

VANTAGGI DERIVANTI DALL'IMPIEGO DEL CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE (SCC) CONFEZIONATO CON FILLER CALCAREO.

Ivano PIGNI – Comitato Tecnico ASSIAD

SUMMARY

Il calcestruzzo autocompattante (self-compacting concrete - SCC) è un ulteriore sviluppo della tecnologia del calcestruzzo ad alte prestazioni. Il calcestruzzo SCC presenta molti vantaggi ma deve essere progettato, confezionato e messo in opera con maggiore attenzione. Nell'articolo si descrive sommariamente lo stato dell'arte per la produzione e il controllo dell'SCC e si esaminano i vantaggi d'uso con particolare riferimento all'SCC confezionato con filler calcareo.

ABSTRACT

Continuous improvements have been made in the construction techniques and in the materials used, particularly regarding concrete. This is due to the growth of structural and architectonic requirements, to the necessity to reduce execution times and construction costs, and to give durability to the manufactures. A Self-Compacting Concrete (SCC), if correctly designed and valued has got the appropriate rheological qualities to answer to these requirements.

To avoid the confusion between the SCC and superplasticized concrete (consistency S5 as UNI 9858), we would like to point out in this paper, the useful parameters for a correct comprehension and evaluation of the properties of Self-Compacting Concrete with calcareous filler.

1. INTRODUZIONE

Alcuni tipi di miscele che possono essere considerati i precursori del calcestruzzo autocompattante (SCC) sono conosciuti da tempo. Oltre 70 anni fa, infatti, negli USA, si mettevano in opera calcestruzzi molto fluidi denominati: "calcestruzzi colati". Essi avevano delle buone caratteristiche autocompattanti e autolivellanti. La loro buona fluidità, tuttavia, andava a scapito della durezza in quanto questi calcestruzzi potevano essere confezionati solo con rapporti A/C molto elevati. I calcestruzzi che oggi sono classificati come SCC, comunemente attribuiti

all'invenzione del prof. OKAMURA, sono stati impiegati, con la denominazione "Self Compacting" a partire dal 1988 in Giappone e Canada. Solo nel 1990 però sono stati eseguiti i primi grandi progetti in Giappone. L'introduzione in Europa (Francia, Svezia) è ancora più recente e risale al 1996. [01]

Un prototipo di SCC fu sperimentato per la prima volta nel 1988 e realizzato utilizzando solo materiali facilmente reperibili sul mercato. Ebbe la denominazione di: "High Performance Concrete". Quasi nello stesso periodo però questo "nome" fu dato, da Altcin e altri, ad un tipo di calcestruzzo a basso rapporto A/C ed elevata durabilità. Il nome del calcestruzzo di cui trattiamo fu allora cambiato in quello odierno di "Self-Compacting Concrete".

Un primo documento sul calcestruzzo autocompattante fu presentato da Ozawa all'EASEC-2, la seconda East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, nel Gennaio 1989. Successivamente, sempre per merito del prof. Ozawa, ci fu la presentazione dell'SCC al CAMMET & ACI International Conference di Istanbul nel Maggio del 1992; seguì l'ACI workshop nel Novembre del 1994 a Bangkok, sponsorizzato dal prof. Zia, attraverso il quale l'SCC diventò conosciuto tra i ricercatori e gli ingegneri di tutto il mondo interessati alla durabilità del calcestruzzo ed alla razionalizzazione delle metodologie di costruzione.

Nel novembre del 1996 il prof. realizza il Ferguson Lecture at ACI Fall Convention a New Orleans, che diffonde la conoscenza dell'SCC fra i ricercatori in America; nel Gennaio 1997 viene fondato il comitato del RILEM che tratta di calcestruzzo autocompattante; nell'Agosto del 1998, a Kochi, in Giappone, si realizza il primo workshop dedicato al Self-Compacting Concrete e per finire, nel Settembre del 1999, il First International RILEM Symposium di Stoccolma, getta le basi per una collaborazione ed un confronto a livello mondiale su questo tema così importante.

Un gruppo di studio su scala internazionale è attualmente attivo nella ricerca e nella standardizzazione di test legati all'SCC atti a stabilire e misurare, nella fase di miscelazione e di getto, le caratteristiche di autocompattazione. [02]

2. PERCHE' I CALCESTRUZZI SCC

Come richiamato dalle Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale emesse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, il calcestruzzo ad alte prestazioni (HPC) deve possedere un'elevata resistenza meccanica a compressione ($C > 75$) e un rapporto $a/c \leq 0,35$. [03] In conseguenza sarà un calcestruzzo molto compatto, poco permeabile e contraddistinto da un'elevata durabilità.

A questi requisiti, più di recente, se n'è aggiunto un altro di notevole importanza: l'estrema fluidità.

Il calcestruzzo che meglio risponde a tali caratteristiche e che, in particolare, è capace di fluire in maniera notevolissima, è il calcestruzzo autocompattante (**SCC**). Esso è, perciò, idoneo a riempire le casseforme anche in presenza di armature fitte, senza rischi di segregazione, o di essudazione d'acqua o formazione di boiaccia superficiale e non necessita di vibrazione. (fig. 1)



Figura 1. Slump-flow di un calcestruzzo SCC, (elevato spandimento, assenza, sui bordi, di boiaccia e di acqua di essudazione).

Il raggiungimento di tali caratteristiche è raggrasabile possibile grazie all'opportuna formulazione della miscela di calcestruzzo (mix design) e dall'impiego di particolari superfluidificanti di ultima generazione della famiglia degli eteri policarbossilati. L'impiego di questi additivi consente, ove richiesta: una forte riduzione del rapporto acqua/cemento; lavorabilità elevatissime; buona resistenza alla segregazione. Il mantenimento di queste proprietà reologiche, poi, è garantito per un tempo sufficientemente lungo, quello necessario, per esempio, al trasporto e alla posa anche in condizioni di temperature medio-alte (25°-27°).

Il calcestruzzo SCC, per i suoi costi elevati, è in genere associato ai calcestruzzi HPC. Poiché però la sua lavorabilità è elevatissima, ben si adatta anche alla confezione di calcestruzzi di medie resistenze. In ogni caso, il rapporto acqua/cemento non deve mai essere superiore a 0,5.

Sono quindi molteplici i vantaggi che giustificano l'impiego dei calcestruzzi SCC.

- qualità del calcestruzzo omogeneamente distribuita sull'intera sezione dell'elemento (riduzione delle «zone difettose»)

- migliore qualità del calcestruzzo con conseguente aumento della snellezza degli elementi costruttivi
- messa in opera senza problemi laddove i casseri hanno forma complicata e la maglia d'armatura è molto fitta
- miglior rendimento e velocità nella messa in opera,
- riduzione del numero di persone necessario per il getto
- riduzione dei rischi di insorgenza di malattie professionali
- igiene e sicurezza ambientale

3. DETERMINAZIONE DELLA RICETTA D'IMPASTO

La confezione dei calcestruzzi SCC avviene con elevata fluidità con valori A/C < 0,50 e aggiunta di superfluidificanti (SF) o di combinazioni di SF e di altri prodotti come stabilizzatori.

Per la preparazione di calcestruzzo SCC di elevata qualità si può procedere come segue (a differenza delle ricette per il calcestruzzo «tradizionale»):

- contenuto maggiorato di leganti (sommatoria di cemento + filler)
- contenuto maggiorato di parti fini, materiali aggiuntivi e sabbia
- grano massimo: Ø 16 - 20 mm, (eccezionalmente. Ø 32 mm)
- inerti «ricchi di sabbia» (almeno 50% con grani 0/4 mm)
- contenuto d'acqua : ~ 180 litri/m³.

Componenti dell'impasto	Cls vibrato	SCC con calcare	SCC con Fly-Ash
CEM I - 42,5	330	330	330
Filler	---	150	110
Acqua	182	175	175
Aggregati 0/2	545	822	822
Aggregati 2/8	725	413	453
Aggregati 8/16	545	415	415
Additivo SF	----	8,5	8,5
Massa volum.	2327	2313	2313
Ritiro igrom.	Vedi figura		
Resistenza a:			
2d	17	22	18
7d	29	32	31
28d	39	40	40
Modulo di elasticità	28.150	28.250	26.000

Tabella 1 – Esempio di dosatura per la confezione di calcestruzzo SCC [01]

4. CAMPI D'APPLICAZIONE DEI CALCESTRUZZI SCC.

I campi d'applicazione dei calcestruzzi SCC sono numerosi e vari, come per esempio:

- ponti
- costruzioni industriali
- edifici alti
- gallerie
- elementi prefabbricati
- opere di ripristino nell'edilizia

5. PRODUZIONE DI CALCESTRUZZO SCC PREFABBRICATO E PRECONFEZIONATO.

La preparazione dei calcestruzzi SCC non crea nessun problema una volta completata la determinazione della ricetta d'impasto. E' molto importante la precisa regolazione dell'impianto di produzione. Dato che i rilievi dei rendimenti durante la miscelazione sono molto imprecisi se non impossibili (a causa dei valori di abbassamento al cono slump-flow fino a 70 cm), è indispensabile che le componenti siano dosate in modo esatto e che il loro contenuto d'acqua sia considerato con attenzione. La tabella riassume la composizione come pure alcune caratteristiche di una miscela standard di calcestruzzo SCC. L'impiego delle autobetoniere viene confermato, ciò nonostante occorre mescolare ancora il calcestruzzo SCC in cantiere dato che le vibrazioni dovute al trasporto possono aumentare il rischio di segregazione.

Vediamo di evidenziare alcune delle caratteristiche più importanti che caratterizzano le notevoli prestazioni dell'SCC:

5.1. USO DI FILLER AD AZIONE POZZOLANICA E NON.

Consideriamo i seguenti mix [04]

Nr.	Cem%	FA%	FC%	SF%	S%	SI/Flow
1	95	0	0	5	27	528
2	90	0	0	10	27	400
3	85	0	0	15	27	400
4	40	30	30	0	27	700
5	60	40	0	0	27	740
6	60	0	40	0	27	700

Dove Cem = cemento 52,5
 FA = Cenere volante
 FC = Filler Calcareaio
 SC = Silica Fume
 S = Sabbia

Nr.	Cem kg/m ³	Resistenza a compressione MPa		
		3 d	7 d	28 d
1	523	57,9	68,8	83,0
2	495	58,9	66,8	86,2
3	467	52,5	68,5	81,3
4	220	31,6	45,0	63,8
5	330	46,4	55,4	76,9
6	330	41,9	57,6	79,8

Delle ottime caratteristiche di resistenza e di durabilità offerte dalle miscele Cemento-Silica Fume si sapeva e per il risultato di numerosi lavori eseguiti [05]) e dalla bibliografia. La Silica Fume tuttavia risulta poco adatta alla confezione dell'SCC per i bassi valori di lavorabilità presentati pur consentendo sicuramente il totale controllo del bleeding.

Degli altri impasti delle tabelle precedenti, quelli più vantaggiosi anche dal punto di vista costo, appaiono, quelli con Filler Calcareaio e con Cenere Volante di questi si è valutata la durabilità attraverso la misura del valore di ritiro, e alla misura della resistenza ai solfati. Le valutazioni relative sono visibili nella tabella seguente.

Giorni Mat.	Impasto	Ritiro $\mu\text{mm/m}$	% resist. Na ₂ SO ₄	% resist. in MgSO ₄
10	5	250		
	6	255		
20	5	300		
	6	290		
28	5	325	98,8	98,3
	6	310		
40	5	375		
	6	368		
50	5	390		
	6	380		
60	5	400		
	6	390		

L'uso di Filler Calcareaio non sembra presentare sostanziali differenze rispetto all'uso della Cenere Volante. E tuttavia esso si fa preferire per alcune considerazioni che crediamo importanti:

- Il filler calcareaio è di color bianco più o meno "sporco" e consente di realizzare ottimi SCC chiari e colorabili.
- Molti cementi di produzione nazionale del tipo II - A/L e II - B/L presentano un contenuto "naturale" di filler calcareaio pressoché sufficiente a formulare un ottimo SCC.

5.2. SCELTA DELL'ADDITIVO SUPERFLUIDIFICANTE.

Consideriamo un attimo la figura seguente: [06]

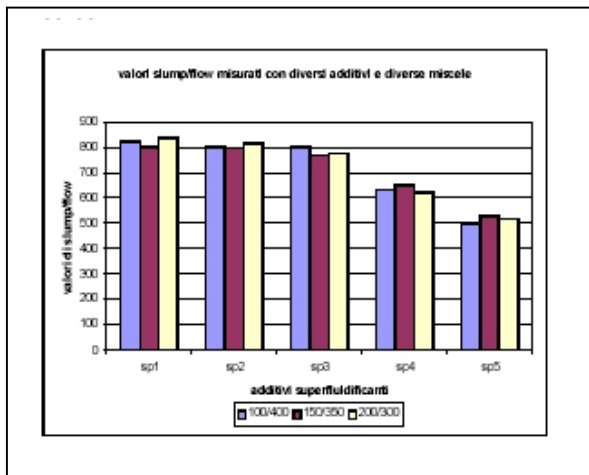


Grafico 1. Azione di diversi superfluidificanti con diversi tipi di filler (le linee di colore scuro indicano filler ad azione idraulica – blu cenere volante rosso loppa – la linea chiara indica la farina calcarea)

ancora con 600 mm di slump/flow possiamo considerare buono l'SCC e tuttavia vi è da osservare come additivi di nuova generazione siano certo più favorevoli e che il dosaggio più o meno elevato di filler non influisce sostanzialmente sulla lavorabilità raggiunta.

I superfluidificanti provati erano i seguenti:

1. Copolimero acrilico
2. Copolimero maleico-stirene
3. Etere poliglicole
4. Melamina sulfonata condensata con formaldeide
5. Naftalen sulfonato e melamina condensati con formaldeide

5.2.1. USO OTTIMALE DELL'ADDITIVO

Stati ormai numerosi i test condotti per determinare le "performance" relative al dosaggio ottimale dell'additivo superfluidificante. [07]

Essi hanno mostrato una risposta pressoché lineare di comportamento quando si partiva da una miscela con rapporto A/C effettivo vicina e non inferiore a 0,3 e abbastanza indipendente dal tipo di filler e dal suo dosaggio quando questo non superava il 30% in peso del cemento e quando la sua finezza era compresa nel campo 3000 – 9000 Blaine gr/dm³.

Questa tendenza si esplica in un aumento costante della lavorabilità e della capacità SCC in

funzione del dosaggio e sembra presentare un massimo e stabilizzarsi intorno a 0,8% del peso del cemento espresso in tenore di sostanza secca : VALORI PRATICI ATTENDIBILI sembrano essere:

- circa 8 litri di additivo per m³ di calcestruzzo confezionato con filler calcarea.
- Circa 7,5 litri di additivo per m³ di calcestruzzo confezionato con filler idraulicamente attivi (cenere volante, loppa macinata, ecc)

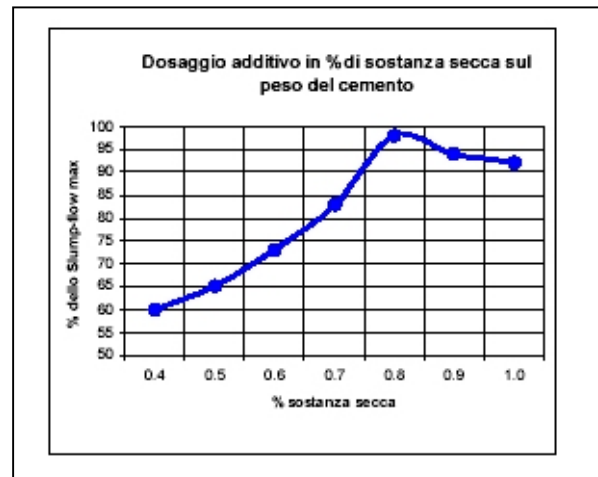


Grafico 2. Dosaggio ottimale additivo

Piuttosto interessante il comportamento del calcestruzzo durante la fase di mescolazione e scarico. [07] Numerosi interessanti test hanno rilevato come esista un criterio più valido e ripetibile degli altri per la produzione di calcestruzzo SCC. Traducendo questi criteri in pratica possiamo schematizzare la preparazione del calcestruzzo come segue:

1. Mescolare per un minuto cemento + filler + aggregati con circa l'80% dell'acqua d'impasto.
2. Aggiungere la restante acqua e l'additivo (l'additivo va cioè aggiunto al cls già pronto) per ottenere il rendimento ottimale e per operare gli opportuni aggiustamenti
3. Mescolare ancora per non meno di 3 minuti.
4. Effettuare il trasporto del cls al luogo di getto
5. Se il calcestruzzo è trasportato con autobetoniera: mescolare ancora un minuto e mezzo prima di iniziare lo scarico.

Per operare le scelte fondamentali resta da verificare un ultimo parametro che completi il quadro descrittivo. E' un parametro certamente interessante che è citato solo ora perché relativo e interessante quasi esclusivamente per il calcestruzzo SCC preconfezionato e trasportato in autobetoniera:

6. PERDITA DI LAVORABILITA'

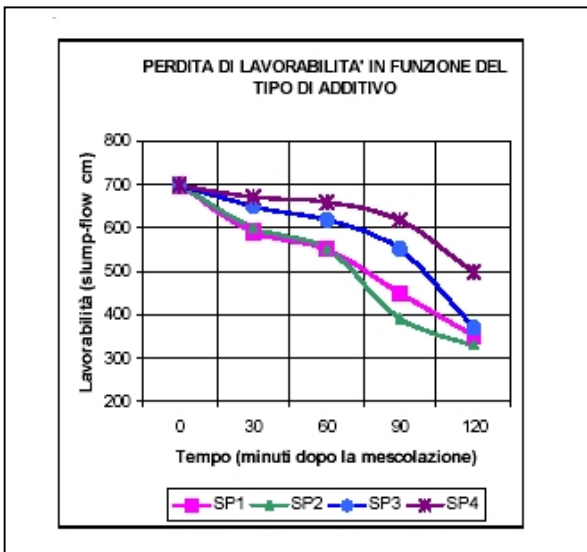


GRAFICO A - [01-07] – Perdita di lavorabilità di un impasto standard fillerizzato con cenere volante (40% peso del cemento) in funzione del tipo di additivo utilizzato:

Per una corretta lettura del diagramma più sopra riportato:

- SP1 – Naftalen-sulfonato condensato con formaldeide
- SP2 – Polimero Acrilico
- SP3 – Copolimero vinilico
- SP4 – Etere policarbossilico modificato

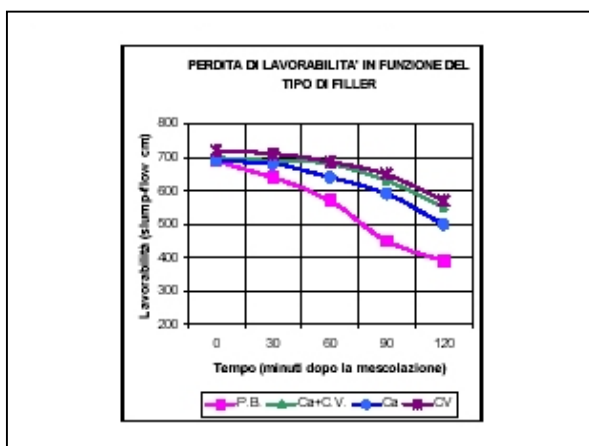


GRAFICO B - Perdita di lavorabilità in funzione del tipo di filler utilizzato (impasto standard (filler = 40% in peso del cemento) e additivo SP4:

Per una corretta lettura del diagramma più sopra riportato:

P.B. - Calcestruzzo superfluido (portato a slump-flow circa 700 tende a segregare e presenta forte bleeding)

Ca+C.V. – Miscela di filler in parti uguali di farina calcarea e cenere volante

Ca – Farina calcarea

C.V. – Cenere Volante

7. PROVE DI RITIRO IGROMETRICO

[08-09] E' una delle caratteristiche che più sono in discussione e per la sua notevole importanza progettuale e per l'influenza che le fessure indotte da ritiro hanno sulla lavorabilità del calcestruzzo. Nei grafici seguenti abbiamo tentato di sintetizzare i risultati di numerosi test condotti in tutto il mondo.

Dalla loro escursione vi è da supporre che la tendenza a fessurare del calcestruzzo SCC non sia grandemente superiore a quella di un mix tradizionale, come alcune presentazioni recenti avevano fatto supporre.

Risulta altresì evidente che il temuto maggior ritiro presentato da miscele contenenti filler calcareo non è verificata in assoluto soprattutto se si rimane nell'ambito dei dosaggi consigliati.

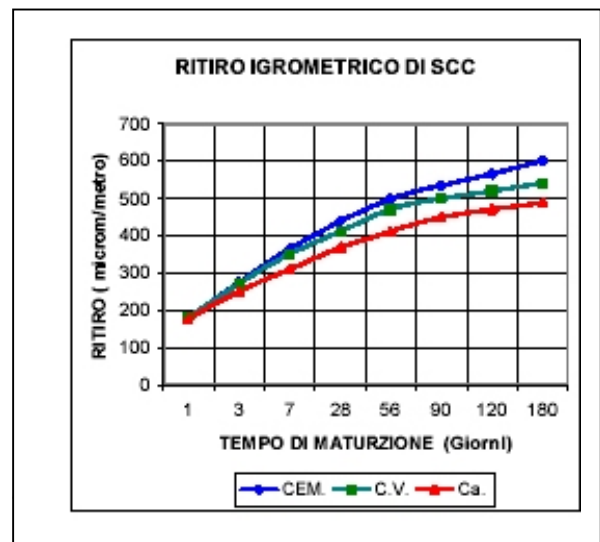


Grafico 4.- ritiro idraulico di cls SCC con dosaggi variabili di filler calcareo a parità di volume di pasta..

Per una corretta lettura dei diagrammi più sopra proposti:

CEM = prova in bianco

Ca = farina calcarea

C.V.= Cenere volante

8. CONCLUSIONI

Allo stato attuale delle conoscenze e delle sperimentazioni fin qui eseguite, nonché delle realizzazioni pratiche di cantiere che ormai sono numerose anche in Italia, è possibile affermare che l'ottenimento delle caratteristiche di auto-compattabilità e di elevata fluidità sono funzione diretta della formulazione di un corretto mix design (corretta distribuzione granulometrica, giusto rapporto tra pasta e aggregati e giusto rapporto tra filler e cemento nella pasta) più che non dalla tipologia dei materiali impiegati. Il raggiungimento di bassi rapporti A/C e il mantenimento nel tempo delle caratteristiche di autocompattabilità sembrano essere funzione del tipo e del dosaggio dell'additivo, in ogni caso componente indispensabile. Il filler calcareo sembra richiedere una maggior cura e una maggior precisione nelle operazioni di dosaggio e di mescolazione. Presenta valori del tutto confrontabili con altri tipi di filler e quindi si fa preferire laddove è predominante e fondamentale la componente: "faccia a vista" perché consente di realizzare impasti di colore omogeneo esenti da macchie di superficie e sufficientemente chiari da essere, se richiesto, colorabili con gli appositi pigmenti.

Il calcestruzzo autocompattante – Self-Compacting Concrete **SCC** non è una chiusa e rigida formula chimica ma un nuovo sistema di produrre calcestruzzo di qualità in grado di soddisfare tutte le richieste tecniche, prestazionali ed estetiche necessarie per l'industria delle costruzioni degli anni 2000.

9. BIBLIOGRAFIA

[01] **S. TAVANO – E. ALBIERO** – "Parametri utili alla valutazione delle proprietà reologiche del calcestruzzo SCC" – Congresso CTE – Pisa 9-11 Novembre 2000

[02] **MAC SpA** - "Il calcestruzzo SCC – Storia e sviluppo" – CD distribuito

[03] **PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI** – "Linee guida sul calcestruzzo strutturale" dicembre 1996

[04] **Chen Jiangxiong – Pu Xinchen – Huang Yubin** – "A study of Self-Compacting-HPC with superfine sand and pozzolanic additives" – Jianshu University, Chongqing – Cina

[05] **AA.VV.** – **CD distribuito da ASSIAD** – Associazione Italiana Produttori di Additivi e Prodotti per Calcestruzzo

[06] **PETER BILBERG** – "Fine mortar Rheology in mix design of SCC" - Swedish Cement and Concrete Research Institut, Svezia

[07] **P.L.J DAMONE, J.JIN** – " Properties of mortar for Self-Compacting Concrete" – Unyver- sity College – London – UK

[08] **VAN KHANH BUI – DENIS MONTGOMERY** – "Drying shrinkage of Self-Compacting Concrete containing milled limestone" – Department of Civil, Mining and Environmental ngeneering, University of Wollogong – Australia

[09] **Franz J. Wombacher** – " Shrinkage and Shrinkage reduction of Self-Compacting Concrete" – Sika R.& D – Zurigo – Svizzera

e ancora:

E.Siviero, R.Marino, V.Valente, M.Meneguzzi – "Self-Compacting Concrete: una nuova realtà nel settore delle costruzioni" – IN CONCRETO n° 35 Luglio/Agosto 2000

TFB – Bollettino del Cemento – " Self- Compactin Concrete" anno 69 – Gennaio 2000

ADDIMENT ITALIA Srl – "Calcestruzzo SCC" – Manuale di Training