

capitolo 1

I calcestruzzi autocompattanti: proprietà e problematiche

Mario Collepardi

1. INTRODUZIONE

I calcestruzzi autocompattanti sono conglomerati cementizi così fluidi, da poter essere messi in opera senza richiedere alcuno sforzo di compattazione (Fig. 1).

I calcestruzzi autocompattanti, oltre ad essere molto fluidi devono anche essere privi di segregazione (Fig. 2) e confezionati con un basso rapporto acqua-cemento grazie alla presenza di additivi superfluidificanti.



Fig. 1- Getto dell'SCC in movimento
(Gabriele Ciatti, Betonval).



Fig. 2 - Assenza di segregazione di una carota (>1m) in un getto di SCC.

2. IL PROGENITORE DEGLI SCC

A dire il vero l'associazione di elevata fluidità (slump >> 200 mm) con una bassa segregazione viene da lontano (Mario Collepardi; "A Very Close Precursor of the Self-Compacting Concrete"; pp 431-450; Supplementary Volume Int. Conference CANMET/ACI; S. Francisco; (2001); disponibile sul sito www.encosrl.it → Pubblicazioni scientifiche → Calcestruzzi ad Alte Prestazioni → Articolo N. 1):

essa risale a metà degli anni '70, cioè poco dopo l'avvento dei primi additivi superfluidificanti, quando fu coniato il termine di calcestruzzo reoplastico (Mario Collepardi, "Assessment of Rheoplasticity of Concretes" Cement and Concrete Research, 1976, No 6, pp. 491-498) proprio per indicare un calcestruzzo con additivo superfluidificante che fosse fluido ("reo" in greco significa "fluire", "scorrere") ma al tempo stesso "plastico", cioè coesivo e privo di segregazione. Si poteva anche determinare l'indice di reoplasticità (R) dal reciproco della capacità di bleeding (B) di un calcestruzzo super-fluido:

$$R = \frac{1}{B}$$

dove B è il volume di acqua di bleeding per il volume unitario di calcestruzzo.

Ad un certo calcestruzzo super-fluido ($\text{slump} \gg 200 \text{ mm}$) con segregazione e bleeding nullo ($B = 0$) corrisponde un indice di reoplasticità infinito, mentre ovviamente il valore di R diminuisce all'aumentare della segregazione ed dell'acqua di bleeding raccolta in superficie.

Oltre alla caratterizzazione di queste due proprietà tra loro associate e tendenzialmente antitetiche (alta fluidità e bassa segregazione), furono anche realizzate opere in calcestruzzo reoplastico autenticamente precursore del calcestruzzo autocompattante per l'assenza totale di vibrazione in fase di messa in opera proprio grazie alle caratteristiche reologiche di questo calcestruzzo (Fig. 3).



Fig. 3 - Getto di calcestruzzo neoplastico in assenza di vibrazioni per la fondazione di un grattacielo a New York (USA) nel 1979.

Naturalmente la produzione di un calcestruzzo con alto indice di reoplasticità dipende non solo dall'impiego di un additivo superfluidificante ma anche e soprattutto da:

- il dosaggio di cemento che deve essere relativamente elevato ($350\text{-}450 \text{ kg/m}^3$) per assicurare una sufficiente coesione;
- la presenza di filler - in particolare di cenere volante - in sostituzione del cemento fino al 35% laddove il calore di idratazione del cemento Portland può diventare eccessivo;
- l'assortimento granulometrico degli aggregati per ostacolare la risalita d'acqua (bleeding) e la segregazione;
- la dimensione massima dell'aggregato che deve rimanere al di sotto di 20 mm se si vuol garantire una migliore mobilità del conglomerato (aggregati troppo grossi si muovono con difficoltà ed ostacolano il movimento del calcestruzzo autolivellante in assenza di vibrazione).

3. I PROGRESSI CON GLI SCC

Rispetto ai requisiti sopra menzionati del calcestruzzo reoplastico, i moderni SCC rappresentano l'esperazione tecnologica delle due più importanti proprietà: la fluidità e l'assenza di segregazione. In aggiunta viene introdotto il concetto di "capacità di passare" (passing ability, in inglese) attraverso spazi ridotti quali, per esempio, quelli tra le armature metalliche.

La fluidità diventa così "spinta" che l'abbassamento al cono di Abrams (slump) è così elevato (>260 mm) da non essere più significativo; si richiede, pertanto, la misura del diametro di calcestruzzo sformato dal cono (slump flow) che deve raggiungere valori di almeno 600 mm (Fig. 4).

Si registra anche il tempo impiegato a raggiungere il valore di 500 mm e/o il valore finale del diametro. Il valore dello slump flow indica la deformabilità dell'SCC (cioè quanto lontano può fluire il calcestruzzo rispetto al punto di getto), mentre il tempo impiegato per raggiungere 500 mm di diametro o il valore finale dello slump flow indica la velocità di deformazione, cioè la mobilità; se questo valore è troppo basso, significa che nel riempimento dei casseri potrebbe essere necessario un po' di vibrazione per la eccessiva viscosità del calcestruzzo.

Quindi una buona capacità di riempimento corrisponde ad un elevato slump flow e ad un tempo di 10-15 secondi per raggiungere il diametro di 500 mm.



Fig. 4 – Calcestruzzo autocompattante nella prova dello slump flow.

Una variante della misura dello spandimento utilizzando il cono di Abrams è rappresentato dal cosiddetto ring test messo a punto per valutare la capacità del calcestruzzo autocompattante ad attraversare gli ostacoli. L'SCC viene fatto defluire dal cono di Abrams e fatto passare attraverso 20 barre metalliche spesse 10 mm, alte 100 mm, tenute in posizione da un anello (Fig. 5).

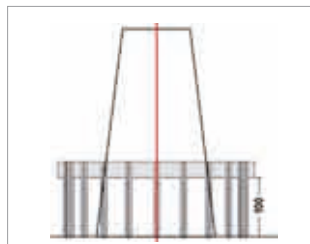


Fig. 5 – Rappresentazione schematica del ring test.

Il calcestruzzo è fatto defluire sollevando il cono di Abrams e, appena il movimento del calcestruzzo è terminato, si rilevano le misure di due diametri ortogonali allo spandimento. La misura dello spandimento corrisponde alla media della lunghezza in mm dei due diametri. Oltre alla misura dello slump flow e del ring test, che sono i metodi più diffusi anche nei cantieri per la loro semplicità, esistono numerosi altri metodi messi a punto per caratterizzare la fluidità degli SCC. Tra questi merita una citazione il V-funnel test che consiste nel misurare il tempo di svuotamento del calcestruzzo dal recipiente a forma di V (Fig. 6). Nel caso degli SCC questo tempo difficilmente supera dieci secondi, e molto spesso è di qualche secondo.

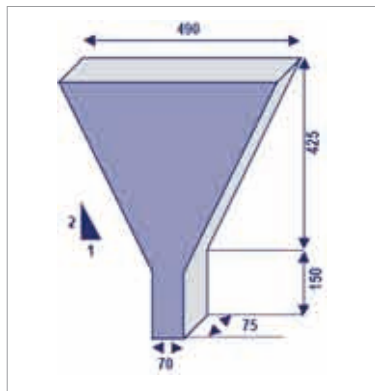


Fig. 6 - Dimensioni (in mm) dello strumento per il V - funnel test.

L'entità della segregazione può essere valutata visivamente nella prova di slump flow registrando la eventuale presenza di acqua di bleeding alla periferia del calcestruzzo. In alternativa, con metodi quantitativi, si può misurare la differenza di prestazione (massa volumica, resistenza meccanica, ecc.) in campioni di calcestruzzo prelevati in alto ed in basso da un getto, o da un provino cilindrico di laboratorio.

L'assenza di segregazione e bleeding, anche con una fluidità molto elevata (slump flow >800 mm), è conseguita con l'ausilio di prodotti coesivizzanti molto efficaci: la silice amorfa colloidale (UFACS) ed il fumo di silice, prodotto inorganico largamente impiegato anche in passato nel settore delle malte tixotropiche industriali, e soprattutto gli agenti modificatori di viscosità di natura organica (K.H.Khayat e Z. Guizani, "Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete", ACI Materials Journal, 1997, Vol. 94, No 4, pp 332-340). Questi rappresentano indubbiamente il progresso più significativo per conseguire la massima stabilità, viscosità e coesione degli SCC in riposo (assenza di segregazione), e di elevata fluidità degli stessi calcestruzzi in movimento per caduta libera o per movimentazione nella pompa. Questo comportamento tipico degli impasti tixotropici è conseguito con l'ausilio di polimeri in gran parte di origine naturale (bio-polimeri), ancorché sottoposti a trattamenti artificiali (V.A. Ghio, J.M. Monteiro ed O.E. Giørv, "Effect of

polysaccharide gums on fresh concrete properties” , ACI Materials Journal, 1994, Vol. 91, No 6, pp 602-606). Oltre ai prodotti a base di cellulosa modificata, i bio-polimeri naturali più efficaci sono: Welan, Rhamsan, Xanthan e Gellan (G. Robinson, C.E. Manning ed E.R. Morris, “Conformation and physical properties of the bacterial polysaccharides gellan, welan and rhamsan”, Food Polymers, Gels, Colloids, 1991, Special publication, R. Soc., Vol. 82 pp 22-33). Si tratta di polisaccaridi “costruiti” con l’ausilio di batteri. Tra questi prodotti, il Welan (Fig. 7) risulta attualmente uno dei più efficaci.

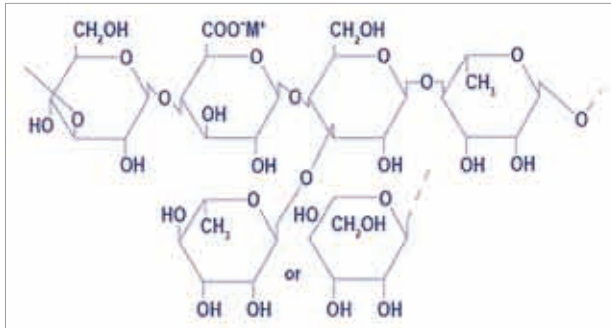


Fig. 7 – Composizione chimica del bio-polimero Welan.

Per quanto attiene lo studio della passing ability, l’SCC viene fatto passare attraverso delle “scatole” (L-box) munite di armature metalliche orizzontali (Fig. 8A) o verticali (Fig. 8B) registrando l’avanzamento del materiale, l’eventuale arresto (blocking) ed il tempo impiegato per il completo percorso.

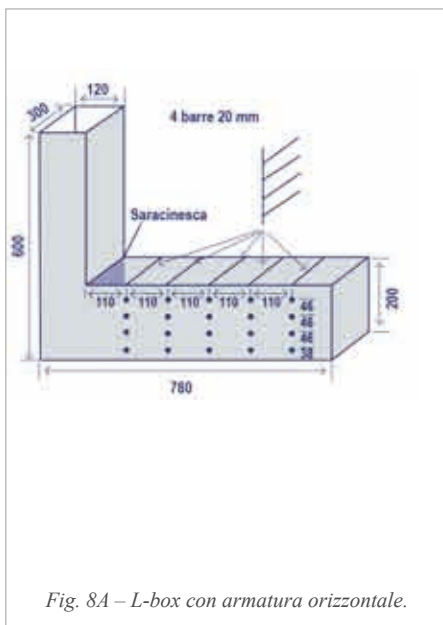


Fig. 8A – L-box con armatura orizzontale.

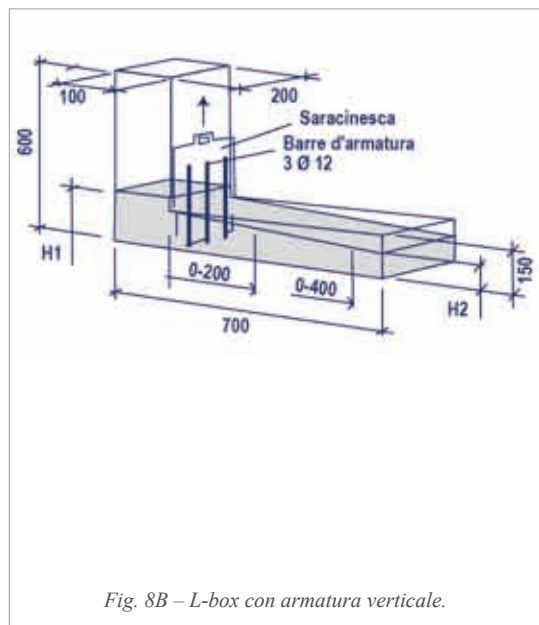


Fig. 8B – L-box con armatura verticale.

È da prevedere che l'impiego degli SCC in futuro rappresenterà una grande rivoluzione nella progettazione e nella esecuzione pratica per le minori restrizioni progettuali e pratiche, e per una razionalizzazione del sistema costruttivo.

Vale, però la pena di segnalare alcuni aspetti esecutivi circa la utilizzazione dell'SCC: in particolare è molto importante l'organizzazione logistica del cantiere e la fornitura simultanea del calcestruzzo da più autobetoniere (Fig. 3) o comunque un flusso continuo del materiale per realizzare strutture monolitiche senza riprese di getto; inoltre, per i getti entro casseri è molto importante l'impiego di casseforme robuste (per evitare la deformazione sotto l'azione di una maggiore pressione idraulica del calcestruzzo, che si comporta quasi come un liquido) e prive di perdite in corrispondenza dei giunti.

D'altra parte, la creatività dei progettisti, e soprattutto degli Architetti, potrà realizzarsi attraverso nuove forme, molto complesse (non realizzabili con i calcestruzzi tradizionali) e con la possibilità anche di scegliere un materiale colorato, levigato, ed impreziosito in superficie come se fosse un marmo, tutto da progettare nella struttura, nella forma e nel colore.

Altri aspetti positivi nell'impiego dell'SCC sono:

- una migliore produttività dell'impresa che può ridurre significativamente i tempi ed i costi dei getti con analoghe conseguenze sui tempi e sui costi di tutta l'opera;
- un miglioramento delle condizioni di lavoro per gli operai, sempre meno attratti dalle condizioni di lavoro sui cantieri, dove la vibrazione del calcestruzzo rappresenta uno degli aspetti meno gratificanti per la fatica dell'operazione e per alcune tipiche malattie che ne derivano: sordità e le cosiddette "dita bianche" per chi ha difetti di circolazione del sangue;
- un miglioramento nella omogeneità nel calcestruzzo in opera che, per grado di compattazione e per resistenza meccanica può realisticamente eguagliare le corrispondenti prestazioni dei provini prelevati in corso d'opera.

4. PROPORZIONAMENTO DEGLI SCC

I suggerimenti per realizzare razionalmente gli SCC si basano sui seguenti principi:

- a) per garantire la mobilità del calcestruzzo il volume di aggregato grosso (con diametro massimo di 25 mm e preferibilmente di 15 mm) non deve superare il volume di 340 L per 1 m³ di calcestruzzo, questa scelta facilita anche la capacità di passare attraverso armature metalliche vicine;
- b) per garantire coesione all'impasto fluido, il volume di parti fini (cemento + cenere + calcare macinato + fumo di silice) deve essere compreso tra 170 e 200 L/m³; questo quantitativo di pasta, in eccesso rispetto ai calcestruzzi tradizionali, avvolge i granuli di inerte riducendone la reciproca collisione e quindi il fenomeno del blocking;
- c) per garantire un rapido movimento dell'SCC, il volume di acqua diviso il volume di parti fini deve essere compreso tra 0,85 e 1,20: se si riduce troppo l'acqua grazie all'impiego dei superfluidificanti, l'SCC, si muove lentamente come un fluido "mieleso" e troppo appiccicoso;
- d) per garantire una conservazione delle proprietà reologiche tipiche dell'SCC è necessario

- impiegare additivi superfluidificanti a base acrilica con un dosaggio di circa 1-1,5%;
- e) per ridurre il bleeding e la segregazione al minimo, è necessario impiegare un agente modificatore di viscosità (Viscosity Modifying Agent, VMA, Fig. 6) soprattutto laddove ci siano variazioni incontrollate di umidità negli aggregati o tentazioni di riaggiungere acqua al momento del getto.

5. APPLICAZIONI DI SCC

In linea di massima, l'impiego dell'SCC diventa pressoché indispensabile per il getto di strutture ad alta densità di armature metalliche (Fig. 9 - 10) soprattutto se riferite a strutture di forma e geometria molto complessa in opere architettoniche di grande valore (M.Collepari, G.Marchese, M.Odoardi, "Il calcestruzzo 3-SC per il MAXXI di Roma," Enco Journal N. 40, 2008; disponibile su www.enco-journal.com → *Gli ultimi numeri* → N. 40).



Fig. 9 - Le armature metalliche di un muro del MAXXI, Roma
(Marco Odoardi, Italiana Costruzioni).



Fig. 10 - Muro alto e curvo, del MAXXI, Roma, privo di giunti di contrazione per l'impiego di agente espansivo e di additivo SRA
(Giuseppe Marchese, Calcestruzzi Spa).

Tuttavia l'impiego dell'SCC può rivelarsi per l'impresa vantaggioso, dal punto di vista della produttività sul cantiere, anche per getti di strutture relativamente facili e facilmente accessibili per il flusso del conglomerato, come è mostrato negli esempi delle Fig. 11 e 12.



Fig. 11 - Getto di SCC per il consolidamento di fondazioni (Fausto Caciotta, Colabeton).



Fig. 12 - Completamento di un getto in SCC nel porto di Livorno (Gabriele Ciatti, Betonval).

In questo paragrafo sono presentate alcune tipiche applicazioni dell'SCC nel campo della prefabbricazione, dei getti di massa, dell'architettura e delle strutture ad altissima resistenza meccanica.

Nella Tabella 1 è mostrata una tipica composizione di SCC da produrre in un impianto di prefabbricazione ed in Fig. 13 è mostrato lo sviluppo della resistenza meccanica a temperatura ambiente e con trattamento a vapore.

Tabella 1-Tipica composizione di un SCC per prefabbricazione.

Cemento CEM I 52.5 R	435 kg/m ³
Cenere volante	115 kg/m ³
Sabbia naturale (0-4 mm)	895 kg/m ³
Ghiaia (Dmax= 16 mm)	840 kg/m ³
Acqua	195 kg/m ³
Superfluidificante acrilico (1,1% su cem. + cenere)	6 kg/m ³
Agente viscosizzante (0,5% su cem. + cenere)	2,75 kg/m ³
Slump Flow: 790 mm a 5 min — 690 mm a 30 min	
Bleeding totale: 0,4% del volume di calcestruzzo	
a/c = 0,45	
Classe di esposizione: XA3	

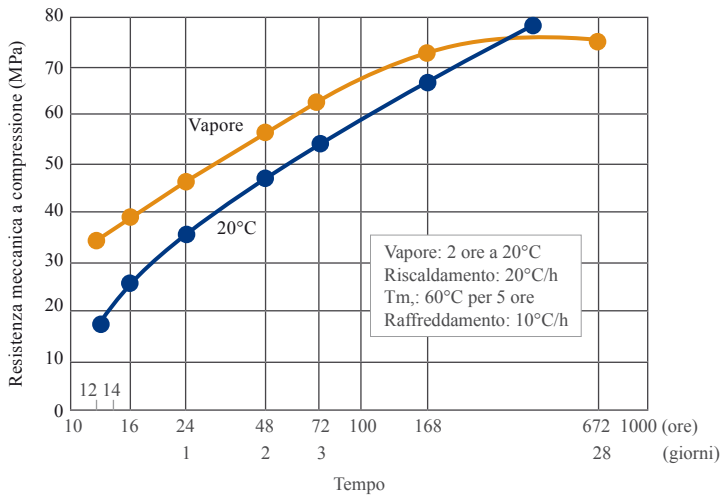


Fig. 13 - Sviluppo della resistenza meccanica dell'SCC mostrato in Tabella 1

Una particolare composizione dell'SCC deve essere elaborata nel caso di getti massivi come quelli, per esempio, illustrati in Fig. 14.



Fig. 14 - Vista di una platea di fondazione fortemente armata (Porta Nuova Garibaldi, Milano - Studio MSC Associati Srl).

Nella Tabella 2 sono mostrate tre tipiche composizioni per SCC destinato a getti massivi con basso calore di idratazione per la scelta di un cemento d'altoforno CEM III-A, al fine di ridurre i gradienti termici tra il nucleo più caldo e la periferia più fredda del getto al di sotto della soglia di sicurezza di 20°C.

Nella Fig. 15 sono riportate le resistenze meccaniche da 1 a 28 giorni per i tre SCC mostrati in Tabella 2 con R_{ck} compreso compreso tra 40 e 55 MPa.

Tabella 2 - Composizione di tre SCC per getti massivi.

Mix Rck (MPa)	Progetto	35	40	50
	Effettivo	40	45	55
Colore		Molto chiaro	Grigio chiaro	Grigio
Cemento	Tipo	CEM III/A 32.5R	CEM III/A 32.5R	CEM III/A 42.5N
	Dosaggio (kg/m ³)	300	300	300
Filler	Tipo	Calcare	Cenere volante	Cenere volante
	Dosaggio (kg/m ³)	155	130	130
Acqua		175	175	175
Additivo	Tipo	Acrilico	Acrilico	Acrilico
	Dosaggio (kg/m ³)	1.1	1.2	1.2
a/c		0.58	0.58	0.58
a/l		0.58	0.41	0.41
Slump Flow (mm)	5 min.	780	790	770
	30 min	650	660	690

NB: per tutti i calcestruzzi è stato impiegato un agente viscosizzante (0.5 kg/m³)

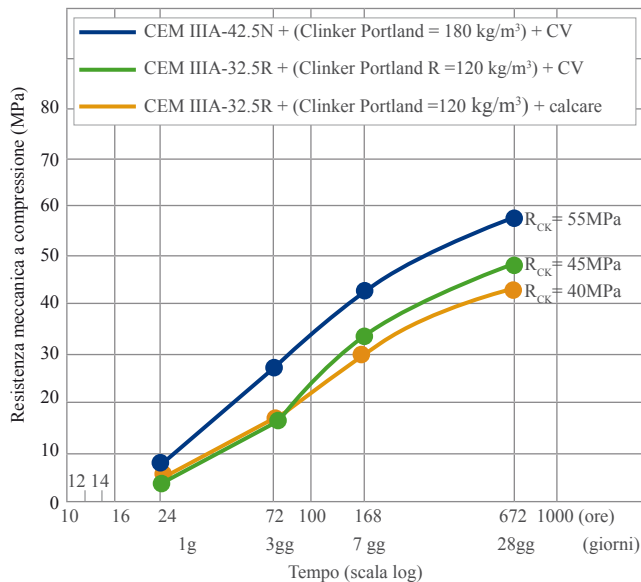


Fig. 15 – Resistenza meccanica da 1 a 28 giorni degli SCC mostrati in Tabella 2.

Una interessante applicazione dell'SCC nel settore del calcestruzzo architettonico è mostrata nella Fig. 16 dove si vede una delle “vele” bianche della Chiesa di San Pietro Apostolo a Pescara realizzata in SCC bianco la cui composizione è riportata nella Tabella 3

con le relative prestazioni (M. Collepari, S. Collepari, J.J.Ogoumah Olagot, R. Troli, Laboratory-Tests and Field-Experience of High-Performance SCC's Proceedings of the Third International Symposium on "Self Compacting Concrete", Reykjavik, Iceland, 17-20 August, pp. 904 - 912, (2003); *disponibile su www.encosrl.it → Pubblicazioni scientifiche → Self-Compacting Concrete → Articolo N. 9).*



Fig. 16 - Le vele bianche in SCC in fase di esecuzione per la chiesa di S. Pietro Apostolo di Pescara, progettato di Arch. Dal Re ed altri (Roberto Marino, Calcestruzzi Spa).

Tabella 3 – Composizione dell'SCC per la chiesa di S. Pietro Apostolo a Pescara (a sinistra) e sue prestazioni (a destra)

Componente	kg/m ³	Massa volumica a fresco kg/m ³	2417
CEM II/B-L 32.5R bianco	400	Aspetto del calcestruzzo	Coesivo
Filler calcareo	100	Slump Flow nel tempo a 30°C (cm)	0' 70
Pietrisco (2-6mm)	875		30' 68
Sabbia (0-2 mm)	440		60' 65
Sabbia fine (0-5 mm)	430	Resistenza meccanica a compressione a 20°C (MPa)	1g 17.2
Acqua	180		7gg 35.3
Superfluidificante acrilico	9.6		14gg 39.4
Viscosizzante	0.12		28gg 43.0
a/c (ambiente marino)	0.45	Penetrazione d'acqua UNI EN 12390/8	6 mm

Un aspetto importante, per l'ottenimento di un calcestruzzo con facciavista "architettonico" di pregio, è rappresentato dalla scelta di casseri a perfetta tenuta rinforzati con adeguati supporti (Fig. 17) per sostenere la maggior spinta idraulica esercitata da un



Fig. 17 – Esempio di casseforme rinforzate con sostegni a perfetta tenuta per getto di SCC.

Un'altra applicazione nel settore dell'edilizia è il World Trade Center di San Marino (Fig. 18) dove si richiedeva un SCC per la difficoltà di getto a causa delle armature metalliche congestionate con la particolarità di raggiungere una Rck di 90 MPa (S. Collepari, R. Troli, A. Borsoi and M. Collepari, Applicazioni di calcestruzzi innovativi (SCC, HPC, RPC) nell'ingegneria edile, civile ed ambientale / Applications of innovative concretes (SCC, HPC, RPC) in the building, civil and environmental engineering Industria Italiana del Cemento, n. 780, pp. 784-790 - Anno 2002; *disponibile su www.encosrl.it* → **Publicazioni scientifiche** → **Self-Compacting Concrete** → **Articolo N. 4**). Questo requisito prestazionale ha consentito di realizzare ampi spazi tra i pochi pilastri che sorreggevano l'intero edificio e quindi di usufruire al massimo per l'accesso di macchine tra i pilastri (Fig. 19). Nella Tabella 4 sono riassunte le composizioni e le prestazioni.



Fig. 18 – World Trade Center di S. Marino, Progetto di Norman Foster and Partners, Londra (G. Mazza e A. Severini, Icas, S. Marino).

Fig. 19 - World Trade Center di S. Marino: ampi spazi tra i pilastri nel piano terra destinato a parcheggio interno (G. Mazza e A. Severini, Icas, S. Marino).



Tabella 4 – Composizione e prestazioni dell'SCC per il World Trade Center di S. Marino

CEM II 42.5R (kg/m ³)		465
Fumo di silice, fds (kg/m ³)		65
Acqua (kg/m ³)		175
Ghiaia (15-22 mm)		195
Ghiaietto (6-15 mm)		720
Sabbia (0-6 mm)		712
Superfluidificante (% di cem.+fds)		4.6
a/(c+fds)		0.33
Slump flow a 5 e 60 min		730-600
Rc (MPa) a:	1 giorno	50
	28 giorni	95
Ritiro (10 ⁻⁶) a 60 gg con UR di 60%		380

6. MICRO-STRUTTURA POROSA E PROPRIETÀ DEGLI SCC: RESISTENZA MECCANICA, RITIRO E CREEP

Ci si potrebbe chiedere se, rispetto ad un calcestruzzo ordinario – per esempio con classe di consistenza S5 – il corrispondente SCC a pari a/c e dosaggio di cemento presenti proprietà diverse. La Tabella 5 mostra la composizione di un calcestruzzo a consistenza S5 e di due SCC confezionati con il calcare (o con pari volume di cenere volante) come filler. Grazie all'impiego del filler (in sostituzione di un pari volume di aggregato) e ad un diverso dosaggio di superfluidificante, nei due SCC si può conservare lo stesso dosaggio di cemento (300 kg/m³) e la stessa acqua di impasto (175 kg/m³) che sono stati adottati nel calcestruzzo ordinario a consistenza S5.

Tabella 5 - Composizione del calcestruzzo a consistenza S5 (slump=230 mm) e dei conglomerati SCC (slump flow 660 mm).

Cl	Cemento* (kg/m ³)	Filler/Tip (kg/m ³)	Sabbia 0-4 (kg/m ³)	Ghiaio 4-10 (kg/m ³)	Ghiaia 10-20 (kg/m ³)	Totale aggregati (kg/m ³)	Acqua (kg/m ³)	Superf.** (kg/m ³)	Viscos. (kg/m ³)	a/c
S5	300	---	1040	465	460	1965	175	0.3	---	0.58
SCC	300	150 calcare	955	530	345	1830	175	0.8	0.1	0.58
SCC	300	130 cenere	945	520	395	1810	175	1.6	0.1	0.58

*CEM I 42.5R - **Superfluidificante acrilico

Nella Fig. 20 sono riportati i valori di resistenza meccanica al trascorrere del tempo a 20°C. Non sorprende la maggiore resistenza meccanica dell'SCC con la cenere volante per la sua nota azione pozzolanica nei confronti della calce che porta ad un contributo significativo di resistenza meccanica.

È invece sorprendente il miglioramento della resistenza meccanica dell'SCC con calcare come filler rispetto al corrispondente calcestruzzo a classe di consistenza S5. Si deve, in sostanza, ritenere che il filler calcareo non è solo un componente essenziale per il contributo alla reologia dell'SCC riducendone il bleeding soprattutto nei conglomerati poveri di cemento, ma contribuisce anche ad un rafforzamento della matrice cementizia. Questa ipotesi è suffragata dallo studio comparativo della microstruttura con l'ausilio della microscopia elettronica (Fig. 21, Fig. 22 e Fig. 23).

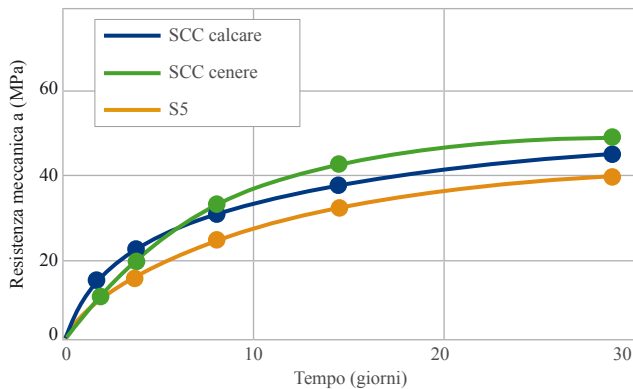


Fig. 20 - Resistenza meccanica di SCC con cenere volante o calcare macinato in confronto ad un calcestruzzo con classe di consistenza S5 (Tabella 5).

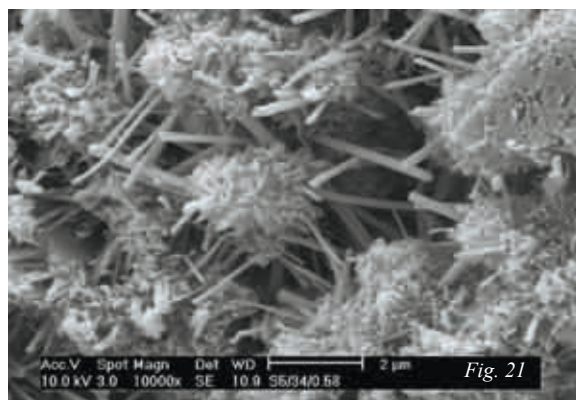


Fig. 21 – Microscopia elettronica della pasta di cemento prelevata dal calcestruzzo S5 a 28 giorni, Tabella 5 (T. Cerulli e D. Salvioni, Mapei).

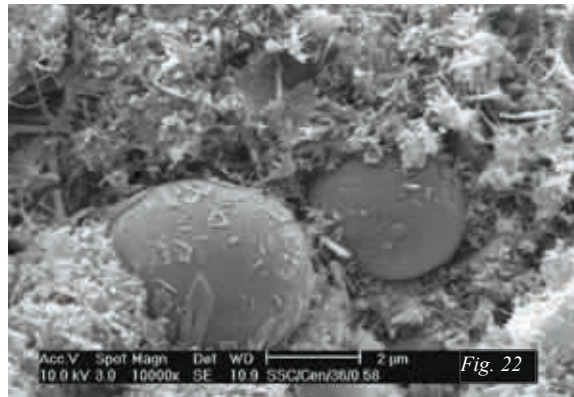


Fig. 22 - Microscopia elettronica della pasta di cemento prelevata dal calcestruzzo SCC con cenere volante a 28 giorni, Tabella 5 (T. Cerulli e D. Salvioni, Mapei).

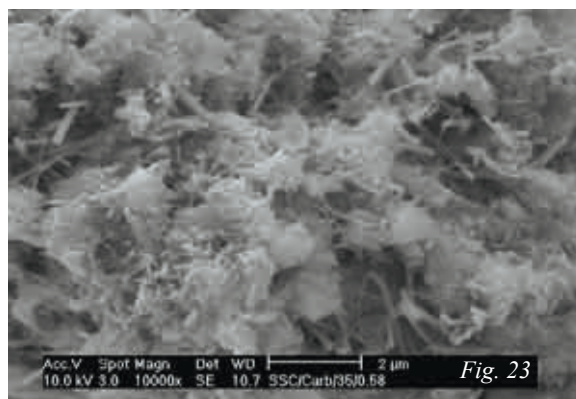


Fig. 23 - Microscopia elettronica della pasta di cemento prelevata dal calcestruzzo SCC con calcare a 28 giorni, Tabella 5 (T. Cerulli e D. Salvioni, Mapei).

Anche la pasta di cemento dell'SCC con calcare (Fig. 22) oltre a quella dell'SCC con la cenere (Fig. 23) risulta essere meno porosa di quella presente nel calcestruzzo ordinario a pari a/c (Fig. 21).

Si può quindi immaginare che il filler calcareo partecipi anch'esso - sia pure in misura minore rispetto alla cenere che possiede attività pozzolanica - al riempimento dei pori capillari presenti nella pasta di cemento Portland.

Questi dati sono in linea con le misure di ritiro (Fig. 24) e di deformazione viscosa (Fig. 25) sui calcestruzzi eseguite a 20°C con UR = 65-70% su provini scasserati a 1 giorno (M. Collepari, A. Borsoi, S. Collepari, R. Troli, "Strength, Shrinkage and creep of SCC and Flowing Concrete Proceedings of Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete", Edit. Surendra P. Shah, Chicago October 30-November

3, pp. 911-919, Vol. II, (2005); *disponibile sul sito www.encosrl.it → Pubblicazioni scientifiche → Self-Compacting Concrete → Articolo N. 14).*

I valori di ritiro dei due SCC appaiono leggermente inferiori al ritiro del calcestruzzo ordinario ancorché il maggior rapporto aggregato/cemento di quest'ultimo sia maggiore in base ai dati composizionali mostrati in Tabella 3. Probabilmente una matrice cementizia meno porosa e più compatta dei conglomerati SCC (Fig. 22, Fig. 23) rispetto al calcestruzzo ordinario (Fig. 21) comporta una maggiore difficoltà nell'essiccamento del materiale con un minor ritiro anche a pari a/c.

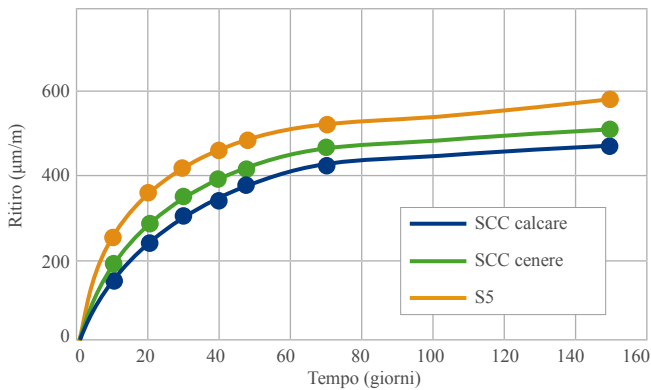


Fig. 24 - Ritiro di provino 10x10x50 cm a 20°C con UR=65% (Tabella 5).

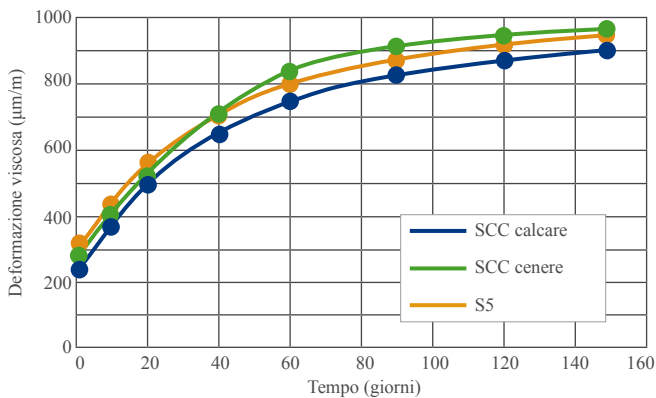


Fig. 25 – Deformazione viscosa dei provini sottoposti a carico costante (1/3 della resistenza meccanica a 7 giorni) con UR=70% (Tabella 5).

La deformazione viscosa dei calcestruzzi (Fig. 25) non presenta significative variazioni passando da un calcestruzzo ordinario S5 ai conglomerati SCC. Tuttavia l'SCC con calcare presenta una deformazione leggermente minore rispetto agli altri conglomerati.

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA

- Proceedings of the First International RILEM Symposium on "Self-Compacting Concrete", Ed. Å. Skarendal and Ö. Peterson, RILEM Publications S.A.R.L., pp.790,Stockolm, September, 1999.
- Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art report (No.23) RILEM, Technical Committee, 174-SCC, Editors: Å. Skarendal and Ö. Peterson, pp. 154, 2000.
- Luigi Coppola; "La reologia ed il proporzionamento dei calcestruzzi autocompattanti", Industria Italiana del Cemento, N° 76, pp. 152-163, 2001.
- K. H. Khayat, P. Paultre, S. Tremblayt; "Structural Performance and In-Place Properties of Self-Consolidating Concrete Used for Casting Highly Reinforced Columns"; ACI Materials Journal, N° 5, pp 371-378, 2001.
- M. Corradi, R. Khurana and R. Magarotto; "User Friendly Self-Compacting Concrete in Precast Production"; Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik Iceland, pp 457-466,17-20 August 2003.
- M. Collepardi, S. Collepardi, R. Troli; "Il Nuovo Calcestruzzo", pp 309-340, V Edizione, Tintoretto, 2009.
- M. Collepardi; "Dizionario Enciclopedico del Calcestruzzo", pp 291, Tintoretto, 2011.