

**CARATTERIZZAZIONE DI CALCESTRUZZO LEGGERO OTTENUTO
UTILIZZANDO AGGREGATI PRODOTTI DAI RESIDUI DELLA
DEMOLIZIONE DI AUTOVEICOLI**

L. Di Palma, A. Ferraro, V. Alunno Rossetti

Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, Sapienza Università di Roma,
Via Eudossiana 18, 00184 Roma

RIASSUNTO: Sono riportati i risultati ottenuti in una sperimentazione il cui obiettivo era quello di produrre aggregati per calcestruzzo a partire dalla frazione prevalentemente non metallica dei rifiuti della frantumazione di autoveicoli. Dopo una fase di preumidificazione, il materiale è stato granulato in miscela con cemento, ceneri volanti e additivi, sino ad ottenere granuli sferoidali di diametro compreso tra 2 e 40 mm, la cui massa volumica era inferiore a 2000 kg/m^3 .

I granuli prodotti in ciascuna prova di granulazione, dopo essere stati caratterizzati sia da un punto di vista fisico-chimico che meccanico, sono stati utilizzati per realizzare impasti di calcestruzzo leggero.

I campioni di tale calcestruzzo hanno mostrato masse volumiche sino a 2000 kg/m^3 , e resistenze a compressione sino a 30 MPa, in funzione della quantità e della distribuzione granulometrica dell'aggregato utilizzato, oltre che del contenuto in acqua della miscela e dal rapporto acqua/cemento.

Le prove di cessione effettuate sui campioni prodotti hanno mostrato una buona immobilizzazione di metalli, ioni e sostanze organiche.

1. INTRODUZIONE

Ogni anno in Europa vengono prodotte circa 8,5 milioni di tonnellate di rifiuti provenienti dalla dismissione di circa 12 milioni di automobili che vengono sottoposte a demolizione.

Per far fronte a questo problema la Commissione europea ha promosso la direttiva 2000/53/CE [1] sui veicoli in disuso, che definisce gli obiettivi per il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero dei componenti dei veicoli ed introduce il principio della responsabilità dei produttori nello smaltimento dei veicoli a fine vita.

La strategia seguita per la minimizzazione dei rifiuti in campo automobilistico si basa su due principali linee: il riuso di parti o componenti specifici e la separazione e riutilizzo della frazione metallica. Questo secondo percorso in genere prevede la frantumazione del veicolo a fine vita e la separazione ferromagnetica della componente ferrosa.

I residui di frantumazione dei veicoli a fine vita (ASR, Automobile Shredding Residues, il cosiddetto fluff), prevalentemente costituiti da plastiche, gomme, vetri, schiume poliuretatiche, legno, tessuti, adesivi e metalli non ferrosi) rappresentano circa il 25% in peso del veicolo. Tali rifiuti, circa 2 milioni di tonnellate per anno, sono generalmente avviati in discarica, causano problemi di contaminazione del suolo e della falda acquifera in quanto contenenti rilevanti quantità di sostanze tossiche come i

metalli pesanti, policlorobifenoli (PCB), clorofluorocarburi (CFC) e sostanze organiche, che sono classificati come rifiuti pericolosi secondo tutte le legislazioni internazionali, comunitarie e nazionali.

Una soluzione promettente per minimizzare la quantità di rifiuti di demolizione avviata in discarica consiste nella realizzazione di aggregati artificiali per calcestruzzo, anche per far fronte alle sempre crescenti difficoltà nel reperimento di aggregati naturali, sulla scorta di numerosi studi che, negli ultimi anni, si sono posti l'obiettivo di realizzare aggregati da rifiuti industriali, eventualmente sottoponendo il rifiuto a specifici trattamenti [1-6].

In letteratura, alcuni studi hanno proposto l'impiego di residui della frantumazione degli autoveicoli per la fabbricazione di aggregati per calcestruzzo o miscele bituminose [7-9] dopo un adeguato processo di trasformazione. La trasformazione può avvenire ad alta temperatura [7] ovvero a temperatura ambiente [8] quest'ultimo processo, che prevede la granulazione del rifiuto impiegando opportuni leganti è senz'altro promettente, in quanto, per la sua semplicità di esecuzione si presta ad una realizzazione in continuo nell'ambito dello stesso stabilimento di demolizione.

In questa ricerca, sulla base di precedenti lavori di messa a punto del processo in granulatori di laboratorio [10], sono riportati i risultati di una sperimentazione nella quale si è realizzata la produzione in scala pilota degli aggregati, con lo scopo di pervenire ad una ottimizzazione delle condizioni operative del processo. Gli aggregati prodotti sono stati quindi utilizzati per confezionare provini di calcestruzzo leggero, dei quali sono state studiate le caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche

2. MATERIALI E METODI

Le prove sperimentali sono state condotte sul fluff prodotto nello stabilimento di demolizione e frantumazione "Italferro" di S. Palomba, Roma, dove giornalmente sono rottamati 150 t di veicoli, con la produzione di circa 35 t di fluff.

In una prima fase il materiale frantumato è stato sottoposto a vagliatura in vagli da 4 mm di apertura, per ottenere la separazione delle schiume e del materiale plastico, e alla separazione elettromagnetica della componente ferrosa. Le caratteristiche del materiale risultante, sottoposto alla granulazione, sono riportate in tabella 1.

Tabella 1 – Caratterizzazione del prodotto

Parametro	Unità	Valore
Residuo a 105°C	%	91.1
Residuo a 600°C	%	39.4
Rame	mg/kg	3727
Piombo	mg/kg	7420
Cromo	mg/kg	<2
Cadmio	mg/kg	11
Zinco	mg/kg	450

Nella successiva fase di granulazione sono stati utilizzati: cemento (CEM I 32.5 R), ceneri volanti (provenienti dalla centrale termoelettrica di Brindisi), additivo superfluidificante (ACE 363, Basf Construction Chemicals Italia S.p.a.). Ciascuna prova di granulazione, condotta in triplicato, ha prodotto un quantitativo di materiale compreso tra 3 e 5 kg. Il rapporto tra legante (C) e polveri (ceneri e fluff) in ogni prova era pari a 0.2. In accordo con i dati ottenuti in prove precedenti [9-10], il rapporto tra ceneri e fluff (FA/F) è stato fissato nelle prove pari a 1 (serie 1), 0.83 (serie 2) e 1.2 (serie 3) rispettivamente, mentre la quantità d'acqua (W) è stata ottimizzata in ciascuna

prova per garantire le condizioni di granulazione. I rapporti fondamentali utilizzati in ogni serie di prova sono riportati in tabella 2.

Tabella 2 – Parametri operativi nelle prove di granulazione

Serie	W/C	FA/F	W/(C+FA)	Serie	W/C	FA/F	W/(C+FA)
1A	1.08	1	0.41	2C	0.92	0.83	0,31
1B	1	1	0.375	2D	1.17	0.83	0,39
1C	0.92	1	0.34	3A	1.08	1.2	0,36
1D	1.17	1	0.44	3B	1	1.2	0,33
2A	1.08	0.83	0.41	3C	0.92	1.2	0,31
2B	1	0.83	0.375	3D	1.17	1.2	0,39

Dopo stagionatura umida di 28 giorni a temperatura ambiente i granuli sono stati sottoposti a prove meccaniche e di cessione, secondo le norme standardizzate (UNI EN 13055-1:2003 e UNI EN 12457-4:2004).

I granuli prodotti in ciascuna prova di granulazione sono stati quindi sottoposti ad analisi granulometrica e utilizzati come aggregati grossi per la fabbricazione di campioni di calcestruzzo, preparati secondo la norma UNI 11013, 2002.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le prove di granulazione hanno dato origine, in funzione della composizione della miscela, ad una famiglia di aggregati leggeri sferoidali, di diametro compreso tra 4 e 40 mm, il cui peso specifico variava tra 1300 e 2000 kg/m³. Le proprietà meccaniche di tali aggregati, funzione del contenuto in acqua e in fluff, erano comprese tra 0.8 e 1.5 MPa. I risultati delle prove di cessione, riportati in tabella 3, confrontati con quelli sul materiale grezzo (tab. 1) consentono di rilevare come la granulazione determini una discreta azione inertizzante nei confronti degli inquinanti, sebbene la significativa presenza di zinco e di sostanza organica nell'eluato non permetta l'utilizzo diretto dei granuli.

Tabella 3 – Prove di cessione sui granuli (UNI EN 12457)

Test	pH	COD	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
A	10.80	37	n.d.	0.31	0.05	0.22
B	10.61	<20	n.d.	0.05	0.05	0.26
C	10.77	230	0.32	1.07	0.05	0.21
inerte	-	50	0.05	0.4	0.004	0.2
non pericoloso	-	80	1	5	0.1	5

I granuli così prodotti sono stati quindi utilizzati come aggregati per la fabbricazione di provini di calcestruzzo. A tale scopo è stata impiegata unicamente la frazione compresa tra 4 e 12.5 mm oppure tutta la distribuzione di granuli ottenuta avente dimensioni inferiori ai 20 mm, completando in entrambi i casi la distribuzione granulometrica di Fuller con sabbia standard (massa volumica=2650 kg/m³). La composizione, la massa volumica e la resistenza a compressione dei provini sono riportati in tabella 4.

La quantità di acqua necessaria per garantire lavorabilità alla miscela è risultata inoltre fortemente dipendente dalle dimensioni e dalla quantità di aggregato utilizzato: i campioni preparati utilizzando anche i granuli fini (<4mm) hanno richiesto i maggiori quantitativi di acqua, ma, in virtù della loro maggiore compattezza, hanno anche mostrato i valori di resistenza maggiori (fino a 30 MPa).

Le prove di cessione condotte sui provini secondo le norme standard [11] hanno infine mostrato la completa immobilizzazione residua degli inquinanti contenuti nei granuli, compreso lo zinco e le sostanze organiche.

Tabella 4 – Composizione e caratterizzazione meccanica dei provini

Provino	Cemento (g)	Aggregato (g)	Sabbia (g)	Rapporto W/C	R _{c28} (MPa)	MV (kg/m ³)
Da 2A (4/12.5)	392	581	855	0.26	18.06	1882.37
Da 2B (4/12.5)	390.6	883.68	474.6	0.32	16.67	1800.64
Da 2C (4/12.5)	390.6	797.27	619.8	0.30	27.27	1892.63
Da 1B (4/12.5)	390.6	747	611.6	0.34	23.00	1911.87
Da 3A (0/20)	390.6	858.88	409.6	0.38	25.77	1900.09
Da 3C	390.6	859.59	408.3	0.37	21.00	1819.53
Da 1C	390.6	868.52	392.2	0.38	24.21	1896.89
Da 3B	390.6	622.75	835.90	0.46	30.30	2013.88

4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro riporta i risultati preliminari della caratterizzazione di provini di calcestruzzo fabbricati utilizzando come aggregato il granulato prodotto a partire dai residui non metallici della frantumazione degli autoveicoli, ad esclusione delle schiume espanse e della gomma. Il processo di granulazione, condotto miscelando a temperatura ambiente la frazione passante al vaglio di 4 mm con leganti, acqua e additivi, ha permesso la produzione di granuli sferoidali aventi massa volumica idonea per essere utilizzati come aggregati per calcestruzzo leggero.

La caratterizzazione preliminare di provini di calcestruzzo confezionato utilizzando tali granuli come aggregato grosso ha mostrato come, in funzione della tipologia e della quantità di granuli utilizzati, sia possibile ottenere calcestruzzi con massa volumica tra 1800 e 2000 kg/m³, con resistenza a compressione fino a 30 MPa. Le prove di cessione eseguite sui provini hanno inoltre mostrato la completa inertizzazione degli inquinanti contenuti inizialmente nel rifiuto sottoposto al processo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Direttiva 2000/53/EC del Parlamento Europeo del 18 Settembre 2000 sui veicoli a fine vita.
- [2] K.K. Sagoe-Crentsil, T. Brown, A.H. Taylor, *Cem. Concr. Res.* 31 707-712 (2001).
- [3] A. Keyvani, *in: Waste Management and the Environment*, D. Almorza, C.A. Brebbia, D. Sales, V. Popov eds, WIT Press, 2002, 565-571 (2002).
- [4] D. Sani, G. Moriconi, G. Fava, V. Corinaldesi, *Waste Manag.* 25, 177-182 (2005).
- [5] C.M. Jantzen, J.B. Pickett, R.F. Schumacher, *Ceram. Trans.* 119, 65-74 (2001).
- [6] I.B. Topcu, S. Sengel, *Cem. Concr. Res.* 34(8), 1307-1312 (2004).
- [7] G.J. Xu, D.F. Watt, P.P. Hudec, *J. Mater. Process. Techn.*, 48, 385-390 (1995).
- [8] J. Péra, J. Ambroise, M. Chabannet, *Cem. Concr. Res.* 34, 557 – 562 (2004).
- [9] V. Alunno Rossetti, L. Di Palma, F. Medici, *J.Haz. Mater.*, B137, 1089-1095 (2006).
- [10] L. Di Palma, V. Alunno Rossetti, F. Medici, M. Orazi – *Automotive Shredding Residues: pilot scale production of artificial aggregate*, *Proc. 6th International congress Valorisation and Recycling of Industrial Wastes*, L'Aquila 2007.
- [11] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana (1998) *D.L. 5 febbraio 1998 - Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22.*