

# IMPIEGO DI FUMI DI SILICE PREDISPERSI IN ACQUA (SLURRY) PER LA PRODUZIONE DI MALTE E CLS AD ALTE PRESTAZIONI E AD ALTE RESISTENZE

**SALVATORE TAVANO**, Addiment Italia, Medolago BG

**CLAUDIO FAILLA**, Larco Astori, Carvico BG

## **SUMMARY**

*The use of silica fumes, in combination with various types and dosages of superplasticizers in order to obtain high strength mortars and concrete has been reported in the literature of the sector for many years. The aim of this present experimental work is to verify the validity of the use of silica fumes in the form of an aqueous suspension (slurry) of 50% active matter in combination with traditional and the latest generation of superplasticizer additives, in the production of high strength concrete. The work is divided into two parts. The first describes the laboratory optimisation of mixes using normal mortars. The second part involves the production of concrete at an industrial level, with a standard composition, for pre-cast structural elements, modified with silica fumes slurry and superplasticizer additives. In the second case the development of the strengths will also be verified using both natural curing and steam curing. The strength classes of reference are those defined in the guidelines for structural concrete issued by the 'senior council of public works, which are high performance (C50/60 - C60/75) and high strength (C70/85 - C100/115).*

## **1. PREMESSA**

Nello sviluppo tecnologico dei conglomerati cementizi degli ultimi 30 anni sono intervenuti almeno tre fattori di estrema importanza che hanno consentito di arrivare a risultati prima impensabili relativamente alle caratteristiche fisico - meccaniche dei conglomerati a base di leganti idraulici. Fino ai primi anni 70 era nota ed applicata la relazione resistenza/rapporto acqua-cemento secondo il diagramma di Walz riportato in Fig. 1. Tale correlazione mostra come al discendere del rapporto a/c le resistenze meccaniche aumentino in modo quasi lineare sino ad a/c di circa 0.45. A quei tempi confezionare un cls con rapporto a/c < 0.45 comportava mezzi di assestamento e compattazione molto rumorosi e comunque in grado solo parzialmente di realizzare una compattazione ottimale. Questo spiega perché nella curva intervenga, in prossimità di a/c = 0.45, un flesso in quanto la mancanza di lavorabilità dei cls impedisce di raggiungere il massimo delle proprietà meccaniche della pasta di cemento. Il primo fattore che ha consentito un grande salto di qualità è stato l'apparizione sulla scena degli additivi superfluidificanti a base di resina melamminica e naftalenica che ha consentito di fornire quella lavorabilità che, permetteva di compattare meglio il cls spostando il flesso della curva di Walz verso rapporti a/c intorno a 0.40. Resistenze dell'ordine di 60 -70 N/mm<sup>2</sup> erano così raggiungibili con lavorabilità elevate (slump 18-22 cm) e con metodi di routine. Anche allora (1975/1980) come oggi era l'industria della prefabbricazione la prima in Italia a sperimentare queste tecnologie. Nei primi anni '80, si cominciò a studiare e a verificare come l'impiego di microparticelle a base di silice amorfa provenienti dalla lavorazione del ferro-silicio e/o silicio metallico con granulo medio di circa 0,1 micron, ovvero cento volte più fine del cemento, potessero consentire ulteriori e ragguardevoli incrementi delle prestazioni meccaniche di malte e cls. Infatti, pur con l'uso dei superfluidificanti, negli anni '70 non sembrava praticabile nei cls fluidi ridurre il rapporto a/c sotto 0,40 anche perché interveniva una complicazione ovvero la mancanza di sufficiente pasta o malta nel cls, dovuta alla estrema riduzione di a/c e quindi dell'acqua totale (come è noto la pasta è la somma del cemento e dell'acqua e la malta è la somma dei primi due più la sabbia

fine).Ciò faceva sì che il cls confezionato con dosaggi di cemento seppur elevati (400-500 kg/m<sup>3</sup>) non fosse sufficientemente coeso e quindi a lavorabilità elevata fatalmente si registrava la segregazione degli aggregati. La presenza invece di parti ultra fini come il fumo di silice, consentiva di realizzare un sistema chiuso tipo fig. 2 [4] che pur richiedendo meno acqua o meno additivo superfluidificante mostrava una elevata lavorabilità senza segregazione e senza bleeding. L'uso di questo materiale con caratteristiche di filler ma anche ad elevata attività pozzolanica, introdusse l'espressione dei rapporto a/c come rapporto tra la quantità totale di acqua e la somma dei cemento ed il fumo di silice a/c+s. In ultimo, a metà degli anni '90 l'utilizzazione di nuovi additivi a base acrilica/vinilica e relativi derivati ha consentito un ulteriore passo avanti come vedremo nella parte sperimentale del presente lavoro.

## 2. INTRODUZIONE

In conformità alle Linee Guida emesse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici [3] sono stati prefissati due target di resistenze da raggiungere sia nelle malte preliminari che nei cls confezionati successivamente, al fine di produrre conglomerati cementizi atti a soddisfare i requisiti di alte prestazioni ad alte resistenze. Questi target, riferiti alle resistenze valutate su cubi, sono compresi tra 60 - 75 N/mm<sup>2</sup> per i cls definiti ad alte prestazioni e tra 85 e 115 N/mm<sup>2</sup> per i cls definiti ad alte resistenze. A questo scopo sono state confezionate due serie di malte normali a differente rapporto a/c+s per verificare l'influenza dello slurry di fumo di silice a dosaggi crescenti in presenza sia di additivi superfluidificanti tradizionali che di additivi di nuova generazione. Come è noto lo slurry è una sospensione acquosa di fumo di silice al 50% di sostanza attiva stabile ed omogenea. Successivamente, in base alle indicazioni fornite dallo studio preliminare opportunamente adattate, sono stati confezionati cls industriali presso due stabilimenti di prefabbricazione per verificare e confermare quanto fino a quel momento emerso.

## 3. MATERIALI IMPIEGATI

### Cementi:

sono stati impiegati due cementi tipo CEM I 52.5 di provenienza diversa entrambi macinati a finezza intorno a 4000/4400 Blaine, con differente tenore di alluminato tricalcico (C<sub>3</sub>A). Il cemento denominato A con C<sub>3</sub>A intorno al 12% e il cemento denominato B con C<sub>3</sub>A intorno all'8%.

### Additivi:

gli additivi utilizzati sono stati 3, di cui 2 (denominati nel seguito n. 1 e n. 2) di tipo acrilico a base di esteri di copolimeri acrilici (CAE) in soluzione al 35% di sostanza attiva, mentre il terzo (n. 3) di tipo tradizionale a base di naftalensolfonato condensato con formaldeide (NSF) in soluzione al 40% di sostanza attiva. Mentre per rappresentare le caratteristiche di NSF è stato sufficiente scegliere un solo tipo di additivo si è volutamente deciso di utilizzare, per le prove in malta, 2 tipi differenti di additivi CAE essendo questa classe di prodotti molto più variegata [5].

### Fumi di silice:

è stato impiegato uno slurry di fumo di silice disponibile sul mercato italiano al 50% di sostanza attiva ottenuto da fumo di silice proveniente da impianti per la produzione di silicio metallico. Il materiale di partenza utilizzato per la produzione dello slurry è allo stato non densificato ovvero così come viene ottenuto dal processo senza alcuna modificazione

intermedia. Si è escluso volutamente l'impiego di slurry proveniente da materiale densificato o pellettizzato per ragioni di qualità. Per il confezionamento delle malte sono state utilizzate sabbie standard, nel caso specifico di provenienza francese, usualmente impiegate in cementeria per il controllo delle caratteristiche dei cementi secondo le prove di norma, mentre per i cls sono stati impiegati gli aggregati disponibili presso gli impianti di prefabbricazione. La maturazione dei provini di malta di dimensione 4x4x16 cm è avvenuta nelle condizioni di norma e cioè a 20°C e 75% di U.R. nelle prime 24 ore dopodiché, sformati i prismi, la stagionatura degli stessi è proseguita in acqua a 20°C.

#### 4. RISULTATI SPERIMENTALI DELLE PROVE IN MALTA

Con i due cementi CEM I 52.5 denominati A e B, sono state confezionate malte normali a rapporto a/c+s 0.42 e 0.35. Successivamente per alcune prove si è scesi a rapporti a/c+s 0.28. Per entrambi i cementi sono stati eseguiti impasti con e senza slurry di fumo di silice dosato al 10% di parte secca attiva sul peso del cemento sia per a/c+s 0.42 che per a/c+s 0.35, mentre per il rapporto a/c+s 0.28 si è incrementata la percentuale di fumo di silice al 15% di sostanza attiva. Per entrambi i cementi ed a rapporto a/c+s 0.42 e 0.35 con e senza fumo di silice sono stati sperimentati i 3 additivi superfluidificanti come prima descritto. Per il rapporto a/c+s 0.28 sono stati utilizzati solo gli additivi 2 e 3 e il descritto cemento A e solo in presenza di slurry di fumo di silice. Sulle malte sono state misurate:

- flow statico/dinamico ovvero spandimento secondo UNI 7044 senza colpi e con 15 colpi
- peso specifico della malta fresca
- resistenza a compressione a 1 - 2 e 28 gg. I dosaggi degli additivi sono stati scelti in modo che a pari rapporto a/c+s si avessero all'incirca le stesse lavorabilità. In tal modo si sono evidenziati dosaggi diversi da prodotto a prodotto nell'ambito della stessa serie di prove. Nelle tabelle 1-2-3-4-.5 sono riportati i risultati ottenuti.

TABELLA 1

CEMENTO 52,5 A a/c+s 0,42						
Additivo	Dosaggio %	Flow statico/dinamico	Resistenze a compressione			P.Sp. Malta Fresca
			1 giorno	2 giorni	28 giorni	
<b>SENZA SLURRY</b>						
1	1,00	115/160	41,1	55,4	82,0	2,24
2	0,80	120/163	46,6	58,5	84,5	2,27
3	3,02	100/151	43,4	54,5	80,9	2,26
<b>CON SLURRY 20% (10% sostanza secca)</b>						
1	1,51	140/169	35,5	50,9	91,5	2,29
2	1,03	127/157	41,1	54,3	96,1	2,28
3	2,52	167/>>>	38,1	49,6	92,6	2,26

TABELLA 1

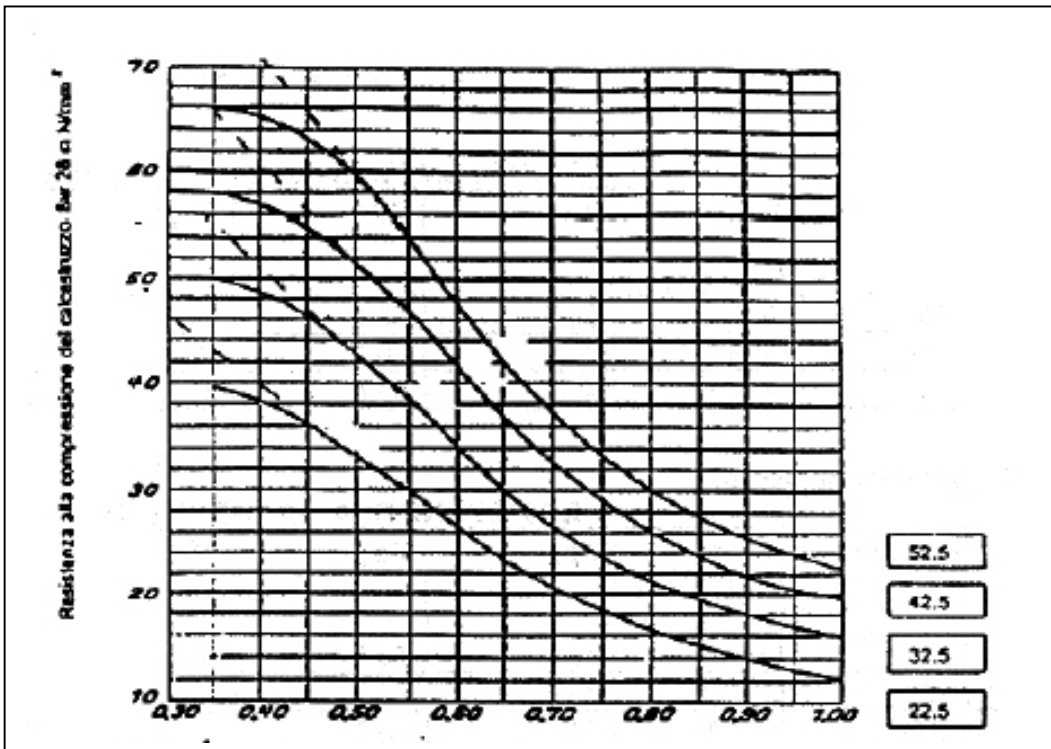


Figura 1 - Resistenza alla compressione del calcestruzzo in funzione del rapporto a/c e della classe di resistenza del cemento secondo Walz.

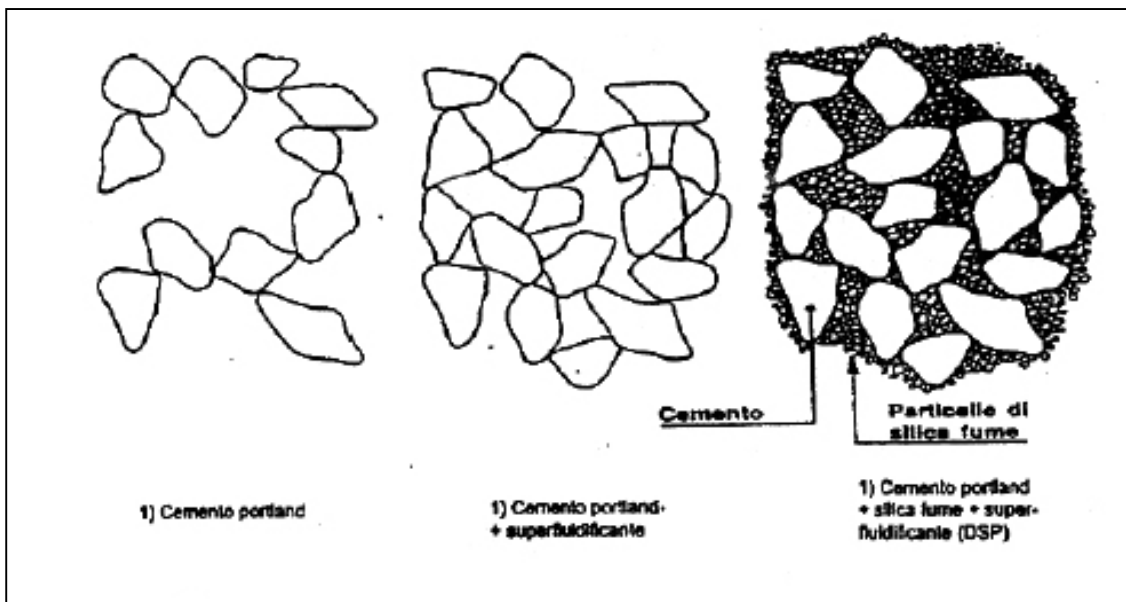


Figura 2 Struttura delle paste di cemento allo stato fresco

TABELLA 2 -

<b>CEMENTO 52,5 A a/c+s 0,35</b>						
Additivo	Dosaggio %	Flow statico/ dinamico	Resistenze a compressione			P.Sp. Malta Fresca
			1 giorno	2 giorni	28 giorni	
<b>SENZA SLURRY</b>						
1	2,50	90/143	36,7	58,6	84,7	2,31
2	2,50	70/133	47,1	60,5	83,9	2,30
3	5,65	80/127	47,3	55,6	81,2	2,30
						IMPASTI SEGREG.
<b>CON SLURRY 20% (10% sostanza secca)</b>						
1	2,30	139/166	42,9	58,8	107,8	2,31
2	2,00	139/173	43,0	60,7	109,1	2,30
3	4,50	152/182	42,3	56,2	96,6	2,29

TABELLA 2 -

TABELLA 3

<b>CEMENTO 52,5 B a/c+s 0,42</b>						
Additivo	Dosaggio %	Flow statico/ dinamico	Resistenze a compressione			P.Sp. Malta Fresca
			1 giorno	2 giorni	28 giorni	
<b>SENZA SLURRY</b>						
1	1,14	121/162	22,9	50,0	74,3	2,28
2	1,14	126/162	27,5	51,7	77,3	2,27
3	3,42	110/160	33,2	49,1	74,9	2,28
<b>CON SLURRY 20% (10% sostanza secca)</b>						
1	1,63	101/140	21,8	45,6	89,5	2,25
2	1,21	109/148	27,7	49,6	91,2	2,22
3	2,94	105/145	32,2	47,3	90,3	2,26

TABELLA 3

TABELLA 4

<b>CEMENTO 52,5 B a/c+s 0,35</b>						
Additivo	Dosaggio %	Flow statico/ dinamico	Resistenze a compressione			P.Sp. Malta Fresca
			1 giorno	2 giorni	28 giorni	
<b>SENZA SLURRY</b>						
1	4,03	66/133	-----	35,4	63,1	2,31
2	4,03	80/135	3,6	54,0	87,6	2,31
3	8,00	60/120	33,8	51,0	75,1	2,28
						IMPASTI SEGREG.
<b>CON SLURRY 20% (10% sostanza secca)</b>						
1	2,60	133/163	6,5	51,5	102,6	2,32
2	2,22	121/164	18,0	56,0	108,4	2,32
3	5,07	124/156	33,6	53,7	97,8	2,29

TABELLA 4

TABELLA 5

<b>CEMENTO 52,5 A a/c+s 0,28</b>						
Additivo	Dosaggio %	Flow statico/ dinamico	Resistenze a compressione			P.Sp. Malta Fresca
			1 giorno	2 giorni	28 giorni	
<b>CON SLURRY 30% (15% sostanza secca)</b>						
2	3,68	123/143	48,7	67,4	120,0	2,36
3	6,95	92/125	48,3	58,8	105,0	2,31

TABELLA 5