

I° Giornata di Studi “Riduci, Ripara, Riusa, Ricicla”

IL RICICLAGGIO COME PRATICA VIRTUOSA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

A cura di Adolfo F. L. Baratta e Agostino Catalano

Questo libro è stato realizzato con il contributo del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre e del Dipartimento di Scienze Umanistiche, Sociali e della Formazione dell'Università degli Studi del Molise.

Tutti i contributi sono stati valutati seguendo il metodo del *double-blind peer review*.

Comitato Scientifico

Adolfo F. L. Baratta

Università degli Studi Roma Tre

Pepa Cassinello

Universidad Politécnica de Madrid

Agostino Catalano

Università degli Studi del Molise

Enrico Dassori

Università degli Studi di Genova

Fabio Enrique Forero Suárez

Universidad El Bosque

Remo Pedreschi

University of Edinburgh

Marco Sala

Università degli Studi di Firenze

Comitato organizzatore

Adolfo F. L. Baratta

Università degli Studi Roma Tre

Laura Calcagnini

Sapienza Università di Roma

Agostino Catalano

Università degli Studi del Molise

Silvia Pinci

Università degli Studi Roma Tre

Camilla Sansone

Università degli Studi del Molise

Partner istituzionali



Sponsor



www.geoconsultlab.it

Media partner



www.ecoera.it



www.recyclind.it

Progetto grafico

Silvia Pinci

INDICE

INTRODUZIONE

11 **PREMESSA. I RIFIUTI NON ESISTONO**
Adolfo F. L. Baratta, Agostino Catalano

14 *PREMISE. WASTES DON'T EXIST*
Adolfo F. L. Baratta, Agostino Catalano

RICERCA

18 **DALLA DEMOLIZIONE SELETTIVA AL REIMPIEGO DEI RICICLATI:
OTTIMIZZARE LA GESTIONE DEI FLUSSI DI RIFIUTI C&D**
*FROM SELECTIVE DEMOLITION TO REUSE OF RECYCLED
MATERIALS: IMPROVING THE C&D WASTE MANAGEMENT*
Ernesto Antonini

30 **PROGETTARE SENZA RIFIUTI. PRIMUM NON NOCERE**
PLANNING WITHOUT WASTE. PRIMUM NON NOCERE
Adolfo F. L. Baratta

44 **RIUSO DI MATERIALI LOCALI NELLE CHIUSURE VERTICALI
OPACHE. PRESTAZIONE ENERGETICO-AMBIENTALE DI UN
CASO STUDIO**
*REUSE OF LOCAL MATERIALS IN BUILDING ENCLOSURE
TECHNOLOGY. ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
OF A CASE STUDY*
Laura Calcagnini

60 **RIUSARE SENZA RIFIUTARE: IL RIUSO COME STRUMENTO DI
CONSERVAZIONE DI ENERGIA E MATERIA**
*REUSING NOT REFUSING: REUSE AS AN ENERGY-MATTER
SAVING TOOL*
Ignazio Caruso

- 74** POSSIBILITÀ DI UTILIZZO DI CALCESTRUZZI CON INERTI DA RICICLAGGIO PER SISTEMI COSTRUTTIVI DUREVOLI E ARCHITETTURE SOSTENIBILI
THE POSSIBLE USE OF CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES FOR LASTING CONSTRUCTION SYSTEMS AND SUSTAINABLE ARCHITECTURE
Agostino Catalano
- 86** AGGREGATI PLASTICI RICICLATI PER CALCESTRUZZI: DALLA SPERIMENTAZIONE ALLA PRODUZIONE
RECYCLED PLASTIC AGGREGATES FOR CONCRETE: FROM TESTING TO PRODUCTION
Ornella Fiandaca, Raffaella Lione
- 102** METODOLOGIA PER LO SVILUPPO DI PRODOTTI DERIVATI DA RICICLAGGIO DI DETRITI DESTINATI ALLO SPAZIO PUBBLICO SULL'ASSE DI CALLE 45, BOGOTÁ D.C.
METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF PRODUCTS WITH RUBBLE RECYCLE FOR THE PUBLIC SPACE OF THE 45 STREET, BOGOTÁ D.C.
Fabio E. Forero Suárez, Leonardo Gutiérrez, Javier Rojas
- 116** MATERIALI RI-PENSATI: PROSPETTIVE DI RICERCA SULL'USO DEI BIOCOMPOSITI NEL SETTORE COSTRUTTIVO
RE-THINKED MATERIALS: RESEARCH PERSPECTIVES ON THE USE OF BIO-COMPOSITES IN CONSTRUCTION SECTOR
Francesca Giglio, Giulia Savoja
- 130** I MATERIALI DI RIFIUTO POSSONO ANCORA SERVIRE? NEL RESTAURO, CERTAMENTE
CAN THE WASTE MATERIALS STILL BE USEFUL? IN THE RESTORATION, CERTAINLY
Luigi Marino
- 144** L'UPCYCLING IN ARCHITETTURA. UN CASO DI STUDIO DANESE
UPCYCLING IN ARCHITECTURE. A DANISH EXAMPLE
Angela Masciullo

- 158** IL ROTTAME DI VETRO: DA RIFIUTO A RISORSA
WASTE GLASS FROM SCRAP TO BUILDING MATERIAL
Luigi Mollo, Rosa Agliata
- 172** PRINCIPALI ADEMPIMENTI NORMATIVI PER LA CORRETTA GESTIONE DEI RIFIUTI INERTI DA C&D E VANTAGGI DAL RECUPERO
MAJOR REGULATORY REQUIREMENTS FOR A PROPER C&D INERT WASTE MANAGEMENT AND BENEFITS FROM RECOVERY
Francesco Montefinese
- 182** ASPETTI TECNICI RELATIVI ALL'USO DI AGGREGATI RICICLATI NEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE
TECHNICAL ASPECTS CONCERNING THE USE OF RECYCLED AGGREGATES IN STRUCTURAL CONCRETE
Giacomo Moriconi
- 196** ZERO WASTE. COME STA CAMBIANDO LA PROGETTAZIONE? QUALI PRODOTTI VERRANNO USATI NELL'EDILIZIA? ESISTE UN'ESTETICA DEL RICICLO?
ZERO WASTE. HOW DESIGN IS CHANGING? WHICH PRODUCTS WOULD BE USED IN CONSTRUCTION INDUSTRY? IS THERE ANY RECYCLING AESTHETIC?
Alberto Raimondi, Simona Tannino
- 212** RICICLAB: DIDATTICA DEL RIUSO
RICICLAB: TEACHING OF RE-USE
Rossana Raiteri, Fausto Novi, Andrea Giachetta
- 226** COSTRUIRE EDIFICI STRAORDINARI CON MATERIALI DI RECUPERO: ESPERIENZE TRA RICERCA, DIDATTICA E PROFESSIONE
DESIGN AND BUILD EXTRAORDINARY BUILDINGS USING UNCONVENTIONAL MATERIALS: EXPERIENCES AND EXAMPLES BETWEEN RESEARCH, TEACHING AND PROFESSION
Alessandro Rogora

242 PROCESSI TECNOLOGICI PER IL REINSERIMENTO DEI MATERIALI DA DEMOLIZIONE NEL CICLO DI PRODUZIONE EDILIZIA

TECHNOLOGICAL PROCEDURES FOR THE REINTEGRATION OF DEMOLITION MATERIALS IN THE BUILDING PRODUCTION CYCLE

Camilla Sansone

AUTORI

257 PROFILI DEGLI AUTORI

—
ORNELLA FIANDACA, RAFFAELLA LIONE

Università degli Studi di Messina
ofandaca@unime.it | rlione@unime.it

**AGGREGATI PLASTICI
RICICLATI PER CALCESTRUZZI:
DALLA SPERIMENTAZIONE ALLA
PRODUZIONE**

***RECYCLED PLASTIC
AGGREGATES FOR CONCRETE:
FROM TESTING TO PRODUCTION***

Parole chiave

Aggregati plastici riciclati, Calcestruzzo leggero strutturale, Mix design



Keywords

Plastic recycled aggregates, Structural lightweight concrete, Mix design

SOMMARIO

Nonostante sia trascorso ben più di un secolo dai primi brevetti moderni, il calcestruzzo strutturale non ha esaurito le sue potenzialità di sviluppo e custodisce ancora, se sapientemente orientato, molteplici direzioni di innovazione, alcune delle quali già in fase avanzata di studio. L'imperativo della sostenibilità, in particolare, sta ridisegnando i percorsi della ricerca, teorica e applicata, rivolti a questo materiale e la finalità di affiancare indicatori di qualità energetico-ambientale alla produzione dei calcestruzzi innovativi ha già conseguito esiti promettenti nel campo dei cementi di miscela, degli aggregati da macerie, delle aggiunte da sottoprodotti industriali, con ricadute più o meno mature in ambito merceologico. In questo contesto intendiamo occuparci delle sperimentazioni che, concluse o attive, propongono la sostituzione della componente medio-grossa degli aggregati minerali con altri derivati da plastica riciclata per la formulazione di calcestruzzi leggeri strutturali e di quanto questi studi abbiano inciso sulla produzione di aggregati plastici e premiscelati. Lo scenario ricomposto, rivelatosi complesso e lacunoso, è certamente un indispensabile base di conoscenze entro la quale muovere le prossime fasi di approfondimento per completare un processo avviato ma attualmente non disponibile per una fruizione diffusa.

ABSTRACT

The structural concrete, although it is spent well over a century by the early modern patents, has not exhausted its potential for development; it holds, if wisely oriented, multiple directions of innovation, some of which are already at an advanced stage of study. The imperative of sustainability, in particular, is redesigning the paths of research, theoretical and applied, toward this material; the studies to find quality indicators energy-environment to the production of innovative concretes have already achieved promising results in the field of blended cements, aggregates from rubble, additions from industrial by-products, with result more or less mature in the building market. In this context, we intend to deal the experimentations that, ended or active, have proposed the replacement the part medium-coarse of the mineral aggregate with other derived from recycled plastic for the formulation of structural lightweight concrete; to verify in addition what these studies have affected production of plastic aggregates and ready-mixed. The scenario reassembled, which proved to be complex and incomplete, it is certainly an indispensable knowledge base within which to move the next steps to complete an process initiated but not yet available for widespread use.

Gli indirizzi energetico-ambientali per un calcestruzzo strutturale sostenibile

Consumo di suolo zero, *Zero Energy Building*, km zero, zero rifiuti sono espressioni sintetiche, assunte talvolta come slogan, per rappresentare un cambiamento generazionale di approccio all'ambiente, alla natura e conseguentemente all'equilibrio fra azione antropica e conservazione dell'ecosistema; si tratta di tornare a riflettere sulla gestione delle risorse, umane, economiche, energetiche, materiali, per eliminare gli sprechi, razionalizzare gli usi, massimizzare gli apporti, ridurre gli scarti.

Un'analisi dell'attuale mercato edile manifesta una nuova rivoluzione produttiva che potrebbe provocatoriamente definirsi come de-industrializzazione perché nasce sulle ceneri di una industrializzazione che ha determinato una diffusa quantità, ma anche qualità, di sistemi e componenti senza preoccuparsi tuttavia dei costi ambientali. La necessità di ridurre il consumo di materie prime esauribili (consumo zero di risorse vergini) magari promuovendo il ricorso a materie prime seconde, di impiegare fonti energetiche rinnovabili (consumo zero di energie non rinnovabili), di rivolgersi a materiali locali (km zero), di ridurre gli scarti (zero rifiuti, *end of waste*), di occuparsi del fine vita e del riciclaggio, ha determinato un ripensamento su ciascuna categoria merceologica, accogliendo la sfida di un "azzeramento di risorse vergini, energie non rinnovabili, emissioni, rifiuti".

Questa filosofia ha prodotto esiti già maturi per il vetro, l'alluminio, il rame, l'acciaio; promettenti per la plastica e il legno; in fieri per il calcestruzzo, armato e non.

Nell'attuale scenario di ricerche volte a individuare percorsi virtuosi ai fini della sostenibilità abbiamo deciso di occuparci delle sperimentazioni, concluse o attive, che hanno testato la possibilità di sostituire, nei calcestruzzi strutturali, gli aggregati minerali con altri derivati da plastica riciclata, nonché delle ricadute produttive innescate. Lo sguardo, inizialmente entusiasta per le potenzialità dell'idea, si è progressivamente offuscato nel rilevare alcune criticità; nel presente studio sono state indagate le prime ed evidenziate le seconde per verificare cosa debba essere ancora fatto affinché il cantiere del calcestruzzo possa risultare pronto ad accogliere questa materia prima seconda con consapevolezza, senza pregiudizi infondati, ma anche senza fondati dubbi.

L'ottica attraverso la quale si è tragiurato il tema, ritiene prioritaria, rispetto

alla opportunità di immaginare nuovi prodotti per l'edilizia, l'esigenza di vagliare possibili applicazioni di materiali scartati, poveri, residuali, la cui fine più probabile sarebbe altrimenti la discarica, con danni ambientali dagli effetti e dai costi che ad oggi non sappiamo prevedere.

Le ricerche italiane attive e concluse sugli aggregati da plastica riciclata

Nello studio di nuove miscele per generare un calcestruzzo armato da materie prime seconde, la componente che annovera il maggior numero di ricerche, sperimentazioni, brevetti è senza dubbio quella degli aggregati. Del calcestruzzo, la pubblicistica attesta un'impronta ecologica quanto ad adozione di aggregati, solitamente da materie prime locali, quindi a km zero, e di impatto praticamente nullo per il trasporto, che viene limitato dalla sua stessa reologia a distanze contenute nell'ora di viaggio. Ancora, le risorse naturali adottate (componenti la miscela) vengono descritte come "inesauribili", identificandosi con la crosta terrestre. Insomma sembrerebbe un falso problema quello di investire su ricerca e sviluppo in tale direzione. Eppure l'esauribilità delle materie prime lapidee naturali, prelevate dal greto dei fiumi, o ottenute per frantumazione dalle cave, ma anche degli aggregati leggeri (vermiculite, perlite, argilla espansa) ha sicuramente un impatto ambientale eludibile, tanto più se è possibile trovare altrove una sostituzione adeguata per caratteristiche, proprietà tecnologiche, compatibilità e tanto meglio se tale scelta collabora anche alla risoluzione di uno dei problemi più tipici della nostra società; non si spiegherebbe altrimenti l'interesse che si è concentrato attorno a due opzioni.

Una prima possibilità è *endogena*: frantumare malte e calcestruzzi provenienti da rifiuti post-consumo da Costruzione & Demolizione. Strategia adottata a partire dall'ingente quantità di patrimonio edilizio obsoleto, da demolizioni selettive di parti, da interventi di manutenzione, da scarti di lavorazione dei componenti prefabbricati.

Questo percorso di mutazione scientifico-culturale si è avvalso di un rilevante corpo di ricerche e sperimentazioni, molte non ancora concluse, che hanno già condotto a una determinazione normativa di impiego contemplata nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008; UNI EN 12620; UNI 8520-2). Inoltre a seguito del D.M. 203/2003 destinato a orientare le amministrazioni pubbliche ad attingere manufatti e beni, per non meno del 30%, da materiale riciclato è stata attivata quale condizione necessaria

per entrare negli appalti di opere pubbliche l'iscrizione delle aziende a un Repertorio del Riciclaggio per ciascuna categoria di prodotti (Circolare 5205/2005). Lo strumento elaborato per il settore edile, fermo al 2011, propone, fra un numero assai esiguo di referenze, gli "aggregati riciclati" prodotti nel circuito di sfabbricidi e calcestruzzi degradati, da impiegare come materiale accessorio: realizzazione del corpo dei rilevati stradali, dei sottofondi stradali, degli strati di fondazione, recuperi ambientali, riempimenti e colmate, strati accessori con funzioni antigelo, anticapillare, drenante, ecc. Attualmente è quindi un espediente depotenziato ma che suggerisce una opportunità di diffusione concreta. Diverse sono le aziende che hanno avviato, con sempre maggiore frequenza nell'ultimo biennio, processi di strutturazione di filiere industriali allo scopo di produrre questa categoria merceologica.

Una seconda possibilità, che in questo studio si intende approfondire, è *esogena*: riciclare i rifiuti solidi urbani, plastica nello specifico, per ottenere aggregati da trattamenti di trasformazione di alcuni tipi di plastiche, principalmente HDPE, EPS, PET, PVC e miste, [1] per calcestruzzi leggeri, strutturali e non, attivando un settore produttivo che potrebbe divenire concorrenziale rispetto all'analogo tradizionale.

La finalità di una ricerca [Lo Presti e Martines, 2003; Lo Presti, 2003] avviata più di dieci anni fa, nell'ambito dell'allora Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia (DPCE) dell'Università di Palermo, era proprio testare la possibilità di produrre *flakes* (ritagli di scaglie) da bottiglie di PET per sostituire la componente a granulometria medio-grossa dell'aggregato naturale di un calcestruzzo leggero inizialmente ordinario e non strutturale. In una prima fase di studio le scaglie addensate mediante un processo termo-meccanico in granuli *alPET* ($d=20-30$ mm) sono state miscelate alla pasta legante nella proporzione tradizionale di circa 1:1:3 (kg/m³ 285 CEM I 42.5 R; 235 PET; 680 sabbia di frantoio) con rapporto a/c pari a 0.6 e una percentuale di superfluidificante dell'1% in peso di legante, per la costituzione di un calcestruzzo sottoposto poi a sperimentazione per la determinazione delle proprietà tecnologiche e meccaniche.

L'esito concettuale della sperimentazione condotta ha dimostrato svariate potenzialità, resistenza meccanica pari a 11 MPa, assenza di galleggiamento e di segregazione, proprietà termoisolanti (e qualche limite) principalmente una insufficiente aderenza aggregato/pasta legante, soprattutto nell'ipotesi

di voler incrementare la resistenza meccanica a compressione. Una seconda fase della ricerca ha affrontato questo problema introducendo un'operazione di sabbatura dei granuli, che ha determinato oltre al potenziamento della proprietà in discussione un aumento sostanziale delle caratteristiche di resistenza del calcestruzzo, da 11 MPa (peso specifico 1650 kg/m³) a 26,6 MPa (2000 kg/m³), tale da farlo annoverare fra quelli normativamente definiti come leggeri strutturali (R_c > 15 MPa). Un resoconto della ricerca proposto nel 2006 fornisce valori lievemente diversi per granulometria, massa volumica e resistenze a compressione delle miscele sperimentate (che tuttavia non vengono in questa circostanza fornite), da ricondurre a un assestamento più maturo e avanzato degli esiti.

| Aggregato | Granulometria [mm] | Massa volumica aggregato [kg/m ³] | Massa volumica conglomerato [kg/m ³] | Resistenza a compressione delle miscele sperimentate [MPa] |
|-----------|--------------------|---|--|--|
| aIPET | 20 30 | 200 500 | ≅ 1200 | 12 18 |
| aIPET - R | 14 18 | 600 900 | ≅ 1600 | 20 30 |
| aIPET - S | 8 12 | 1000 1200 | ≅ 1800 | 38 48 |

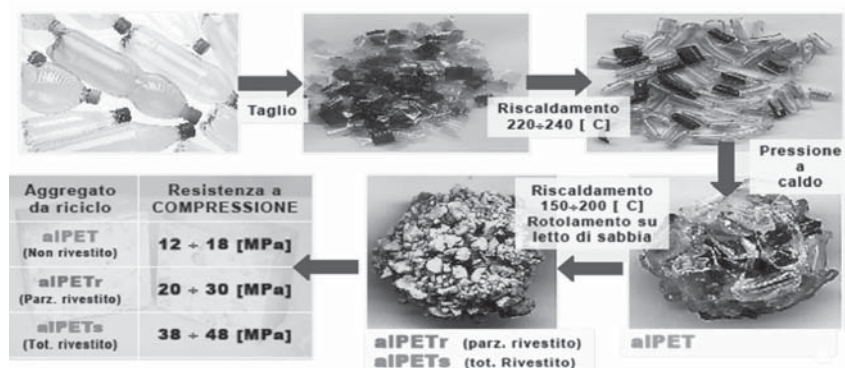


Figura 1. Ciclo di produzione dell'aggregato aIPET.

L'invenzione è stata protetta da un brevetto nazionale del 2002 e da uno internazionale del 2004 [2] e ha ottenuto nel 2007 un riconoscimento al *35ème Salon International des Inventions des Techniques et Produits Nouveaux* di Ginevra con la medaglia di bronzo, ma per molto tempo sembra non aver avuto le auspicate ricadute operative.

Più probabile pensare a uno scollamento fra ricerca universitaria e attività imprenditoriale, ostacolo che attualmente avrebbe forse trovato soluzione nei meccanismi di incentivazione delle sinergie fra partner di estrazione diversa e che fa ben sperare per la riconsiderazione di questi studi.

È recentissima, infatti, la notizia [3] di un accordo di “amicizia istituzionale e commerciale” fra il Dipartimento di Meccatronica della Regione Sicilia e lo sceicco El Maidoor, presidente della *Society of Engineer UAE* (Emirati Arabi Uniti) e presidente della *Health Society* di Dubai. Fra le prospettive di scambio di *know how* viene contemplato per il settore edile un calcestruzzo ecosostenibile nel quale una parte consistente degli aggregati naturali da cava viene sostituita da plastica di riciclo. “Un progetto che rende più solide le costruzioni, diminuisce l'impatto ambientale dovuto ai rifiuti e quello dovuto all'estrazione del materiale dalle cave” che sarà presentato all'expo 2015 di Milano e riproposto all'Expo 2020 di Dubai. Nell'ambito di questo programma di collaborazione internazionale si è sviluppato *Sustainable Island*, un gruppo di operatori di varia estrazione e competenza che, fra le tematiche di cui si occupa nel settore “Costruzioni”, vanta, quale esito innovativo coperto da brevetti, anche gli aggregati in PET.

La presenza, fra le imprese coinvolte, della Geolab, laboratorio prove che ha curato sin dagli esordi la parte sperimentale della ricerca sull'*alPET*, mostra dove i risultati dello studio siano approdati a livello istituzionale. L'interesse della Geolab a implementare la ricerca è emerso, nei contatti intercorsi, sotto forma di proposta di intesa sinergica per dare all'argomento un taglio applicativo e concordare strategie per promuovere e diffondere l'uso degli aggregati in PET.

Un altro percorso concluso, nella stessa direzione, è quello delle ricerche correlate *Remix* e *Numix*. [4] Il CETMA (Centro di progettazione, design e tecnologie dei materiali), dopo aver depositato la privativa industriale per il Remix (Brevetto Europeo EP 1598164) - un processo di estrusione [5] che partendo da una miscela di rifiuti plastici misti, da RSU, e gesso di scarto, da centrali termoelettriche, giunge a granuli espansi polimerici - ha gestito il progetto CIP *Eco-Innovation Numix 2009-2012* [6] per lo studio delle applicazioni di questi aggregati leggeri per malte e calcestruzzi isolanti. Si è avvalso inoltre del “POR Umbria Colabeton” Re.sta INDUSTRIA 2008 [7] per lo studio di un mix design finalizzato a ottimizzare le proprietà meccaniche e termiche, ridurre i costi e impiegare scarti industriali e urbani

(*Remix*) e del progetto SUS CON [8] per strutturare, insieme a 17 partner di 10 paesi, una filiera completa dalla quale ottenere elementi prefabbricati in calcestruzzo, con leganti provenienti da riciclo e granuli espansi *Remix*.

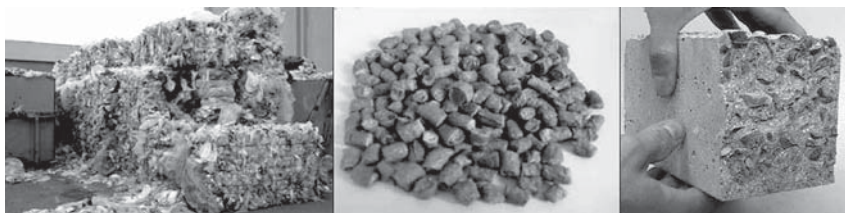


Figura 2.
Remix-Numix: dal rifiuto al manufatto.

Un rapporto del CETMA nel 2012, al termine del progetto *Numix*, ha fatto un consuntivo di questo articolato percorso che intendeva avere risvolti operativi e incisivi sul mercato edile con l'introduzione di MPS e componenti derivati. A tal fine si sono svolti test di industrializzazione in vari impianti di estrusione tramite i quali è stato possibile definire i parametri di processo per ottimizzare la produzione finale di scaglie densificate e granuli espansi; si è provveduto a caratterizzare i prodotti in uscita (proprietà geometriche, fisicomeccaniche, chimiche, conducibilità termica, contenuto batterico, e test di rilascio) dimostrando la loro conformità alle norme di riferimento; si è avviata la determinazione degli indicatori ambientali per condurre uno studio LCA del prodotto allo scopo di valutare la sostenibilità ambientale dell'intero processo, dalla produzione allo smaltimento degli aggregati *Remix-Numix*; si sono condotte prove per la caratterizzazione e la validazione della produzione di miscele di conglomerato cementizio leggero con densità variabile tra 1560 e 1860 kg/m³ e resistenze meccaniche medie a compressione variabili tra 10,5 e 30 N/mm².

Il documento si conclude con un *Business Plan* per invogliare le aziende a intraprendere la produzione di questi aggregati da rifiuti di plastica mista, possibile anche con processi, tecnologie e strutture esistenti.

Anche in questo caso ai contatti intrapresi con il CETMA, per approfondire le analisi del progetto *Remix-Numix*, ha fatto seguito una richiesta di collaborazione.

La sensazione affiorata dall'analisi svolta è quella di un campo di ricerca in fieri nel quale devono essere ancora affrontati per questa categoria di

prodotto, o non sono stati sufficientemente comunicati, alcuni temi relativi alla convenienza ambientale, alle caratteristiche specifiche, ai dosaggi previsti in rapporto alle prestazioni meccaniche (e non solo), agli strumenti tecnici e normativi capaci di garantirne la diffusione e l'uso.

| Brevetto | Aggregato | Granulometria mm | Densità in mucchio kg/m ³ | Assorbimento H ₂ O % | Resistenza alla frantumazione N/mm ² |
|-----------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| LECA Strutturale 0-15 | Argilla espansa | 0/16 | 680 | <15 | >10 |
| Remix-Numix CETMA | Plasmix espanso | 4-8 8-11 | 297 330-604 | 3 23 | 19 |
| Lo Presti-Martines | (2003-2004) Flackes PET sabbaiato (2006) Al-PET r Al-PET s | 13-20 14-18 8-12 | 520-1316 600-900 1000-1200 | trascurabile | |

| | | | | | |
|----------------------|--|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| Mix Design | Leca Strutturale 0-15 | Remix-Numix | Al-PET 13-20 | | EPS - Rete Abile |
| CEM I 42.5 R | 400 kg/m ³ | | 285 kg/m ³ | | |
| Aggregato plastico | 510 kg/m ³ | | 305 kg/m ³ | 557 kg/m ³ | |
| Sabbia di frantoio | 620 kg/m ³ | | 795 kg/m ³ | 761 kg/m ³ | |
| Acqua | 160 l/m ³ | | 170 l/m ³ | 170 l/m ³ | |
| Additivi | 4 kg/m ³ | | 2,9 l/m ³ | 2,9 l/m ³ | |
| Rapporto a/c | 0,4 | | 0,6 | 0,6 | |
| Consistenza | | | S5 | S5 | |
| Peso specifico | 1600 kg/m ³ | 1560-1860 kg/m ³ | 1980 kg/m ³ | 1780 kg/m ³ | |
| RCC 28gg RCM 28gg | 25 N/mm ² 30 N/mm ² | 10,5 - 30 N/mm ² | 266 MPa | 27 MPa | |
| Modulo elastico | 15000 | | | | |
| Conduttività termica | 0,87 W/mK | | | | |

Tabella 1.

Tabella comparativa dei dati disponibili a conclusione delle sperimentazioni condotte nell'ambito delle ricerche analizzate: il termine di confronto è un calcestruzzo leggero strutturale prodotto dalla LECA.

La filiera della plastica: da rifiuto urbano a risorsa per aggregati

Un'indagine parallela è stata indirizzata a verificare quanto della ricerca scientifica rintracciata fosse trasmigrato nel settore produttivo. Nell'esplorazione del panorama commerciale degli aggregati da plastica riciclata per calcestruzzi, in questa fase sia strutturali che non, ci si è rivolti a un campione comprensivo di:

- produttori di sabbia sintetica;
- produttori di massetti prestazionali;
- produttori di manufatti;
- centrali di betonaggio;

rilevando peraltro la pressoché totale assenza di informazioni per quanto concerne le ultime due voci.

Un certo scollamento sulle influenze dirette fra ricerca e produzione si è già evidenziato: né gli aggregati *alPET*, né quelli *Remix-Numix* [9] hanno trovato aziende pronte ad accogliere la sfida.

Forse possono essere indirettamente ricondotte alle ricerche correlate *Remix-Numix* due esperienze attuate da strutture che vi hanno preso parte. La prima, risalente al 2007, è la produzione, che veniva effettuata dal Centro Riciclo di Vedelago [10], del granulato plastico R-PMIX-CEM a matrice prevalentemente plastica: una "sabbia sintetica", conforme alla norma UNI 10667-14/2003, classificata come "materia prima seconda" all'art. 181 D.lgs. 152/2006, e venduta a varie aziende per realizzare manufatti, massetti, pavimenti in calcestruzzo leggero (non strutturale).

La seconda riguarda un settore operativo dell'Italcementi, che si avvale, in qualità di destinatario ultimo, di aggregati polimerici non specificati, ma dichiarati come derivanti da un brevetto industriale, per la produzione di Fonicall e Fonicall-plus, due massetti fonoisolanti in calcestruzzo leggero, rispettivamente pompabile e superfluido.

Soltanto altre tre aziende [11] hanno in produzione aggregati generati per estrusione da materiali plastici eterogenei conformi alla norma UNI 10667-14 [UNI 10667, 2014], quindi per malte cementizie.

Un avvio di filiera produttiva è rappresentato dall'accordo fra AIPE e CORIPLA per il recupero sul territorio, l'adeguamento fisico (compattazione, frantumazione, rigranulazione) e il riutilizzo di EPS da imballaggio post-uso. All'interno di questo processo la Cooperativa Rete Abile di Messina è stata individuata per la gestione del trattamento degli scarti provenienti

dalle Aree di Primo Conferimento con un impianto di lavaggio/pulitura, frantumazione e compattazione. Una delle opportunità selezionate per la “seconda vita” di questa risorsa riciclata consisterà, a regime, proprio nella trasformazione in granulo compatto, da usare come inerte leggero in calcestruzzi e malte cementizie.

Nessun ciclo di produzione al momento è rivolto ad aggregati plastici riciclati per calcestruzzi leggeri strutturali e anche nel caso delle sabbie sintetiche per malte cementizie i prodotti in commercio non dispongono di una scheda tecnica concepita assecondando principi condivisi, che peraltro non sono stati individuati e definiti.

Una proposta ancora virtuale da rendere virtuosa

Lo stato dell'arte restituito, pur promettente e con grandi potenzialità, si è rivelato essere non sufficiente per dare le risposte necessarie ai diversi livelli coinvolti, istituzionale, professionale e produttivo. Il lavoro di indagine svolto doveva nelle nostre intenzioni bastare per “aprire” e “chiudere” l'argomento. In realtà, la strada degli aggregati plastici da riciclo per calcestruzzi strutturali appare lastricata da molte buone intenzioni, talvolta supportate da indagini, ma non ancora capace di condurre a risultati concreti diffusi e ripetibili.

Pertanto abbiamo già mosso i primi passi di uno studio che, guardando a un contesto più ampio sia geografico che temporale, ci ha consentito di avanzare alcune considerazioni indispensabili per procedere in questo percorso verso una meta virtuosa.

L'operazione riguarda la capitalizzazione degli esiti raggiunti dalle ricerche rivolte ai calcestruzzi leggeri strutturali in cui gli aggregati plastici sostituiscono la componente medio-grossa degli aggregati minerali, interrelate fra loro e con altre più mature che si sono invece occupate della sostituzione della componente fine degli aggregati minerali.

Ci siamo, a tal proposito, imbattute in un rilevante numero di studi metodologicamente corretti, stratificati in un'area geografica che annovera India, Iraq, Giordania, Turchia, Corea del Sud, Africa del Sud, e in un arco temporale di quasi un ventennio, che valutano gli effetti della permuta aggregato plastico/sabbia sulle prestazioni allo stato fresco e indurito del calcestruzzo leggero strutturale: si ritiene che attraverso la comparazione degli esiti di centinaia di prove sperimentali, rese pubbliche, sarà possibile stabilire quali considerazioni possono accomunare i due filoni di ricerca e

cosa del secondo può metodologicamente essere trasferito e riproposto nel primo.

Si sente cioè l'esigenza, anche soltanto in veste di possibili fruitori, di venire a conoscenza degli stessi o analoghi esiti di programmi sistematici di prove di laboratorio per una sostituzione della componente medio-grossa dell'aggregato minerale con granuli di plastica per desumere l'influenza sulla lavorabilità, la quantità di aggregato plastico limite oltre la quale il calcestruzzo leggero non può più classificarsi come strutturale, il mix design più adeguato per ottimizzare l'efficienza strutturale, se e in che modo resilienza e duttilità possano diventare un valore aggiunto di questa sostituzione.

Nel riprometterci a breve di poter completare il quadro, sistematizzare tutte le conoscenze e quindi pubblicare le risultanze in una forma di compiutezza operativa, vogliamo comunque sottolineare che nell'attuale momento storico forse non ha tanto senso dove siamo arrivati con questi studi, ma piuttosto dove rischiamo di arrivare in assenza di simili ricerche: la soluzione dei problemi legati all'ambiente e alla sostenibilità deve infatti precedere e non più affiancare altre linee di pensiero a meno che noi tutti non decidiamo deliberatamente di lasciare alle generazioni future un ecosistema veramente fragile.

Note

- [1] Polietilene ad alta densità (HDPE), polipropilene (PP), polivinilcloruro (PVC), polistirene (EPS), polietilentereftalato (PET).
- [2] L'invenzione è stata coperta dai seguenti brevetti WO 2004/024793 A2.
- [3] Articolo del 14 aprile 2014 nel sito news.si24.it e altri.
- [4] CIP Eco-Innovation - Call 2008. NUMIX *"Lightweight aggregate for concrete from recycling of urban waste"* (2009-2012). Coordinatore: CETMA (Centro di progettazione, design e tecnologie dei materiali) - Italia; Partners: Centro Riciclo Vedelago S.r.l. - Italia; ACCIONA INFRASTRUCTURES S.A. - Spagna; DFS Montenegro Engineering - Montenegro; SGI Studio Galli Ingegneria S.p.A. - Italia. POR Umbria Colabeton Re.sta Industria 2008. Colabeton, CETMA, Italcementi, Università degli Studi di Perugia.
- [5] Per maggiori informazioni sul processo di estrusione, dei parametri impostati e delle prove effettuate per giungere al brevetto si veda Marseglia, 2009.
- [6] L'iniziativa nasce nell'ambito del programma quadro EIP (*Entrepreneurship and Innovation Programme*).
- [7] Partner del progetto: Colabeton; CETMA; Edilcemento; CF; Università degli Studi di Perugia.

- [8] (Sustainable, Innovative and Energy-Efficient Concrete, based on the Integration of All-Waste Materials) - 7° Programma Quadro FP7-2011-NMP-ENV-ENERGY-ICT-EeB.
- [9] Le applicazioni previste per l'aggregato *Remix* nell'ambito del programma di ricerca *Numix* sono: Mattoni in calcestruzzo leggero per murature portanti e non; Pannelli in calcestruzzo leggero per usi strutturali; Massetti leggeri fonoassorbenti; Massetti leggeri a rapida disidratazione; Calcestruzzi con densità variabile fra 1450 e 2000 kg/m³ e una resistenza a compressione variabile fra i 15 e i 35 N/mm².
- [10] Una sentenza del Tribunale di Treviso del 17 dicembre 2014 ha dichiarato il Centro Riciclo di Vedelago fallito.
- [11] Due sono iscritte all'IPPR (Istituto per la Promozione delle Plastiche da Riciclo): AMC Mont - Addensato per Malte - prod. Montello (da materiali plastici eterogenei rimasti da selezione dei prodotti in HDPE e PET per estrusione); sabbia sintetica isofono - prod. Rigenera (da materiale plastico eterogeneo per estrusione). La terza ha in produzione una sabbia sintetica derivata dal brevetto EP 1488902 A1: R-PMIX-CEM - prod. PROMECO (da materiale plastico eterogeneo per estrusione).

Riferimenti bibliografici

- Lo Presti, S. e Martines, E. [2003]. "Bottiglie e calcestruzzi: contributo a uno sviluppo sostenibile", Atti del 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publication s.a.r.l., Bagnaux, France, 251-260.
- Lo Presti, S. [2003]. Dalle bottiglie al calcestruzzo: contributo ad uno sviluppo sostenibile", in *Enco Journal*, n. 22 e n. 33.
- Marseglia, A. [2009]. Progetto Numix "Aggregate for concrete from recycling of plastic waste", Consorzio CETMA, Ecomondo, Rimini.
- UNI 10667-14: "Materie plastiche di riciclo - Miscele di materiali polimerici di riciclo e di altri materiali a base cellulosa di riciclo da utilizzarsi come aggregati nelle malte cementizie - Requisiti e metodi di prova".