

# SMC

SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION  
LAND CULTURE, RESEARCH AND TECHNOLOGY

FOCUS ON  
**FIRE FOR LIFE**

LUCIANO EDITORE

N. FOUR  
2016

## SCIENTIFIC COMMITTEE

Aasfaw BEYENE  
Claudia BLOOM  
Michele CAPASSO  
Paul CASALONGA  
Francesca R. D'AMBROSIO  
Kambiz M. EBRAHIMI  
Graeme EVANS  
Daniel FAURE  
Pliny FISK  
Ángela Garcia CODONER  
Giorgio GIALLOCOSTA  
Rodolfo GIRARDI  
Mihiel HAM  
Stephane HANROT  
Jean Luis IZARD  
Fakher KARAT  
Serge LATOUCHE  
Stefano LENCI  
Alberto LUCARELLI  
Gaetano MANFREDI  
Saverio MECCA

Giuseppe MENSITIERI  
Lorenzo MICCOLI  
Alastair MOORE  
Michael NEUMAN  
João NUNES  
Silvia PIARDI  
Alberto PIEROBON  
Kuno PREY  
Khalid R'KHA CHAHAM  
Susan ROAF  
Francois Noel ROSSI  
Piero SALATINO  
Antonello SANNA  
Gianni SCUDO  
Alfonso SENATORE  
Ali SHABOU  
Abdelgani TAYYIBI  
Nikolas TSINIKAS  
Michael VAN GESSEL  
Dilek YILDIZ  
Ayman ZUAITER

## REFEREE BOARD

Maddalena ACHENZA  
Manuela ALMEIDA  
Eugenio ARBIZZANI  
Gaia BOLLINI  
Pedro BOSCH GIRAL  
Assunta CAPECE  
Gianluca CADONI  
James CHAMBERS  
Giacomo CHIESA  
Luigi CIMORELLI  
Ana Maria DABIJA  
Pietromaria DAVOLI  
Orio DE PAOLI  
Dalila EL-KERDANY  
Dominique FLAHAUT  
Aurora FLOREZ  
Maria Cristina FORLANI  
Andrea GIACHETTA  
Barbara GUASTAFERRO  
Luigi IANNACE  
Shoaib KHANMOHAMMADI  
Pablo LA ROCHE  
Liliana LOLICH  
Philippe MARIN  
Paulo MENDONCA  
Barbara MESSINA  
Luigi MOLLO  
Paola NISTICO'  
Joe RAVETZ  
Marco SALA  
Jacques TELLER  
Fani VAVILI  
Roland VIDAL

## EDITORIAL BOARD

Editor in Chief  
Dora FRANCESE

### First Editors

Antonio PASSARO  
Paola DE JOANNA  
Domenico CAPUTO  
Roberto CASTELLUCCIO

### Associate Editors

Luca BUONINCONTI  
Pierpaolo D' AGOSTINO  
Cristian FILAGROSSI A.  
Marina FUMO  
Barbara LIGUORI  
Andrea MAGLIO  
Lia Maria PAPA  
Rossella SIANI  
MariaLUCE STANGANELLI

### Editorial Secretary

Emanuela ADAMO  
Viviana DEL NAJA

### Graphic Design

Web Master  
Cristian FILAGROSSI A.  
Rossella SIANI

## STEERING COMMITTEE

Emanuela ADAMO  
Gigliola AUSIELLO  
Alfredo BUCCARO  
Luca BUONINCONTI  
Mario BUONO  
Domenico CALCATERRA  
Domenico CAPUTO  
Roberto CASTELLUCCIO  
Pierpaolo D' AGOSTINO  
Gabriella DE IENNER  
Paola DE JOANNA

Viviana DEL NAJA  
Cristian FILAGROSSI A.  
Dora FRANCESE  
Marina FUMO  
Fabio IUCOLANO  
Fabrizio LECCISI  
Barbara LIGUORI  
Mario LO SASSO  
Andrea MAGLIO  
Nicolina MASTRANGELO  
Vincenzo MORRA

Lia Maria PAPA  
Antonio PASSARO  
Elvira PETRONCELLI  
Domenico PIANESE  
Chiara PICCOLI  
Daniela PISCOPO  
Francesco POLVERINO  
Rossella SIANI  
MariaLUCE STANGANELLI  
Salvatore VISONE  
Rosamaria VITRANO

SMC is the official semestral magazine of the SMC Association, jointed with CITTAM

SMC N. 4 - 2016

All the articles of SMC magazine were submitted to a double peer blind review.

Cover Photo © Rossella Siani 2016, Ceramica Solimene designed by Arch. Paolo Soleri, Vietri sul Mare (SA), Italy.

Printed Edition  
ISSN: 2385-1546

Publisher:  
Luciano Editore  
Via P. Francesco Denza, 7  
P.zza S. Maria La Nova, 4  
80138 Naples - Italy  
www.lucianoeditore.net  
info@lucianoeditore.net  
editoreluciano@libero.it

Online Edition  
ISSN: 2420-8213  
www.sustainablemediterranean  
construcion.eu



SMC - Sustainable Mediterranean Construction Association  
Founded on March 1st 2013  
Via Posillipo, 69  
80123 Naples - Italy  
smc.association@mail.com

# FROM A WASTE TO A SECONDARY MATERIAL: GOING TOWARDS A MORE SUSTAINABLE ARCHITECTURE

## Environmental sustainability and energy efficiency in the construction industry

It is now widely accepted the need to follow new lifestyles and to study alternative uses of natural resources; moving away from the anthropocentric perspective of an environmental heritage management in favour of a more sustainable approach and a resilient transformation of the territory. The built environment, in this perspective, should be reconsidered as a systemic reality.

It's out of doubt that the construction industry plays an important role in the European economy (accounting for over 10% of the employment in the European Union- EU data 2012) and how it is a big "consumer" of intermediate products (raw materials, chemical substances, electrical and electronic equipment, etc.) and related services. At the same time, however, the energy demand of buildings and the efficiency in the use of resources in production, transportation and use of materials intended for the construction of buildings and infrastructures, have a significant impact from the energy point of view, the climate change and the environment(1).

Based on these considerations, in 2013 the research called "Ethic Concrete " was activated

(financed with funds from the Tuscany Region through *Bando unico R&D* for the year 2012) which has involved three important Tuscan industries (Unibloc srl, leader of the project, SAM Engineering the spa and Revet Vetri srl) and two University research Institutions(2) and which has interested two fields closely related with the issues of environmental sustainability and energy efficiency; the construction industry and the waste treatment.

The aim of the research was to define the entire production process of a new lightweight aggregate for concrete using a "secondary raw material" coming from the waste glass produced by the urban recycling process, focusing on procedural, regulatory and financial instruments that can favour economies of scale, taking to its trial as an alternative material to the conventional quarry aggregates in products of widespread diffusion and industrial production.

However, to deeply understand the goals of this research and its background it is necessary to make some assumptions.

In recent years Europe has implemented a series of measures aimed at evaluating the energy costs of the whole chain of the construction process and reaching their reduction, from the stage of

selecting and locating raw materials and the resources needed to process and transport them up to the construction, maintenance and disposal of the various types of buildings.

Italian buildings, in particular, suffers from a serious energy inefficiency (Tartaglia, 2012): before the introduction of the latest European guidelines, data have reported that over 30% of total energy consumption in Italy was absorbed by the buildings, and 28% of the national CO2 emissions can be linked to this energy consumption. In fact, until 2011, 70% of the approximately 13.7 million of buildings on the Italian territory dates back to periods prior to the introduction of energy efficiency standards, and a quarter of them would never have been subjected to operations of energy improvement rehabilitation, according to the results of the research "Energy efficiency report" directed by the Energy and strategy group of the Management School of Politecnico di Milano, .

The European Directive 2010/31/EC - EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) on energy efficiency in buildings (ex 2002/91/EC) introduces the enforcement of energy performance requirements for new buildings and existing ones, and makes mandatory the energy certification of buildings. Among other things, the Directive considers from the year 2020, the commitment to the construction of buildings at "almost zero" energy consumption (3).

At the same time, with a series of proposals and policy guidelines such as the "Roadmap to a Resource Efficient Europe" of 2011 (COM 2011), Europe describes the substantial effect of the construction industry in the following outlines: natural resources, energy, environment and climate change, highlight that significant improvements in construction activities and construction works during their life cycle can help to increase competition in the construction sector and to establish a real estate environment efficient in terms of energy and resources, through a scenario in which all new buildings could be close to zero energy consumption and efficient in terms of resources.

Specifically, the industry of ready-mix concrete - to which the research relates considering the large, traditional use of this material for buildings in Italy and generally in the Mediterranean area - is high on energy consumption. The production of the cement component/element by itself takes place at very high temperatures (1.450 °C), which are achieved with an energy consumption equal to 3200-4200 MJ per ton of clinker produced. It's clear that the most perceptive producers of cement and concrete components have begun to address the problem of how to



Fig. 1 - Selection plant of the municipal waste, a contemporary quarry (credits: Benedetta Terenzi).



Fig. 2 - Mountains arising from the accumulation of minced glass wastes (credits: Benedetta Terenzi)



Fig. 3 - Block made with foam glass from recycling (credits: UNIBLOC srl).

requirement of an integrated approach in many strategic sectors and on different levels. The main part of that document were further developed in the general program of the environmental action, 7th EAP (4) and more recently explained in the document: "Towards a circular economy: the program for a Europe of zero waste" (COM 2014). Essentially, in the circular economic systems, the products keep their added value as long as possible and there is no waste produced. When a product reaches the end of this life cycle, the resources used to make them remain inside the economic system so they can be reused several times in the production process and thus create new value. It is estimated that a more efficient use of the resources along the entire value chain could reduce the demand for the material inputs of 17% -24% by 2030 (Meyer et al. 2011), with savings for the European industry of 630 billion euro a year (Greenovate! Europe 2012).

According to the studies commissioned by the companies and based on the use of production economic models, with the adoption of a circular economic approach the European industry could make substantial savings on the price of raw materials and potentially increase the UE's GDP up to 3,9% (Ellen MacArthur Foundation 2012) with the creation of new markets and new products and thanks to its business value. Waste prevention, eco-design, materials reuse, and similar measures could save 600 billion euro net for EU businesses, which represents 8% of their annual turnover, while reducing its total annual emissions of greenhouse gases from 2% up to 4% (AMEC et al. 2013).

Moreover the disposal of all types of recyclable waste to dump sites will be forbidden by 2025 and virtually all the members of the EU should put all their effort to eliminate this practice by 2030. Based on these assumptions, the research is focused on the study and the analysis of the different steps of the glass recovery and recycling process and, more precisely, on the part of the waste that represent the leftover coming from the selection of glass coming from the collection of garbage.

Currently, in Italy there are about a dozen plants that process glass for the recycling process. In our country, unlike other European nations, the majority of the quality-recycled glass is absorbed by the glass industry, while the costly problem of disposing the "dirty" part of the glass waste

remains. The treatment and recovery process of this material (glass) is accurate and elaborated. The materials collected into the recycling rubbish collectors for glass are directed to specific plants. The waste that arrives to these plants is a mix of materials that, as collected, can't be recycled in the stricter sense because, due to the social ignorance and low attention of the average citizen, inside there is a mix of different materials like metals, plastics and much more.

The splitting and enhancement of the different product fractions (product separation), then, takes place with the input of the materials into the sorting equipment. Due to the specific weight of the glass, first it gets separated from the light part through aspiration (plastics and other materials take another direction), afterwards, the magnetic metal part is moved away through permanent magnets, while, the non-magnetic metals are separated thanks to the principle of the Foucault currents. As a result it is possible to obtain separate streams of glass, plastic, magnetic metals and non-magnetic metals.

For the leftover glass, there is one last phase on the recycling process; the optical sorting, from which it is possible to obtain a glass granulate like gravel.

Although, from the technologic perspective, it is easy to divide metals from plastics, it is much more difficult to separate from the glass stream all those materials that are called "infusible materials" because they have the same specific weight (we are considering ceramics, bricks, etc.). These are substances that have a much higher melting temperature than the one that is reached by the glass furnaces, for this reason it is impossible to recycle the glass that contains these different substances.

During this last stage, from the sorting machines comes out both a component of pure glass, which is the most relevant quantity, and a waste part that contains different materials, which are mixed with a consisted portion of glass. This second outcome, as we said above, cannot be used in any way and should be sent to disposal. 2013 data has pointed out that in Italy, from the recycling process of glass, there is a recovery of 1.720.000 tons per year, in which the portion of unusable waste is about 250.000 tons, from which 15.000 tons only in Tuscany (CoReVe data).

### From glass waste to the foam glass for concrete

I partner del progetto di ricerca hanno valutato quale potesse essere il miglior utilizzo di questo materiale di scarto come "materia prima seconda" MPS e senza ulteriori lavorazioni che ne rendessero antieconomico lo sfruttamento. Il processo termico di sinterizzazione per la produzione di *foam glass* si è rivelato il più interessante.

The research partners have evaluated which could be the best use of this waste material as a secondary raw material and without any additional process that would make uneconomical its exploitation. The thermal sintering process for the production of foam glass proved to be the most interesting.

In particular, with the support of the Materials Engineering Department of the University of Padua, represented by prof. Eng. Enrico Bernardo, expert in the foam glass production processes,

reduce the environmental impact of their products; starting from procedures and materials different from those traditionally used and cheaper under different points of view. To make these components more competitive it is necessary, in fact, to focus on one or more of the aspects mentioned above: energy, environment and raw materials.

The idea was to intervene on the aggregates of the concrete.

The aggregates are, indeed, a concrete component of fundamental relevance. They are basically a broad material that mainly have a mining/quarry origin, with size and price variable, which don't participate in the chemical process for binding and maturing of the concrete but which contribute to the achievement of the mechanical characteristics of this building material. The key role of the aggregates is determined by their technical function, which they fulfill; more precisely they serve as reinforcement of the finished product, contributing to its characteristics of strength, formability and durability. Moreover, the importance of this component is justified by the large volume occupied by the grains dispersed in the conglomerate, equal to about 650-750 l/m<sup>3</sup>, or 65-75% of the total volume.

### The glass recycling process and the waste products

As mentioned above, this research has linked the waste management problem with the need to reduce the environmental impact of the life cycle of the concrete products. Also the waste disposal is tied closely with the problem of the Energy consumption, not only because it's very expensive to reduce its environmental impact, but also because the materials involved contain potential Energy that could be saved for other sectors where required.

Also from this point of view the research follows the European guidelines. Even in the "Roadmap towards a resource-efficient", the Commission proposed an action framework underlining the



Fig. 4 - Precasted panel made with foam glass from recycling (credits: SAM Engineering spa).

several alternatives have been tested for the waste glass processing in order to achieve an adequate glass sand that can undergo the necessary heat treatment to obtain foam glass.

As a consequence of this effort a virtuous circle has started with the ambitious goal of dignifying into a new material from a waste product which currently is simply disposed in the dump. A series of samples with slightly different physical-chemical characteristics have been produced with the tests run by the researchers, according to the procedures used in the thermal process to obtain the material set by prof. Bernardo. By comparing the different properties of the Foam Glass samples obtained, the partners of this project have identified as the most interesting material, according to the settled goals, the one with the best ratio between the compressive strength and density, therefore with the best specific resistance: this because the aggregates are not particularly light but significantly resistant in comparison to the one currently on the market (Terenzi, 2013: 110-122).

From the chemical perspective, it has been observed that the organic material, naturally present in the waste used, alone is enough to foam the glass without the help of additional agents that, otherwise, should be added to the mixture. This aspect reveals multiple advantages, from the economic side to the ease of the treatment. These considerations have backed up the initial intuition of the researchers and, on this basis, have driven to specific formulations on the mix-design of the lighten concrete produced with the new type of lightweight foam glass aggregate.

The two companies of the concrete sector that were involved, Unibloc srl and SAM Engineering s.p.a. have both made some prototypes according to their own expertise, on which tests of shape,

mechanical strength and thermal resistance were run.

#### **The industrial concrete products produced during the research**

The research has foreseen the creation of several prototypes, both with reference to the sector of lightened vibro-compressed blocks and to that of the prefabricated panels used as vertical partitions.

In the first case the process was to identify the block geometry and its hollow core in order to optimize the use of both the normal lightening aggregates such as expanded clay and the new product resulting from waste trying to reduce the density without compromising normal strength parameters. The study and development for the optimization of the characteristics of the new aggregate, has generated an industrial product that is able to ensure the normal performance but with a reduction of 25% in net density (from 1.000 to 750 kg/m<sup>3</sup>) along with an upgrade of the thermal performance.

Similar outcomes were achieved also with the second type of building products tested (prefabricated hollow core panels 20 cm thick and thermal break prefabricated panels 24 cm thick). However, in this case, emerged the need to use accelerating additives to allow after 24 hours the form stripping with performance equal to the artifacts that use traditional aggregates.

In all cases, by directly testing the prototypes and by applying calculation models to complete elements, there is evidence of how the new aggregates make possible the production of construction products with the same mechanical performance of similar products lightened with "traditional" aggregates, but have a lower weight

of about 20-30% and a 20% of better thermal insulation performance.

#### **Conclusions**

Considering the aggregates that are normally used in the concrete industry, it is necessary to outline that the majority of them contribute to the environmental instability because they are extracted improperly from their natural origin causing severe impact on the landscape.

Even though foam glass products are widely known and used as aggregates in other Countries, these are rare to find in Italy due to their high cost coming from the costly raw material from where there are extracted. The foam glass produced through the study guidelines could be at least 20% cheaper than the current market one and also allows to diminish the environmental impact through the decrease of the debris to be disposed and the lower energy requirements for the production of foam glass in comparison to standard aggregates.

Furthermore using foam glass products in the concrete production, due to characteristic closed cell structure, makes them totally waterproof and gas resistant. Foam glass has a high compressive strength, it is incombustible, it does not release toxic fumes in case of fires, it is not affected by large temperature change, it is durable and it keeps its characteristics in time.

This new type of aggregates produced from waste material would allow to significantly decrease the environmental and energetic impact of standard construction methods largely used in the Mediterranean areas without having to modify the standard management and running of local contractors and their work force.

#### **NOTES**

1. The building sector accounts for the 45% of the total energy produced, it is the cause of 40% of air pollution, it consumes 40% of non-renewable resources found in nature, it produces 40% of the total waste.
2. Of the three companies, the Unibloc srl, CEO arch. Riccardo Cecconi, manufactures building components in vibrated concrete; La Revet Vetri, CEO eng. Massimo Ravagnani, deals with the collection of municipal solid waste and its exploitation; the S.A.M. engineering S.p.A., technical department manager eng. Tiberio Pochini, is a general construction contractor specialized in the industrialization of construction processes and equipped with facilities for the production of prefabricated structures in normal and pre-stressed concrete. Research institutions that have managed the processes and the interactions between the parties, following the technological development of the materials and the building components are the Dida- Department of Architecture, University of Florence, prof. arch. Alessandro Ubertazzi, scientific coordinator of the research, arch. Benedetta Terenzi, PhD research fellow, and ABC- Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano, prof. arch. Andrea Tartaglia, scientific coordinator of the research.
3. In Italy, the urgent measures for the transposition of Directive 2010/31/EU are exposed in D.L. of 4th of June 2013, n. 63.
4. GU L 354 of 28.12.2013, p. 171.

#### **REFERENCES**

[1] AMEC - Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service (2013), *The opportunities to business of improving resource efficiency*, European

Commission, Final Report, Contract Ref. 070307/2011/610181/ETU/F.1.

[2] COM (2011) 571, Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle regioni.

[3] COM (2014) 0398, Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle regioni.

Ellen MacArthur Foundation (2012), *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*, www.thecirculareconomy.org.

[4] Greenovate! Europe (2012), *Guide to resource efficiency in manufacturing: Experiences from improving resource efficiency in manufacturing companies*, Europe INNOVA.

[5] Meyer B. (2011), *Macro economic modeling of sustainable development and the links between the economy and the environment*, ENV.F.1/ETU/2010/0033, Final Report, Osnabrück.

[6] Tartaglia A. (2012), *Dal retrofit come progetto al retrofit come processo: azioni di management per la sostenibilità socio-economica*, in Russo Ermolli S., D'Ambrosio V. (a cura di), *THE BUILDING RETROFIT CHALLENGE*. Programmazione, progettazione e gestione degli interventi in Europa, Alinea Editrice, Firenze, pp. 31-38.

[7] Terenzi B. (2013), *Il Calcestruzzo etico*, Edizioni Centro Studi Valle Imagna, collana testi scientifici e universitari, Bergamo.

## **DA RIFIUTO A MATERIA PRIMA SECONDA, VERSO UNA MAGGIORE SOSTENIBILITÀ DELL'ARCHITETTURA.**

### **Sostenibilità ambientale ed efficienza energetica nelle costruzioni**

La necessità di intraprendere nuovi stili di vita e di studiare forme alternative di utilizzo delle risorse naturali è oggi ormai ampiamente condivisa mentre ci si allontana da una visione antropocentrica della gestione del patrimonio ambientale a favore di un approccio sostenibile delle risorse e di trasformazioni resilienti del territorio. L'ambiente costruito, in questa ottica, va riconsiderato come realtà sistemica.

In realtà, il settore delle costruzioni svolge un ruolo importante nell'economia europea (rappresentando più del 10% dell'occupazione nell'Unione - dati UE 2012) ed è un grande "consumatore" di prodotti intermedi (materie prime, sostanze chimiche, apparecchiature elettriche ed elettroniche, ecc.) e di servizi correlati. Allo stesso tempo, però, la domanda energetica degli edifici e l'efficienza d'uso delle risorse nella produzione, nel trasporto e nell'uso dei prodotti destinati alla costruzione di edifici e di infrastrutture hanno un impatto rilevante dal punto di vista dell'energia, dei cambiamenti climatici e dell'ambiente (1).

Sulla base di queste riflessioni, nel 2013 è stata attivata la ricerca denominata "Calcestruzzo Etico" (finanziata con i fondi della Regione Toscana con Bando Unico R&S anno 2012) che ha visto coinvolte tre realtà industriali toscane (Unibloc s.r.l., capofila del progetto, S.A.M. Engineering s.p.a. e La Revet Vetri s.r.l.) unitamente a due enti di ricerca universitari (2). Questa ricerca ha interessato due settori strettamente connessi rispetto alla problematica della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica: quello delle costruzioni e quello dei rifiuti.

L'obiettivo è stato quello di definire l'intero processo di produzione di un nuovo "inerte" (oggi si tende a dire "aggregato") leggero per il calcestruzzo utilizzando una materia prima seconda (MPS) proveniente dagli scarti di vetro della raccolta differenziata urbana RSU; la ricerca si è focalizzata su strumenti procedurali, normativi e finanziari che favoriscano economie di scala, arrivando fino alla sua sperimentazione come alternativa agli aggregati tradizionali provenienti dalle cave, in manufatti di larga diffusione e di produzione industriale.

Tuttavia, per meglio comprendere gli obiettivi della ricerca e gli ambiti nei quali si è mossa, è necessario fare alcune premesse.

L'Europa, negli ultimi anni, ha messo in atto una serie di misure che tendono a valutare i costi energetici di tutta la filiera del settore delle costruzioni e a provvedere alla loro riduzione, dalla fase di scelta e reperimento delle materie prime e delle risorse necessarie alla trasformazione e al trasporto fino alla costruzione, manutenzione e smaltimento delle varie tipologie di fabbricati.

Gli edifici italiani, in particolare, soffrono di una grave inefficienza energetica (Tartaglia, 2012): prima dell'introduzione delle ultime direttive europee i dati riferivano che oltre il 30% dell'energia totale consumata in Italia era assorbita dagli edifici; a questi consumi energetici sono riconducibili il 28% delle emissioni nazionali di CO<sub>2</sub>. Infatti, secondo i risultati della ricerca "Energy Efficiency Report" condotta dall'Energy and Strategy Group della School of Management del Politecnico di Milano, fino al 2011, il 70% dei circa 13,7 milioni di edifici presenti sul territorio italiano risulterebbe a periodi precedenti l'introduzione delle norme per l'efficienza energetica mentre un quarto di essi non sarebbe mai stato sottoposto a riqualificazione.

La Direttiva europea 2010/31/CE - EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) sulla efficienza energetica degli edifici (ex 2002/91/CE) introduce l'imposizione di requisiti di prestazione energetica degli edifici nuovi e, su quelli esistenti, l'obbligo della certificazione energetica degli edifici. Tra l'altro, dal 2020 essa prevede l'obbligo della costruzione di edifici ad energia "quasi zero" (3).

Allo stesso tempo, con una serie di iniziative e di documenti di indirizzo, come nella "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse" del 2011 (COM 2011) l'Europa illustra l'impatto rilevante del settore delle costruzioni sotto i seguenti profili: risorse naturali, energia, ambiente e cambiamenti climatici, evidenziando come miglioramenti importanti delle attività di costruzione e delle opere di costruzione durante il loro ciclo di vita possono contribuire a rendere più competitivo il settore delle costruzioni e a realizzare un patrimonio immobiliare efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse, in uno scenario in cui tutti i nuovi edifici siano a consumo di energia quasi nullo ed efficienti sotto il profilo delle risorse.

In particolare, l'industria del calcestruzzo preconfezionato italiano - alla quale la ricerca in questione si riferisce visto l'ampio e tradizionale impiego di questo materiale per le costruzioni e, più in generale, in ambito mediterraneo - è fortemente energivoro. La sola produzione del componente cemento avviene a temperature molto elevate (1.450°C), che si raggiungono con un consumo energetico pari a 3.200-4.200 MJ per tonnellata di clinker prodotto.

È chiaro che i più avveduti produttori di cemento e di componenti in calcestruzzo abbiano cominciato a porsi il problema di come ridurre l'impatto ambientale dei loro manufatti, partendo da procedimenti e materiali di natura diversa da quelli tradizionalmente utilizzati e più economici sotto i diversi punti di vista. Per rendere questi componenti più concorrenziali occorre, infatti, fare leva su uno o più degli aspetti fin qui citati, l'energia, l'ambiente, le materie prime.

L'idea è stata quella di intervenire sugli aggregati che partecipano nel mix-design del calcestruzzo.

Gli aggregati costituiscono, infatti, un componente di fondamentale importanza del calcestruzzo. Si tratta di elementi sciolti (principalmente estratti da cava) di dimensioni e pezzatura variabili, che non partecipano ai processi chimici di presa e di indurimento del calcestruzzo ma che contribuiscono al raggiungimento delle caratteristiche meccaniche del manufatto. Il loro ruolo chiave è determinato dalla funzione tecnica alla quale adempiono: essi vanno infatti a contribuire alle caratteristiche di resistenza, deformabilità e durabilità del prodotto finito. Inoltre, l'importanza di questo ingrediente è giustificata dal grande volume occupato dai

granuli dispersi nella matrice cementizia, pari a circa 650-750 l/mc, ovvero il 65-75% del volume totale.

### **Il processo di riciclo del vetro e i prodotti di scarto.**

Come detto, la ricerca ha messo a sistema il problema dei rifiuti con la riduzione dell'impatto ambientale del ciclo di vita dei manufatti in calcestruzzo. Anche lo smaltimento dei rifiuti è strettamente legato al problema dell'energia non solo perché costa ridurne l'impatto ambientale ma anche perché si tratta spesso di materiali che contengono energie potenziali che consentirebbero di risparmiarne altrove, dove occorrerebbe.

Anche da questo punto di vista la ricerca si allinea con le direttive europee. Sempre nella "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente sotto il profilo delle risorse", la Commissione aveva proposto un quadro d'azione sottolineando la necessità di un approccio integrato in molti settori strategici e su più livelli. Gli elementi principali di quel documento sono stati poi ulteriormente sviluppati nel programma d'azione generale per l'ambiente, 7° PAA (4) e più recentemente esposti nel documento "Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti" (COM 2014). In sostanza, nei sistemi di economia circolare i prodotti mantengono il loro valore aggiunto il più a lungo possibile e non ci sono rifiuti. Quando un prodotto raggiunge la fine del ciclo di vita, le risorse restano all'interno del sistema economico, in modo da poter essere riutilizzate più volte a fini produttivi e creare così nuovo valore. Si stima che un uso più efficiente delle risorse lungo l'intera catena di valore potrebbe ridurre il fabbisogno di fattori produttivi materiali del 17%-24% entro il 2030 (Meyer 2011), con risparmi per l'industria europea dell'ordine di 630 miliardi di euro l'anno (Greenovate! Europe 2012). Secondo studi commissionati da imprese e basati sulla modellizzazione dei prodotti, adottando approcci fondati sull'economia circolare, l'industria europea potrebbe realizzare notevoli risparmi sul costo delle materie e innalzare potenzialmente il PIL dell'UE fino al 3,9% (Ellen MacArthur Foundation 2012) attraverso la creazione di nuovi mercati e nuovi prodotti e grazie al relativo valore per le aziende. La prevenzione dei rifiuti, la progettazione ecocompatibile, il riutilizzo e misure analoghe potrebbero far risparmiare 600 miliardi di euro netti alle imprese dell'UE, ossia l'8% del loro fatturato annuale, riducendo nel contempo le emissioni totali annue di gas serra del 2-4% (AMEC et al. 2013).

Inoltre il collocamento in discarica di tutti i rifiuti riciclabili sarà vietato entro il 2025 e gli Stati membri dovrebbero sforzarsi di eliminare virtualmente questa pratica entro il 2030.

Sulla base di questi presupposti, la ricerca in questione si è focalizzata sullo studio e l'analisi delle fasi di recupero e riciclaggio del vetro e, più precisamente, sulla frazione dello scarto che rappresenta il residuo del processo di selezione dei rifiuti di vetro proveniente dalla raccolta differenziata.

(Terenzi 2013, pp. 53-58).

Attualmente esistono circa una dozzina di impianti in Italia che trattano i rifiuti di vetro da R.S.U. finalizzandoli al riciclaggio. Nel nostro Paese, a differenza di altre nazioni europee, buona parte del vetro riciclato di qualità è riassorbito dall'industria del vetro mentre rimane il problema gravoso dello smaltimento della frazione "sporca" dello scarto.

Il processo di trattamento e recupero del vetro da R.S.U. è preciso e sofisticato: esso viene raccolto dalle campane del vetro ed è convogliato in appositi impianti. In realtà, quello che giunge alle piattaforme è un mix di materiali che, così come sono raccolti, non potrebbero essere direttamente riciclati dal momento che, a causa della poca conoscenza sociale e dalla scarsa attenzione del cittadino medio: al loro interno, infatti, essi contengono anche materie estranee quali metalli, plastica e molto altro.

La separazione e la valorizzazione delle diverse frazioni merceologiche avviene con l'immissione dei rifiuti vetrosi entro dispositivi. Dato il peso specifico del vetro, esso

viene prima separato dalla frazione leggera tramite aspirazione (plastiche e materiali diversi prendono così un'altra destinazione); successivamente, magneti permanenti allontanano dal vetro rimasto la parte metallica sensibile alle calamite mentre i metalli "amagnetici" vengono separati grazie al principio delle "correnti parassite" di Foucault. Vetro, plastica, metalli magnetici e metalli amagnetici danno luogo a flussi separati.

Per il vetro rimanente esiste un'ultima fase di preparazione al riciclaggio: la selezione ottica, dalla quale si ottiene un granulato simile alla ghiaia. Mentre dal punto di vista tecnologico è facile separare i metalli e la plastica, è molto più impegnativo separare dal flusso di vetro tutti quei materiali che sono detti "infusibili" perché hanno lo stesso peso specifico (parliamo della ceramica, del cristallo, del mattone, ecc.). Si tratta di sostanze che hanno una temperatura di fusione molto più alta di quelle dei forni delle vetrerie e, per questo, lo scarto di vetro che contiene queste sostanze estranee non è adatto ad essere riciclato.

In quest'ultima fase, dalle selezionatrici esce, da un lato, il solo vetro puro (che rappresenta la quantità più rilevante) sia quello di scarto (che contiene i suddetti materiali indesiderati mescolati con una consistente parte di vetro). Come abbiamo detto, questa seconda parte oggi non può essere riutilizzata in nessun modo e deve essere avviata alle discariche. In Italia i dati del 2013 hanno quantificato il recupero di materiale proveniente dalla raccolta differenziata del vetro in 1.720.000 tonnellate all'anno, nel quale la frazione dello scarto inutilizzabile corrisponde a circa 250.000 tonnellate, di cui 15.000 tonnellate solo in Toscana (dati CoReVe).

#### **Dallo scarto di vetro al foam glass per il calcestruzzo**

I partners del progetto di ricerca hanno valutato quale potesse essere il miglior utilizzo di questo materiale di scarto (debitamente macinato in forma di sabbia) come "materia prima seconda" MPS e senza ulteriori lavorazioni che ne rendessero antieconomico lo sfruttamento. Il processo termico di "sinterizzazione" delle sabbie di vetro provenienti da R.S.U. si è rivelato il più interessante per la produzione di foam glass. In particolare, con il supporto della Facoltà di Ingegneria dei materiali dell'Università di Padova, nella figura del prof. ing. Enrico Bernardo, esperto nei procedimenti per la realizzazione delle vetroschiume, sono state testate diverse alternative di lavorazione degli scarti per poter ottenere una sabbia di vetro adeguata ad essere sottoposta ai trattamenti termici necessari all'ottenimento del foam glass. Si è così attivato un circolo virtuoso al fine di nobilitare a nuova risorsa un materiale di scarto che attualmente viene gettato onerosamente in discarica. La sperimentazione messa a punto dalla ricerca ha dato luogo a una serie di campioni con caratteristiche fisico-chimiche leggermente differenti, secondo le variabili messe in gioco nel processo termico di ottenimento del materiale proposto dal prof. Bernardo. Confrontando le caratteristiche dei campioni di vetroschiuma ottenuti, i partners del progetto hanno identificato come materiale più interessante agli obiettivi prefissati quello che presentava un migliore rapporto tra la resistenza a compressione e la densità e, quindi, dotata della migliore resistenza specifica: questo perché essi non sono particolarmente leggeri ma significativamente resistenti rispetto al materiale attualmente in commercio (Terenzi, 2013, pp.110-122).

Dal punto di vista chimico, si è notato che il materiale organico (contenuto nel vetro proveniente dalle conserve alimentari) naturalmente presente negli scarti utilizzati, è sufficiente da solo a schiumare il vetro senza l'ausilio di ulteriori agenti catalizzatori che, altrimenti, andrebbero aggiunti all'impasto. Questa circostanza rivela molteplici vantaggi, da quello economico a quello della facilità del trattamento.

Le suddette considerazioni hanno confermato e avvalorato l'intuizione iniziale della ricerca e, su questa base, sono state messe a punto delle formulazioni ad hoc

per il mix-design del calcestruzzo alleggerito con il nuovo tipo di aggregato leggero costituito da vetroschiuma. Le due aziende del comparto del calcestruzzo coinvolte (la Unibloc srl e la SAM Engineering s.p.a.) hanno quindi realizzato ognuna dei prototipi secondo le loro competenze, sui quali sono state fatte prove di forma, di resistenza meccanica e di resistenza termica.

#### **I manufatti in calcestruzzo prodotti durante la ricerca**

La ricerca ha comportato la realizzazione di diversi prototipi per il settore dei blocchi vibrocompressi alleggeriti e per quello dei pannelli prefabbricati utilizzabili come partizioni verticali.

Nel primo caso si è proceduto identificando una geometria del blocco e delle sue forometrie che ottimizzassero l'uso sia dei normali aggregati leggeri (quali, ad esempio, l'argilla espansa e il lapillo), sia del nuovo prodotto derivato dai rifiuti, cercando inoltre di ridurre la massa volumica senza però compromettere i normali parametri di resistenza meccanica. Il processo di studio e affinamento legato all'ottimizzazione del prodotto sfruttando le caratteristiche del nuovo materiale ha portato a un manufatto in grado di garantire comunque le normali prestazioni, con una riduzione del 25% della massa volumica netta (da 1.000 a 750 kg/m<sup>3</sup>) e un corrispondente miglioramento delle prestazioni termiche.

Risultati simili si sono ottenuti anche con la seconda tipologia di prodotti edilizi sperimentati (pannelli prefabbricati con alleggerimento interno dello spessore di 20 cm e pannelli prefabbricati a taglio termico dello spessore di 24 cm). In questo caso si è evidenziata l'esigenza di utilizzare additivi acceleranti onde garantire che la scasseratura possa avvenire dopo sole 24 ore con prestazioni equivalenti ai manufatti che utilizzano aggregati tradizionali.

Sia testando direttamente i prototipi, sia applicando modelli di calcolo a elementi finiti, in tutti i casi, si è comunque verificato come i nuovi aggregati leggeri permettano di produrre manufatti per l'edilizia che, a parità di prestazioni meccaniche, presentino un peso inferiore di circa il 20-30% e una performance di isolamento termico migliore del 20% rispetto a prodotti simili alleggeriti con aggregati "tradizionali".

#### **Conclusioni**

Se si prendono in considerazione gli aggregati che normalmente si utilizzano nella realizzazione di calcestruzzi, occorre evidenziare come la maggior parte di essi contribuiscano al dissesto ambientale poiché non sempre sottratti correttamente dal contesto naturale, generando problematici impatti sul paesaggio.

Seppure le vetroschiume siano conosciute da tempo e già utilizzate in altri Paesi, esse sono poco diffuse in Italia per il loro costo elevato dovuto all'utilizzo di materie prime nobili con le quali vengono attualmente prodotte.

Peraltro, la vetroschiuma prodotta secondo il processo messo in atto dalla filiera del progetto di ricerca potrebbe essere più economica di almeno il 20% di quella attualmente in commercio. Senza considerare la diminuzione del carico ambientale legato all'eliminazione di ingenti quantità di scarti che, altrimenti, devono essere smaltiti in discarica e la minor domanda energetica necessaria a produrre il foam glass rispetto all'utilizzo di materie prime nobili.

Grazie alla sua struttura a celle ermeticamente chiuse, la vetro schiuma nei calcestruzzi conferisce una totale impermeabilità all'acqua e ai gas nei manufatti: Ha inoltre un'elevata resistenza a compressione, è incombustibile, non emette fumi tossici in caso di incendio, è stabile anche in presenza di forti variazioni di temperatura, è durevole e conserva nel tempo le sue caratteristiche prestazionali.

Concludendo: la nuova tipologia di aggregati da riciclo scaturiti dalla ricerca in oggetto, permetterebbe di ridurre significativamente gli impatti ambientali ed energetici di soluzioni tecnico costruttive tradizionali e largamente diffuse nei contesti mediterranei, ma senza

richiedere modifiche nei modi d'uso e nei modelli organizzativi delle imprese e della mano d'opera.

#### **NOTE**

1. Basti considerare che il comparto assorbe il 45% dell'energia complessiva prodotta, è causa del 40% dell'inquinamento atmosferico, consuma il 40% delle risorse non rinnovabili presenti in natura, produce il 40% del totale dei rifiuti.
2. Delle tre aziende, la Unibloc srl, amministratore delegato arch. Riccardo Cecconi, produce componenti edilizi in calcestruzzo vibrocompressi; La Revet Vetri, amministratore delegato ing. Massimo Ravagnani, si occupa della raccolta dei rifiuti solidi urbani e della loro valorizzazione; la S.A.M. Engineering S.p.A., responsabile ufficio tecnico ing. Tiberio Pochini, è un'impresa generale di costruzioni specializzata nell'industrializzazione dei processi costruttivi e dotata di stabilimenti per la produzione di strutture prefabbricate in cemento armato normale e precompresso. Gli enti di ricerca che hanno gestito i processi e le interazioni tra le parti, seguendo lo sviluppo tecnologico dei materiali e dei componenti edilizi sono il DiDA-Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, prof. arch. Alessandro Ubertazzi, responsabile scientifico della ricerca, arch. Benedetta Terenzi, PhD assegnista di ricerca, e l'ABC-Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, del Politecnico di Milano, prof. arch. Andrea Tartaglia, responsabile scientifico della ricerca.
3. In Italia, le Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sono espresse nel D.L. del 4 giugno 2013, n. 63.
4. GU L 354 del 28.12.2013, pag. 171.

ABĂLARU Oana Anca, "Ion Mincu" University of Architecture and Urbansim, Bucharest (ROMANIA)

CALZOLARI Marta, Research Fellow and PhD in Architectural Technology, Department of Architecture, University of Ferrara (ITALY)

DAVOLI Pietromaria, Full Professor of Architectural Technology, Department of Architecture, University of Ferrara. Ph.D. in Architectural Technology(ITALY)

BĂNICĂ Bogdan Eugen, Ph.D "Ion Mincu" University of Architecture and Urbansim, Bucharest (ROMANIA)

CHERICHANTERI Georgia, Dr. Architect Engineer, Athens (GREECE)

FRANCESE Dora, Department of Architecture, University of Naples "Federico II" (ITALY)

GERUNDO Carlo, Ph.D. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Naples "Federico II" (ITALY)

MAJELLO VIGO Maria Cristina, Department of Architecture, University of Naples "Federico II" (ITALY)

MITRACHE Georgică, "Ion Mincu" University of Architecture and Urbansim, Bucharest (ROMANIA)

MITRACHE Matei, The Bartlett School of Architecture, London (ROMANIA)

OLIVA F. Tullia, Architect, Naples (ITALY)

ROSSI ADRIANA, Department of Civil Engineering, Design, Building and Environment, Second University of Naples (ITALY)

TARTAGLIA Andrea, Politecnico di Milano (ITALY)

TERENZI Benedetta, Università degli Studi di Firenze (ITALY)