

TECNOLOGIA DELLA CENERE VOLANTE MICRO POZZ PFA





Innovazione e Sistema

i n d i c e

1	GENERALITÀ	PAG. 3
2	PROVENIENZA, COMPOSIZIONE E PRINCIPALI CARATTERISTICHE	4
3	EFFETTI DELL'UTILIZZO DELLA CENERE VOLANTE MICRO POZZ PFA NEL CALCESTRUZZO	5
4	PRINCIPALI UTILIZZAZIONI DELLA CENERE VOLANTE MICRO POZZ PFA	8
5	RIFERIMENTI NORMATIVI NELL'USO DELLE CENERI VOLANTI NELLE COSTRUZIONI	11
	ALLEGATI: SCHEDE TECNICHE DEI PRODOTTI	
	▲ MICRO POZZ PFA	
	▲ MICRO POZZ 10	
	▲ MICRO POZZ DSF	





Innovazione e Sistema

1 Generalità

Le Ceneri Volanti **MICRO POZZ PFA** sono particolari prodotti minerali derivanti dal processo di produzione dell'energia elettrica ed utilizzati principalmente nel settore delle costruzioni come aggiunte pozzolaniche per il confezionamento di conglomerati cementizi.

Costituite da micro-particelle di forma sferoidale (di dimensioni paragonabili a quelle del cemento), hanno una natura essenzialmente silico-alluminosa ed una struttura principalmente amorfa o vetrosa (Fig. 1). Queste caratteristiche conferiscono a questi prodotti minerali la cosiddetta attività pozzolanica, cioè la capacità di reagire con l'acqua e l'idrossido di calcio per formare C - S - H (silicati di calcio idrati) del tutto analoghi a quelli che derivano dalla reazione di idratazione del cemento (Fig. 2).

I C - S - H sono i prodotti di natura fibrosa che determinano la quasi totalità delle caratteristiche prestazionali del

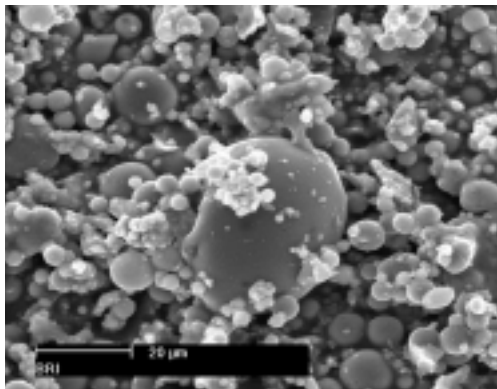


Figura 1: Cenere Volante MICRO POZZ PFA vista al microscopio elettronico.

calcestruzzo, in termini sia di resistenze meccaniche che di durabilità. Questo significa che, aggiungendo Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** ad un determinato impasto e lasciando invariato il quantitativo di cemento, si ottiene un calcestruzzo più prestazionale (maggiori quantitativi di C - S - H). Sostituendo invece, come avviene in genere, parte del cemento con della Cenere Volante, si raggiungono le stesse prestazioni (i C - S - H che venivano forniti dal cemento sostituito vengono ora forniti dalla cenere volante), ma con notevoli vantaggi tecnici ed economici. Dal punto di vista economico, il vantaggio è evidente, dato che il costo della **MICRO POZZ PFA** è inferiore a quello del cemento; dal punto di vista tecnico, i miglioramenti apportati, descritti approfonditamente al paragrafo 3, sono notevoli e riguardano sia il calcestruzzo allo stato fresco che quello allo stato indurito.

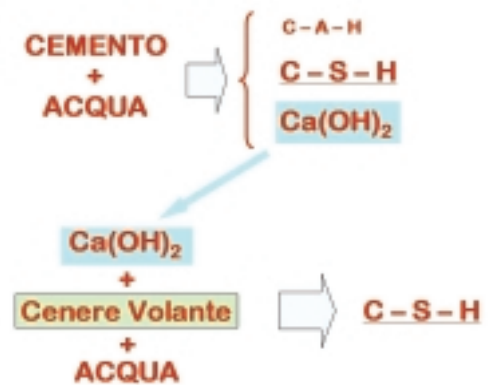


Figura 2: Reazione pozzolanica: formazione di ulteriori prodotti C - S - H

PROSPETTO 1

Cenere Volante MICRO POZZ PFA - VANTAGGI TECNOLOGICI

Calcestruzzo Fresco

- Migliore lavorabilità
- Aumento del mantenimento della lavorabilità
- Migliore finitura del getto
- Eliminazione del bleeding
- Operazioni di pompaggio facilitate
- Tempi di presa regolati in estate

Calcestruzzo Indurito

- Incremento delle prestazioni meccaniche
- Riduzione della porosità del conglomerato
- Maggiore impermeabilità agli agenti aggressivi
- Maggiore aderenza alle barre di armatura
- Maggiore protezione delle barre di armatura
- Diminuzione dei gradienti termici e delle conseguenti fessurazioni
- Maggiore resistenza alla reazione Alkali - Aggregati
- Riduzione/Eliminazione delle efflorescenze superficiali (elementi vibrocompressi)



Provenienza, composizione e principali caratteristiche

La Cenere Volante deriva dalla combustione del carbone utilizzato nelle centrali termo – elettriche per la produzione di energia elettrica. Nel carbone, infatti, sono sempre presenti elementi quali il quarzo, l'argilla, la pirite che, a temperature di circa 1400°C, fondono in forma di piccole gocce; queste, trasportate dai fumi all'esterno della camera di combustione, solidificano a seguito del brusco raffreddamento, sotto forma di piccole sferette (Figura 1).

Tali particelle, per più del 70% di natura vetrosa amorfa, hanno una composizione abbastanza complessa. Come si può osservare nella Tabella 1, gli elementi chimici costituenti sono diversi e presenti in quantità variabile in funzione del tipo di cenere. In tutte le ceneri, però, i

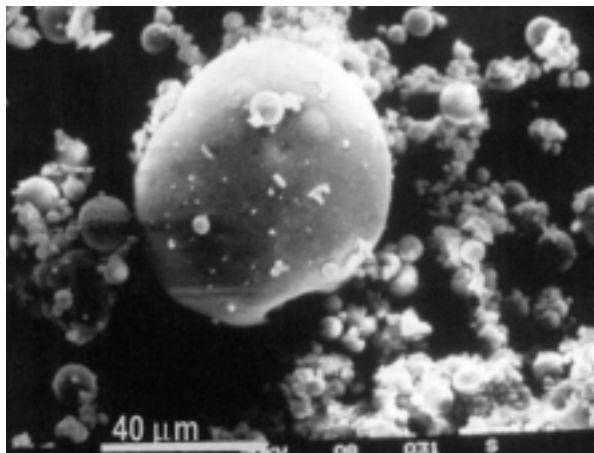


Figura 3: Le dimensioni dei granuli della Cenere Volante sono del tutto confrontabili con quelle delle particelle di cemento - Mario Collepari, "Il nuovo calcestruzzo", Ed. Tintoretto

particelle sferiche hanno una dimensione media di 40 µm, del tutto paragonabili a quelle del cemento (Fig. 3). Le Ceneri

TABELLA 1

Confronto fra la composizione delle Ceneri Volanti e la pozzolana naturale

Elemento componente	Ceneri provenienti da carbone sudafricano	Ceneri provenienti da carbone americano	Valori medi per le ceneri prodotte in Italia	Pozzolana Romana	Pozzolana Napoletana
Si	16,0 ÷ 20,9	19,0 ÷ 22,9	15 ÷ 22,4	19,0 ÷ 22,10	25,0 ÷ 31
Al	14,8 ÷ 18,5	12,4 ÷ 16,8	7 ÷ 12	8 ÷ 12	9 ÷ 16
Fe	1,5 ÷ 3,8	1,7 ÷ 8,7	1,7 ÷ 3,0	4 ÷ 8	3 ÷ 4
Ca	1,1 ÷ 6,5	0,7 ÷ 4,2	2,2 ÷ 3,5	6 ÷ 7	2 ÷ 3
Mg	0,3 ÷ 1,1	0,1 ÷ 1,0	0,6 ÷ 0,8	0,5 ÷ 2	0,5 ÷ 1
S	0,2 ÷ 0,4	0,2 ÷ 1,1	0,1 ÷ 0,4	-	-
K	0,4 ÷ 0,9	0,5 ÷ 2,2	0,4 ÷ 0,9	1 ÷ 2,5	2,5 ÷ 7
Na	0,1 ÷ 0,4	0,1 ÷ 0,7	0,2 ÷ 2,5	0,6 ÷ 0,8	1,2 ÷ 3,2
Ti	0,6 ÷ 1,0	0,6 ÷ 1,0	0,6 ÷ 1,0	-	-
P	0,2 ÷ 1,0	0,1 ÷ 0,6	0,2 ÷ 1,0	-	-
Incombusti	5 ÷ 8	5 ÷ 8	5 ÷ 7	-	-

principali composti chimici costituenti sono quattro: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO . In particolare i dati di Tabella 1 evidenziano come la composizione chimica delle ceneri da carbone sia molto simile a quella delle pozzolane naturali [1]. Le

Volanti, come la **MICRO POZZ PFA**, si presentano di colore grigio e sono caratterizzate da una massa volumica reale variabile tra 2100 e 2400 kg/m^3 ed una massa volumica apparente variabile tra 600 ed 1000 kg/m^3 .



Effetti dell'utilizzo della Cenere Volante MICRO POZZ PFA nel calcestruzzo

L'utilizzo della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** nel confezionamento del calcestruzzo permette di conseguire notevoli vantaggi, sia Tecnici che Economici.

Soffermandoci sugli aspetti di carattere tecnico, è opportuno suddividerli in quelli riguardanti il calcestruzzo fresco (caratteristiche reologiche) e quelli relativi al calcestruzzo indurito.

I benefici reologici ottenuti con l'utilizzo di Cenere Volante, vengono di seguito riportati:

- Eliminazione dei fenomeni di sedimentazione e di bleeding (segregazione);
- Migliore lavorabilità e finitura dei getti;
- Miglioramento delle operazioni di pompaggio;
- Migliore mantenimento della lavorabilità nel tempo;

L'aggiunta di Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**, soprattutto in calcestruzzi carenti di parti fini (confezionati con bassi dosaggi di cemento o con sabbie dotate di elevati moduli di finezza), rende l'impasto più coesivo (effetto fillerizzante) e molto meno sensibile alla segregazione ed al bleeding [5] (Figura 4). Questo aspetto riveste particolare importanza nel confezionamento dei calcestruzzi autocompattanti (SCC) i quali, data la loro elevata fluidità, sono molto più suscettibili di segregazione rispetto ai calcestruzzi ordinari.

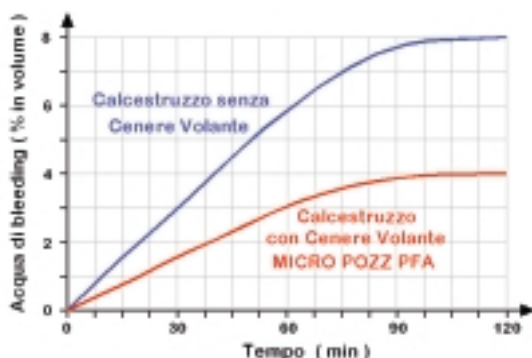


Figura 4 - Riduzione del fenomeno di bleeding a seguito dell'introduzione di Cenere Volante MICRO POZZ PFA nell'impasto.

La forma sferica delle particelle costituenti la **MICRO POZZ PFA** consente di minimizzare la superficie specifica e quindi il quantitativo di acqua che è necessario aggiungere per ottenere una determinata lavorabilità. Risultano inoltre diminuiti gli attriti interni alla miscela, con conseguente miglioramento della lavorabilità e capacità di riempimento dei casseri (migliore finitura e assenza di difetti macroscopici). Nel caso di calcestruzzo pompato, si riduce l'attrito fra il conglomerato e gli elementi della pompa, risultando così notevolmente agevolate le operazioni di pompaggio.

Inoltre nelle prime ore successive al confezionamento del calcestruzzo, la Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** presenta una bassa reattività e per questo si comporta inizialmente come un diluente del cemento. Tale effetto si traduce in una riduzione della quantità di solido idratato presente nell'unità di volume della pasta legante e quindi in un più lento decadimento della lavorabilità. Ciò permette di controllare molto meglio la reologia dell'impasto.

Per quanto riguarda il **miglioramento delle proprietà del calcestruzzo indurito**, al fine di comprendere appieno i notevoli vantaggi tecnici conseguibili con l'utilizzo della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**, è opportuno fare un breve richiamo sul suo principio di funzionamento.

La reazione chimica che avviene, all'interno del calcestruzzo, fra il cemento e l'acqua, porta alla formazione di tre prodotti principali (Figura 2):

- **C – A – H: Alluminati idrati di calcio.** Questi prodotti sono i principali responsabili della perdita di plasticità iniziale del conglomerato (fenomeno di presa) ma non contribuiscono in maniera rilevante allo sviluppo delle caratteristiche prestazionali del calcestruzzo.

- **C – S – H: Silicati idrati di calcio.** Sono prodotti di natura fibrosa che si sviluppano a partire dalla superficie dei



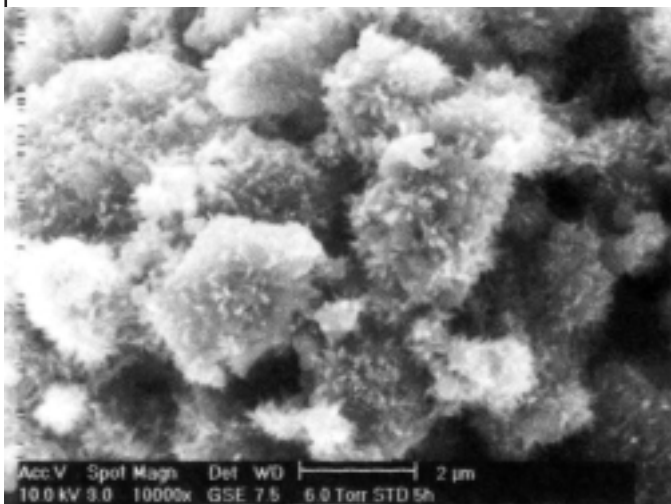


Figura 5:
Fibre C - S - H viste
al microscopio.
Mario Collepari,
"Il nuovo calcestruzzo",
Ed. Tintoretto

singoli granuli di cemento (Figura 5). Quando queste fibre raggiungono una lunghezza tale da intrecciarsi le une con le altre, il sistema costituito dai singoli granuli va via via irrigidendosi, conferendo al calcestruzzo le sue ben note prestazioni.

• **Ca(OH)₂: Idrossido di calcio.** È un prodotto secondario della reazione di idratazione del cemento nel senso che non contribuisce minimamente allo sviluppo delle resistenze del calcestruzzo. La presenza del Ca(OH)₂ ha due conseguenze, una positiva ed una negativa:

1) Pur non contribuendo alle prestazioni del calcestruzzo, la presenza del Ca(OH)₂ è di fondamentale importanza per la protezione delle barre di armature nei confronti della corrosione. Infatti, essendo il Ca(OH)₂ una sostanza basica (pH>7) la sua presenza porta il pH all'interno del calcestruzzo a valori di circa 13. In un simile ambiente, sulla superficie delle barre si forma una particolare pellicola protettiva che impedisce agli agenti aggressivi (acqua ed ossigeno) di attivare la corrosione (si dice che le barre si trovano in uno stato passivato).

2) Il Ca(OH)₂ è, da un punto di vista della resistenza meccanica, un elemento molto debole ed inoltre è molto poroso, chimicamente vulnerabile agli acidi e all'anidride carbonica e solubile in acqua. In particolare, quando il Ca(OH)₂ viene dilavato ed allontanato dal calcestruzzo, si formano sgradevoli efflorescenze sul faccia a vista e lascia dei vuoti all'interno del materiale, con aumento della porosità.

La Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**, avendo una composizione analoga a quella delle pozzolane naturali

(Tabella 1) è in grado di esplicitare la cosiddetta attività pozzolanica. Essa consiste essenzialmente nella capacità di reagire con parte dell'idrossido di calcio prodotto nella reazione di idratazione del cemento (Figura 2) per formare ulteriori prodotti di tipo C - S - H. Risulta quindi evidente che il principale



Figura 6:
Benefica riduzione
del Ca(OH)₂
ad opera della
Cenere Volante
MICRO POZZ PFA

vantaggio [5] ottenuto dall'uso della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** è rappresentato (Figura 6) dalla sostituzione di parte del Ca(OH)₂, che abbiamo visto essere poroso, chimicamente vulnerabile e dilavabile, con prodotti C - S - H stabili e di elevata idraulicità, che rendono il calcestruzzo oltre che più prestazionale in termini meccanici (ricordiamo che i C - S - H determinano la quasi totalità della resistenza meccanica del calcestruzzo), *meno permeabile e più resistente agli attacchi chimici*. La diminuzione della permeabilità comporta la minore possibilità da parte degli agenti esterni di penetrare all'interno del calcestruzzo. In particolare, viene dapprima ridotto l'accesso di anidride carbonica (CO₂) all'interno del calcestruzzo, e quindi viene limitato il



fenomeno della carbonatazione; in secondo luogo, viene maggiormente impedito l'accesso ai veri e propri agenti aggressivi: ossigeno (O_2) e acqua (H_2O) o cloruri, responsabili dell'ossidazione delle armature, e solfati, responsabili del degrado del calcestruzzo. È comunque assicurata la protezione delle barre da una loro possibile corrosione. Infatti la riduzione di $Ca(OH)_2$ ad opera della reazione pozzolanica e la conseguente diminuzione dell'alcalinità del calcestruzzo che avvolge le barre di armatura è ampiamente compensata dalla riduzione di porosità della matrice cementizia.

Per quanto riguarda le barre d'armatura, è da notare che queste, risultando avvolte da un calcestruzzo più compatto, vedranno *aumentata la loro aderenza* allo stesso.

Ridurre il quantitativo di $Ca(OH)_2$ significa, poi, limitare la possibilità che questo possa essere dilavato e portato in superficie a formare le efflorescenze superficiali.

Anche gli inconvenienti legati alla possibile reazione alcali – aggregato (nota con il famoso acronimo ASR: *Alkali – Silica Reaction*) vengono notevolmente ridotti dalla presenza della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**.

Quest'ultima, infatti, risulta molto reattiva nei confronti degli alcali eventualmente presenti nell'impasto e riesce a fissarli all'interno della matrice cementizia allorché essa è ancora plastica. Gli alcali risultano così esclusi da potenziali fenomeni di lenta reazione con l'eventuale silice amorfa presente negli aggregati naturali utilizzati nel confezionamento di calcestruzzo. Vengono così ridotti [6] o eliminati i fenomeni espansivi, causati da tale reazione, che porterebbero, in breve tempo, al degrado del calcestruzzo (Figura 7).

Per quanto riguarda lo *sviluppo delle resistenze nel tempo*, è bene precisare

che la reazione pozzolanica della cenere volante può avvenire, per quanto detto finora, solo quando si è formata una certa quantità di $Ca(OH)_2$ a seguito della reazione di idratazione del cemento. Questo significa che, nel caso in cui la Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** venga utilizzata in parziale sostituzione del cemento, le resistenze alle brevi stagionature (fornite inizialmente solo dal cemento), a parità di condizioni, saranno leggermente inferiori a quelle che si otterrebbero con il solo cemento [2],[5] (Figura 8). *Ovviamente possono essere ottenute le stesse resistenze alle brevi stagionature utilizzando opportuni additivi acceleranti oppure additivi riduttori di acqua che consentano di abbassare il rapporto a/c.*

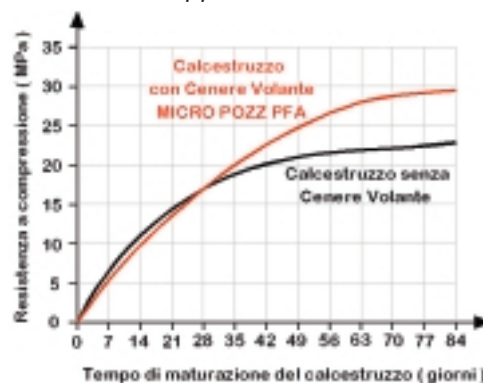
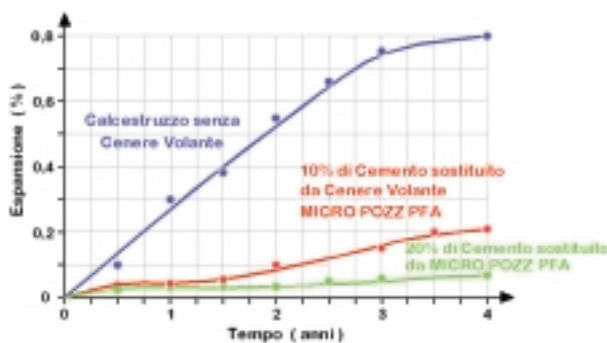


Figura 8: Sviluppo delle resistenze meccaniche di compressione nel tempo

A 28 giorni di maturazione, invece, il calcestruzzo confezionato utilizzando la Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** presenta le stesse prestazioni rispetto a quello confezionato con il solo cemento. C'è da dire però che, a differenza della reazione di idratazione del cemento che dopo un certo periodo di maturazione non conferisce apprezzabili incrementi di resistenza, la reazione pozzolanica continua a fornire ulteriori incrementi di resistenza anche dopo lunghi periodi di maturazione del calcestruzzo (Figura 8).

In particolare, è stato verificato sperimentalmente [1] che, rispetto alle resistenze raggiunte dopo 28 giorni di maturazione, il calcestruzzo confezionato con l'utilizzo di Ceneri Volanti **MICRO POZZ PFA** presenta, dopo un anno di maturazione, un aumento del 50% della resistenza; dopo lo stesso periodo di tempo, un calcestruzzo con solo cemento esibisce un incremento di resistenza del 30%.

Figura 7: Riduzione da parte della Cenere Volante MICRO POZZ PFA dell'espansione dovuta alla reazione Alcali-Aggregato.



Principali utilizzazioni della Cenere Volante MICRO POZZ PFA

Le ceneri sono utilizzate principalmente nell'industria delle costruzioni come componenti per la produzione di cementi di miscela, calcestruzzi e, in minor misura, blocchi espansi, laterizi, ma anche nel settore geotecnico, soprattutto per la realizzazione di rilevati strutturali, sottofondazioni stradali e stabilizzati.

Tuttavia la loro massima valorizzazione, sia dal punto di vista tecnico che economico, si ottiene quando le ceneri volanti vengono impiegate nelle miscele cementizie, con una delle seguenti modalità:

- In aggiunta al clinker per la produzione di cementi di miscela, in accordo con quanto disposto dalla UNI EN 197/1;
- In aggiunta o parziale sostituzione di cemento per il confezionamento di calcestruzzi, in accordo con quanto disposto dalle UNI EN 206 ed UNI EN 450;

Soffermandoci sul secondo punto, verranno ora descritti alcuni settori, legati al mondo della produzione di calcestruzzo, dove tali aggiunte possono essere utilizzate per ottenere eccellenti risultati in termini di prestazioni e benefici economici.

Calcestruzzo preconfezionato

Sicuramente rappresenta il settore che più di ogni altro trae vantaggio dall'utilizzo delle Ceneri Volanti. Recenti indagini hanno evidenziato che negli ultimi anni sempre più produttori di calcestruzzo hanno scelto di utilizzare, nel confezionamento delle loro miscele, aggiunte minerali ed in particolar modo la Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**.

I motivi principali di questa scelta Tecnico – Economica sono i seguenti:

- L'utilizzo di aggiunte minerali (nella fattispecie Ceneri Volanti) comporta evidenti vantaggi tecnici; questi sono stati ampiamente descritti al punto 3;
- Il costo unitario delle aggiunte minerali tipo Cenere Volante **MICRO**

POZZ PFA è notevolmente inferiore a quello del cemento;

- Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento del costo dell'energia necessaria per la produzione di cemento. Ottimizzandone i dosaggi con l'utilizzo di Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** si conseguono evidenti benefici economici;
- La politica governativa di tutti i maggiori paesi industrializzati ha, negli ultimi anni, favorito l'utilizzo di tali prodotti nella massima misura possibile;

Calcestruzzo ad alta resistenza

Le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14-09-05) hanno introdotto l'innovativa possibilità di utilizzare calcestruzzi con resistenze caratteristiche fino ad 85 MPa. Esperienze di campo e di laboratorio [2] hanno dimostrato la possibilità di raggiungere, con l'aggiunta di Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**, resistenze a compressione fino a 100 MPa circa. Nella pratica, l'aggiunta di Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** consente di pervenire facilmente a resistenze dell'ordine dei 75 MPa. Per resistenze maggiori è prassi ordinaria associare alla Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** il fumo di silice **MICRO POZZ DSF** [3]. Si può anche utilizzare Cenere Volante come la **MICRO POZZ 10**, particolarmente reattiva in quanto sottoposta a trattamenti speciali.

Calcestruzzo Autocompattante: Self Compacting Concrete (SCC)

Si tratta di calcestruzzi così fluidi, da poter essere messi in opera senza alcuna compattazione ed al tempo stesso così coesivi da non presentare fenomeni di segregazione e di bleeding. Per garantire l'assenza di segregazione la produzione richiede l'adozione di alcune regole fondamentali quali la riduzione, per dimensione e quantità, dell'aggregato grosso e l'aumento del dosaggio di parti fini ($160 \div 200 \text{ l/m}^3$) [4]. Il raggiungimento del dosaggio minimo di



fini con il solo impiego di cemento comporterebbe due inconvenienti, uno tecnico, l'altro economico.

Tecnicamente, è noto che elevati contenuti di cemento sono causa di una serie di effetti indesiderati: elevato calore di idratazione, elevato ritiro igrometrico, elevate deformazioni viscosi.

Economicamente, visto che fra gli ingredienti costituenti il calcestruzzo, il cemento rappresenta la materia prima più costosa, utilizzarlo in grosse quantità significa avere elevate incidenze sui costi di produzione. L'utilizzo di aggiunte minerali ed in particolare della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA**, in parziale sostituzione del cemento risolve efficacemente entrambi gli aspetti.

Realizzazione di getti massivi

L'utilizzo di Cenere Volante in parziale sostituzione del cemento, per il confezionamento di calcestruzzi destinati alla realizzazione di elementi di notevole spessore, consente di ridurre i forti aumenti di temperatura interni al getto dovuti alla reazione di idratazione del cemento (Figura 9). L'adozione della Cenere Volante **MICRO POZZ PFA** costituisce un notevole vantaggio per la notevole riduzione dei gradienti termici e delle conseguenti fessure.

È noto infatti che la reazione di idratazione del cemento è esotermica, cioè è accompagnata da sviluppo di calore. Tale sviluppo dipenderà, fra l'altro, dalla quantità, dalla finezza e dal tipo di cemento. A causa di questo fenomeno, nel caso di getti di grande spessore, si instaura, per il diverso isolamento termico del calcestruzzo nella zona centrale (nucleo) ed in quella periferica, un gradiente termico tra la parte più calda e quella più fredda della struttura. Se il valore massimo di tale gradiente (raggiunto solitamente dopo 2-3 giorni dal getto) supera i 20° circa, esiste un grosso rischio di formazione di fessure, sia sulla superficie (visibili) che all'interno del getto (invisibili e, per questo, più pericolose).

Studiando opportunamente la miscela e sostituendo parte del cemento con la cenere volante si riuscirà a confezionare un calcestruzzo che, per la minore quantità di clinker presente, sarà caratterizzato da sviluppi di calore nettamente inferiori (Figura 10) e, conseguentemente, si instaureranno gradienti termici ridotti (Figura 11). La reazione pozzolanica della Cenere Volante, infatti, è accompagnata da un modesto sviluppo di calore. Tutto questo *riduce fortemente la possibilità di fessure di origine termica* consentendo di raggiungere le stesse prestazioni meccaniche finali a 28 giorni (Figura 8).

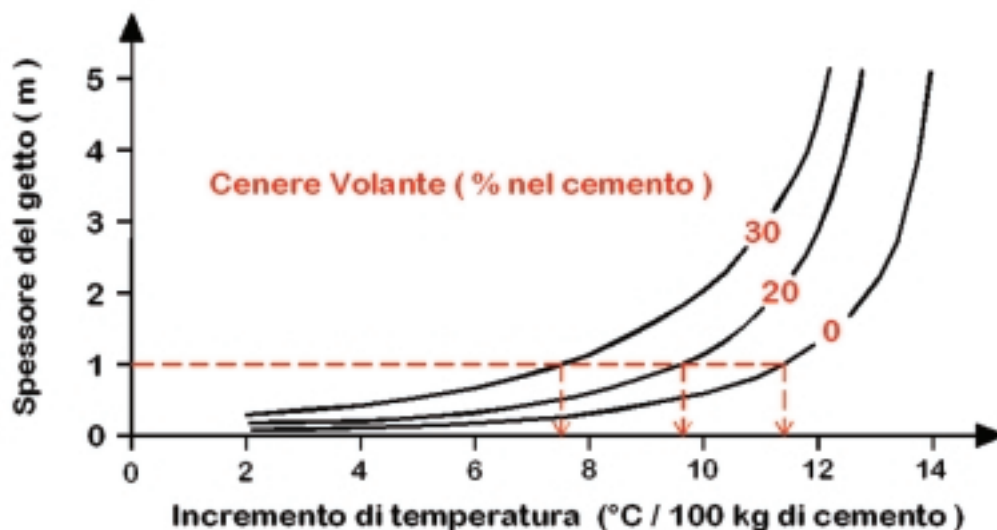


Figura 9 : L'uso della Cenere Volante nella realizzazione di getti massivi [5]



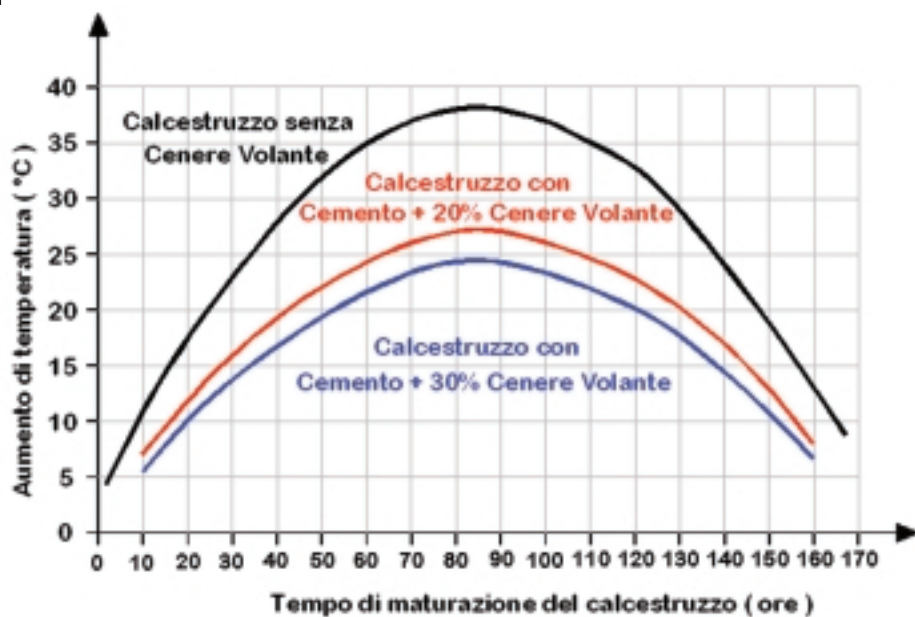


Figura 10:
Riduzione dello sviluppo di calore mediante l'utilizzo di Ceneri Volante [2]

Realizzazione di elementi vibrocompressi

Si sta diffondendo l'utilizzo di Ceneri Volanti per il confezionamento di calcestruzzi caratterizzati da una bassa lavorabilità (*terra umida*) e messi in opera mediante una operazione meccanica di vibro - compressione. L'utilizzo di tali aggiunte consente di ottenere, oltre al vantaggio economico, un notevole miglioramento dell'aspetto estetico dei manufatti, spesso oggetto di sgradite *efflorescenze superficiali*. Come si è visto al punto 3, la presenza della Ceneri Volante

MICRO POZZ PFA riduce il quantitativo di Ca(OH)_2 presente nella miscela e, quindi, la possibilità che questo venga dilavato e portato in superficie a formare dette efflorescenze.

Realizzazione di tubazioni in calcestruzzo

Per questa tipologia di elementi la presenza di **MICRO POZZ PFA** è particolarmente apprezzata per la sua capacità di conferire ai manufatti, fra l'altro, caratteristiche di impermeabilità e resistenza ai solfati.

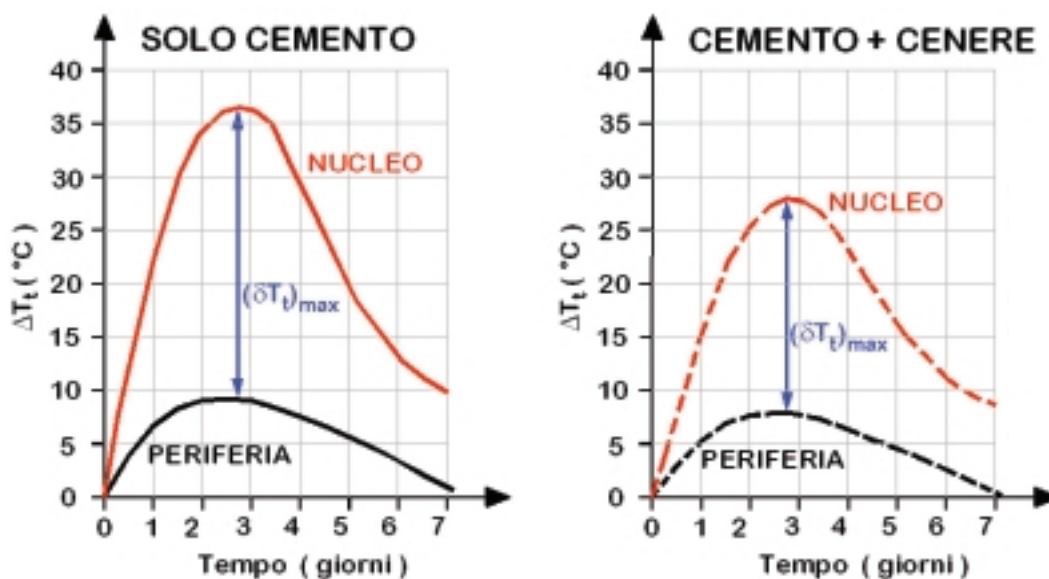


Figura 11:
Riduzione dei gradienti termici e delle conseguenti fessure



Riferimenti normativi nell'uso delle Ceneri Volanti nelle costruzioni

L'utilizzo delle ceneri volanti per la produzione di cementi e il confezionamento di calcestruzzi è disciplinato dalle seguenti norme:

- UNI EN 197-1 "Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni".
- UNI EN 450/2005 "Ceneri volanti per calcestruzzo. Definizioni, requisiti e controllo di qualità"
- UNI EN 206-1/2001 e UNI 11104/2004 "Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- DM 14/09/05 "Norme tecniche per le costruzioni" (par. 11.1.9.3)

La prima norma fa una classifica di tutti i tipi di cemento sulla base della loro composizione, descrivendo quali devono essere le caratteristiche di conformità delle singole materie prime costituenti: clinker e aggiunte varie. Fra queste ultime sono appunto comprese le *Ceneri Volanti* le quali, per poter essere utilizzate nel confezionamento di cementi di miscela (CEM II), pozzolanici (CEM IV) e compositi (CEM V) devono superare determinati controlli di qualità che prevedono, fra l'altro, opportune limitazioni alle loro sostanze costituenti (CaO reattiva, CaO libera, SiO₂ reattiva, incombusti, ecc.).

Le UNI EN 450-1 e UNI EN 450-2 definiscono i requisiti di conformità che devono caratterizzare le ceneri volanti utilizzate nel confezionamento di calcestruzzi.

La UNI EN 206 - 1 specifica, fra l'altro, quali devono essere i requisiti per i materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo. In particolare, al punto al punto 5 prevede che possano essere utilizzate le cosiddette *Aggiunte di tipo II*: fumi di silice e *Ceneri Volanti*. La UNI EN 206 - 1 consente di tener conto di parte della cenere introdotta nella miscela per la valutazione del rapporto a/c e del dosaggio di cemento minimo previsti dalla stessa norma per ciascuna classe di esposizione. A tale scopo viene introdotto il *concetto di k*. Utilizzando, nel mix - design del calcestruzzo, un determinato quantitativo di

cenere volante caratterizzata da un certo valore di k (fornito dalla normativa), è possibile utilizzare i seguenti valori di *dosaggio di cemento* e rapporto *acqua / cemento*:

- Il rapporto $\frac{a}{c}$ può essere sostituito con il rapporto $\frac{a}{c+k \cdot cenere}$
- Il dosaggio di cemento può essere diminuito (in funzione della classe di esposizione ambientale) della seguente quantità:

$$\Delta c = k \cdot \left(\text{dosaggio min di cemento} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] - 200 \right)$$

dove *dosaggio min di cemento* fa riferimento al valore previsto dalle UNI EN 206 - 1 e UNI EN 11104 per le varie classi di esposizione. Ovviamente la quantità (*cemento + cenere volante*) utilizzata non deve essere inferiore a quest'ultimo valore. La quantità massima di ceneri che può essere considerata agli effetti del concetto del valore k deve soddisfare il seguente requisito:

$$\frac{\text{cenere volante}}{\text{cemento}} \leq 0,33 \text{ in massa}$$

Chiaramente, al fine di massimizzare le potenzialità della Cenere Volante, si può prevedere di utilizzarne quantità maggiori ma, in questo caso, l'eccesso non può essere considerato nel calcolo del rapporto $\text{acqua}/(\text{cemento} + k \times \text{ceneri volanti})$ e per la valutazione del dosaggio *minimo di cemento* ai fini dell'applicazione delle UNI EN 206-1 e UNI EN 11104.

Per quanto riguarda *k*, la UNI EN 11104 permette, nel caso delle ceneri volanti, l'utilizzo dei seguenti valori:

- CEM I 32,5; CEM II/A; CEM III/A; CEM IV/A; CEM V/A : k = 0,2;
- CEM I 42,5 e 52,5 : k = 0,4;

Nel rispetto dei valori di k appena introdotti, è possibile anche aumentare quantità di cenere volante computabile



nei valori di rapporto acqua/cemento e dosaggio minimo di cemento applicando il concetto di "calcestruzzo a prestazione equivalente" descritto al paragrafo 5.2.5.3 della UNI EN 206. In sostanza, si dovrà accertare che il calcestruzzo confezionato utilizzando ceneri volanti in sostituzione parziale del cemento, sviluppi una prestazione equivalente, specialmente con riferimento alla sua reazione alle azioni ambientali e alla sua durabilità, a quella di un calcestruzzo confezionato con

solo cemento e che rispetti i requisiti della corrispondente classe di esposizione. Qualora applicando questo secondo metodo venissero utilizzati valori di k superiori a quelli definiti in precedenza, bisognerà stabilire l'idoneità di tali valori.

È bene ricordare, infine, che le nuove norme tecniche per le costruzioni, al paragrafo 11.1.9.3 consentono l'impiego di aggiunte minerali secondo i criteri descritti nella UNI EN 206 e UNI 11104.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Belz , P. Caramusco (ENEL Produzione Ricerca) – *"Valorizzazione delle ceneri provenienti dagli impianti di combustione a carbone"*;
- [2] ACI (American Concrete Institute) – *"Use of Fly Ash in Concrete"*;
- [3] Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici , Servizio Tecnico Centrale – *"Linee guida su calcestruzzo preconfezionato"* – *"Linee guida su calcestruzzo strutturale ad alta resistenza"* – *"Linee guida per calcestruzzo strutturale"*
- [4] Mario Collepari – *"Il nuovo calcestruzzo"* , Ed. Tintoretto
- [5] G. Belz, (ENEL Ricerca) – *"L'impiego delle ceneri di carbone nei calcestruzzi"*
- [6] Richard Helmuth – *"Fly Ash and cement and concrete"*





SCHEDE TECNICHE DEI PRODOTTI

-  **MICRO POZZ PFA**
-  **MICRO POZZ 10**
-  **MICRO POZZ DSF**



Innovazione e Sistema



MICRO-POZZ PFA

Pulverised Fly Ash – Cenere Volante

Aggiunta minerale fillerizzante ad elevata attività pozzolanica

MICRO-POZZ PFA è una aggiunta minerale, comunemente conosciuta con il nome di cenere volante, dal notevole effetto fillerizzante e capace di elevata attività pozzolanica.

Dalla Figura 1, nella quale viene riportata una immagine della **MICRO-POZZ PFA** vista al microscopio elettronico, si può notare la forma sferica delle sue particelle costituenti, nonché la loro variabile dimensione (Figura 2). La dimensione media delle particelle è di circa 40 μm , del tutto comparabile con quella delle particelle di cemento. La sua natura, essenzialmente silico – alluminosa con struttura principalmente amorfa, conferisce a questa Aggiunta Minerale, la capacità di espletare una intensa attività pozzolanica. La cenere volante **MICRO-POZZ PFA** contribuisce, quindi, in modo importante allo sviluppo delle prestazioni del calcestruzzo, sia in termini meccanici che di durabilità.

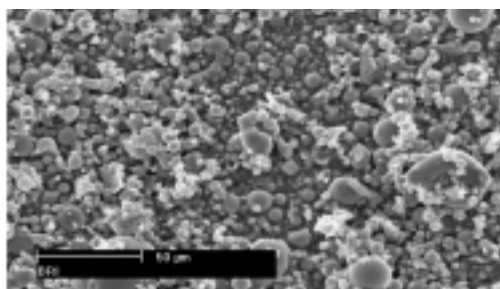


Figura 1: Cenere volante MICRO-POZZ PFA vista al microscopio elettronico.



Figura 2 : Distribuzione granulometrica media della cenere volante MICRO POZZ PFA. Il diametro che si legge in corrispondenza del punto di flesso può essere assunto come dimensione media.

Il calcestruzzo confezionato con **MICRO-POZZ PFA** presenta, rispetto ad un calcestruzzo privo di tale Aggiunta Minerale, notevoli miglioramenti prestazionali, sia allo stato fresco che indurito.

La particolare curva granulometrica che la caratterizza e la peculiare forma sferica delle singole particelle costituenti, consentono a **MICRO-POZZ PFA** di completare in modo perfetto la distribuzione granulometrica degli inerti. In particolare, grazie al suo notevole effetto fillerizzante, viene risolto definitivamente il problema della carenza di parti fini nel conglomerato (in particolare nei calcestruzzi magri).

Attualmente le uniche possibilità che si hanno per porre rimedio a tale situazione sono:

- Utilizzo di quantitativi di cemento esuberanti rispetto a quelli necessari per il raggiungimento delle prestazioni richieste;
- Utilizzo di grandi quantitativi di sabbie fini e/o filler di natura calcarea.

La prima soluzione ha ovviamente conseguenze non favorevoli dal punto di vista economico. Inoltre, rilevanti quantitativi di cemento comportano una amplificazione di fenomeni quali il ritiro igrometrico, gradienti termici elevati, deformazioni viscosi e possibili reazioni alcali – aggregati. La seconda soluzione comporta anch'essa una importante incidenza economica, dato il costo della sabbia fine e del filler calcarea. Inoltre, sempre più spesso tali sabbie possono variare granulometricamente da una partita all'altra costringendo di volta in volta ad adattare le ricette. **MICRO-POZZ PFA** contribuisce in maniera determinante a risolvere il problema, eliminando gli inconvenienti legati alla carenza di parti fini.

Fra i più importanti benefici legati a questo aspetto, citiamo:

- Eliminazione dei fenomeni di segregazione e di bleeding;
- Facilitazione delle operazioni di pompaggio (soprattutto delle miscele magre);
- Miglioramento della finitura delle superfici di getto;



A questo si aggiunge che la presenza di **MICRO-POZZ PFA** consente un maggiore controllo della reologia del calcestruzzo in quanto migliora la compatibilità fra gli additivi acrilici ed il particolare cemento utilizzato, sia in termini di potere fluidificante che di mantenimento della lavorabilità nel tempo (soprattutto in estate). Eccellenti risultati in questo senso si ottengono utilizzando gli additivi superfluidificanti della linea **SUPER N** (base naftalinica), **SUPER A** (base acrilica), **PRIMIUM** (base acrilica) e **GINIUS** (base acrilica con riduttori di ritiro igrometrico SRA).

All'effetto fillerizzante si aggiunge poi l'attività pozzolanica di cui **MICRO-POZZ PFA** è capace. Grazie ad essa è possibile ottimizzare i dosaggi di cemento nelle miscele, raggiungendo sempre le prestazioni meccaniche e di durabilità richieste, con evidenti e notevoli benefici tecnici ed economici.

Utilizzato in parziale sostituzione del cemento, **MICRO-POZZ PFA** consente di:

- Migliorare le caratteristiche reologiche dell'impasto:
 - 1) Maggiore robustezza della miscela (assenza di segregazione e bleeding);
 - 2) Maggior mantenimento della lavorabilità nel tempo;
 - 3) Minore sviluppo di aria in eccesso;
 - 4) Migliore pompabilità del calcestruzzo;
- Diminuire i gradienti termici nei getti massivi e conseguentemente ridurre i rischi di fessurazione termica;
- Conferire al calcestruzzo maggiore resistenza alle sostanze chimicamente aggressive;
- Ridurre la possibilità di reazioni Alkali - Aggregati;
- Ridurre/Eliminare le efflorescenze superficiali negli elementi vibrocompressi;
- Migliorare l'aderenza del calcestruzzo alle barre di armatura;
- Migliorare la protezione delle armature metalliche.

Qualora **MICRO-POZZ PFA** venga utilizzato in aggiunta al cemento previsto dal mix - design, si ottengono notevoli incrementi delle prestazioni meccaniche (calcestruzzi ad alta resistenza) e della durabilità del calcestruzzo.

Per ulteriori approfondimenti sui benefici derivanti dall'utilizzo di **MICRO-POZZ PFA** consultare il fascicolo "**MICRO-POZZ PFA** - Tecnologia della Cenere Volante" di General Admixtures S.p.A.

CEMENTO CLASSE 42,5	Cemento	Cenere Volante MICRO POZZ PFA	Filler calcareo	Ghiaia	Ghiaio	Sabbia	Acqua	Additivo* PRIMIUM RM30	Additivo* PRIMIUM PC 20R	Slump (cm) T=25°C			Resistenza a compressione (MPa)				
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	lt/m ³	lt/m ³	0'	30'	60'	1g	3gg	7gg	14gg	28gg
	300	-	50	630	410	850	162	2,2	-	21	19	18	7,0	18,5	25,3	31,0	35,6
	260	75	-	630	410	850	165	2,5	-	22	21	20	5,6	16,9	23,2	32,1	36,8
	260	75	-	630	410	850	165	-	2,1	22	18	17	6,8	17,8	22,9	31,3	35,8

CEMENTO CLASSE 32,5	Cemento	Cenere Volante MICRO POZZ PFA	Filler calcareo	Ghiaia	Ghiaio	Sabbia	Acqua	Additivo* PRIMIUM RM30	Additivo* PRIMIUM PC 20R	Slump (cm) T=25°C			Resistenza a compressione (MPa)				
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	lt/m ³	lt/m ³	0'	30'	60'	1g	3gg	7gg	14gg	28gg
	330	-	30	630	410	840	165	2,4	-	21	18	17	6,5	16,8	24,6	29,7	34,8
	300	70	-	630	400	820	167	2,7	-	21	20	18	4,8	13,8	22,9	29,6	36,3
	300	70	-	630	400	820	165	-	2,3	21	20	16	6,1	16,2	23,0	29,3	35,4

* Additivo superfluidificante a base acrilica

Tab. 1 - Confronto, per due diverse classi di cemento, tra due calcestruzzi, con e senza cenere volante MICRO POZZ PFA

Nella Tabella 1 viene sinteticamente riportato, per due diverse classi di cemento (32,5 e 42,5) un esempio di confronto tra due calcestruzzi, con e senza la cenere volante **MICRO-POZZ PFA**.

In particolare, nel calcestruzzo di riferimento, avendo a disposizione una sabbia con un elevato modulo di finezza (3÷3,5) è stato fatto uso di filler calcareo per sopperire alla carenza di fini.

Si può osservare come la presenza della cenere volante **MICRO-POZZ PFA** consenta di ottimizzare i contenuti di cemento ed al tempo stesso sostituire il filler calcareo nell'azione fillerizzante (o eventualmente ridurre i quantitativi di sabbia fine). Il tutto si traduce in una riduzione dei costi di produzione.



Risultano inoltre migliorate le prestazioni reologiche, fra le quali il mantenimento della lavorabilità nel tempo e, a 28 giorni, viene garantita la stessa classe di resistenza del conglomerato, senza apprezzabili penalizzazioni alle brevi stagionature. Con l'utilizzo di un additivo accelerante (Tabella 1) o di un additivo superfluidificante accelerato, tali penalizzazioni vengono praticamente eliminate.

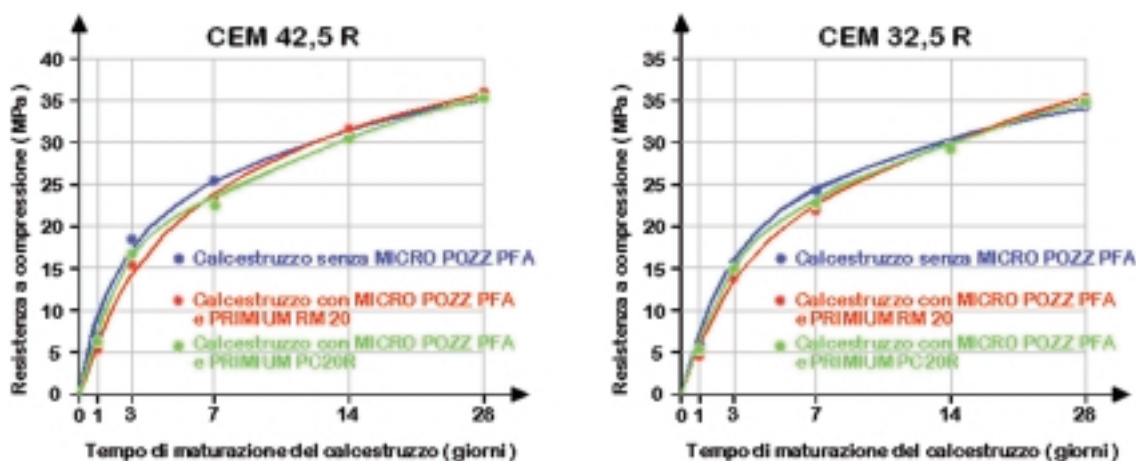


Fig. 3 - Andamento delle resistenze a compressione di calcestruzzi con e senza MICRO POZZ PFA

La cenere volante **MICRO-POZZ PFA** trova vantaggiosa applicazione nei seguenti campi:

- Calcestruzzo preconfezionato

In aggiunta o parziale sostituzione del cemento al fine di ottimizzare i costi di produzione e risolvere in maniera definitiva le problematiche conseguenti alla carenza di parti fini.

- Calcestruzzi autocompattanti (SCC)

A causa della loro maggiore tendenza alla segregazione, in questi calcestruzzi sono necessari grandi quantitativi di parti fini; **MICRO-POZZ PFA** consente di ottimizzare i quantitativi di cemento, migliorare le prestazioni reologiche (Slump Flow e V-Funnel) subito dopo il confezionamento ed aiutare a mantenerle costanti durante il tempo di trasporto.

- Calcestruzzi ad alta resistenza

L'utilizzo di **MICRO-POZZ PFA** consente di pervenire facilmente a resistenze dell'ordine di 70÷75 MPa. Usato in combinazione con **MICRO-POZZ DSF** (Densified Silica Fume), consente di raggiungere anche resistenze superiori ai 100 MPa.

- Calcestruzzi per getti massivi

MICRO-POZZ PFA, riducendo i quantitativi di cemento, riduce i gradienti termici che si sviluppano, nei getti con spessori superiori ai 30 cm, fra il nucleo del getto e la parte corticale; vengono così ridotti notevolmente i rischi di fessurazione termica.

- Manufatti vibro – compressi

MICRO-POZZ PFA riduce/elimina le efflorescenze superficiali migliorando l'aspetto dei manufatti.

- Manufatti impermeabili e resistenti agli attacchi chimici.

MICRO-POZZ PFA è compatibile con tutti i cementi previsti dalla UNI EN197-1 e con tutti gli additivi della General Admixtures S.p.A.



Per la valutazione del corretto quantitativo di **MICRO-POZZ PFA** da inserire nella miscela si consigliano una serie di prove di laboratorio da realizzare con dosaggi variabili di cemento e **MICRO-POZZ PFA**.

Data la sua elevata superficie specifica, si consiglia un dosaggio di additivo superfluidificante crescente con il quantitativo di **MICRO-POZZ PFA** introdotto (Tabella 1). Consultare all'occorrenza il nostro Servizio Tecnologico.

Peso specifico: 2100 ÷ 2400 kg/m³. Peso in mucchio: 600 ÷ 1000 kg/m³.

Il prodotto è disponibile unicamente nel formato sfuso.

Per la valutazione corretta del quantitativo di **MICRO-POZZ PFA** da inserire nella miscela si consigliano una serie di prove di laboratorio da realizzare con dosaggi variabili di cemento e **MICRO-POZZ PFA**.

MICRO-POZZ PFA

PRODOTTO MARCATO CE UNI EN 12620 e UNI EN 450

I dati sopra citati sono basati sulle nostre attuali conoscenze scientifiche e pratiche. Non ci assumiamo alcuna responsabilità per risultati negativi derivanti da un uso improprio o che dipendano da fattori estranei alla qualità del prodotto. La nostra assistenza tecnica rimane a disposizione per qualsiasi informazione o intervento. Tutti i consigli tecnici forniti verbalmente o per iscritto o riportati nella presente scheda tecnica, non comportano l'assunzione di alcuna nostra garanzia e/o responsabilità sul prodotto finale ottenuto dall'utilizzatore. E' responsabilità del cliente verificare la correttezza della scelta tecnica e dell'utilizzo del prodotto nelle proprie lavorazioni per le finalità che si prefigge.



MICRO POZZ 10

Cenere volante micronizzata ad altissima attività pozzolanica

MICRO-POZZ 10 è una speciale cenere volante ad altissima attività pozzolanica in forma di particelle finemente micronizzate ($D_{90} = 10 \mu\text{m}$).

MICRO-POZZ 10 si presenta in forma di una sospensione acquosa al 50 % di secco.

Nella Fig. 1 sono mostrate comparativamente le microfotografie al microscopio elettronico a scansione (SEM) della cenere volante **MICRO-POZZ PFA** e di **MICRO-POZZ 10**: si può osservare che, a seguito della speciale macinazione a umido, in quest'ultima, sono presenti particelle più piccole, che conservano la loro forma sferica particolarmente favorevole alla scorrevolezza dei calcestruzzi freschi.

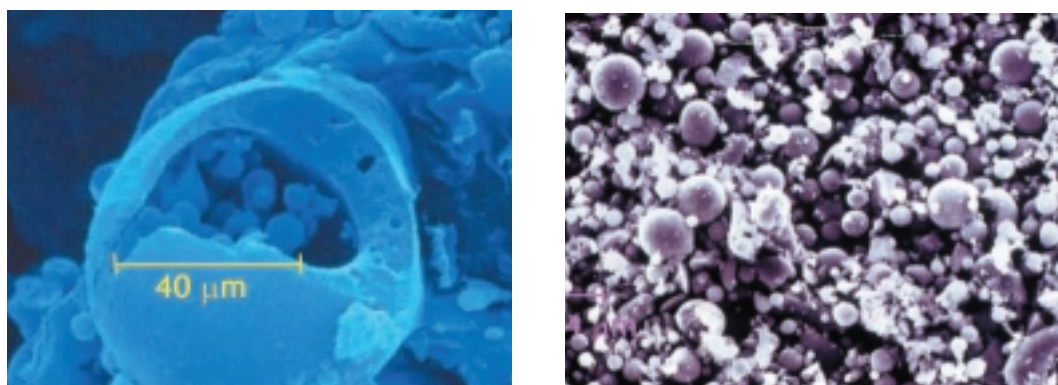


Fig.1 - Microfotografie SEM di normale cenere volante (sinistra) e MICRO-POZZ 10 (destra).

Nella Fig. 2 è quantificata la variazione nella distribuzione particellare di **MICRO-POZZ PFA** e di **MICRO-POZZ 10** determinata con la tecnica della laser-granulometria: si passa da una granulometria compresa tra 0,3 e 200 μm di **MICRO-POZZ PFA** con diametro medio di 40 μm che corrisponde al flesso della curva granulometrica, ad una granulometria compresa tra 0,3 e 25 μm con diametro medio di circa 4 μm .

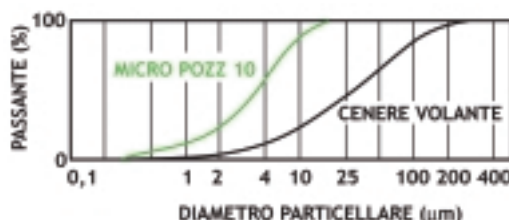


Fig. 2 - Distribuzione granulometrica cumulativa di una normale cenere volante e di MICRO-POZZ 10

Le prestazioni, in calcestruzzo, con **MICRO-POZZ 10** sono molto prossime a quelle del fumo di silice, rispetto al quale **MICRO-POZZ 10** presenta una richiesta d'acqua molto minore. Nelle Tabelle 1 e 2 sono mostrate rispettivamente le composizioni di calcestruzzi "ordinari" in classe di consistenza S4 e di calcestruzzi autocompattanti (SCC).



I conglomerati includono:

- calcestruzzo di riferimento (CONTROL) senza sostituzione del cemento CEM II A/L 42,5 R;
- calcestruzzo MP-50 con **MICRO-POZZ 10** dosato a 50 Kg/m³ in sostituzione del cemento;
- calcestruzzo FS-50 con fumo di silice dosato a 50 kg/m³ in sostituzione del cemento;
- calcestruzzo MP-100 con **MICRO-POZZ 10** dosato a 100 kg/m³ in sostituzione del cemento;
- calcestruzzo CV-100 con cenere volante **MICRO-POZZ PFA** dosata a 100 kg/m³ in sostituzione del cemento.

Nelle Tabelle 1 e 2 sono anche presentate le prestazioni reologiche in termini di Slump per i calcestruzzi a consistenza S4, di Slump Flow e di V-Funnel per i conglomerati SCC. Si può osservare che, a parità di Slump, il dosaggio del superfluidificante acrilico **PRIMUM RM 20** nei calcestruzzi S4 con **MICRO-POZZ 10** è circa eguale al corrispondente calcestruzzo con cenere volante **MICRO-POZZ PFA** (Tabella 1); d'altra parte, nei conglomerati SCC il dosaggio di superfluidificante acrilico diminuisce del 50% passando da quello con fumo di silice a quello con **MICRO-POZZ 10** (Tabella 2). Rispetto ai calcestruzzi con cenere volante il dosaggio di superfluidificante è leggermente inferiore tanto nella serie S4 (Tabella 1) che in quella SCC (Tabella 2), nonostante la maggiore finezza della **MICRO-POZZ 10** (Fig.1-2). Si registra, inoltre, una maggiore mobilità (in termini di un minor tempo occorso per lo svuotamento del V-Funnel) dell'SCC con **MICRO-POZZ 10** rispetto al corrispondente calcestruzzo con fumo di silice: quest'ultimo appare più "coloso", al punto di dover fare a meno dell'agente viscosizzante **MAGMA FLOW**, raccomandato, in genere, per garantire la necessaria coesione degli SCC.

Tabella 1

Composizione dei calcestruzzi "ordinari" in classe di consistenza S4

Mix	Cem.*	Pozzolana		Ghiaia 4-20 mm (kg/m ³)	Sabbia 0/4 (kg/m ³)	Acqua (kg/m ³)	Primum RM20 (% in peso sul leg.)	a/c	a/leg.	Slump (cm)		Densità (kg/m ³)
		tipo	(kg/m ³)							0'	30'	
Control	346	---	---	949	949	173	---	0,50	0,50	19	13	2417
MP-100	250	MICRO-POZZ 10	100	956	956	175	0,4	0,70	0,50	20	18	2437
CV-100	247	MICRO-POZZ PFA	99	948	948	173	0,5	0,70	0,50	20	16	2417

*CEM II A/L 42,5R

Tabella 2

Composizione dei calcestruzzi autocompattanti

Mix	Cem.*	Pozzolana		Ghiaia 4-20 mm (kg/m ³)	Sabbia 0/4 (kg/m ³)	Acqua (kg/m ³)	Primum RM20 (% in peso sul leg.)	a/c	a/leg.	Slump Flow (cm)		V Funnel (sec)
		tipo	(kg/m ³)							0'	30'	
Control	399	---	---	870	948	216	1,6	0,54	0,54	67	67	2
MP-50	349	MICRO-POZZ 10	50	869	948	216	0,9	0,62	0,54	67	65	3
FS-50	348	fumo di silice	50	767	945	215	1,8	0,62	0,54	67	63	6

*CEM II A/L 42,5R



Nelle Figg. 3 e 4 sono mostrati gli andamenti della resistenza meccanica a compressione rispettivamente dei calcestruzzi S4 e dei conglomerati SCC.

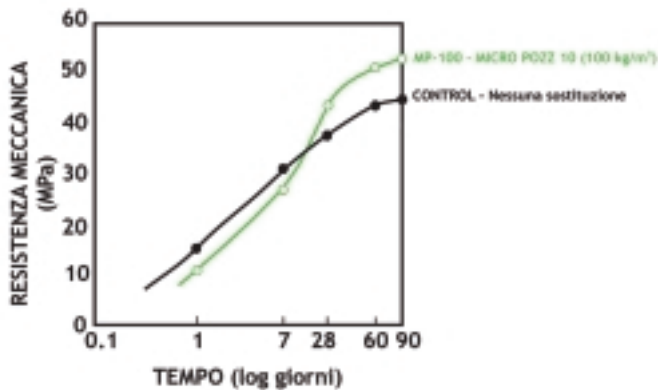


Fig. 3 - Andamento della resistenza meccanica a compressione dei calcestruzzi in classe di consistenza S4 con sostituzione di cemento da parte di 100 kg/m³ di **MICRO-POZZ 10** (MP-100) come mostrato in Tabella 1.

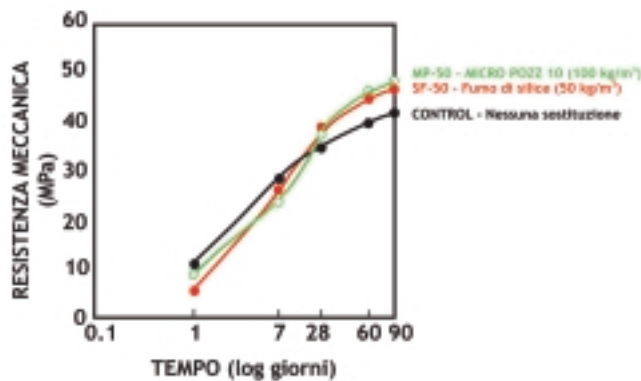


Fig. 4 - Andamento della resistenza meccanica a compressione dei calcestruzzi autocompattanti (SCC) con sostituzioni di cemento da parte di 50 kg/m³ di fumo di silice (SF-50) o di 50 kg/m³ di **MICRO-POZZ 10** (MP-50) come mostrato in Tabella 2.

Nel calcestruzzo S4 (Fig. 3) con 100 kg/m³ di cenere micronizzata in sostituzione di un pari quantitativo di cemento II A/L 42,5 R si registra un significativo incremento della resistenza meccanica a 28 giorni (+16%) confermato anche nel post-indurimento alle lunghe stagionature in servizio: +15% a 60 giorni e +18% a 90 giorni. Il calcestruzzo con 100 kg/m³ di **MICRO-POZZ 10** presenta prestazioni meccaniche in servizio (a 60-90 giorni) molto vicine a quelle conseguibili con 50 kg/m³ di fumo di silice rispetto al quale la cenere micronizzata risulta molto più economica per il minor costo intrinseco del materiale e per la minor richiesta di superfluidificante (80% in meno) a pari lavorabilità. Il conglomerato SCC con 50 kg/m³ di **MICRO-POZZ 10** in sostituzione del cemento II A/L 42,5R presenta in assoluto le migliori prestazioni meccaniche a 28 giorni e soprattutto alle stagionature successive ancor più rappresentative per le prestazioni in servizio delle strutture: il vantaggio di questo SCC, con 50 kg/m³ di **MICRO-POZZ 10** ed appena 0,9% di superfluidificante, risulterebbe ovviamente ancor più apprezzabile se si fosse impiegato lo stesso dosaggio di superfluidificante adottato per gli altri conglomerati SCC (1,8% con il fumo di silice e 1,6% nell'SCC Control) con ulteriore riduzione del rapporto a/c e di conseguenza sensibili incrementi prestazionali.

Il vantaggio nell'impiego di un maggior dosaggio di **MICRO-POZZ 10** in sostituzione del cemento (100 kg/m³) appare molto più considerevole, oltre che più economico, nel miglioramento della durabilità in ambienti marittimi ed autostradali, nella maggiore impermeabilità di opere idrauliche e nella diminuzione del rischio di fessurazione da reazione alcali-aggregato o di origine termica presente soprattutto nei getti massivi (spessori superiore a 30 cm): la Tabella 3 riassume sinteticamente i risultati delle prove di penetrazione del cloruro e dell'anidride carbonica, di penetrazione dell'acqua sotto pressione (5 atm) e di riscaldamento in condizione adiabatiche dovuto all'eccessivo calore di idratazione.



Tabella 3

Caratteristiche di durabilità dei calcestruzzi S4 ed SCC con e senza sostituzione di materiali pozzolanici

Mix	Cl a 12 mesi*	Penetrazione di CO ₂ a 12 mesi**	H ₂ O a 3 gg***	ΔT a 3 gg****
S4/CONTROL	25 mm	7,5	12 mm	33°C
S4/MP-100	13 mm	4,0	12 mm	23°C
S4/CV-100	20 mm	5,5	12 mm	23°C
SCC/Control	27 mm	6,0	15 mm	38°C
SCC/MA-50	19 mm	5,5	14 mm	33°C
SCC/FS-50	16 mm	4,0	14 mm	38°C

*Immerso in soluzione di NaCl al 10% dopo 7 gg di stagionatura

**Esposto all'aria dopo 3 gg di stagionatura

***Esposto alla penetrazione di acqua sotto pressione (5 atm) a 28 gg

****Riscaldamento adiabatico a 3 gg provocato dal calore di idratazione del cemento

MICRO-POZZ 10 è compatibile con tutti i cementi previsti dalla UNI EN197-1 e con tutti gli additivi della General Admixtures S.p.A.

Per la valutazione del corretto quantitativo di **MICRO-POZZ 10** da inserire nella miscela si consigliano una serie di prove di laboratorio da realizzare con dosaggi variabili di cemento e **MICRO-POZZ 10**.

Sospensione acquosa al 50% di secco. Peso specifico: 2100 kg/m³.

NB: **MICRO-POZZ 10** va considerato a tutti gli effetti come un liquido viscoso (tipo olio) per il trasporto (in autocisterna), lo stoccaggio (in cisterna), e l'introduzione nell'impasto (con dosatore per liquidi); si raccomanda inoltre di rimescolare con aria compressa il fluido in cisterna poco prima del suo dosaggio nel calcestruzzo e di conservarlo a temperature superiori a 0°C.

I dati sopra citati sono basati sulle nostre attuali conoscenze scientifiche e pratiche. Non ci assumiamo alcuna responsabilità per risultati negativi derivanti da un uso improprio o che dipendano da fattori estranei alla qualità del prodotto.

La nostra assistenza tecnica rimane a disposizione per qualsiasi informazione o intervento. Tutti i consigli tecnici forniti verbalmente o per iscritto o riportati nella presente scheda tecnica, non comportano l'assunzione di alcuna nostra garanzia e/o responsabilità sul prodotto finale ottenuto dall'utilizzatore.

E' responsabilità del cliente verificare la correttezza della scelta tecnica e dell'utilizzo del prodotto nelle proprie lavorazioni per le finalità che si prefigge.



MICRO POZZ DSF

Fumo di silice densificato per calcestruzzi ad alte prestazioni

Il **MICRO-POZZ DSF** (Densified Silica Fume) è una forma densificata di fumo di silice per favorirne la movimentazione, il trasporto ed il dosaggio. Infatti, il fumo di silice tal quale, come proviene dalla lavorazione all'arco elettrico per la produzione del silicio o di leghe ferro-silicio, si presenta in forma di granuli sferici sub-micronici (Fig.1) di dimensione compresa tra 0,01 e 0,5 μm (Fig. 2); in questa forma la movimentazione del fumo di silice è piuttosto difficoltosa e rende l'ambiente di lavoro molto polveroso. Per ovviare a questo inconveniente il fumo di silice viene trattato con una piccolissima percentuale di acqua liquida per favorire l'agglomerazione in "grappoli" di sferette (Fig. 3) che rende il trasporto del materiale, così "densificato", economicamente e logisticamente vantaggioso.

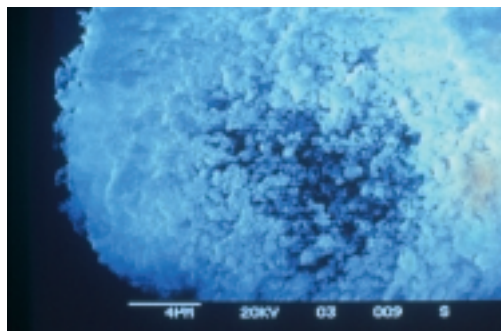


Fig. 1 - Cenere volante **MICRO POZZ PFA** vista al microscopio elettronico

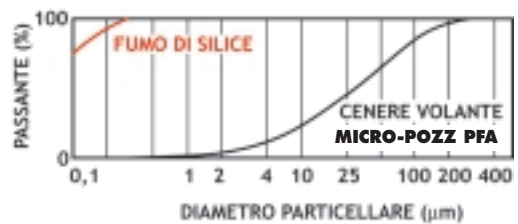


Fig. 2 - Distribuzione granulometrica media della cenere volante **MICRO POZZ PFA**. Il diametro che si legge in corrispondenza del punto flesso può essere assunto come dimensione media.

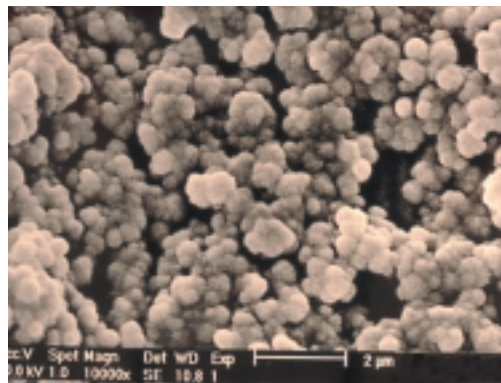


Fig. 3 - Fumo di silice densificato in forma di "grappoli" di grani sub-micronici.

Composizione (%)	Provenienza (produzione leghe)	
	Si	Fe-Si 90%
SiO ₂	94-98	90-96
Fe ₂ O ₃	0.02-0-15	0.2-0.8
Al ₂ O ₃	0.1-0.4	0.5-3
CaO	0.1-0.3	0.1-0.5
MgO	0.2-0.9	0.5-1.5
Na ₂ O	0.1-0.4	0.2-0.7
K ₂ O	0.2-0.7	0.4-1
C	0.2-1.3	0.5-1.4
S	0.1-0.3	0.1-0.4
p.a.f.*	0.8-1.5	0.7-2.5
Colore tipico	grigio scuro	grigio scuro

*p.a.f.=perdita al fuoco, include il carbonio, lo zolfo e l'umidità adsorbita durante lo stoccaggio

Tab. 1 - Tipica analisi chimica di un fumo di silice.



Le prestazioni straordinarie conseguibili nelle malte e nei calcestruzzi con **MICRO-POZZ DSF** sono legate ad un "pacchetto" di proprietà che ne fanno un materiale cementizio straordinariamente unico. Queste proprietà includono le seguenti caratteristiche:

- composizione chimica (materiale prevalentemente costituito da silice, SiO_2 , come è mostrato in Tabella 1);
- composizione mineralogica (carattere amorfo della SiO_2 che conferisce una spiccata attività);
- morfologia (forma sferica delle particelle che vengono addensate in "grappoli" di 1-2 mm);
- distribuzione granulometrica (dimensione particellare molto ridotta ed inferiore alla dimensione dei granuli di cemento).

In relazione a questa ultima proprietà nella Fig. 4 è schematicamente mostrato come i granuli di fumo di silice si allochino negli interstizi di quelli più grossi di cemento rendendo la micro-struttura più densa e meno permeabile. Questo effetto "fillerizzante" unitamente al carattere pozzolanico del fumo di silice è responsabile delle straordinarie prestazioni conseguibili nei calcestruzzi con **MICRO-POZZ DSF**.

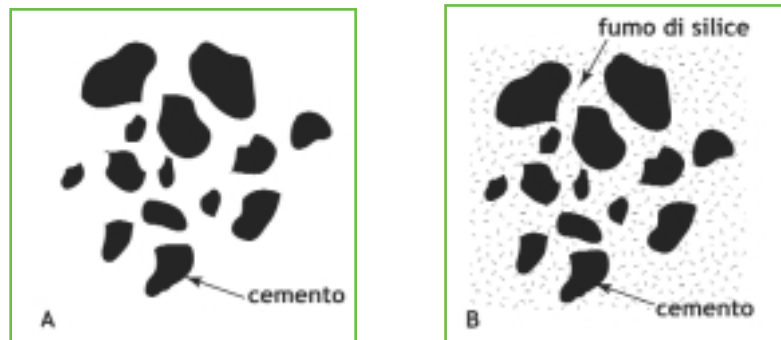


Fig. 4 - Granuli di cemento (A) i cui vuoti interstiziali (B) sono riempiti dalle piccolissime particelle di fumo di silice.

Il **MICRO-POZZ DSF** viene impiegato in malte e calcestruzzi preconfezionati, spruzzati e prefabbricati ad alte prestazioni di resistenza meccanica, di impermeabilità, di durabilità.

Nella Fig. 5 è sinteticamente mostrato il comportamento del calcestruzzo con e senza **MICRO-POZZ DSF** nei confronti della penetrazione del cloruro (notoriamente responsabile della corrosione delle armature metalliche): la presenza di circa il 10% di **MICRO-POZZ DSF** in sostituzione del cemento riduce a circa 1/4 la penetrazione del cloruro dall'ambiente (acqua di mare o sali disgelanti sui manti autostradali) all'interno del copriferro.

Si consiglia un dosaggio di circa il 5 - 15% in sostituzione del cemento accompagnato da un superfluidificante con dosaggio crescente con il quantitativo di **MICRO-POZZ DSF** (Tabella 2); in assenza di superfluidificante si registra una diminuzione di lavorabilità dell'impasto per la elevata area superficiale specifica del fumo di silice.

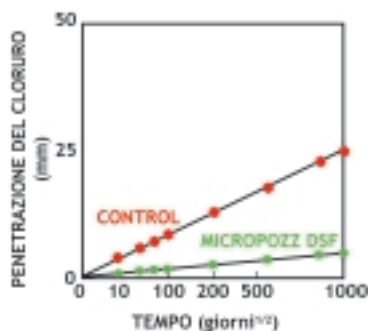


Fig. 5 - Influenza del MICRO-POZZ DSF (10% in sostituzione del cemento) sulla penetrazione del cloruro attraverso calcestruzzi con rapporto a/c =0.50. Stagionatura di 28 giorni prima della immersione in acqua salina (10% NaCl).

Fumo di silice (% cem. sost.)	Additivo superfluidificante SUPER N20 (% su cem+fs)	Additivo superfluidificante PREMIUM RM20 (% su cem+fs)
0	--	--
5	0.2	0.2
10	1.2	0.9
15	1.8	1.4

**i dosaggi di superfluidificanti qui indicati sono quelli minimi per mantenere costante la lavorabilità del calcestruzzo con fumo di silice rispetto a quello privo di MICRO-POZZ DSF.

Tabella 2 - Dosaggi di superfluidificante che debbono accompagnare l'impiego del fumo di silice in sostituzione del cemento a pari lavorabilità del calcestruzzo.



Nella Fig. 6 sono mostrate, a titolo di esempio, le variazioni di resistenza meccanica a compressione conseguibili con l'impiego del **MICRO-POZZ DSF** in sostituzione o in aggiunta ad un cemento Portland di classe 42.5R, con dosaggi di superfluidificanti superiori a quelli richiesti per compensare la riduzione di lavorabilità provocata dal fumo di silice (Tabella 2).

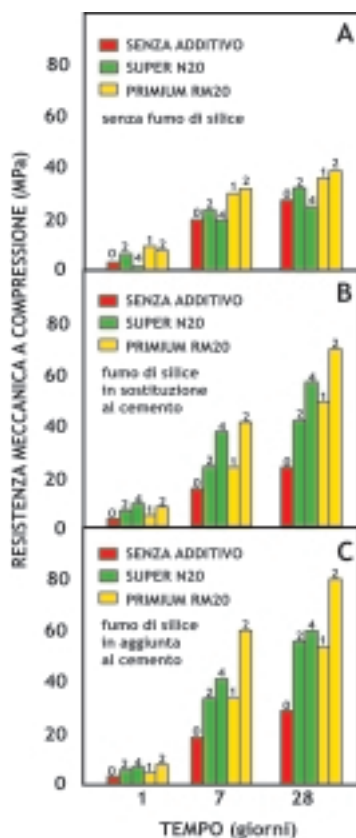


Fig. 6 - Influenza della MICRO-POZZ DSF in sostituzione al cemento Portland 42.5 R (300 kg/m³) o in aggiunta ad esso. I numeri sulle colonne si riferiscono ai dosaggi di additivo (in % rispetto al peso del cemento e del fumo di silice) per calcestruzzi a consistenza S5.

MICRO-POZZ DSF è compatibile con tutti i cementi previsti dalla UNI EN197-1 e con tutti gli additivi della General Admixtures S.p.A.

E' assolutamente raccomandato di mescolare accuratamente il calcestruzzo con **MICRO-POZZ DSF** per favorire la rottura dei "grappoli" in particelle singole.

Peso specifico: $2,2 \pm 2,3$ kg/l. Peso in mucchio: 400-600 kg/m³

MICRO-POZZ DSF è disponibile in sacchi idrosolubili da 10 kg, in sacchi di carta da 20 kg, in sacconi da 500 kg oppure sfuso. Il prodotto viene dosato a peso all'impianto di betonaggio.

PRODOTTO MARCATO CE - UNI EN 13263-1

I dati sopra citati sono basati sulle nostre attuali conoscenze scientifiche e pratiche. Non ci assumiamo alcuna responsabilità per risultati negativi derivanti da un uso improprio o che dipendano da fattori estranei alla qualità del prodotto.

La nostra assistenza tecnica rimane a disposizione per qualsiasi informazione o intervento. Tutti i consigli tecnici forniti verbalmente o per iscritto o riportati nella presente scheda tecnica, non comportano l'assunzione di alcuna nostra garanzia e/o responsabilità sul prodotto finale ottenuto dall'utilizzatore.

E' responsabilità del cliente verificare la correttezza della scelta tecnica e dell'utilizzo del prodotto nelle proprie lavorazioni per le finalità che si prefigge.



Innovazione e Sistema

GENERAL **G.A** ADMIXTURES