

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



LUIGI MOLLO, ROSA AGLIATA

Seconda Università degli Studi di Napoli

luigi.mollo@unina2.it

**IL ROTTAME DI VETRO:
DA RIFIUTO A RISORSA**

***WASTE GLASS FROM SCRAP TO
BUILDING MATERIAL***



Parole chiave

Rifiuti di vetro, Malta cementizia, Materiali edilizi



Keywords

Waste glass, Cement mortar, Raw building materials

SOMMARIO

Il lavoro esamina la possibilità di utilizzare, tal quale, lo scarto di vetro proveniente dalla frantumazione del vetro da riciclo come materia prima secondaria nella produzione di malte cementizie, in particolare quale sostitutivo dell'aggregato fine. Lo scarto di vetro, destinato alla discarica con ingenti costi, si trasformerebbe in una risorsa economica e in un vantaggio ambientale, legato alla riduzione del prelievo di materiale da cava. Partendo dalla letteratura, si è stabilita una campagna di prove volte ad indagare il comportamento meccanico della malta così prodotta, al variare del contenuto di vetro e quindi al corrispondente ridursi dell'aggregato fine, nello specifico sabbia di fiume. I risultati ottenuti sono incoraggianti, infatti la malta cementizia con il 100% di sostituzione della sabbia con vetro ha una resistenza meccanica conforme alle disposizioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. La ricerca si può sviluppare indagando il comportamento meccanico in ambiente aggressivo, la durabilità e le potenzialità estetiche della malta con vetro.

ABSTRACT

This paper examines the possibility of using waste glass, as it is from the crushing process, as secondary raw material in the production of cement-based materials, in particular as fine aggregate in cement mortars. Waste glass, intended to landfill with significant costs, could be turned into economical resource and environmental advantage, associated with the reduction of the extraction operations. Starting from the literature review, a test campaign has been established, aimed to investigate mechanical strength of such a mortar, by varying glass content and at the same time reducing river sand aggregate content. Obtained results are encouraging: mortar with 100% glass replacement has a mechanical strength according with the provisions of DM 14 January 2008. Research can be developed studying mechanical behavior in aggressive environments, durability and aesthetical potentialities of the glass mortar.

Introduzione

Il vetro costituisce un enorme problema ambientale parzialmente risolto con le attuali tecniche di riciclo. Infatti il vetro raccolto nella differenziata viene diviso per colore e, prima di essere avviato alle vetrerie per il riciclo, subisce una frantumazione in impianti che devono operare senza produrre eccessive quantità di polvere di vetro e garantendo la completa assenza di frammenti di grosse dimensioni.

Dal processo di frantumazione tuttavia, residua una frazione minuta che viene avviata in discarica. Si tratta di una frazione che non ha valore di mercato ma che, anzi, grava sui costi di riciclo ed ha un significativo impatto ambientale dato che il vetro non è bio degradabile. Nel contempo esiste un altro importante problema ambientale legato al prelievo delle materie prime necessarie a produrre materiali a base cementizia, estremamente diffusi ed utilizzati dall'industria edilizia. L'idea alla base della ricerca è quella di utilizzare tal quale la frazione minuta ottenuta dalla frantumazione del vetro che, come già detto, è destinata alla discarica. In tal modo il vetro di scarto (*waste glass - WG*) da rifiuto si trasformerebbe in materia prima secondaria.

Su tale tema sono in atto, in tutto il mondo, attività di ricerca volte ad individuare nuove modalità di riutilizzo del WG nella produzione di calcestruzzi e malte cementizie.

La ricerca internazionale, come già evidenziato [Mollo et al., 2012], è orientata su due direttive: la prima studia la possibilità di sostituire il cemento con il vetro di scarto sfruttando le reazioni che si ingenerano alla nanoscala per effetto delle componenti chimiche del vetro; la seconda indaga gli effetti che ha sulle caratteristiche del materiale la parziale o totale sostituzione dell'inerte fino con il vetro di scarto. In questo filone di ricerca si inserisce il lavoro oggetto di questo *paper*, nel quale ci si è interessati della possibilità di sostituire l'aggregato fine con WG nella composizione delle malte cementizie [Polley et al., 1998; Shao et al., 2000; Topçu e Canbaz, 2004; Corinaldesi et al., 2005; Siddique, 2008; Ismail e Al-Hashmi, 2009; Derirmenci et al., 2011; Kou e Poon, 2009; Rashad, 2014]. Nel 2011 Ling e Poon [Ling e Poon, 2011] hanno indagato la possibilità di produrre malta colorata con vetro blu ottenendo buoni risultati ed un comportamento paragonabile alla malta realizzata con sabbia di fiume con una resistenza media a compressione di 40 MPa e una resistenza a

flessione di 6 MPa a 28 giorni, caratteristiche compatibili con le principali applicazioni edilizie ed architettoniche. L'anno dopo i due stessi autori [Ling e Poon, 2012] hanno studiato la possibilità di usare il vetro dei tubi catodici (CRT) esauriti come inerte nelle malte. I risultati lasciano supporre che il vetro dei CRT (un materiale in origine pericoloso) può essere trattato, macinato e riutilizzato per fare malte cementizie. Le prestazioni meccaniche della malta cementizia così ottenuta sono paragonabili a quelle ottenute utilizzando come inerte vetro di bottiglie. Nonostante i risultati ottenuti e di recente confermati da Bhandari e Tajne [Bahandari e Tajne, 2013], ci sono ancora molte incognite sull'uso degli scarti di vetro in edilizia. Gli studiosi ritengono infatti necessario approfondire il contributo che il WG può dare al comportamento dei materiali a base cementizia induriti. Gli aspetti che maggiormente preoccupano la comunità scientifica riguardano la resistenza meccanica ma anche aspetti più squisitamente tecnologici quali la durabilità e la lavorabilità. In questo lavoro saranno presentati i primi risultati riguardanti la resistenza a compressione e a flessione della malta realizzata con diverse percentuali di sostituzione del materiale lapideo fine con il WG.

Materiali e metodi

In questo lavoro di ricerca è stato utilizzato un cemento grigio pozzolanico, appartenente della classe di resistenza 32.5R (EN 197-1 - CEM I 32,5 R), le cui proprietà chimico-fisiche sono riportate in *Tabella 1*. Come materiale lapideo fine è stato usato WG passante per uno staccio da 1 mm e caratterizzato da un modulo di finezza di 5.09 e una densità di 2.47 g/cm³.

Il materiale, proveniente da un impianto locale di riciclaggio del vetro delle campane, è il cascame della frantumazione di vetri di uso domestico (bottiglie, bicchieri, barattoli etc.) trasparenti ma anche colorati (verde o marrone).

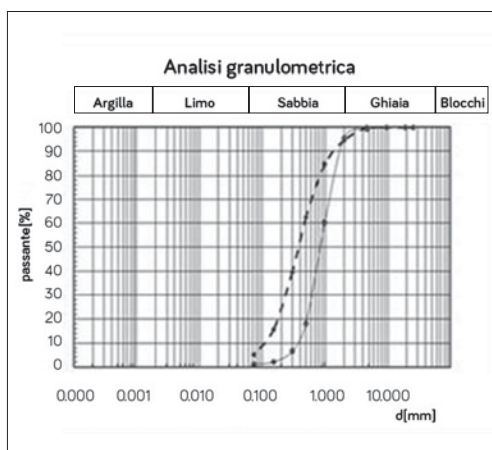
Prima dell'uso il WG è stato fiammato per eliminare le contaminazioni (olio, residui alimentari, carta, plastica, etc.).

La sabbia (RS) utilizzata è sabbia di fiume in gran parte passante (94.5%) per uno staccio da 2 mm e caratterizzata da un modulo di finezza di 3.98 e una densità di 2.64 g/cm³. Le curve granulometriche del WG e della RS con le relative distribuzioni percentuali del passante sono visibili in *Figura 1*.

Chemical properties			
	Recommendations	Result	Regulations limit
Sulphate (SO ₃)	EN 196/2	<2.8%	≤3.5%
Chloride (Cl ⁻)	EN 196/2	<0.05%	≤0.1%
Pozzolanicity	EN 196/5	Positive	positive
Physical properties			
	Recommendations	Result	Regulations limit
Blaine's specific surface	EN 196-6	460-490 m ² /kg	-
Initial setting time	EN 196-3	>120 min	≥75 min
Cement paste compressive strength after	2 days	EN 196-1	≥16.0 N/mm ²
	28 days		≥32.5 N/mm ²

Tabella 1.

Proprietà chimico-fisiche del cemento pozzolanico.



Sieve size and physical properties	Percentage passing (%)	
	RS	WG
4,750 mm	100.00	100.00
2,000 mm	94.57	100.00
1,000 mm	84.44	62.69
0,500 mm	62.56	18.80
0,300 mm	39.58	6.74
0,150 mm	15.68	2.15
0,075 mm	5.19	1.06
Fineness modulus	3.98	5.09
Density (g/cm ³)	2.64	2.47

Figura 1.

Curva granulometrica del WG (continua), della RS (tratteggiata) e distribuzione percentuale del passante.

Per l'impasto si è utilizzata acqua di rubinetto mantenendo costante la quantità di cemento (300 kg/m³) e i rapporti acqua/cemento (1/2) e cemento/inerte (1/3). Si è variata solo la percentuale in volume di WG che, a partire dallo 0% mix di controllo (CM), è stata incrementata, a danno della

RS, con passo del 20%. In totale sono stati preparati e provati 6 impasti (Figura 2), con ognuno dei quali sono stati preparati 6 provini (40 mm x 40 mm x 160 mm) per prove di resistenza a flessione e a compressione a 7 e a 28 giorni di stagionatura. In accordo con la EN1015-2 e la EN 196-1, l'impasto è stato eseguito inserendo tutti i materiali asciutti, compreso il legante, nel tamburo rotante e mescolandoli per circa 60 secondi per raggiungere un impasto omogeneo e in condizioni asciutte. Poi è stata aggiunta la quantità necessaria di acqua e l'intera miscela è stata ulteriormente miscelata per altri 180 secondi.

Dopo di che, la miscela è stata ulteriormente impastata manualmente con una spatola di acciaio per raggiungere l'uniformità prevista. Con ogni impasto si sono poi preparati sei provini (40 mm x 40 mm x 160 mm) per prove di resistenza a flessione e a compressione. Gli stampi sono stati coperti con un foglio di plastica e lasciati maturare per 24 ore in laboratorio a circa 20° C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Dopo un giorno, i provini di malta sono stati sformati e quindi immersi in acqua per la stagionatura ad una temperatura media di circa 20° C ($\pm 2^\circ\text{C}$) fino al giorno del test.

No.	Mix notation	Sand Subst.	Cement	Fine aggregate		Water
		(%)	[kg]	RS [m ³]	WG [m ³]	[kg]
1	CM	0	300	1	0	150
2	WG20	20	300	0.8	0.2	150
3	WG40	40	300	0.6	0.4	150
4	WG60	60	300	0.4	0.6	150
5	WG80	80	300	0.2	0.8	150
6	WG100	100	300	0	1	150

Tabella 2.

Mix proportions delle miscele cementizie con rapporto W/B costante (0,5).

La resistenza a flessione dei campioni è stata testata a 7 e a 28 giorni di stagionatura. Il campione prismatico è stato posto nel dispositivo di prova a flessione, con una faccia laterale disposta sui rulli di supporto e l'asse longitudinale normale al supporto. Il rullo di carico ha applicato, fino a rottura, un carico crescente a velocità uniforme 1 mm/min in modo da garantire che la rottura, conformemente alla EN 1015-11, avvenisse entro

90 sec. Per ogni mix sono state effettuate tre prove, per ogni prova il risultato è la media dei risultati ottenuti su tre provini. A valle della prova di flessione ogni provino risulta suddiviso in due parti di dimensione 40 mm x 40 mm x circa 80 mm (≥ 75 mm). I semi-prismi così ottenuti sono stati mantenuti allo stato umido ed utilizzati per la prova a compressione così come previsto dalla EN 1015-11.

La prova di compressione è stata effettuata utilizzando un dispositivo di prova di compressione standard. Il campione (semi-prisma) è stato posto sulla piastra di prova in modo che il lato lungo del campione (40 x ca. 80) fosse centrato con le piastre della macchina (40 x 40). La piastra di carico ha, poi, applicato fino a rottura un carico crescente con una velocità uniforme pari a 5 mm/min in modo da garantire che la rottura, conformemente alla EN 1015-11, avvenisse entro 90 sec. Per ogni mix sono state effettuate tre prove, per ogni prova il risultato è la media dei risultati ottenuti su sei provini.

Risultati e discussione

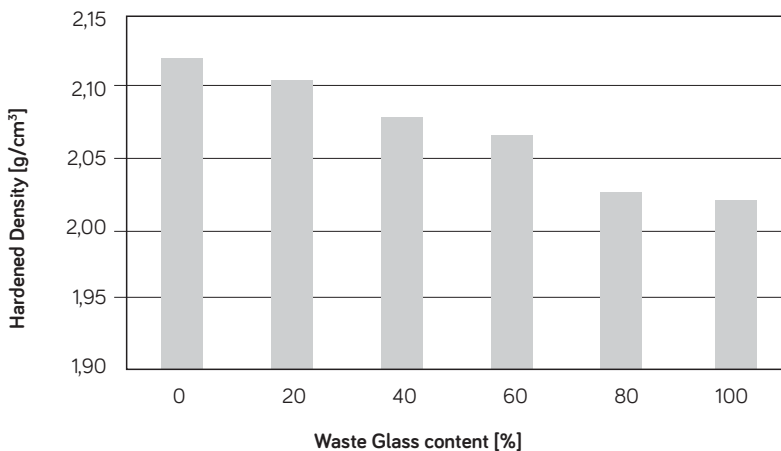


Figura 3.

Variation of the weight of the malt in function of the substitution of WG.

Il peso specifico della malta indurita ha subito, rispetto al *Control Mix*, un calo percentuale legato alla percentuale di sostituzione, come riportato in *Figura 3*. Tale riduzione va dallo 0,9% per percentuali di sostituzione

del 20% fino al 4.8% per sostituzione totale. È da osservare che tale calo ha un'impennata intorno al 80% di sostituzione. Tale dato è in accordo con i risultati in letteratura anche se è opportuno precisare che i risultati cambiano significativamente in funzione del tipo di WG. Infatti, in relazione all'uso a cui il vetro era destinato prima di divenire rifiuto, il WG contiene quantità variabili di piombo che possono influenzare il peso della malta indurita [Ling e Poon, 2011; Zhao et al., 2013]. In merito alla resistenza meccanica, come già anticipato, sono state effettuate prove di resistenza a flessione (R_f) e prove di resistenza a compressione (R_c).

La *Figura 4* a sinistra riporta la variazione della resistenza a flessione dei provini di malta a 7 e a 28 giorni di stagionatura in funzione della percentuale di sostituzione della RS. Tutti i campioni a 7 giorni di stagionatura hanno, rispetto al mix di controllo (CM) avente percentuale di sostituzione nulla, una diminuzione di resistenza a flessione.

Per tutte le percentuali di sostituzione la riduzione si attesta, salvo piccole variazioni attribuibili alla naturale variabilità dei campioni, intorno al 30%; fa eccezione il campione con percentuale di sostituzione del 40% per il quale la riduzione non supera il 15%. La maggior resistenza del campione con sostituzione del 40% potrebbe essere spiegata dalle proprietà pozzolaniche della parte finissima di WG, che accelera l'idratazione durante i primi 7 giorni, anticipando di fatto i tempi di maturazione della malta; tale fenomeno è massimo per percentuali di sostituzione della sabbia con WG che si aggirano intorno al 50% e con una frazione fine di circa il 10%. Il WG utilizzato in questa sperimentazione potrebbe aver innescato il fenomeno dato che non era particolarmente ricco di materiale fino come testimonia il suo modulo di finezza di 5.09.

Del resto tale ipotesi risulta confermata dai risultati ottenuti a 28 giorni dove, esauritosi il fenomeno, tutti i provini hanno un comportamento omogeneo con una riduzione continua della resistenza a flessione direttamente proporzionale alla percentuale di sostituzione.

Oltre l'80% di sostituzione, tale fenomeno si arresta e la resistenza a flessione si può considerare costante. Il fenomeno di riduzione della resistenza, in accordo con la letteratura [Ling e Poon, 2012] è probabilmente spiegabile con il debole legame che si instaura tra la superficie liscia del vetro e la pasta di cemento [Ismail e Al-Hashmi, 2009; Ling e Poon, 2011; Ling e Poon, 2012].

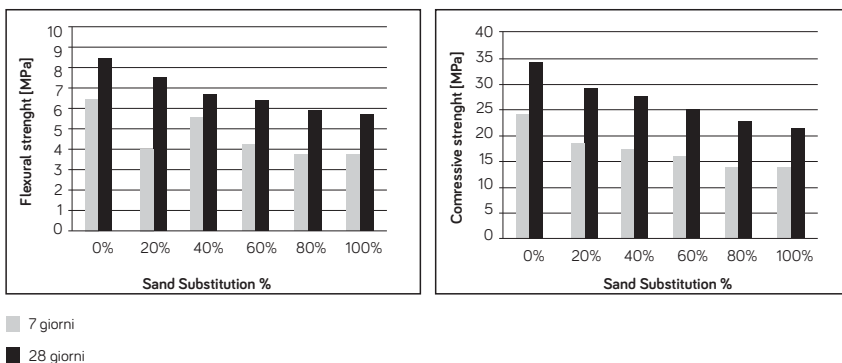


Figura 4.

Variation of the R_f (left) and the R_c (right) as a function of the substitution of RS with WG.

The *Figura 4* on the right reports the variation of the resistance to compression of the mortar specimens at 7 and 28 days of curing as a function of the percentage of substitution of RS. The results, given the lower influence of the chemical binders, are more homogeneous.

Both at 7 days and at 28 days of curing the mechanical resistance decreases proportionally to the percentage of substitution. In no case does the resistance to compression drop below 20 MPa. This value is significantly higher than the minimum required for a mortar of type M12. It is recalled that a mortar of type M12 must have a $R_c \geq 12$ MPa [D.M. 14 January 2008].

In particular, it is noted, interpolating the average values of the resistance to compression at 28 days of curing of the mixes obtained with different percentages of substitution (*Figura 5*, left), that the resistance to compression decreases with the increase of the percentage of substitution with the following law:

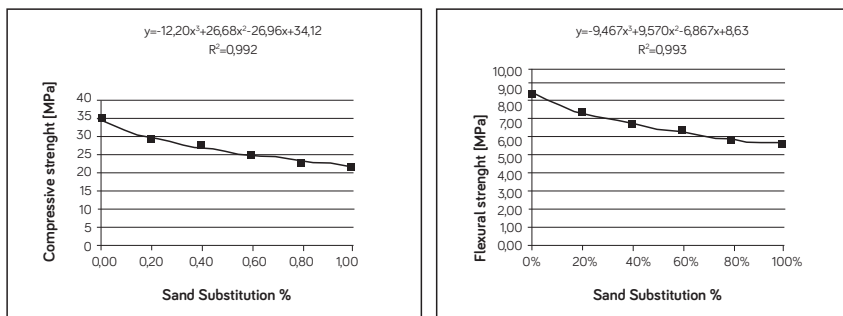
$$(1) \quad R_c = -12.20p^3 + 26.68p^2 - 26.96p + 34.12$$

Where "p" represents the percentage of substitution expressed in decimals. The polynomial curve interpolates the experimental data in a sufficiently accurate way since the specific deviation is low as demonstrated by the square of the correlation coefficient very close to 1 ($R^2 = 0.992$). A similar curve (*Figura 5*, right) allows interpolation in a similar manner

accurato i dati sperimentali della resistenza a flessione ($R^2 = 0.993$). La resistenza a flessione risulta dipendere dalla percentuale di sostituzione con la seguente legge:

$$(2) \quad R_f = - 9.467p^3 + 9.570p^2 - 6.867p + 8.63$$

Dove “p” rappresenta la percentuale di sostituzione espressa in decimali.



■ 28 giorni

Figura 5.

Relazione fra la R_c e la percentuale di sostituzione della RS con WG (sinistra) e fra la R_f e la percentuale di sostituzione della RS con WG (destra).

Conclusioni

I risultati finora conseguiti hanno ulteriormente confermato la possibilità di sostituire la sabbia con il rottame di vetro dato che la resistenza a compressione della malta così ottenuta non scende mai al di sotto dei 20 MPa.

Tale limite è, infatti, significativamente superiore al limite di 12 MPa imposto dalla normativa italiana quale minimo di resistenza a compressione di una malta cementizia di classe M12.

Risulta addirittura superiore al limite M2 che è di fatto la classe di malte a prestazione garantita più alta prevista dalla normativa [DM. 14 gennaio 2008].

Si sta lavorando per capire se c'è una relazione che legghi la R_c con la R_f in modo da poter prevedere facilmente il comportamento della malta in funzione della percentuale di sostituzione e limitare di conseguenza il numero delle prove necessarie. Ovviamente, come già anticipato, gli

aspetti che maggiormente preoccupano la comunità scientifica riguardano non solo la resistenza meccanica ma le caratteristiche più squisitamente tecnologiche quali la durabilità e la lavorabilità o le potenzialità estetiche del prodotto.

Riferimenti bibliografici

- Bahandari, P. S. e Tajne, K. M. [2013]. Use of waste glass in cement mortar, *International journal of civil and structural engineering*, vol. 3, n. 4, 704-711.
- Corinaldesi, V.; Gnappi, G.; Moriconi, G. e Montenero, A. [2005]. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. *Waste Manage*, 25-2:197-201.
- Degirmenci, N.; Ylmaz, A. e Cakir, O. A. [2011]. Utilization of waste glass as sand replacement in cement mortar, *Indian journal of engineering & material sciences*, 18, 303-308.
- D.M. 14 gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Ismail, Z. Z. e Al-Hashmi, E. A. [2009]. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Manage*, 29(2):655-9.
- Kou, S. C. e Poon, C. S. [2009]. Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. *Cem Concr Compos*, 31-2:107-13.
- Ling, T. C. e Poon, C. S. [2011]. Utilization of recycled glass derived from cathode ray tube glass as fine aggregate in cement mortar *Journal of Hazardous Materials*, n. 192, 451-456.
- Ling, T. C. e Poon, C. S. [2012]. A comparative study on the feasible use of recycled beverage and CRT funnel glass as fine aggregate in cement mortar, *Journal of Cleaner Production*, n. 29-30, 46e52.
- Mollo, L. [2015]. Influence of cement/sand ratio on behavior of cement mortar, *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 13, n. 1, 102-127.
- Mollo, L.; Agliata, R.; Giudicianni, C. [2012]. Recent experimental applications of nanomaterials in cement mortars: metakaolin and waste glass. In Catalano, A. e Sansone, C. (a cura di). *Il calcestruzzo per l'edilizia del nuovo millennio. Progetto e tecnologia per il costruito*. Campobasso.
- Nwaubani, S. O. [2013]. Fineness of waste glass powder and the influence on properties of cement mortar, *International journal of civil engineering and building materials*, vol. 3, n. 3, 106-114.
- Polley, C.; Cramer, S. M. e de la Cruz, R. V. [1998]. Potential for using waste glass in portland cement concrete, *J Mater. Civ. Eng.*, 10.210-219.
- Rashad, A. M. [2014]. Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement, *Construction and building materials*, n. 26, 340-357.
- Shao, Y.; Lefort, T. e Moras, S. [2000]. Damian Rodriguez studies on concrete containing ground waste glass. *Cem Concr Res*, 30-1:91-100.
- Siddique, R. [2008]. *Waste materials and byproducts in concrete*. Berlin, Heidelberg

Springer-Verlag, 151 e segg.

- Topçu, I. B. e Canbaz, M. [2004]. Properties of concrete containing waste glass. *Cem Concr. Res.*, 34-2:267-74.
- Zhao, H.; Poon, C. S.; Ling, T. C. [2013]. Properties of mortar prepared with recycled cathode ray tube funnel glass sand at different mineral admixture, *Construction and Building Materials*, 40 (2013) 951-960