

I calcestruzzi autocompattanti, definiti internazionalmente SCC (Self Compacting Concrete), rappresentano una delle innovazioni principali nel campo dei materiali da costruzione.

L'acronimo si riferisce al fatto che tali calcestruzzi possono raggiungere anche i punti più difficili all'interno delle casseforme senza alcuna vibrazione, passando attraverso i ferri d'armatura e senza che si abbia segregazione della miscela durante il getto.

Come è ormai noto, questa caratteristica reologica permette di ottenere vantaggi sulle opere finite con particolare riferimento alla qualità del conglomerato gettato, alla omogeneità nella intera sezione strutturale, al miglioramento delle superfici esposte, senza naturalmente trascurare l'aspetto economico che l'impiego dell'SCC comporta ai fini, soprattutto, del costo in opera dello stesso calcestruzzo.

Durante gli ultimissimi anni, comunque, numerosi autori identificano il calcestruzzo autocompattante sempre con la sigla SCC, dando però una interpretazione rivolta più allo stato indurito che non allo stato fresco del calcestruzzo, definendolo Self Consolidating Concrete.

Questa nuova e/o simile interpretazione ha sicuramente una

ma anche come controllo del prodotto in fase di fornitura, sono già normalizzate dalle norme UNI, facilmente reperibili.

NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Desidero, brevemente, fare lo stato dell'arte circa la principale documentazione normativa disponibile.

A parte l'Italia, che forse è stata tra le prime, se non la prima, a dotarsi di alcune normative UNI di riferimento per le prescrizioni e le metodologie di prova per l'SCC, molti Paesi europei hanno pubblicato Raccomandazioni molto utili.

Un documento importante è senza dubbio "The European Guidelines for Self Compacting Concrete", emanato recentemente da una Commissione europea della quale facevano parte:

- > BIBM: The European Precast Concrete Organisation
- > CEMBUREAU: The European Cement Association
- > ERMCO: The European Ready-mix Concrete Organisation
- > EFCA: The European Federation of Concrete Admixture Associations
- > EFNARC: The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems

La Raccomandazione tratta un po' tutti gli argomenti principali: dalle definizioni alle proprietà fisico-meccaniche, dalle specifiche del calcestruzzo autocompattante agli elementi di mix design e i metodi di qualifica, dando anche riferimenti circa la preparazione dei getti, la posa e la finitura.

La novità sostanziale della Raccomandazione europea, circa i requisiti di base allo stato fresco, sta nel fatto che sono state considerate più classi di specifica nei riguardi delle seguenti caratteristiche:

- > fluidità (slump flow, SF);
- > viscosità (misurata sulla base della velocità di scorrimento, VS₁ o VF₂);
- > capacità di attraversamento dei ferri (scorrimento senza blocking, PA);
- > resistenza alla segregazione (SR).

Il test sulla resistenza alla segregazione è stato introdotto recentemente e il documento riporta anche la relativa apparecchiatura e metodologia.

Nelle tabelle 1-4 riporto le nuove classificazioni della Linea Guida.

Gli esperti europei hanno ritenuto opportuno inserire, come si evince dalle tabelle, una classificazione più ampia rispetto alle specifiche italiane e/o a quelle comunemente impiegate nelle prescrizioni e relative qualifiche delle miscele.

Se ci riferiamo alla prova dello Slump Flow, le tre classi di consistenza individuano tre possibilità di specificare la classe di consistenza.

La ragione è che le caratteristiche reologiche dei calcestruzzi autocompattanti dipendono dal tipo di applicazione:

- > condizioni di confinamento relative alla geometria dell'elemento strutturale e alla quantità, al tipo e alla sistemazione di armature, inserti, coperture e nicchie, ecc.
- > attrezzatura di posa in opera (ad es. pompa, getto diretto

SCC E PAVIMENTAZIONI

di Roberto Marino
Presidente della Commissione
Tecnologica Atecap
ro.marino@itcgr.net

sua validità tecnologica, dal momento che lo sviluppo delle caratteristiche fisico-meccaniche della microstruttura degli SCC, è diversa dal calcestruzzo ordinario.

LA TECNOLOGIA DELL'SCC

La tecnologia dell'SCC si basa essenzialmente nel creare una "massa" fluida che possa scorrere liberamente nelle casseforme e all'interno della quale sono omogeneamente dispersi gli aggregati aventi diametri massimi inferiori (nella maggioranza dei casi) rispetto a quelli comunemente impiegati nei calcestruzzi tradizionali.

La fase fluida è naturalmente costituita da finissimi (cemento e filler), aria, acqua e additivi, in grado di conferire all'impasto una determinata viscosità, necessaria sia per impedire la segregazione dei costituenti solidi nella fase di getto e di indurimento, sia per ottenere idonee caratteristiche reologiche.

La qualifica del calcestruzzo autocompattante è uno dei punti fondamentali dell'intero processo di costruzione.

Valutati i requisiti prestazionali, il tecnologo dovrà scegliere i materiali a sua disposizione e combinare gli stessi in maniera opportuna.

Le apparecchiature che vengono utilizzate in fase di qualifica,

da autobetoniera, benna, tramoggia)

> metodi di posa in opera (ad es. numero e posizione dei punti di scarico)

> metodo di finitura

La linea guida riporta anche una prima tabella di applicazioni evidenziandone le possibili caratteristiche reologiche. (Tabella 5) Vi sono buone probabilità che i normatori del CT 104, la Commissione del CEN che ha emanato la EN 206-1, possano prendere in considerazione un aggiornamento della 206-1 o, come forse più preferibile, pubblicare un'appendice alla stessa norma in modo da renderla subito operativa nei riguardi dei calcestruzzi autocompattanti.

Infine, vorrei citare un nuovo e importantissimo documento che sarà emanato da una Commissione dell'American Concrete Institute, la 237, sull'SCC.

L'intenzione è quella di emanare una raccomandazione/guida che possa aiutare lo sviluppo del prodotto in tutti i suoi aspetti. Vista l'urgenza e la necessità del predetto documento, che dovrebbe uscire nel corso del 2006, l'ACI avrebbe deciso di emetterlo sotto forma di "Emerging Technology Series", ETS.

Il sommario del documento dovrebbe essere il seguente:

- > Chapter 1 - Intraoduction
- > Chapter 2 - Fresh Properties
- > Chapter 3 - Hardened properties
- > Chapter 4 - Selecting mixture proportions
- > Chapter 5 - Production qualification
- > Chapter 6 - Transport, Placement and Finishing
- > Chapter 7 - Specification
- > Chapter 8 - Test methods
- > Chapter 9 - References

Inoltre, il documento conterrà anche diverse realizzazioni che evidenziano il successo dei calcestruzzi autocompattanti, videoclip di getti per illustrare le diverse caratteristiche di fluidità di diversi SCC e videoclip riguardanti i metodi di qualifica utilizzando le apparecchiature già note.

In definitiva, si vuole fornire uno strumento di conoscenza, diffusione e supporto per tutti coloro che dovranno produrre i calcestruzzi autocompattanti e al tempo stesso una raccomandazione autorevole per aiutare lo sviluppo degli SCC nei riguardi di progettisti, imprese e committenze.

CALCESTRUZZI AUTOCOMPATTANTI FIBROSI

L'aggiunta di fibre al calcestruzzo autocompattante ha, ed avrà, sicuramente un riscontro pratico e di grande interesse per l'industria delle costruzioni.

Molti autori hanno dimostrato che l'immissione di fibre d'acciaio porta a valori superiori di resistenza meccanica sia a compressione sia, soprattutto, alla trazione diretta per flessione o per splitting, a condizione che si aumenti progressivamente il contenuto di fibre nel calcestruzzo.

Per i calcestruzzi tradizionali, prodotti da centrali di betonaggio e trasportati con autobetoniera, impiegare dosaggi \geq a 25/30 kg per metro cubo rimane ancora un difficile traguardo da raggiungere, sia a livello produttivo sia in fase di getto,

Tabella 1. Slump-Flow classes

Class	Slump-flow in mm
SF1	550 to 650
SF2	660 to 750
SF3	760 to 850

Tabella 2. Viscosity classes

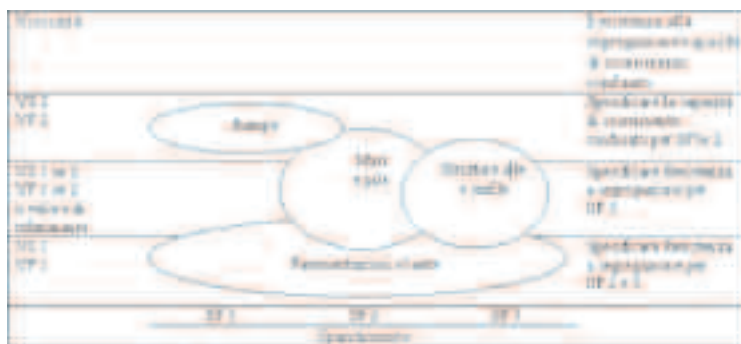
Class	T ₁₀₀₀ : s	V-funnel time in s
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9 to 25

Tabella 3. Passing ability classes (L-box)

Class	Segregation resistance in %
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

Tabella 4. Segregation resistance classes (sieve segregation)

Class	Passing ability
PA1	$\geq 0,80$ with 2 rebars
PA2	$\geq 0,80$ with 3 rebars

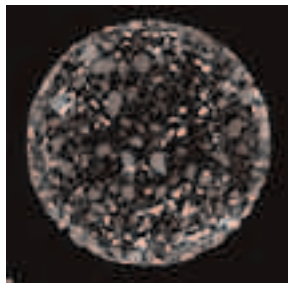
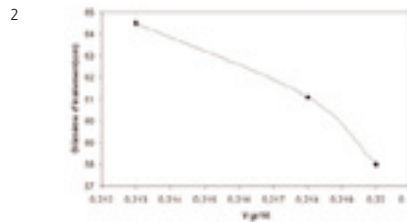
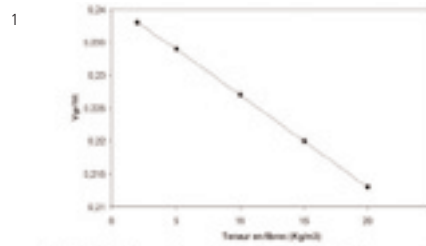


per i calcestruzzi autocompattanti la possibilità di ottimizzare i mix con dosaggi di fibre ben superiori a 30 kg è un traguardo facilmente raggiungibile.

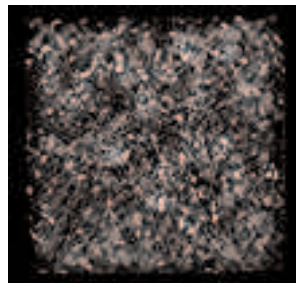
L'ottimizzazione delle miscele di SCC con fibre (FRSCC) parte dalla considerazione che sia la quantità di fibre impiegate negli impasti (metalliche o sintetiche) sia la quantità di aggregato grosso, agiscono nella stessa direzione "reologica", in altri termini portano ad una riduzione delle lavorabilità dell'SCC, riducendo i valori di slump flow o spandimento. Di conseguenza, in funzione del valore di slump da raggiungere, e del contenuto di fibre (elevato o "normale") bisogna opportunamente variare la quantità e la dimensione massima dell'aggregato grosso, il volume della pasta di cemento (matrice) e ottimizzare la quantità di additivo superfluidificante.

I grafici delle figure 1 e 2 dimostrano come l'aumento progressivo del contenuto di fibre a metro cubo di calcestruzzo (in questo caso fino a 20 kg al metro cubo) e l'aumento della quantità a metro cubo di aggregato grosso agiscono sulla riduzione di lavorabilità dell'impasto.

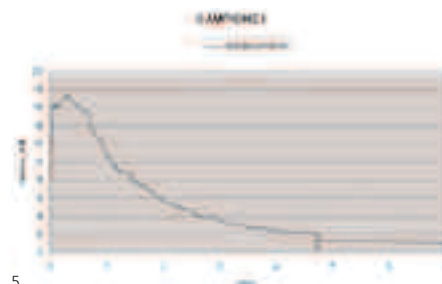
1. Volume fraction of gravels fiber content. 2. Spreading diameter vs volume fraction of gravel. 3, 4. Foto di un campione cilindrico e un travetto confezionati con SCC ad alta resistenza fibroso.



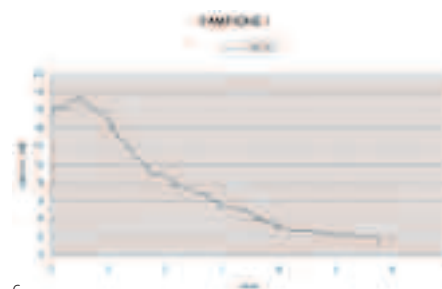
3



4



5



6

Dalla figura 1 si evince che l'aumento della quantità di fibre per metro cubo di SCC comporta necessariamente la riduzione dell'incidenza volumetrica dell'aggregato grosso nell'impasto, per mantenere costante la lavorabilità.

In figura 2 l'aumento dell'aggregato grosso provoca una riduzione dello slump flow del calcestruzzo.

Pertanto, l'ottimizzazione di un calcestruzzo autocompattante fibroso deve seguire opportune regole che mirino ad ottenere l'impiego di determinate quantità di fibre al metro cubo e al tempo stesso raggiungere valori di Slump Flow tali da assicurare l'autocompattabilità.

I vantaggi degli FRSCC sono, così, sinteticamente, riassumibili:
> possibilità di aumentare il contenuto di fibre metalliche fino anche ai 50-60 kg al metro cubo, con l'obiettivo di avere delle caratteristiche fisico meccaniche superiori ai calcestruzzi tradizionali;

> possibilità di impiegare contenuti "normali" di fibre, in ragione di 20-30 kg al metro cubo per modificare, per determinate condizioni d'uso, un comportamento più nella fase di post-fessurazione

Un'altra considerazione fondamentale è che molti autori hanno dimostrato che le fibre disperse nella miscela dell'SCC tendono ad allinearsi nella direzione di getto. Questa "naturale" disposizione delle fibre all'interno del getto influenza positivamente le caratteristiche fisico meccaniche, specialmente quelle di tipo flessionale e costituisce un argomento già valido per applicazioni mirate, come possono essere quelle delle pavimentazioni (slabs o pavimentazioni industriali con finitura)

Le figure 3 e 4 sono due foto eseguite attraverso una TAC, su un campione cilindrico ($\phi 15 \times 30$ cm) e un travetto ($15 \times 15 \times 60$ cm) confezionati con SCC ad alta resistenza fibroso (acciaio) con contenuto di fibre di 50 kg per metro cubo³.

Le foto evidenziano la presenza preponderante delle "teste" delle fibre, soprattutto nel travetto.

Le fibre, di conseguenza, sembrano chiaramente allineate nel senso del getto di calcestruzzo effettuato durante il campionamento. Considerando le dimensioni piuttosto esigue dei provini confezionati in laboratorio e le relative distanze molto ridotte di scorrimento verticale e laterale, è facile intuire che nei getti in opera questo allineamento dovrebbe essere ancora migliore,

La prova a trazione per flessione, eseguita su un travetto di questo tipo di calcestruzzo, ha evidenziato le curve carico-freccia, indicate nelle figure 5 e 6, la prima attraverso trasduttori che hanno rilevato l'abbassamento del campione, la seconda con il CMOD all'intaglio del provino.

La ricerca è ancora in corso e prevede anche la caratterizzazione di malte ad alte resistenze, sempre fibrose, e il comportamento a flessione e a taglio di travi armate a luce reale.

Vorrei, infine, citare un importante contributo dato all'ultimo Convegno Internazionale sull'SCC circa alcune significative prove eseguite da un gruppo di ricercatori del Laboratorio INSA/UPS di Tolosa in Francia.

Il lavoro presentato evidenzia come l'impiego di fibre ibride possa rappresentare un buon compromesso prestazionale considerando l'influenza che hanno le fibre metalliche e le fibre sintetiche strutturali sulle micro e macro fessurazioni.

Le tabelle 6 e 7, riprese dalla pubblicazione, indicano le miscele analizzate di SCC e calcestruzzo tradizionale, con e senza fibre. Il prefisso SCC indica il calcestruzzo autocompattante, VC il calcestruzzo tradizionale, mentre il suffisso FM indica l'impiego delle fibre metalliche, FS quello delle fibre sintetiche strutturali, FMS l'impiego ibrido con i relativi dosaggi. In tabella 7 sono invece riportati i dati della lavorabilità.

La resistenza media di tutti i calcestruzzi si è attestata a circa

Tabella 6. Mix designs

Dosage (kg m ⁻³)	SCCFM	SCCFMS	SCCFs	SCC	VCFM	VCFMS	VCFS
Cement	351	350	340	307	323	321	320
Filler	220	219	216	168			
Sand	912	909	882	810	873	869	866
Gravel	571	569	618	550	969	964	961
Superplasticizer	4.21	4.2	4.08	3.07	1.54	1.53	1.53
Metal fibers (FM)	20	10	0	0	20	10	0
Synthetic fibers (FS)	0	4.5	9	0	0	4.5	9
Total water	239	239	231	209	198	197	196

Tabella 7. Workability characteristics

	SCCFM	SCCFMS	SCCFs	SCC	VCFM	VCFMS	VCFS
Average spreading diameter	640 mm	690	630	67			
Lauance width	11 mm	19	6	0			
Flow time t ₁₀	1.5 s	1.2	1.6	1.2			
Average J-Ring diameter	500 mm	540	510	575			
Flow time t ₁₀ J-Ring	3.0	3.3	8.3	3.0			
specific gravity (kg m ⁻³)	2340	2320	2322	2367			
Entrapped air	2.1%	1.1	1.1	1.4			
Stability at 5-mm sieve	11.3%	12.5	9.3	1.5			
Flow time V-funnel	blocking	4.8s	3.2	4.8			
Slump					170mm	150	125

38-39 MPa. Nel diagramma carico-deformazione, contenuto in figura 5, sono evidenziati i comportamenti dei provini prismatici alla prova flessionale.

Si osserva come l'immissione di fibre metalliche sposta il picco di rottura verso valori più elevati, mentre l'aggiunta (apprezzabile) di fibre sintetiche strutturali non modifica sostanzialmente il picco di rottura ma modifica il comportamento post fessurazione del materiale.

Valutando la curva relativa all'SCC fibroso ibrido (impiegando fibre metalliche e sintetiche strutturali insieme) si evince un ottimo comportamento sia in fase di rottura flessionale sia in quella di post fessurazione.

Gli autori concludono che le due tipologie di fibre si comportano in maniera diversa in funzione dello stato progressivo di carico del campione.

Le fibre metalliche agiscono in maniera più determinante all'inizio del carico, corrispondente all'apertura delle microfessurazioni; le fibre sintetiche più nella fase di post rottura dove sono presenti prevalentemente le macrofessurazioni.

Osservando poi tutte le curve carico-deformazione, comprese cioè anche quelle relative al calcestruzzo tradizionale, si osserva come il legame matrice-fibra sia migliore nel caso di calcestruzzi autocompattanti rispetto ai calcestruzzi ordinari.

L'IMPIEGO DI SCC NELLE PAVIMENTAZIONI

In Italia non si hanno apprezzabili esperienze circa l'utilizzo di SCC nelle pavimentazioni industriali, dove vengono comunemente utilizzate finiture a spolvero o a pastina.

In letteratura sono presenti, invece, alcuni lavori realizzati su pavimenti armati (slabs), riconducibili a getti di platea o fondazione più o meno armata di cui si hanno significative esperienze anche in Italia.

Se consideriamo la pavimentazione industriale, ritengo significativo illustrare uno dei pochissimi contributi presentati al Convegno Internazionale dell'SCC di Chicago 2005.

Si tratta di un'esperienza fatta in Germania, dove hanno impiegato per il getto di alcune lastre il calcestruzzo autocompattante con fibre metalliche (in ragione di 30 kg al metro cubo) e senza fibre.

L'obiettivo era quello di dimostrare che le diverse metodologie di finitura delle pavimentazioni si adattavano bene anche nel caso di impiego di SCC.

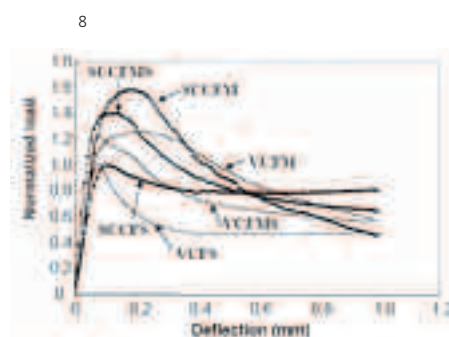
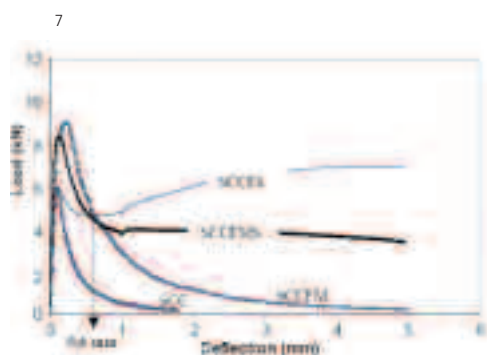
Le lastre avevano una dimensione contenuta: 4x6,15x0,20 metri, il getto è avvenuto posizionando la canale dell'autobetoniera al centro della piastra, per permettere al calcestruzzo di autolivellarsi. Solo una rifinitura finale si è resa necessaria soprattutto agli orli del pavimento con una normale

staggia. Le figure 7-11 illustrano alcuni particolari dei getti. Gli autori hanno sottoposto la superficie dell'SCC a diversi trattamenti (spianatura, levigatura, applicazioni di compositi cemento/materiali solidi, anche se non chiaramente specificati). Le prove di trazione eseguite sulla superficie delle lastre per misurare la forza di adesione degli spolveri hanno dato esiti molto positivi. Circa i tempi di finitura, gli autori sottolineano l'importanza della "pratica" di cantiere, ma affermano come i calcestruzzi autocompattanti, una volta gettati, presentano generalmente tempi di indurimento inferiori ai calcestruzzi tradizionali.

CONCLUSIONI

I calcestruzzi autocompattanti potranno certamente dare in futuro un notevole contributo alle pavimentazioni armate e a quelle industriali. Al momento, sulla base delle esperienze raccolte, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- > l'SCC ci permette di aumentare in modo considerevole il contenuto di fibre metalliche e fibre sintetiche strutturali negli impasti di calcestruzzo, con ottimi benefici fisico-meccanici, soprattutto in termini di duttilità del materiale;
- > platee e fondazioni armate rappresentano già un campo di applicazione di sicuro interesse;
- > per le pavimentazioni industriali è necessario attendere ulteriori esperienze anche se le prime indicazioni ci confortano in tal senso.



9



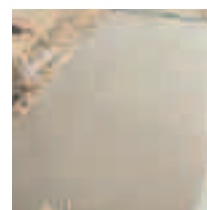
10



11



12



13

Note 1. VS è il tempo rilevato allo spandimento di 500 mm con la prova del cono. 2. VF è il tempo di svuotamento dell'imbuto a V (V-Funnel). 3. La ricerca fa parte di un progetto cofinanziato dal MURST sui calcestruzzi fibrosi. In particolare l'Università dell'Aquila è incaricata di svolgere la ricerca sugli SCC fibrosi. La TAC sui campioni di fibroso è stata eseguita presso l'Università dell'Aquila.

7. Load-deflection curves for all SCCs (fiber-reinforced or not).
 8. Adjusted load-deflection curves for vibrated and self-compacting concretes. 9. Particolare delle lastre da gettare. 10. Inizio getto, le tracce rosa indicano l'avanzamento del calcestruzzo (rilievo cronometrico). 11. Fase di finitura della pavimentazione con elicottero. 12. Saggiatura della superficie dopo il getto. 13. Particolare del pavimento finito