

# Filler from MSW incinerator bottom ash for the production of structural concretes with high durability performance

Filler da scorie di inceneritori di RSU per la produzione di calcestruzzi strutturali ad alta durabilità

A. Quadrio Curzio<sup>1</sup>, C. Failla<sup>2</sup>, M. Preda<sup>2</sup>, F. Sonzogni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Solena S.r.l., Paderno Dugnano (Mi), Italy

<sup>2</sup> Magnetti Building S.p.A., Carvico (Bg), Italy

**ABSTRACT:** This paper reports some interesting results on the use of lightweight filler, reached by innovative and complex reusing process of dross residual originated by MSW incinerator bottom ash, for the production of structural concrete with high durability performance in prefabrication.

This product, obtained by wet grinding of the raw material, may be utilized, thanks to its pozzolanic action, either in partial substitution or in addition to Portland cement, for the production of concretes following an eco-friendly development.

The filler, due to its amorphous or vitreous characteristics and to the extremely thinness (the particles average size is included between 6 and 7 microns), is strongly reactive with the concrete, by which it produces a pozzolanic “secondary reaction”, wholly similar to other pozzolans such as silica fume and fly ash.

The material is currently classified as lightweight filler (density of about 520 kg/m<sup>3</sup>) for concrete, by Attestation System 2+ and then submitted to specific and continuous conformity check of all the chemical-physical properties, according to the standards required by the referring rules (UNI EN 13055-1:2002).

Magnetti Building uses this filler in the production of structural concretes, both vibrated and self-compacting, as a substitute of about 10% Portland cement CEM I 52.5 R, comparing their behavior to traditional concrete ones with the same rated values.

Once the initial experimental qualifying phase of the new concrete, with characterization of properties during fresh and hardened condition, is switched in a continuous use for the production of prefabricated elements, observing, along the course of several months, the performances constancy and repeatability demonstrated in the qualification phase.

The obtained results demonstrate that concretes manufactured with the lightweight filler are comparable to traditional concretes, demonstrate best behaviors to waterproofing, durability and mechanical strength also. /

La presente memoria riporta alcuni interessanti risultati sull'impiego di un filler leggero, ottenuto attraverso un innovativo e complesso processo di recupero delle scorie che residuano dai processi di incenerimento dei rifiuti solidi urbani (RSU), per la produzione di calcestruzzi strutturali ad alta durabilità in prefabbricazione.

Questo materiale, ottenuto per macinazione a umido della materia prima, può essere impiegato, grazie alla sua attività pozzolanica, sia in parziale sostituzione che in aggiunta al cemento Portland, per la produzione di calcestruzzi in linea con uno sviluppo sostenibile.

Il filler, grazie alla sua natura amorfa o vetrosa ed all'elevatissima finezza (la dimensione media delle particelle è compresa tra 6 e 7 micron), sviluppa una “reazione secondaria” di tipo pozzolanico, del tutto simile a quella di altre pozzolane come fumi di silice e ceneri da carbone.

Il materiale è attualmente classificato come filler leggero (massa volumica pari a circa 520 kg/m<sup>3</sup>) per calcestruzzo, con sistema di attestazione 2+ e quindi soggetto ad una specifica e continua verifica di conformità di tutte le proprietà chimico-fisiche, nel rispetto dei parametri previsti dalla normativa di riferimento (UNI EN 13055-1:2002).

Questo filler è impiegato all'interno dello stabilimento Magnetti Building per la produzione di calcestruzzi strutturali, sia vibrati che autocompattanti, in sostituzione del 10% circa di cemento Portland CEM I 52.5 R; il loro comportamento è stato confrontato con quello di calcestruzzi tradizionali aventi gli stessi valori di targa.

Dopo una prima fase sperimentale di qualifica del nuovo calcestruzzo, con determinazione delle proprietà allo stato fresco ed indurito, si è passati ad un utilizzo continuativo per la produzione di elementi prefabbricati, monitorando, nel corso dei vari mesi, la costanza e ripetibilità delle prestazioni fornite in fase di qualifica.

I risultati ottenuti hanno mostrato che i calcestruzzi confezionati con questo filler leggero si possono comparare ai calcestruzzi tradizionali, mostrando anche comportamenti migliori in termini di impermeabilità, durabilità e resistenza meccanica.

**KEYWORDS:** *lightweight filler, pozzolanic action, structural concrete with high durability performance in prefabrication / filler leggero, azione pozzolanica, calcestruzzo strutturale ad alta durabilità in prefabbricazione*

## 1 INTRODUZIONE

Il settore delle costruzioni è uno dei maggiori consumatori di energia e di materie prime e uno dei più grandi responsabili dell'emissione di gas serra. Affinché l'attività del settore diventi più sostenibile, è necessario limitare il suo impatto ambientale e, in particolare, ridurre l'uso di materie prime e di energia. In relazione a quanto detto, un ruolo predominante, in termini quantitativi, è da attribuire al settore del calcestruzzo.

Negli ultimi anni è stata dimostrata la possibilità da un lato di ridurre l'energia e l'emissione di CO<sub>2</sub> sostituendo i leganti tradizionali del calcestruzzo con altri costituiti da soli rifiuti, dall'altro di utilizzare nuovi aggregati costituiti interamente da rifiuti per rendere elevata l'efficienza termica [1].

Da anni i Paesi legiferano prevedendo e disciplinando specifiche azioni per intervenire alla fonte nel processo produttivo e per agevolare e incentivare il riciclaggio e il recupero dei rifiuti prodotti, sulla base del rispetto dei principi ormai riconosciuti della prevenzione (riduzione della quantità e pericolosità dei rifiuti prodotti), riciclaggio e recupero (rifiuti come risorsa).

L'uso sempre più massiccio di materie prime secondarie è importante perché riduce la necessità di estrarre materia prima dalla Terra e comporta in genere cospicui risparmi di energia. Processo ulteriormente vantaggioso nei Paesi con poche o nulle materie prime, dove sarebbe necessario importarne da Paesi esteri. Infine un altro vantaggio è quello di avere un costo più basso per la materia prima, dato che questa non viene sprecata né durante la produzione di materiale nuovo, né con lo smaltimento dei rifiuti.

Magnetti Building, azienda leader nella realizzazione di edifici a destinazione industriale, commerciale e per la logistica con sistemi prefiniti a tecnologia avanzata, è in prima fila nello sviluppo di tecnologie attente al risparmio energetico ed è sensibile alla responsabilità dell'edificio nei confronti dell'ambiente.

La razionalizzazione e il riutilizzo degli scarti dei processi produttivi sono perciò anche per Magnetti Building un obiettivo primario per ottenere minor inquinamento ambientale.

In quest'ottica si è analizzato l'impiego, in partnership con Solena S.r.l., di un filler leggero chiamato Pozzolanica, ottenuto attraverso un processo di recupero delle scorie che residuano dai processi di incenerimento dei rifiuti solidi urbani (RSU), per la produzione di calcestruzzi strutturali ad alta durabilità in prefabbricazione.

## 2 DESCRIZIONE DEL PRODOTTO

### 2.1 Il residuo d'origine e il processo di trasformazione

Al termine dei processi di incenerimento dei rifiuti solidi urbani una quantità di rifiuto, quella di natura inorganica, non combustibile, rimane sotto forma di scorie. Queste scorie vengono spente in acqua e tale "violento" spegnimento determina la loro natura, che è prevalentemente amorfa [2] [3].

Le scorie sono costituite indicativamente per il 90% da minerali, come detto, principalmente di natura amorfa e per il restante 10% da rottami metallici, che nel processo di recupero vengono separati dai minerali e diventano, a loro volta, materia prima per il settore metallurgico (Fig. 1).



**Figure 1.** Samples of bottom ash with bounded metal scraps: it should be noted that it appears like a volcanic rock / Campioni di scorie: si notino i rottami metallici legati alla scoria fusa con aspetto del tutto simile ad una roccia vulcanica

Il prodotto finito è ottenuto attraverso un innovativo e complesso processo di recupero, nel quale le scorie sono sottoposte ad una accuratissima separazione dei rottami metallici presenti e la componente minerale viene finemente macinata (micronizzata).

Il prodotto ottenuto, denominato Pozzolanica, è un aggregato artificiale che viene classificato come filler, marcato CE secondo la normativa di riferimento UNI EN 13055-1:2002 "Aggregati leggeri per calcestruzzo" [4].

Grazie alla sua natura amorfa (conseguenza del processo di incenerimento) e all'elevatissima finezza, dovuta alla macinazione spinta, il materiale sviluppa una reazione di tipo pozzolanico, del tutto simile a quella di altre pozzolane (fumi di silice,

ceneri da carbone, pozzolane naturali) [5] [6] [7] [8] [9].

Elemento centrale dell'innovativo processo di recupero, industrializzato per la prima volta al mondo, è la capacità di eliminare totalmente l'alluminio metallico dalla frazione minerale della scoria.

L'eliminazione totale dell'alluminio metallico è elemento fondamentale in quanto una possibile presenza residuale del medesimo produrrebbe reazioni secondarie deleterie, ovvero la formazione di idrogeno per reazione dell'alluminio metallico stesso nell'ambiente alcalino dell'impasto cementizio. Ciò impedirebbe a questo materiale di poter essere convenientemente utilizzato nella produzione di calcestruzzo. Lo sviluppo di gas nel calcestruzzo determinerebbe un drastico calo delle resistenze meccaniche, ovviamente non tollerabile.

In sintesi, l'innovativo processo di trasformazione consente di ottenere un prodotto finito, Pozzolonica, che si caratterizza per assenza totale di alluminio metallico, elevatissima finezza ed elevata reattività.

Il processo di trattamento è caratterizzato da fasi di macinazione alternate a fasi di separazione, attraverso le quali la componente di natura minerale della scoria viene micronizzata in sospensione acquosa e le componenti di natura metallica vengono molto accuratamente separate. Da rilevare, in particolare, che vengono separati anche metalli di dimensioni molto piccole (Fig. 2).



**Figure 2.** Non ferrous metal scraps of very fine dimension recovered from MSWIBA / Rottami metallici "non ferromagnetici" di piccolissime dimensioni separati dalle scorie

Il processo viene realizzato a freddo (in assenza, cioè, di trattamenti termici ad alta temperatura), a umido e valorizza le proprietà pozzolaniche potenzialmente già proprie delle scorie al termine del processo di incenerimento.

Una volta separati i metalli ed eliminato completamente l'alluminio metallico, le componenti minerali si dimostrano essere un materiale

decisamente omogeneo, avente proprietà e prestazioni costanti.

Il prodotto ottenuto da scorie prelevate nell'arco di diversi anni dai medesimi inceneritori ha confermato che gli scostamenti prestazionali sono paragonabili a quelli di altre materie prime come il cemento. Anche il prodotto ottenuto da scorie provenienti da altri Paesi Europei (Olanda e Germania) ha evidenziato performances identiche a quello "italiano".

Il processo di trasformazione delle scorie da inceneritore, infine, è un processo di lavorazione facilmente controllabile.

## 2.2 Caratteristiche chimiche e fisiche

Dal punto di vista mineralogico, Pozzolonica è costituita per oltre il 70% da composti di natura amorfa.

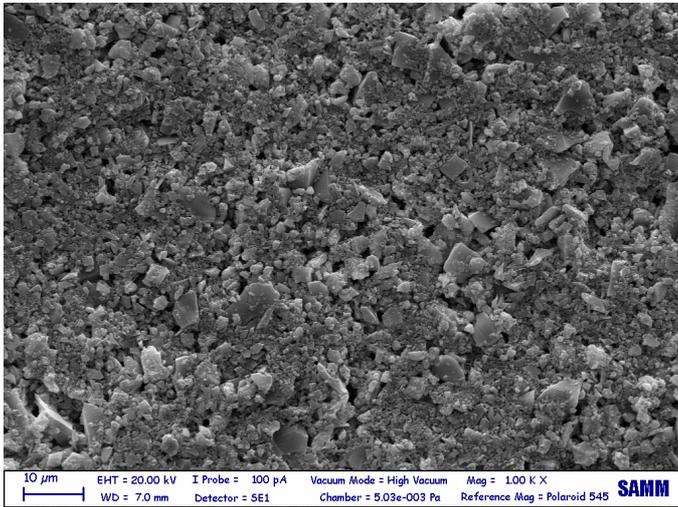
Chimicamente, i principali costituenti sono composti di silicio, alluminio, ferro e calcio, che sono presenti nella Pozzolonica in misura analoga a quella delle ceneri provenienti dalla combustione del carbone e a quella delle pozzolane naturali (Fig. 3). L'alluminio metallico è totalmente assente.

Prodotto	Composizione chimica tipica %*					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
Pozzolonica	40-50	9-13	8-14	15-25	2-4	2-6
Ceneri da carbone tipo F	44	28	9	4	2	1,5
Ceneri da carbone tipo C	36	22	4	24	5	2,5
Pozzolane naturali romane	40-50	14-30	6-25	2-12	1-4	2-12

**Figure 3.** Comparison between pozzolanic materials / Confronto tra vari materiali pozzolanici

Pozzolonica è costituita da particelle finissime, la cui dimensione media è compresa fra 6 e 7 micron (Fig. 4). È possibile ottenere tali valori di finezza grazie alla macinazione a umido, mentre un processo di macinazione a secco determinerebbe costi eccessivi. Il valore di finezza, controllato per ogni lotto di produzione, risulta essenziale per garantire una elevata reattività del prodotto e per la funzione "fillerizzante" di riempimento delle porosità della pasta cementizia, analoga a quella dei fumi di silice.

Ciò garantisce anche ottima costanza di comportamento rispetto alla richiesta d'acqua nel calcestruzzo.



**Figure 4.** Electron microscope image of Pozzolana granules / Osservazione al microscopio elettronico delle particelle di Pozzolana

Pozzolana viene prodotta in forma granulare (Fig. 5), ottenuta per aggregazione delle particelle finissime al termine del processo di macinazione ad umido e contiene una quantità d'acqua del 20% circa. I granuli si disperdono molto rapidamente e facilmente in fase di mescolazione del calcestruzzo, così da consentire la completa dispersione del prodotto.

Il prodotto finito si presenta apparentemente come una sabbia leggermente umida che scorre bene nelle tramogge per aggregati, al pari delle normali sabbie e che, con alcuni accorgimenti per il controllo dell'umidità, può anche essere stoccato in silos.

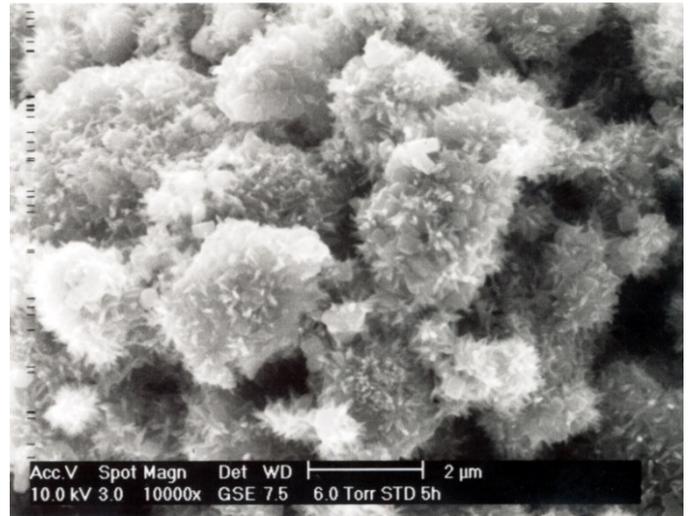


**Figure 5.** Pozzolana granules, with humidity content round 20% / Pozzolana granulare, con contenuto di umidità del 20% circa

### 2.3 Azione nel calcestruzzo

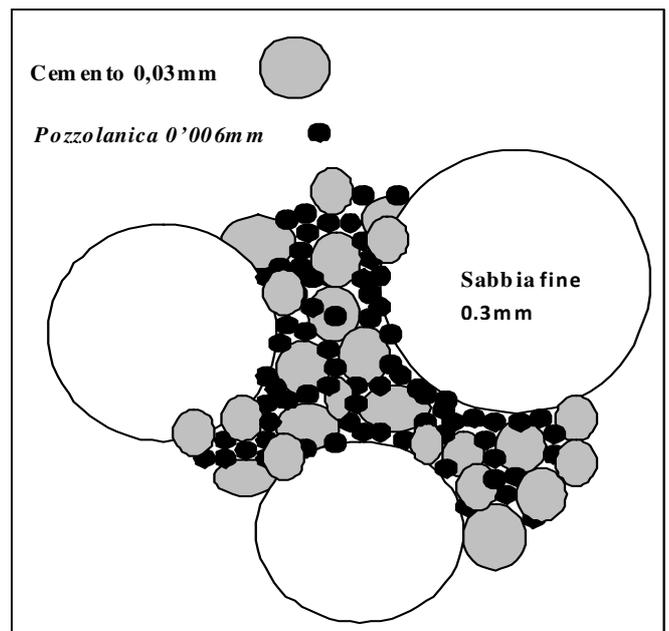
L'azione di Pozzolana è conseguenza di due fattori, uno determinato alla dimensione finissima delle particelle, l'altro dato dalla reattività delle

medesime. L'effetto benefico dei due fattori si somma.



**Figure 6.** Electron microscope image of hydrated concrete mix: dark areas are the capillary pores filled up by the pozzolanic granules / Osservazione al microscopio elettronico di una pasta di cemento idratata: le zone scure sono i pori capillari che vengono riempiti dai granuli di Pozzolana

Grazie alla loro piccola dimensione, pari a circa 1/5 di quella dei cementi e con circa il 70% delle particelle inferiore a 10 micron, i granuli di Pozzolana si installano nei vuoti (2-10 micron) della pasta di cemento idratato (Fig. 6) riducendone la porosità capillare (Fig. 7), con conseguenti benefici nella impermeabilità, nella durabilità e nella resistenza meccanica del calcestruzzo.



**Figure 7.** Filling up effect of Pozzolanic granules / Effetto di riempimento fisico delle particelle di Pozzolana

Accanto a questo effetto fisico-granulometrico, si registra una reazione chimica tra Pozzolana e

cemento idratato. Pozzolonica ha, infatti, la capacità di reagire con la calce di idrolisi che si forma quale sottoprodotto nella reazione di idratazione del cemento Portland, dando luogo ad una sorta di “reazione secondaria”, più lenta di quella del cemento, nella quale si formano prodotti tipo C-S-H (silicati di calcio idrati) e C-A-H (alluminati di calcio idrati), analoghi a quelli che si formano nella reazione primaria di idratazione del cemento. Questi ulteriori prodotti C-S-H e C-A-H hanno elevata stabilità ed idraulicità e vanno a sostituire il  $\text{Ca(OH)}_2$  che si è liberato in fase di idratazione del cemento e che costituirebbe, in assenza di Pozzolonica o di altri prodotti con proprietà equivalenti, l'elemento di maggiore vulnerabilità nel calcestruzzo, in quanto poroso e dilavabile. Il calcestruzzo ottenuto risulta, così, più prestazionale in termini di resistenza meccanica, meno permeabile e più resistente agli attacchi chimici (anidride carbonica, ossigeno, acqua, solfati, cloruri).

### 3 IMPIANTO DI BETONAGGIO

Il prodotto può essere stoccato sia in tramogge che in silos, purché realizzati con materiali appropriati e dotati di adeguati strumenti di movimentazione, fluidificazione (es. vibrator) e di controllo dell'umidità e rivestiti con materiali a bassa aderenza. Il prodotto deve essere mantenuto al riparo dagli agenti atmosferici, in particolare da pioggia e vento, al fine di evitare impaccamenti o essiccamento, con conseguente dispersione.

La decisione di insilare il materiale in uno dei sili dell'impianto di betonaggio presso Magnetti Building ha reso necessaria la verifica di alcuni aspetti critici relativi al suo utilizzo [10].

Umidità: data l'elevata umidità relativa del materiale, per evitarne l'impaccamento durante la movimentazione (carico silos, dosaggio in coclea) si è deciso di coibentare e riscaldare, tramite opportune resistenze riscaldanti, tutte le linee di carico nel silo e di dosaggio nei mescolatori; questo per evitare la formazione di condensa. Inoltre le coclee sono state rivestite internamente con del polietilene antiaderente, per facilitare lo scorrimento del materiale all'interno dei sistemi di caricamento dei mescolatori. Questa modifica, limitando la sezione utile delle coclee, ha comportato anche una riduzione del diametro delle spire all'interno delle stesse.

Usura: in base alle caratteristiche del materiale, si è scelta la linea preferibile per il suo stoccaggio e dosaggio, con relative coclee già equipaggiate di opportuni accessori antiusura. Resta evidente che per la natura del materiale risulterà necessario tenere sotto controllo il consumo dei suddetti componenti.

Precisione di dosaggio: date le ridotte quantità da dosare, in relazione alle attuali caratteristiche dell'impianto (dimensioni e motorizzazioni coclee

esistenti) è evidente che le precisioni di dosaggio potevano risultare inferiori agli standard attuali; a seguito di prove di dosaggio è stato possibile escludere la necessità di sostituire le coclee esistenti.

Benché il prodotto si disperda molto facilmente nell'impasto cementizio, è importante mescolare accuratamente il calcestruzzo per favorire la rottura dei granuli e ottenere la dispersione delle singole particelle.

### 4 PROVE SUL CALCESTRUZZO

In parallelo rispetto alle precedenti fasi, si è impostato uno specifico piano di prove finalizzato all'accertamento delle caratteristiche del calcestruzzo, sia allo stato fresco che indurito, con Pozzolonica inserita negli impasti in parziale sostituzione di cemento e filler calcareo.

Dopo una prima fase di qualifica del mix con Pozzolonica avvenuta presso il laboratorio interno, il piano di prove per il controllo del calcestruzzo in produzione ha previsto, per alcuni giorni di getto:

- determinazione della consistenza del calcestruzzo fresco;
- determinazione del contenuto reale di acqua nelle ricette di calcestruzzo;
- determinazione delle resistenze a compressione allo sforno, a 7, a 28 gg e a 90 gg.

I test hanno riguardato negli stessi giorni di prelievo sia calcestruzzi normali di produzione che calcestruzzi con inserito il nuovo materiale, dosato in quantità pari a  $50 \text{ kg/m}^3$ . Si sono indagati sia calcestruzzi tradizionali che autocompattanti, sia per elementi di tamponamento che per elementi strutturali.

In Fig. 8 si riporta una sintesi dei valori sperimentali riscontrati a compressione.

Calcestruzzo	Rck (MPa)	Rcm 28 gg (MPa)	Rcm 90 gg (MPa)
Tradizionale	30	36,2	39,5
Tradizionale + Pozzolonica	30	36,1	41,9
SCC	55	59,3	64,6
SCC + Pozzolonica	55	56,9	65,4

**Figure 8.** Compressive strenght tests / Test di resistenza a compressione

Per quanto riguarda i risultati, sul calcestruzzo fresco a parità di lavorabilità si è avuta una richiesta aggiuntiva di acqua rispetto agli impasti senza Pozzolonica, richiesta che è stata gestita tramite un modesto incremento del dosaggio di additivo

superfluidificante in ricetta; per quanto riguarda i test su calcestruzzo indurito, si sono registrate resistenze allo sforno, a 7 e a 28 gg in linea con le produzioni abituali, mentre alle lunghe stagionature i calcestruzzi con Pozzolonica hanno registrato un leggero incremento di resistenza rispetto ai calcestruzzi tradizionali, soprattutto per le classi di resistenza più basse.

Si è monitorato anche l'effetto estetico del faccia a vista dei manufatti e anche qui i riscontri sono stati positivi.

## 5 TEST DI LABORATORIO

Sul prodotto sono state effettuate presso un laboratorio esterno diverse analisi chimiche secondo UNI EN 13055-1:2002.

Sono state realizzate prove per determinare il contenuto totale di zolfo (UNI EN 1744-1 punto 11), il contenuto di fini in base alla prova di blu di metilene in accordo alla norma EN 933-9 [11] e di sostanza umica (secondo UNI EN 1744-1 punto 15.1) [12], oltre al contenuto dei solfati solubili in acido (secondo la norma UNI EN 1744-1 punto 12).

Il valore di blu di metilene (MBF) è stato calcolato come rapporto fra il volume di soluzione colorante assorbito e la massa del campione essiccato. Per il campione considerato si è ottenuto un valore di blu di metilene MBF di 2,0 g/kg.

Per quanto riguarda la determinazione del contenuto di sostanza umica, il colore della soluzione appare più chiaro del colore della soluzione normalizzata, quindi l'aggregato deve essere considerato esente da sostanze organiche.

Infine le ultime due caratterizzazioni chimiche: il contenuto di solfati, espressi come percentuale di SO<sub>3</sub> rispetto alla massa essiccata del materiale disciolto, è risultato pari a 0,70%; il contenuto totale di zolfo, invece, è risultato pari a 0,30%.

In Fig. 9 si riporta una sintesi dei valori sperimentali riscontrati.

Caratteristica	Valore sperimentale	Metodo di prova
Contenuto di solfati solubili in acido	0,70%	UNI EN 1744-1
Contenuto di zolfo totale	0,30%	UNI EN 1744-1
Qualità dei fini (Pulizia)	2,0 g/kg	UNI EN 933-9
Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo	Colore della soluzione più chiaro del riferimento	UNI EN 1744-1

**Figure 9.** Filler characteristics / Caratteristiche del filler

## 6 CARATTERISTICHE AMBIENTALI DEI CALCESTRUZZI OTTENIBILI

Nell'ambito del controllo di produzione viene condotto un piano di monitoraggio, finalizzato a verificare i possibili impatti sull'ambiente derivanti dall'utilizzo di Pozzolonica per il confezionamento dei calcestruzzi.

Tale piano di monitoraggio prevede test di eluzione sia su calcestruzzi monolitici, rappresentativi delle condizioni nel corso della vita di servizio, che su calcestruzzi frantumati, rappresentativi delle condizioni di fine ciclo di vita del calcestruzzo.

I test di eluzione su calcestruzzi monolitici e frantumati sono stati condotti con cadenza trimestrale conformemente a UNI EN 10802:2013 [13] e UNI EN 12457-2:2004 [14]. Test di eluzione sono stati condotti anche conformemente a UNI CEN/TR 15678:2008 [15].

I risultati hanno sempre confermato il rispetto dei limiti di cui all'Allegato 3 del D.M. 186/2006 [16], che, in assenza di una norma nazionale, è stato imposto dalla Regione Lombardia, nell'ambito dell'autorizzazione rilasciata alla società produttrice Solena S.r.l.

## 7 CONCLUSIONI

The use of Pozzolonica for manufacturing concretes determines substantial technical advantages.

Returns on the fresh concrete are consequence to Pozzolonica extremely thinness characteristics, following:

- workability increasing along the time;
- cohesivity increasing and segregation events removing.

Such properties of fresh concrete are fundamental than ever in the manufacturing of highly fluid concretes and self-compacting.

As for hardened concrete, advantages are consequence both of physical characteristics and of reactivity characteristics of the lightweight aggregate. Pozzolonica small granules fill up all empty spaces of the hydrated concrete mix, thus reducing the capillary porosity.

The concrete has best performances in terms of mechanical resistance, is less permeable and more resistant to chemical attacks (carbon dioxide, oxygen, sulfates, chlorides, etc.).

For protection of the reinforcing bars, compared to the corrosion risk, the porosity reducing of concrete mix improves its behavior. The greater compactness and lower porosity of concrete mix, improve also the reinforcing bars bond.

Pozzolonica is strongly reactive with alkalis and, thanks to its fineness which allows a wide distribution of the reactive material, significantly

relieve the deleterious effects of alkali silica reaction (ASR).

Another positive effect of Pozzolanica is given by the fact that its reaction is not exothermic, in contrast to Portland cement one and do not cause heat. Is accordingly possible to make concretes having a more limited hydration temperature and hygrometric shrinkage, with consequent reduction of the cracking risk.

The result of pozzolanic reaction is the reducing or eliminating efflorescence in the surface of concrete exposed to the external environment.

Conclusively, in terms of durability, it is possible to conclude that the product obtained from MSW incinerator bottom ash could determine the increasing of the concretes service life. /

L'utilizzo di Pozzolanica per il confezionamento di calcestruzzi determina significativi benefici tecnici.

I benefici sul calcestruzzo fresco sono la conseguenza delle caratteristiche di elevata finezza di Pozzolanica e sono:

- incremento della lavorabilità nel tempo;
- incremento della coesività ed eliminazione dei fenomeni di segregazione.

Tali proprietà sul calcestruzzo fresco risultano quanto mai fondamentali nella produzione di calcestruzzi ad elevata fluidità e in quelli auto-compattanti.

Per quanto riguarda i benefici sul calcestruzzo indurito, essi sono conseguenza sia delle caratteristiche fisiche che delle caratteristiche di reattività di questo aggregato leggero. Le piccole dimensioni dei granuli consentono il riempimento dei vuoti della pasta di cemento idratato riducendo, così, la porosità capillare.

Il calcestruzzo risulta più prestazionale in termini di resistenza meccanica, meno permeabile e più resistente agli attacchi chimici (anidride carbonica, ossigeno, solfati, cloruri, ecc.).

Ai fini della protezione delle barre di armatura, rispetto al rischio di corrosione, la riduzione della porosità della pasta cementizia ne migliora il comportamento. L'aderenza alle barre d'armatura è, inoltre, migliorata dalla maggiore compattezza e minor porosità della pasta cementizia.

Pozzolanica è altamente reattiva con gli alcali e, grazie alla sua elevatissima finezza che ne determina una vasta distribuzione, attenua significativamente gli effetti deleteri della reazione alcali aggregati (ASR).

Ulteriore effetto benefico di Pozzolanica è dato dal fatto che la sua reazione non è, al contrario di quella del cemento Portland, una reazione esotermica e non dà luogo allo sviluppo di calore. È pertanto possibile produrre calcestruzzi aventi un più limitato calore di idratazione e ritiro igrometrico, con conseguente diminuzione del rischio di fessurazione.

Conseguenza della reazione pozzolanica è anche la riduzione o l'eliminazione delle efflorescenze superficiali nel calcestruzzo esposto alle intemperie.

In sintesi, sotto il profilo della durabilità, è possibile concludere che il prodotto, ottenuto dalle ceneri che residuano dall'incenerimento di RSU, possa determinare un importante incremento della vita di servizio dei calcestruzzi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Largo, A., Failla, C., Preda, M., Sonzogni, F., 2014 Sustainable concrete: integrazione dei rifiuti nel ciclo di produzione di un calcestruzzo sostenibile, innovativo e ad alta efficienza energetica, *Atti del Convegno CTE, Milano*.
- [2] Kirby, Rimstidt, 1993 Mineralogy and surface properties of municipal solid waste ash, *Environ. Sci. Technol.*
- [3] Zevenbergen, Vander Wood, Bradley, Van der Broeck, Orbons, Van Reeuwijk, 2009 Morphological and chemical properties of MSWI Bottom Ash with respect to the glassy constituents, *Hazardous Waste and Hazardous Materials*.
- [4] UNI EN 13055-1 "Aggregati leggeri per calcestruzzo", 2002
- [5] Bertolini L., Carsana M., Cassago D., Quadrio Curzio A., Collepari M., 2004 MSWI ashes as mineral additions in concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 1899-1906.
- [6] Collepari M., Collepari S., Ongaro D., Quadrio Curzio A., Sammartino M., 2011 Concrete with Bottom Ash from Municipal Solid Wastes Incinerators, *Proceedings of 4th International Conference on Non-Traditional Cement & Concrete, Brno (Czech Republic)*.
- [7] Collepari S., Collepari M., Iannis, G., Quadrio Curzio A., 2012 SCC with Ground Bottom Ash from Municipal Solid Wastes Incinerators, *Proceedings of the ACI International Conference Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, Editors T. C. Holland, P.R. Gupta and V. M. Malhotra, pp.453-464, Prague, Czech Republic*.
- [8] Collepari S., Borsoi A., Collepari M., Quadrio Curzio A., 2015 Special high-performance concretes with ground bottom ash from MSWI, *ad 144 ACI CANMET Ottawa*
- [9] Collepari S., Borsoi A., Collepari M., Quadrio Curzio A., 2015 Self compacting lightweight concretes with ground bottom ash from municipal solid waste incinerators (MSWI), *id 61 ACI CHAPTER BO*
- [10] Failla, C., Preda, M., Sonzogni, F., 2012 Un esempio di sostenibilità in prefabbricazione: realizzazione di una fabbrica a ciclo chiuso, *Atti del Convegno CTE, Bologna*.
- [11] UNI EN 933-9 "Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Valutazione dei fini - Prova del blu di metilene", 2000
- [12] UNI EN 1744-1 "Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Analisi chimica", 1999
- [13] UNI EN 10802 "Rifiuti - Campionamento manuale, preparazione del campione ed analisi degli eluati", 2013
- [14] EN 12457-2 "Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi - Parte 2: Prova a singolo stadio, con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg, per materiali con particelle di dimensioni minori di 4 mm (con o senza riduzione delle dimensioni)", 2004
- [15] UNI CEN/TR 15678 "Calcestruzzo - Rilascio di sostanze pericolose regolamentate nel suolo, nell'acqua di falda e nell'acqua di superficie - Metodo di prova per costituenti del calcestruzzo nuovi o non approvati e per calcestruzzi in produzione", 2008

[16] Decreto 5 aprile 2006, n. 186 “Regolamento recante modifiche al decreto ministeriale 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”, 2006