggi puntuali più o meno fitti su cui disporre un cassero a perdere per contenere il getto della soletta in calcestruzzo. La soluzione, che è una trasposizione di quella che comunemente si avvale degli igloo, garantisce la ventilazione nelle due direzioni ortogonali.

Alluminio e acciaio sono materiali altamente riciclabili, che presentano in forma primaria le stesse caratteristiche riscontrabili a seguito del trattamento di riciclo. Con questi materiali è possibile produrre notevoli elementi come travi e pilastri in acciaio o infissi ed elementi di protezione in alluminio. L'oggetto principalmente riutilizzabile in edilizia è la lattina; secondo Michael Reynolds, architetto sudamericano, essa è utilizzabile per la realizzazione di tamponature esterne. L'architetto ha messo a punto due metodi costruttivi: il can-unity ed il waste frame. Il primo metodo prevede l'assemblaggio di otto lattine posizionate in maniera ortogonale tra di loro e legate da un filo metallico, il secondo metodo, (Fig. 07) invece, prevede la realizzazione della tamponatura con un doppio strato di lattine disposte in orizzontale, separate da una o più lastre di materiale isolante e legate con malta

### Casi studio con materiali riciclati

In Italia il primo edificio costruito con materiali riciclati si trova a Conegliano, in provincia di Treviso, ed è sede della Savno (Servizi Ambientali Veneto Nord Orientale), consorzio che si occupa della gestione dei rifiuti. L'edificio (Fig. 08) è quasi interamente realizzato con materiali provenienti dalla raccolta differenziata ed è ricco di soluzioni tecnologiche attive, come impianto fotovoltaico, geotermico e sistema di raccolta dell'acqua piovana, che lo rendono sostenibile ed esemplare in merito alla tutela dell'ambiente. Per la realizzazione della struttura portante in cemento armato sono state utilizzate barre di armatura con 130.000 kg di acciaio riciclato e lo stesso materiale è stato impiegato per la realizzazione delle strutture portanti del doppio telaio presente nelle pareti di tamponamento. All'interno dei doppi telai sono stati posizionati pannelli di isolamento termico e acustico in PET riciclato (Fig. 09), derivante dal riciclo di 33.000 bottiglie di plastica, mentre alle estremità i pannelli di chiusura sono in sughero, proveniente da scarti di lavorazione. L'isolamento dei pavimenti, invece, è stato realizzato con sughero (Fig. 10) proveniente da circa 1 milione di tappi e fibra di cellulosa, ricavata

da quotidiani riciclati con l'aggiunta di sali minerali per aumentare la resistenza al fuoco del materiale. In molti casi si sceglie di riutilizzare un oggetto nella sua composizione originaria poiché, anche se esso è diventato rifiuto, in realtà non ha esaurito la sua funzionalità e può passare dall'essere uno scarto nel settore originario all'essere una risorsa per il settore edilizio. Oggetti e componenti dismessi a seguito dell'esaurimento della funzione in precedenza attribuita, diventano materiali per l'edilizia, soprattutto quando il processo di riciclo è dispendioso sia dal punto di vista energetico che economico, mentre reimpiegarli senza processi di trasformazione è un'operazione energeticamente attenta. Un esempio è il riciclo della gomma, che richiede un quantitativo di energia termica di processo superiore a quello necessario durante la produzione iniziale. Per questo motivo, ad esempio, gli pneumatici sono utilizzati senza alcuna trasformazione nella loro condizione originaria per creare vespai areati o pareti esterne, risparmiando energia di riciclo. In particolare, gli pneumatici sono il materiale primario per la costruzione delle Earthship, edifici passivi messi a punto dall'architetto messicano Michael Reynolds (Fig. 11). Egli progetta uno spazio abitabile, sostenibile e autosufficiente, concepito per ridurre al minimo l'utilizzo degli impianti che, per adempiere alla loro funzioni, avrebbero un impatto troppo alto in termini ambientali.

Per realizzare edifici che ricoprano autonomamente il fabbisogno di riscaldamento, è necessario, dunque, scegliere dei materiali appropriati con cui realizzare elementi di fabbrica che fungano da batterie di accumulo del calore, in modo da assicurare il benessere termico all'interno dell'abitazione. Un materiale massivo e denso, infatti, immagazzina temperatura ed è in grado di rilasciare calore all'ambiente circostante in caso di necessità. Secondo l'architetto, i materiali di cui è costituito l'edificio devono uniformarsi ai concetti di sostenibilità ed autosufficienza, devono essere facilmente accessibili e devono mantenere un basso impatto energetico sull'ambiente. Per questo motivo sono prediletti i materiali che non debbano subire trasformazioni con conseguente impiego di energia. Il materiale che, stando all'architetto, risponde a tutti questi requisiti è lo pneumatico colmo di terra battuta, materiale resistente, reperibile in tutto il mondo e munito di una forma che fa sì che diventi un blocco per la costruzione di un muro. Il prototipo ideato dall'architetto ha una caratteristica forma ad "u" (Fig. 12) con tre pareti molto spesse ed interrate per conformare l'edificio all'ambiente circostante e per attivare scambi termici con la massa termica del terreno che le ricopre, in modo da evitare perdite di calore. La parete a Sud è, invece, concepita come una serra in vetro inclinato per accumulare calore. Il modulo non è una casa ma una stanza individuale e, per creare un edificio, bisogna moltiplicare i moduli componendoli tra di loro e relazionandoli con il sito di progetto. Per costruire le pareti esterne, gli pneumatici sono disposti a file sfalsate e sono riempiti di terreno, battuto per costipare il materiale ed introdurre altro. Poi sono livellati e impilati l'uno sull'altro, per creare un muro ed infine, sono rivestiti da un getto di terra cruda che li rende solidali. La parte inferiore del muro funge anche da fondazione, infatti la prima fila di pneumatici è a diretto contatto con il terreno, in modo tale da avere un continuo scambio termoregolatore con il suolo che permette di raffrescare l'ambiente interno nella stagione calda e di riscaldarlo in quella fredda. Le pareti interne e le colonne all'ingresso (Fig. 13) sono riempite da lattine di alluminio fissate con una malta composta da sabbia e cemento; esse non hanno alcuna mansione strutturale ma agiscono da distanziatori e la loro parte superiore fa da rete di supporto per l'intonaco in terra cruda.

Un ulteriore esempio di costruzioni con elementi, che, pur essendo stati cestinati, dopo l'uso si tramutano in materiali utili alla costruzione di edifici, è quello dei container. I contenitori merci sono elementi modulari in acciaio che possono essere assemblati in infiniti modi, con semplicità ed economicità, in quanto sono facilmente reperibili e, in più, hanno un costo di trasformazione inferiore al costo di costruzione di un tradizionale edificio in cemento armato. I container fungono da struttura e da involucro per l'edificio, riducendo così l'impiego di altri materiali, come i mattoni e il cemento, e ampliando l'eco sostenibilità della costruzione. I containers possono, ovviamente, essere usati anche con altri materiali di riciclo come nel caso dell'Upcycle House (Fig. 14), progetto sperimentale del gruppo di architetti danesi Lendager Arkitekter, realizzato con materie di scarto; da qui l'utilizzo del termine upcycle che, in inglese, indica il riuso creativo dei rifiuti. Il fabbricato è poggiato su pali di fondazione elicoidali (Fig. 15) in metallo e su una base di granulato di vetro cellulare, materiale ricavato dal riciclo delle bottiglie di vetro e usato per isolare la struttura dal terreno. Al di sopra del vetro granulato vi è un'ulteriore base in polistirene, ricavato sbriciolando le comuni confezioni che contengono alimenti. La struttura portante (Fig. 16), che poggia direttamente sul tappeto isolante, è realizzata con due container precedentemente modellati in laboratorio per l'apertura di porte e finestre e l'introduzione degli impianti. I tamponamenti sono rivestiti in cartongesso, ricoperto nella parte esterna da richlite, materiale ottenuto dal riciclo della carta che protegge dall'umidità e dagli agenti atmosferici. Le parti interne sono ricoperte da pannelli OSB, ricavati da scarti di lavorazione del legno, e isolate con lana di carta ottenuta dal riciclo di vecchi quotidiani. La pavimentazione è composta da granulati di plastiche riciclate e legno, fatta eccezione per quella della cucina realizzata con tappi di champagne e scarti di sughero e legno. Infine, la copertura e le facciate sono rivestite con pannelli di alluminio, riciclati da lattine di birra.

### Conclusioni

Dall'analisi dei casi studio, si evince che i rifiuti sono stati immessi in edilizia come integrazione ed alternativa ai materiali tradizionali e che possono essere utili alla realizzazione di edifici con varie destinazioni d'uso. Il grande pregio di questi materiali è la riduzione dei costi e dei tempi di esecuzione delle opere in quanto, nella maggior parte dei casi, gli elementi vengono assemblati a secco. Questa scelta consente non solo di industrializzare il processo di produzione, ma anche di prolungare la vita utile dei materiali in fase di demolizione, con l'ulteriore vantaggio di incrementare il tasso di riciclabilità negli edifici. Significativo, a tal proposito, è l'esempio dell'Upcycle House in cui ogni elemento è stato concepito e messo in opera affinché, demolito l'edificio, possa essere riciclato o comodamente riutilizzato per la costruzione di altri fabbricati. I casi studio analizzati sono interessanti dal punto di vista dei materiali e delle tipologie costruttive e, al contempo, hanno anche valore educativo per i cittadini che si sentono in tal modo incentivati a rispettare le regole per una corretta raccolta differenziata, proprio come accade a Conegliano nel caso della sede della Savno, azienda che si occupa della gestione dei rifiuti. L'edificio è stato costruito con materiali riciclati al fine di mostrare quali possono essere i traguardi raggiunti con una corretta raccolta differenziata e al fine di sensibilizzare le coscienze dei cittadini esortandoli a salvaguardare il territorio partendo da semplici azioni quotidiane. L'utilizzo di materiali riciclati e riutilizzati consente di trasformare i rifiuti in materiali da costruzione e componenti, che sono una singolare materia prima seconda, riuscendo, nel contempo, ad evitarne lo smaltimento in discarica o

tramite inceneritore. In tal modo si riesce a limitare così l'impatto sull'ecosistema e a diminuire l'utilizzo di risorse naturali, con significativi risparmi di denaro e di energia necessari per eseguire le operazioni di trasformazioni delle materie prime.

Quando con i materiali riciclati o riutilizzati si realizzano soluzioni energetiche passive, il concetto di sostenibilità raggiunge massimi assoluti. È questo il caso delle Earthship, edifici autosufficienti in cui ogni elemento assume una conformazione tale da garantire l'autosufficienza energetica e il raggiungimento di comfort all'interno dell'edificio senza il ricorso ai tradizionali sistemi attivi. Attualmente le applicazioni sono limitate a causa dello scetticismo radicato nella società verso l'innovazione in generale e verso il riciclo, che è ancor più forte. C'è ancora molta strada da fare affinché ci si possa educare e auto-educare ad accettare la materia prima seconda alla stessa stregua della materia prima vera e propria, tanto più una casa prevalentemente composta da materiali di riciclo. Al momento, per guadagnare questo atteggiamento, è importante analizzare le esperienze materializzate da realizzazioni emblematiche, provocatorie quanto basta per accendere l'attenzione sui temi del riciclo e del recupero di materiali e componenti, che sono al termine del loro ciclo di vita.

«C'è un sacco di spazio giù in fondo» disse Richard Feynman, padre della nanotecnologia<sup>2</sup>, nel 1959 in una famosa lezione alludendo alle possibilità di una diretta manipolazione di singoli atomi. Parafrasando l'espressione e trasponendola nel contesto del riciclo, si potrebbe affermare che le potenzialità dei materiali e dei componenti di riciclo sono sicuramente illimitate e di gran lunga superiori rispetto a quanto non possa sembrare oggi e c'è un sacco di spazio giù in fondo.

### NOTE

1. Martin Heidegger, *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano, 1976, pp. 96-97
2. La nascita della nanotecnologia come disciplina scientifica è attribuita, almeno in senso convenzionale, al fisico americano Richard Feynman (Premio Nobel per la Fisica nel 1965) che il 29 dicembre 1959 che, in una lezione, dal titolo "There's Plenty of Room at the Bottom", tenuta durante il meeting annuale della Società di Fisica Americana, palesa l'intuizione sulle possibilità legate alla manipolazione della materia su scala atomica e molecolare nella sintesi chimica. Sul finire della lezione, per dare incisività alle ipotesi formulate, lancia una sfida su cui si fonda l'intuizione, emblematica, quanto celebre, sulla possibilità di trascrivere i 24 volumi dell'Enciclopedia Britannica sulla punta di uno spillo, che è 25.000 volte più piccola della somma delle superfici di tutte le pagine dell'Enciclopedia stessa.