

First experimental results about the main mechanical characteristics of cement mortar with waste glass

Rosa Agliata^a, Carlo Giudicianni^a, Giuseppe Lamanna^b, Luigi Mollo^{a*}

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Design, Edilizia ed Ambiente, Seconda Università degli Studi di Napoli, Via Roma 29, Aversa, 81031, Italia

^bDipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, Seconda Università degli Studi di Napoli, Via Roma 29, Aversa, 81031, Italia

Highlights

Results show that hardened density of WG mortars decreases with increasing of glass content of about 1% for every 20% sand replacement. They also show a gradual reduction in mechanical strength with increasing glass content, with an approximately linear trend, at both 7 and 28 days curing age. The first results obtained show, briefly, that the use of waste glass in substitution, also total, of river sand allows to obtain a M1 class cement mortar, with a slightly less density than a mortar with sand river and a mechanical performance above the minimum normative requirements.

Abstract

The residual crushed waste glass is becoming a serious environmental problem because it can be disposed only in landfills. Landfilling is an undesirable solution because waste glasses are not biodegradable, so nowadays the reutilization of this glass has drawn more and more attention, producing strong efforts to find a sustainable alternative to reuse and recycle them. Several studies in the world have shown that it is possible to replace the sand with cullet, partially. In this paper are presented and commented first experimental results of experimental tests using waste glass as a replacement for river sand in cement mortars.

Keywords

Waste glass, Cement mortar, Building materials

1. INTRODUZIONE

I materiali a base cementizia sono fra i materiali edilizi più utilizzati al mondo per il basso costo, l'ampia disponibilità di materia prima e la loro semplicità e flessibilità d'uso. Tuttavia i danni ambientali dovuti all'estrazione dei materiali, le elevate emissioni di CO₂ legate al processo di produzione e il desiderio di migliorarne le prestazioni, hanno spinto la ricerca ad individuare materiali *environmental-friendly* per sostituire parzialmente il cemento [1] o gli altri materiali da cava [2]. In particolare questo *paper* presenta i risultati di un lavoro sperimentale che valuta la possibilità di utilizzare gli scarti del vetro come sostitutivo dell'inerte fino nella confezione delle malte cementizie. Il rottame di vetro raccolto nella differenziata infatti, prima di essere avviato al riciclo, subisce una preliminare frantumazione dalla quale residua una frazione minuta che viene smaltita in discarica. Questa frazione non ha valore di mercato, grava sui costi di riciclo ed ha un significativo impatto ambientale poiché il vetro è non biodegradabile [3]. Per tali motivazioni, esistono attività di ricerca in atto in tutto il mondo [4], orientate secondo due direttive: la prima studia la possibilità di sostituire, almeno in parte, il cemento con il vetro di scarto (*Waste Glass* - WG), sfruttando le reazioni che si

* Corresponding author. Tel.: +39-081-5010388; fax: +39-081-5037370; e-mail: luigi.mollo@unina2.it

ingenerando 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 Waste Glass.

2. STATO DELL'ARTE

Il filone nel quale si inserisce la ricerca oggetto di questo *paper*, si è interessato della possibilità di sostituire l'aggregato fine con WG nella composizione dei calcestruzzi e delle malte cementizie [5-11]. Nel 2011 Ling e Poon [12] hanno indagato la possibilità di produrre malta con vetro blu ottenendo buoni risultati soprattutto perché la malta ha evidenziato un comportamento paragonabile alla malta realizzata con sabbia di fiume con una resistenza 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 [13] hanno studiato la possibilità di usare il vetro dei tubi catodici (CRT) esauriti, trattato e macinato, come inerte nelle malte, ottenendo risultati positivi. Nonostante i risultati ottenuti e di recente confermati da Bhandari e Tajne [14], ci sono ancora molte incognite sull'uso degli scarti di vetro in edilizia, riguardanti 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.

3. METODOLOGIA

In questo lavoro è stato utilizzato cemento grigio pozzolanico. Come materiale lapideo fine è stato usato WG passante per uno staccio da 1 mm, con un modulo di finezza di 5,09 e una densità di 2,47 g/cm³. Il materiale è il cascame della frantumazione di vetri di uso domestico trasparenti e colorati. Prima dell'uso il WG è stato fiammato per eliminare le contaminazioni. La sabbia (RS) utilizzata è sabbia di fiume passante al 94,5% per uno staccio da 2 mm, con un modulo di finezza di 3,98 e una densità di 2,64 g/cm³. Le curve granulometriche e le relative distribuzioni percentuali del passante sono riportate in Figura 1.

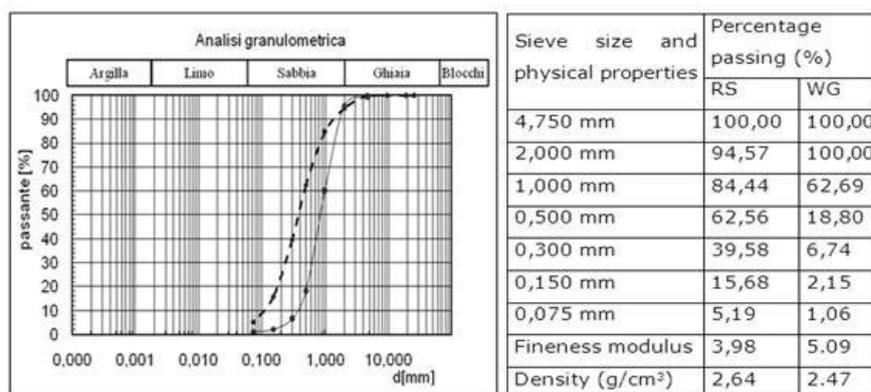


Figura 1. Curva granulometrica del WG (continua), della RS (tratteggiata) e Distribuzione percentuale del passante

Per l'impasto si è utilizzata acqua di rubinetto mantenendo costante la quantità di cemento (300 kg/m^3) e i rapporti acqua/cemento ($1/2$) e cemento/inerte ($1/3$) [12-16]. 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 ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$) per prove di resistenza a flessione e a compressione a 7 e a 28 giorni di stagionatura. Per la prova di flessione è stato applicato un carico crescente a velocità uniforme di 1 mm/min in modo da garantire che la rottura avvenisse entro 90 sec (EN 1015-11). Per ogni mix sono state effettuate tre prove ed il risultato è la media dei risultati ottenuti. A valle della prova di flessione ogni provino risulta suddiviso in due parti di dimensione $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times \text{circa } 80 \text{ mm}$ ($\geq 75 \text{ mm}$). I semi-prismi ottenuti sono stati utilizzati per la prova a compressione, come previsto dalla EN 1015-11. Per la prova di compressione è stato applicato un carico crescente con una velocità uniforme pari a 5 mm/min (rottura entro 90 sec). Per ogni mix sono state effettuate sei prove ed il risultato è la media dei risultati ottenuti sui sei provini.

No.	Mix notation	Sand Subst. (%)	Cement [kg]	Fine aggregate		Water [kg]
				RS [m ³]	WG [m ³]	
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

Figura 2. Composizione di tutti gli impasti con rapporto acqua/cemento (W/B) costante

4. RISULTATI

Il peso specifico della malta indurita ha subito, rispetto al CM, un calo percentuale legato alla percentuale di sostituzione (Figura 3). Tale riduzione va dallo 0,9% per il WG20 fino al 4,8% per la sostituzione totale.

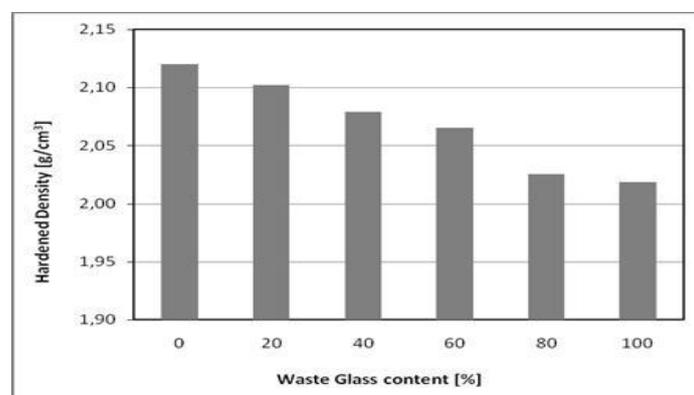


Figura 3. Variazione del peso della malta in funzione della sostituzione di WG

La Figura 4 sinistra riporta la variazione della resistenza a flessione (R_f) dei provini di malta a 7 e a 28 giorni di stagionatura in funzione della percentuale di sostituzione della RS. Per tutti i campioni a 7 giorni di

stagionatura si registra 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 [17], 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 [4], anticipando i tempi di maturazione della malta; tale fenomeno è massimo per percentuali di sostituzione intorno al 50% e con una frazione fine di circa il 10% [17]. Tale ipotesi risulta confermata dai risultati ottenuti a 28 giorni quando, esauritosi il fenomeno, tutti i provini hanno un comportamento omogeneo con una riduzione continua della resistenza a flessione direttamente proporzionale alla percentuale di sostituzione. Il fenomeno di riduzione della resistenza è probabilmente spiegabile con il debole legame che si instaura tra la superficie liscia del vetro e la pasta di cemento [12,13]. La Figura 4 destra riporta la variazione della resistenza a compressione (R_c) dei provini di malta a 7 e a 28 giorni di stagionatura in funzione della percentuale di sostituzione della RS. I risultati, data la minore influenza dei legami chimici, sono più omogenei. Sia a 7 giorni che a 28 giorni di stagionatura la resistenza meccanica diminuisce proporzionalmente alla percentuale di sostituzione. In nessun caso la resistenza compressione scende al di sotto dei 20 MPa.

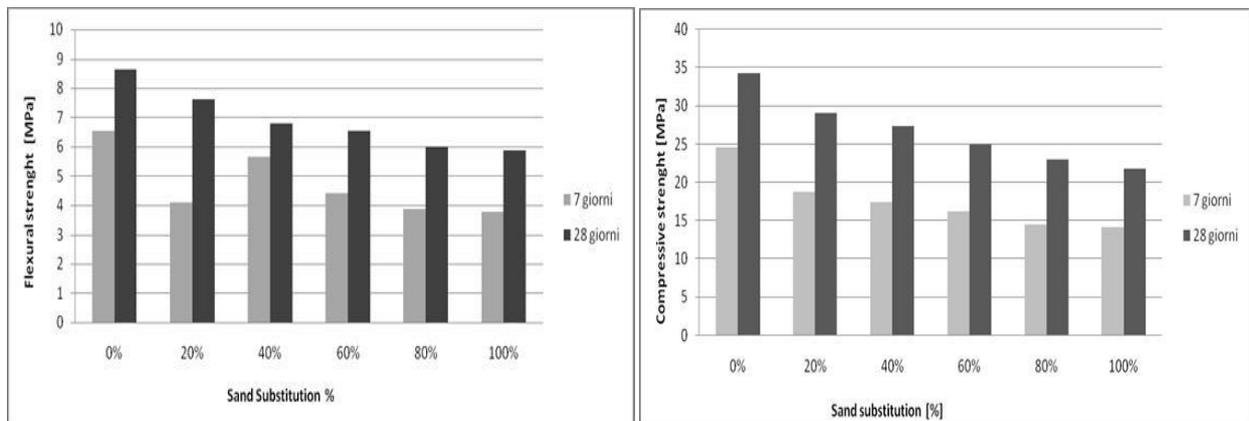


Figura 4. Variazione della R_f (sinistra) e della R_c (destra) in funzione della sostituzione della RS con WG

In particolare si è notato, interpolando i valori medi della resistenza a compressione a 28 giorni di stagionatura dei mix ottenuti con differenti percentuali di sostituzione (Figura 5, sinistra), che la resistenza a compressione diminuisce con l'aumento della percentuale di sostituzione con la seguente legge:

$$(1) \quad R_c = -12,20p^3 + 26,68p^2 - 26,96p + 34,12$$

Dove "p" rappresenta la percentuale di sostituzione espressa in decimali.

La curva polinomiale interpola i dati sperimentali in modo abbastanza accurato dato che la devianza specifica è bassa come dimostra il quadrato del coefficiente di correlazione molto vicino ad 1 ($R^2 = 0,992$).

Una curva analoga (Figura 5, destra) permette di interpolare in modo altrettanto accurato i dati sperimentali della resistenza a flessione ($R^2=0.993$).

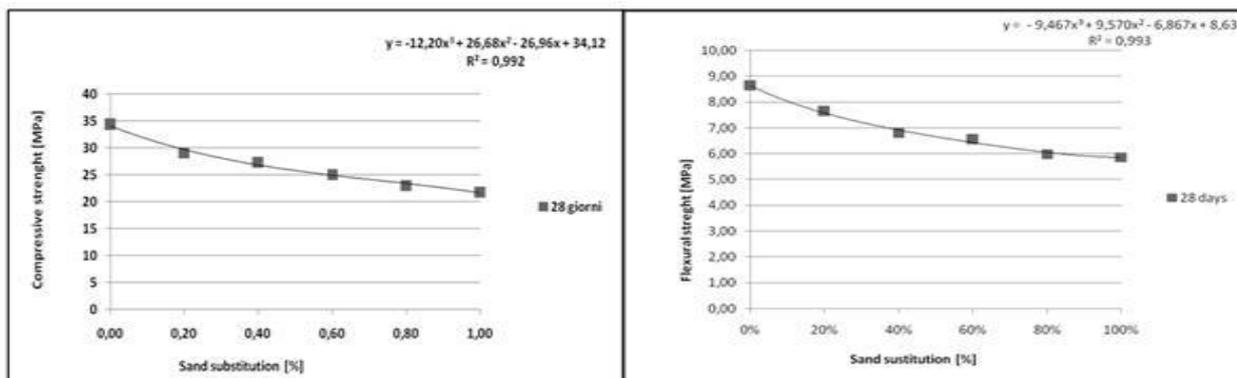


Figura 5. Relazione fra la Rc (a sinistra) / Rf (a destra) e la percentuale di sostituzione della RS con WG

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.

5. CONCLUSIONI

I risultati finora conseguiti hanno 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 [18]. Si sta lavorando per capire se c'è una relazione che legghi la Rc con la Rf 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.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] D. Ouyang, W. Xu, T.Y Lo, J. F.C. Sham Increasing mortar strength with the use of activated kaolin by-products Construction and Building Materials 25 (2011) 1537–1545.
- [2] Polley C., Cramer S.M., de la Cruz R.V. Potential for using waste glass in portland cement concrete, J. Mater. Civ. Eng. (1998), 10.210-219.
- [3] M. Aly, M.S.J. Hashmi, A.G. Olabi, M. Messeiry, A.I. Hussain Effect of nano clay particles on mechanical, thermal and physical behaviours of waste-glass cement mortars Materials Science and engineering A 528 (2011) 7991– 7998.
- [4] L. Mollo, R. Agliata, C. Giudicianni, Recent experimental applications of nanomaterials in cement mortars: metakaolin and waste glass. In: (a cura di): Catalano A, Sansone C , Il calcestruzzo per l'edilizia del nuovo millennio. Progetto e tecnologia per il costruito, Campobasso (2012).
- [5] Y. Shao, T. Lefort, S. Moras, Damian Rodriguez studies on concrete containing ground waste glass. Cem Concr Res (2000) 30-1:91–100.
- [6] I.B. Topçu, M. Canbaz, Properties of concrete containing waste glass. Cem Concr. Res (2004) 34-2:267–74.
- [7] V. Corinaldesi, G. Gnappi, G. Moriconi, A. Montenero, Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. Waste Manage (2005);25-2:197–201.
- [8] R. Siddique, Waste materials and by-products in concrete. Berlin, Heidelberg Springer-Verlag; (2008) 151 e segg.
- [9] Z.Z. Ismail, E.A. AL-Hashmi, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. Waste Manage (2009);29(2):655–9.
- [10] N. Degirmenci, A. Ylmaz, O. A. Cakir, Utilization of waste glass as sand replacement in cement mortar, Indian journal of engineering & material sciences, 18 (2011) 303-308.

- [11] S.C. Kou, C. S. Poon, Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. *Cem Concr Compos* (2009);31-2:107–13.
- [12] T. C. Ling, C-S. Poon Utilization of recycled glass derived from cathode ray tube glass as fine aggregate in cement mortar *Journal of Hazardous Materials* 192 (2011) 451– 456.
- [13] T. C. Ling, C-S. Poon A comparative study on the feasible use of recycled beverage and CRT funnel glass as fine aggregate in cement mortar, *Journal of Cleaner Production* 29-30 (2012) 46e52
- [14] P.S. Bahandari, K. M. Tajne, Use of waste glass in cement mortar, *International journal of civil and structural engineering*, vol. 3 n. 4 (2013) 704-711.
- [15] S. O. Nwaubani, 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 (2013) 106-114.
- [16] L Mollo, Influence of cement/sand ratio on behavior of cement mortar, *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 13 n. 1 (2015) 102-127.
- [17] A. Shayan, A. Xu, Performance of glass powder as pozzolanic materials in concrete: a field trial an concrete slabs, *Cement and concrete research* 36 (2006) 457-468.
- [18] *Norme Tecniche per le Costruzioni*, D. M. 14 gennaio 2008.