

# HPFR-SCC HYBRID POLIMERIC FIBER REINFORCED – SELF COMPACTING CONCRETE

Giovanni Mantegazza

*Direttore Tecnico Ruredil –San Donato Milanese - Italy*

Alessandra Gatti

*Responsabile Tecnologie dei Compositi Fibrosi Ruredil–San Donato Milanese - Italy*

**SOMMARIO:** In questa memoria vengono esposti i primi risultati sperimentali ed corredati anche dalle prime applicazioni di un HPFR-SCC, cioè un cls autocompattante, con fibre polimeriche ibride. L'impiego delle fibre ibride polimeriche nel cls, migliora le proprietà strutturali quali la duttilità, la resistenza alla fatica, l'impatto, l'abrasione oltre a ridurre il ritiro plastico. Tuttavia è noto che le fibre tendono ad aumentare la tixotropia degli impasti, riducendo conseguentemente la lavorabilità. Questo comportamento può essere vantaggioso nel confezionamento dei cls autocompattanti, dove le fibre polimeriche ibride, per le loro proprietà tixotropiche, sostituiscono in parte o totalmente gli aggregati fini, indispensabili per realizzare un buon SCC. Inoltre queste fibre polimeriche ibride, conferiscono al SCC le note proprietà meccaniche dei cls fibrosi. I risultati ottenuti in termini di reologia sono soddisfacenti anche se per il momento limitati ad alcuni mix design basati su alcuni tipi di cemento e del particolare additivo policarbossilato (combo-type superplasticizers) utilizzati. Sono in corso prove meccaniche per valutare la duttilità, e la resistenza all'impatto di questi HPFR-SCC in confronto con quelle di un tradizionale cls fibrorinforzato con fibre polimeriche ibride.

## 1 INTRODUZIONE

Con il termine di calcestruzzo autocompattante SCC si indica una nuova categoria di calcestruzzo prestazionale, in grado di essere messo in opera e di raggiungere i punti più difficili delle casseforme senza necessitare né di vibrazione né di alcuna forza esterna se non quella rappresentata dal peso proprio. Le medesime prestazioni devono essere richieste ad un SCC contenente fibre.

L'SCC è un calcestruzzo dotato di un'adeguata coesione tra gli inerti e la pasta di cemento che contemporaneamente impartisce un'elevata mobilità allo stato fresco e un'elevata resistenza alla segregazione sia durante la messa in opera sia a riempimento ottenuto del cassero, evitando così la sedimentazione degli aggregati grossi sul fondo e la conseguente risalita di acqua di bleeding in superficie.

Dal punto di vista della composizione i calcestruzzi autocompattanti presentano caratteristiche diverse rispetto ai tradizionali conglomerati cementizi, che principalmente consistono in: un maggior volume

di materiale con finezza inferiore a 150 µm, un minor contenuto degli aggregati grossi per ridurre l'attrito interno e nell'utilizzo di additivi modificatori di viscosità, in grado di conferire alla miscela la giusta reologia.

Il calcestruzzo autocompattante può essere schematizzato da un sistema costituito da due fasi di cui una - la pasta - costituisce il fluido trasportatore; l'altra, invece, costituita dagli aggregati rappresenta la fase "trasportata".

Pertanto la reale possibilità di confezionare un calcestruzzo autocompattante di elevata fluidità è associata alla necessità di aumentare il volume di materiale finissimo introducendo l'impiego di filler quali fly ash, silice fume o carbonato, che costituisce il fluido trasportatore, a scapito di un minor volume di aggregato grosso, che deve essere trasportato.

Per non pregiudicare le capacità di scorrimento del sistema e al fine di limitare il volume d'acqua occorre utilizzare un riduttore d'acqua ad altissima efficienza come ERGOMIX SCC. Tuttavia, l'elevata stabilità ed assenza di bleeding viene



conseguita introducendo un additivo moderatore di viscosità ERGOMIX VEA che consente di lasciare sostanzialmente immutata l'elevata deformabilità garantendo un decisivo incremento della coesione del calcestruzzo. Nello schema, qui sotto riportato (figura 1 e 2), viene evidenziato il comportamento del calcestruzzo che fluisce attraverso le barre d'armatura utilizzando il modello del calcestruzzo autocompattante come sistema bifasico.

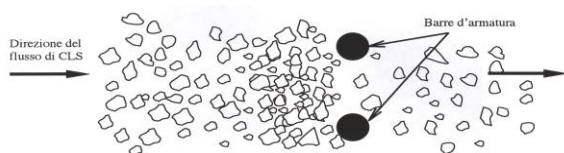


Figura 1 - Schematizzazione del "comportamento" (flusso) del calcestruzzo ordinario superfluido attraverso le barre di armatura

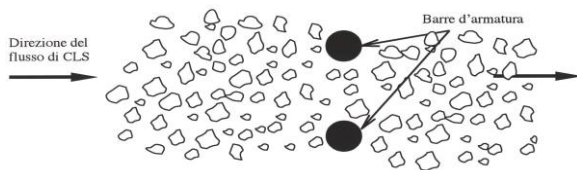


Figura 2 - SCC

Nel flusso di un calcestruzzo superfluido, all'approssimarsi di un restringimento di sezione all'interno del cassero (ferro d'armatura), la differenza di velocità degli aggregati e della "pasta" e l'aumento del numero di collisioni tra i granuli dell'aggregato provocano un notevole incremento della probabilità che il flusso si arresti (fenomeno di bloccaggio); al contrario, il calcestruzzo autocompattante possiede una elevata resistenza alla segregazione e conserva un'uniforme distribuzione di tutti gli elementi che lo compongono: cemento, filler, additivi ed acqua.

## 2 SCOPO DELLA RICERCA

Lo scopo di questa ricerca è quello di studiare le proprietà autolivellanti ed autocompattanti di particolari cls fibrorinforzati con fibre polimeriche ibride strutturali HPFR-SCC, confrontando i risultati con i tradizionali SCC. In particolare si è voluto verificare se le fibre polimeriche strutturali RXF54 riducono la fluidità e la lavorabilità nel tempo dei cls con esse confezionate. Quindi abbiamo sviluppato dei HPFR-SCC in cui le fibre sostituiscono in parte o totalmente il filler ed agiscono pertanto anche come agente coesivo, oltre

a migliorare nettamente le proprietà meccaniche (duttilità) del cls. I migliori risultati in termini di reologia sono stati ottenuti impiegando un particolare tipo di additivo policarbossilato (combo-type superplasticizers) a catene polietere a lunghezza diversa. Infine sono in corso prove meccaniche (sforzo/deformazione - indici di duttilità, ecc.) confrontando un cls fibrorinforzato tradizionale con un SCC impiegando in entrambi i casi le fibre polimeriche ibride strutturali RXF54.

Il possibile utilizzo di questi HPFR-SCC può essere quello delle pavimentazioni civili ed industriali (slab on ground) e negli elementi prefabbricati quali lastre di copertura, tubi, fosse biologiche, canalette, ecc.

## 3 MATERIALI

### 3.1 Cementi:

CEM II/B-S 32,5 R. Cemento portland alla loppa d'altoforno (tenore di loppa compreso tra 21 e 35%) conforme alla norma UNI EN 197-1

CEM II/A-LL 42,5R. Cemento portland al calcare (tenore di calcare compreso tra 6 e 20%) conforme alla norma UNI EN 197-1

CEM II/A-S 42,5R. Cemento portland alla loppa d'altoforno (tenore di loppa compreso tra 6 e 20%) conforme alla norma UNI EN 197-1

CEM I 52,5R. Cemento portland conforme alla norma UNI EN 197-1

### 3.2 Filler:

Carbonato di Calcio, conforme alla norma EN 12620, con un passante percentuale al setaccio 63  $\mu\text{m}$  > 85% e superficie specifica Blaine pari a 3350  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

### 3.3 Aggregati :

Gli inerti impiegati sono tre: due sabbie con diametro massimo 4 mm e modulo di finezza 2,54, ed una ghiaia con diametro massimo di 16 mm. Tutti gli inerti sono di origine alluvionale. Per le sabbie il passante percentuale al setaccio 0,125 mm è da ritenersi zero, pertanto esse non sono da considerarsi nel computo del contenuto totale di finissimi.

### 3.4 Additivi:

Superfluidificante policarbossilato "Combo-type superplasticizer-CtS-" Ergomix CtS.

I CtS sono additivi policarbossilati raggruppabili nelle 5 categorie di tabella 1. La struttura



molecolare dell'Ergomix CtS è intermedia tra quella del gruppo I e IV di tabella 1. Questo nuovo additivo ha catene di polietilene ossido (PEO) a lunghezza diversa (corta, inferiore a 15 moli e lunga superiore a 130 moli). Le lunghe catene sono state introdotte per aumentare la dispersione delle particelle di cemento secondo il noto meccanismo dell'ingombro sterico, e per aumentare le resistenze meccaniche alle brevi stagionature.

Quelle piu' corte, invece, influenzano direttamente la velocità di adsorbimento sulle particelle di cemento, in base al loro rapporto molare con i gruppi carbossilici della catena principale dell'additivo.

Tabella 1

I	$\begin{array}{c} \text{R}_1 \qquad \qquad \text{R}_1 \\   \qquad \qquad   \\ \text{H}-(\text{CH}_2-\text{C})_g-(\text{CH}_2-\text{C})_m-\text{H} \\   \qquad \qquad   \\ \text{C}=\text{O} \qquad \text{C}=\text{O} \\   \qquad \qquad   \\ \text{OM} \qquad \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{R}_2 \\ (\text{R}_1=\text{H or CH}_3 \quad \text{R}_2=\text{CH}_3 \quad \text{M}=\text{Metalion}) \end{array}$
II	$\begin{array}{c} \text{H}-(\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH})_m-\text{H} \\   \qquad   \qquad   \qquad   \\ \text{O}=\text{C} \quad \text{C}=\text{O} \quad \text{CH}_2\text{O}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{R}_1 \end{array}$
III	$\begin{array}{c} \text{R} \qquad \qquad \text{R} \qquad \qquad \text{R} \qquad \qquad \text{R} \\   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \\ \text{CH}-\text{CH}_2 \quad \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_m \quad \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_p \quad \text{(Z)}_s \quad \text{CH}_2-\text{CH} \\   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \\ \text{CH}_2 \qquad \text{C}=\text{O} \qquad \text{C}=\text{O} \qquad \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{R} \qquad \text{SO}_3\text{M} \\ \text{SO}_3\text{M} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{(R=CH}_3, \text{M=Na)} \\ \text{H} \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_g \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_m \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_p \left( \text{C}-\text{CH}_2 \right)_s \text{H} \\   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \qquad \qquad   \\ \text{C}=\text{O} \qquad \text{C}=\text{O} \qquad \text{Y} \qquad \text{X} \\ \text{OM} \qquad \text{OR} \qquad \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{R} \qquad \text{SO}_3\text{M} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{(R=CH}_3, \text{H} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{X=CH}_2, \text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{Y=CH}_2, \text{C=O}) \end{array}$
IV	$\begin{array}{c} -(A)_g-(B)_m-(C)_p \quad \left( \begin{array}{l} n > 60 \\ g+m+p=10-20 \end{array} \right) \\ \text{COONa}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{H} \end{array}$
V	$\begin{array}{c} \text{R}_2 \\   \\ (\text{AO})_n \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H}-(\text{CH}_2-\text{C})_g-(\text{CH}_2-\text{C})_m-\text{H} \\   \qquad \qquad   \\ \text{R}_1 \qquad \qquad \text{R}_1 \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{(D)-Crosslinked point} \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \qquad   \\ \qquad \qquad \qquad \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H}-(\text{CH}_2-\text{C})_g-(\text{C}-\text{CH}_2)_m-\text{H} \\   \qquad \qquad   \\ \text{R}_1 \qquad \qquad \text{R}_1 \\   \qquad \qquad   \\ \text{C}=\text{O} \qquad \text{C}=\text{O} \\   \qquad \qquad   \\ \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\   \qquad \qquad   \\ (\text{AO})_n \qquad \text{R}_2 \\ \text{AO: Alkyleneoxide} \end{array}$

Superfluidificante policarbossilato tradizionale Ergomix SCC, con struttura molecolare del gruppo I ( vedi tabella 1).

Agente modificatore di viscosità Ergomix VEA a base di biopolimeri modificati , in grado di modificare la reologia del calcestruzzo autocompattante, aumentandone la capacità di resistere alla segregazione (allo stato di riposo).

### 3.5 Fibre :

RXF 54 fibre polimeriche ibride strutturali di un copolimero a base di polietilene/polipropilene, aventi lunghezza 54 mm e rapporto d'aspetto (l/d) pari a 780. Questa tipologia di fibre non subisce i fenomeni legati alla corrosione ed è chimicamente inerte. In tabella 2 sono riassunte le proprietà delle fibre RXF 54.

Tabella 2 Caratteristiche fibre RXF54

Peso specifico	0,91 g/cm <sup>3</sup>
Lunghezza	54 mm
Diametro Equivalente	0,069 mm
Rapporto d'aspetto	780
Denier	3020
Resistenza acidi e basi	Totale

## 4 STUDIO DELLE MISCELE SCC E HPFR - SCC

Sono state realizzate 4 tipologie di miscele: due destinate al settore pre-cast e due per il ready-mix.

Miscela N°1- SCC tradizionale per pre-cast

Miscela N° 2- HPFR-SCC per pre-cast

Miscela N°3- SCC tradizionale per ready-mix

Miscela N° 4-HPFR-SCC per ready-mix

Nelle miscele HPFR-SCC è stata usata la fibra RXF 54 a due diversi dosaggi volumetrici: 0,22 % e 0,28% (v/v). Inoltre non si è utilizzato il carbonato di calcio quale filler coesivizzante.

Le fibre vengono aggiunte durante il confezionamento del cls con gli inerti, per favorirne una perfetta dispersione. In generale la dispersione delle fibre nel calcestruzzo, dopo il suo confezionamento, è ostacolata dai prodotti di idratazione del cemento che tendono a concentrare le fibre solo in alcune parti del conglomerato, compromettendo le prestazioni meccaniche dell'impasto indurito.



Per le miscele 1 e 2 (vedi tabella 3), destinate al pre-cast, sono stati impiegati tre differenti cementi: CEM I 52,5R, CEM II/A-LL 42,5R e CEM II/A-S 42,5R.

Per le miscele 3 e 4 (vedi tabella 3), destinate al ready-mix sono stati impiegati due tipi di cementi: CEM II/A-LL 42,5R e CEM II/B-S 32,5R.

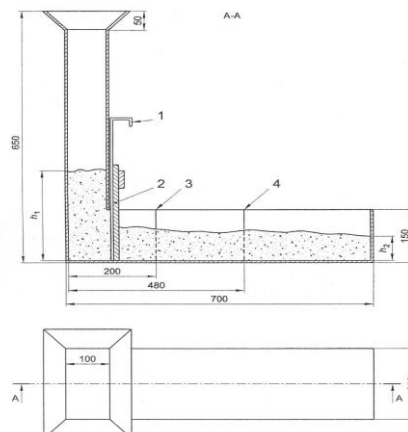


Figura 3 – Schema di prova L-Box

Tabella 3 – Mix design miscele

	MISCELA 1	MISCELA 2	MISCELA 3	MISCELA 4
Sabbia fine (0,3/0,1 mm)	440 kg/m <sup>3</sup>	440 kg/m <sup>3</sup>	440 kg/m <sup>3</sup>	440 kg/m <sup>3</sup>
Sabbia (4,0/0,5 mm)	350 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>
Ghiaia (16,0/5,0 mm)	810 kg/m <sup>3</sup>	810 kg/m <sup>3</sup>	810 kg/m <sup>3</sup>	810 kg/m <sup>3</sup>
Cemento	430 kg/m <sup>3</sup>	430 kg/m <sup>3</sup>	320 kg/m <sup>3</sup>	320 kg/m <sup>3</sup>
Carbonato di Calcio	115 kg/m <sup>3</sup>	=====	220 kg/m <sup>3</sup>	=====
RXF 54	=====	2,0 e 2,5 kg/m <sup>3</sup>	=====	2,0 e 2,5 kg/m <sup>3</sup>
Acqua	195 kg/m <sup>3</sup>	195 kg/m <sup>3</sup>	175 kg/m <sup>3</sup>	175 kg/m <sup>3</sup>
Additivo superfl.	ERGOMIX SCC 1- 1,1%	ERGOMIX CtS 1-1,1%	ERGOMIX SCC 1,1-1,3%	ERGOMIX C 1,1-1,3%
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%	=====	ERGOMIX VEA 0,05%	=====

## 5 DESCRIZIONE DELLE PROVE

Il programma delle prove si è articolato nella valutazione allo stato fresco di miscele autocompattanti, destinate al pre-cast ed al ready-mix, secondo quanto previsto dalla norma UNI 11040 “ Calcestruzzo autocompattante. Specifiche, caratteristiche e controlli”.

Nello specifico la reologia degli impasti è stata valutata secondo la UNI 11041 - Determinazione dello spandimento e del tempo di spandimento, la UNI 11043 - Determinazione dello scorrimento confinato mediante scatola ad L ed, in alcuni casi, secondo la UNI 11042 - Determinazione del tempo di efflusso dall'imbuto.



### *5.1 Determinazione dello spandimento e del tempo di spandimento (Slump Flow)*

La misura dello spandimento si effettua utilizzando il cono di Abrams, lasciando che il calcestruzzo fresco versato nel cono si spanda liberamente sulla base di appoggio.

La norma prevede di misurare il diametro medio di spandimento ( $> 600$  mm) ed il tempo impiegato dal calcestruzzo per espandersi sino al diametro di 500 mm ( $\leq 12$  secondi).

### *5.2 Determinazione del tempo di efflusso dall'imbuto (V-Funnel)*

Il test fornisce indicazioni sulla deformabilità dell'impasto.

La prova consiste nella misura del tempo impiegato da un volume noto di calcestruzzo a fuoriuscire da un imbuto a forma di V di dimensioni standardizzate.

Il tempo di efflusso deve essere compreso tra 4 e 12 secondi. La norma prevede la facoltà di effettuare una seconda prova in base alla quale, dopo un periodo di riposo del calcestruzzo nell'imbutto per 5 minuti, la differenza del tempo di efflusso dal valore iniziale non superi i 3 secondi.

### *5.3 Determinazione dello scorrimento confinato mediante scatola ad L (L-Box)*

la prova valuta la capacità del calcestruzzo autocompattante a scorrere senza bloccarsi anche in prossimità di barre d'armatura (vedi figura 3). Occorre rilevare le due altezze  $H_2$  ed  $H_1$  in almeno tre diverse posizioni equidistanti, determinarne il valore medio e calcolare il rapporto  $H_2/H_1$ .

Tale valore deve essere  $> 0,8$ .

Ogni miscela è stata testata tre volte al fine di verificare la riproducibilità dei dati sperimentali ottenuti.

Per quanto riguarda le miscele HPFR-SCC (con fibre RXF 54), si è apportata una modifica alla L-Box rispetto allo standard. In particolare l'ostacolo era costituito da due barre (anziché tre)

di diametro 16 mm con luce libera di 56 mm (contro i 38 mm previsti).

Il motivo di questa modifica dipende dalla lunghezza della fibra (54 mm) per cui l'interspazio tra le barre (38 mm) sarebbe geometricamente non adatto, così come non lo sarebbe se usassimo un inerte con diametro superiore ai 25-30 mm.

Inoltre è giustificato aumentare la distanza tra le barre perché il cls fibrorinforzato con RXF54 viene impiegato per sostituire l'armatura lenta (reti e barre di acciaio-rinforzo secondario) nelle pavimentazioni slab on round, negli elementi prefabbricati quali coperture, tubi, box, canalette ,ecc.

Le tabelle 4,5 e 6 riportano rispettivamente i risultati ottenuti per le miscele 1 e 2 con le tre differenti tipologie di cementi. La prova di slump flow è stata ripetuta dopo 20 minuti per valutare il mantenimento della lavorabilità dei diversi impasti.

## 6 RISULTATI

### *6.1 Miscela per pre-cast*

Le tabelle 4,5 e 6 riportano rispettivamente i risultati ottenuti per le miscele 1 e 2 con le tre differenti tipologie di cementi. La prova di slump flow è stata ripetuta dopo 20 minuti per valutare il mantenimento della lavorabilità dei diversi impasti.

### *6.2 Miscela per ready mix*

Le tabelle 7 e 8 riportano rispettivamente i risultati ottenuti per le miscele 3 e 4 con i due differenti cementi. La prova di slump flow è stata ripetuta dopo 20 minuti per valutare il mantenimento della lavorabilità dei diversi impasti.



Tabella 4 - Risultati prove per miscele realizzate con CEM I 52,5R

<b>CEM I 52,5R</b>									
	MISCELA 1			MISCELA 2			MISCELA 2-BIS		
Carbonato di Calcio	115 kg/m <sup>3</sup>			=====			=====		
RXF 54	=====			2,0			2,5 kg/m <sup>3</sup>		
Acqua	195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>		
Additivo superfluidificante	ERGOMIX SCC 1%			ERGOMIX CtS 1%			ERGOMIX CtS 1,1%		
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%			=====			=====		
Slump Flow (mm)	770	800	780	790	780	780	750	750	700
Tempo di spandimento (s)	2,49	2,61	2,54	2,70	2,82	2,76	3,00	2,78	2,86
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	770	790	770	780	800	770	740	750	700
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,88	0,90	0,86	0,83	0,83	0,85	0,83	0,84	0,81
V-funnel: Tempo di efflusso iniziale (s)	5,89	6,00	5,72	6,75	7,00	6,50	8,20	8,00	8,78
V-funnel: Tempo dopo 5 minuti (s)	7,09	6,50	6,86	8,46	8,23	8,18	9,93	9,26	10,78

Tabella 5 - Risultati prove per miscele realizzate con CEM II/A-LL 42,5R

<b>CEM II/A-LL 42,5R</b>									
	MISCELA 1			MISCELA 2			MISCELA 2-BIS		
Carbonato di Calcio	115 kg/m <sup>3</sup>			=====			=====		
RXF 54	=====			2,0			2,5 kg/m <sup>3</sup>		
Acqua	195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>		
Additivo superfluidificante	ERGOMIX SCC 1,1%			ERGOMIX CtS 1%			ERGOMIX CtS 1,1%		
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%			=====			=====		
Slump Flow (mm)	730	750	770	560	580	560	550	570	570
Tempo di spandimento (s)	2,88	2,75	2,84	10,41	10,78	10,55	11,26	11,74	11,56
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	700	740	750	560	580	540	520	550	570
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,85	0,83	0,85	0,76	0,73	0,65	0,75	0,74	0,77



Tabella 6 - Risultati prove per miscele realizzate con CEM II/A-S 42,5R

<b>CEM II/A-S 42,5R</b>									
	MISCELA 1			MISCELA 2			MISCELA 2-BIS		
Carbonato di Calcio	115 kg/m <sup>3</sup>			=====			=====		
RXF 54	=====			2,0			2,5 kg/m <sup>3</sup>		
Acqua	195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>			195 kg/m <sup>3</sup>		
Additivo superfluidificante	ERGOMIX SCC 1%			ERGOMIX CtS 1%			ERGOMIX CtS 1%		
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%			=====			=====		
Slump Flow (mm)	780	790	790	770	760	800	780	760	770
Tempo di spandimento (s)	2,75	2,80	2,70	2,93	3,26	3,16	3,28	3,33	3,56
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	780	790	780	760	760	780	770	770	770
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,89	0,85	0,87	0,84	0,86	0,86	0,83	0,83	0,85
V-funnel: Tempo di efflusso iniziale (s)	4,66	4,71	4,70	5,90	6,10	5,85	7,00	6,85	6,78
V-funnel: Tempo dopo 5 minuti (s)	5,70	5,23	5,18	7,05	7,26	7,06	8,26	8,21	8,07

Tabella 7 Risultati prove per miscele realizzate con CEM II/A-LL 42,5R

<b>CEM II/A-LL 42,5R</b>									
	MISCELA 3			MISCELA 4			MISCELA 4-BIS		
Carbonato di Calcio	220 kg/m <sup>3</sup>			=====			=====		
RXF 54	=====			2,0			2,5 kg/m <sup>3</sup>		
Acqua	175 kg/m <sup>3</sup>			175 kg/m <sup>3</sup>			175 kg/m <sup>3</sup>		
Additivo superfluidificante	ERGOMIX SCC 1,1%			ERGOMIX CtS 1,1%			ERGOMIX CtS 1,1%		
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%			=====			=====		
Slump Flow (mm)	760	790	780	580	550	570	540	550	550
Tempo di spandimento (s)	3,07	3,21	2,98	11,36	12,12	12,25	12,52	12,69	12,50
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	750	790	780	570	540	570	500	530	540
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,82	0,82	0,81	0,73	0,75	0,75	0,72	0,72	0,73

Tabella 8 - Risultati prove per miscele realizzate con CEM II/B-S 32,5R

CEM II/B-S 32,5R									
	MISCELA 1			MISCELA 2			MISCELA 2-BIS		
Carbonato di Calcio	220 kg/m <sup>3</sup>			=====			=====		
RXF 54	=====			2,0			2,5 kg/m <sup>3</sup>		
Acqua	175 kg/m <sup>3</sup>			175 kg/m <sup>3</sup>			175 kg/m <sup>3</sup>		
Additivo superfluidificante	ERGOMIX SCC 1,3%			ERGOMIX CtS 1,2%			ERGOMIX CtS 1,2%		
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,05%			=====			=====		
Slump Flow (mm)	800	780	780	760	770	770	780	780	780
Tempo di spandimento (s)	3,13	3,00	3,28	3,38	3,02	3,09	3,17	3,20	3,16
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	790	760	780	760	770	760	780	770	770
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,85	0,88	0,86	0,83	0,85	0,85	0,84	0,86	0,85
V-funnel: Tempo di efflusso iniziale (s)	5,21	4,96	5,20	5,80	5,68	5,77	6,32	6,66	6,48
V-funnel: Tempo dopo 5 minuti (s)	6,15	6,00	6,09	6,94	6,68	6,85	7,54	7,79	7,53

Come si evince dai dati riportati, l'introduzione delle fibre RXF 54 consente la realizzazione di calcestruzzi autocompattanti, senza l'impiego di filler e di additivo modificatore della viscosità.

Le prove di slump flow e della L-Box, entrambe fondamentali per valutare la capacità di riempimento, di resistenza alla segregazione e di scorrimento in presenza di fitte armature o variazioni di quote, sono degli indicatori della buona reologia degli impasti HPFR-SCC.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti con il cemento CEM II/A-LL 42,5R per le miscele HPFR-SCC si suppone che vi sia un'influenza dell'additivo superfluidificante Ergomix CtS sulla composizione mineralogica del cemento. Riteniamo, comunque, incoraggianti, anche questi valori, i quali sono di poco inferiori ai limiti di accettazione prefissati dalla normativa.

## 7 DISCUSSIONE

Da questi primi risultati sperimentali possiamo tracciare qualche considerazione, anche se non definitiva, sulle possibilità di realizzare degli HPFR-SCC senza l'impiego di parti fini.

L'introduzione delle fibre RXF 54 non influenza particolarmente le proprietà reologiche degli impasti tranne che per le miscele confezionate con il cemento CEM II/A-LL 42,5R, dove lo slump flow e la L-Box sono leggermente al di sotto dei limiti previsti dalla norma per un SCC.

I risultati ottenuti dipendono dal sinergismo di due fattori:

- l'impiego delle fibre RXF 54 che, oltre a conferire duttilità al calcestruzzo, agendo sulla tixotropia dell'impasto, svolgono l'azione di filler, sostituendosi ai tradizionali prodotti impiegati (carbonato di calcio, cenere da carbone),
- l'impiego di un particolare superfluidificante policarbossilato in grado di disperdere completamente le fibre nell'impasto in modo che le fibre medesime possano agire in fase plastica come tixotropizzanti.

L'additivo superfluidificante utilizzato non è un additivo specifico per il confezionamento di calcestruzzi autocompattanti, pertanto non necessita di un additivo modificatore della reologia dell'impasto che agisca sul limite di





scorrimento della pasta cementizia contrastandone la segregazione.

Inoltre Ergomix CtS è funzionale alle fibre RXF 54 nel progettare una miscela caratterizzata da un'elevata fluidità allo stato fresco in assenza di segregazione che si muove senza necessità di vibrazione, ovvero una miscela "definibile" autocompattante.

Il HPFR-SCC così progettato può facilmente deformarsi/scorrere unicamente sotto l'azione del proprio peso senza separazione tra la matrice e le parti grossolane e grazie alla presenza delle fibre.

Sono in corso le prove meccaniche atte a valutare le eventuali differenze tra un tradizionale calcestruzzo fibroso e un HPFR-SCC impiegando le RXF54. Una differenza sostanziale tra i due calcestruzzi è l'assenza di vibrazione nel caso del SCC.

Dalle prime indagini, non sembra che l'assenza di vibrazione, che influenza l'orientamento delle fibre negli impasti, possa modificare le proprietà meccaniche di duttilità degli impasti induriti.

## 8 APPLICAZIONI

Le applicazioni di HPFR-SCC sono specialmente raccomandate nelle seguenti situazioni:

- la vibrazione non è possibile o estremamente difficile;
- la struttura è fortemente armata; occorre ottimizzare tempi e costi ;
- la struttura o gli elementi che la costituiscono devono essere estremamente duttili, assorbire energia sotto l'azione di forze esterne (carichi non previsti, eventi sismici, ecc.) ed essere altamente durabile.

Un esempio di HPFR-SCC è la produzione di lastre per travi di copertura (figura 4) mediante un calcestruzzo autocompattante, il cui mix è riportato in tabella 9.

Tabella 9. Mix design calcestruzzo SCC standard e modificato

	MISCELA STANDARD	MISCELA MODIFICATA
Sabbia fine (0-4 mm)	795 kg/m <sup>3</sup>	850 kg/m <sup>3</sup>
Ghiaia (5-15 mm)	730 kg/m <sup>3</sup>	680 kg/m <sup>3</sup>
CEM I 52,5R	400 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
Carbonato di Calcio	120 kg/m <sup>3</sup>	=====
RXF 54	=====	1,5 – 2,2 kg/m <sup>3</sup>
Acqua	180 kg/m <sup>3</sup>	180 kg/m <sup>3</sup>
Additivo superfl.	ERGOMIX SCC 1%	ERGOMIX CtS 1,1%
Additivo modificatore di viscosità	ERGOMIX VEA 0,06%	=====

Lo schema delle armature è il seguente:

- un'armatura precompressa costituita da 5 trecce 3x3
- un'armatura lenta costituita da 20 barre  $\phi$  6
- una rete di plastica detta geosintetica 10x10, avente la funzione di trattenere il piede di un uomo in caso di sfondamento dei riquadri della lastrina, essendo stata progettata per essere pedonabile.

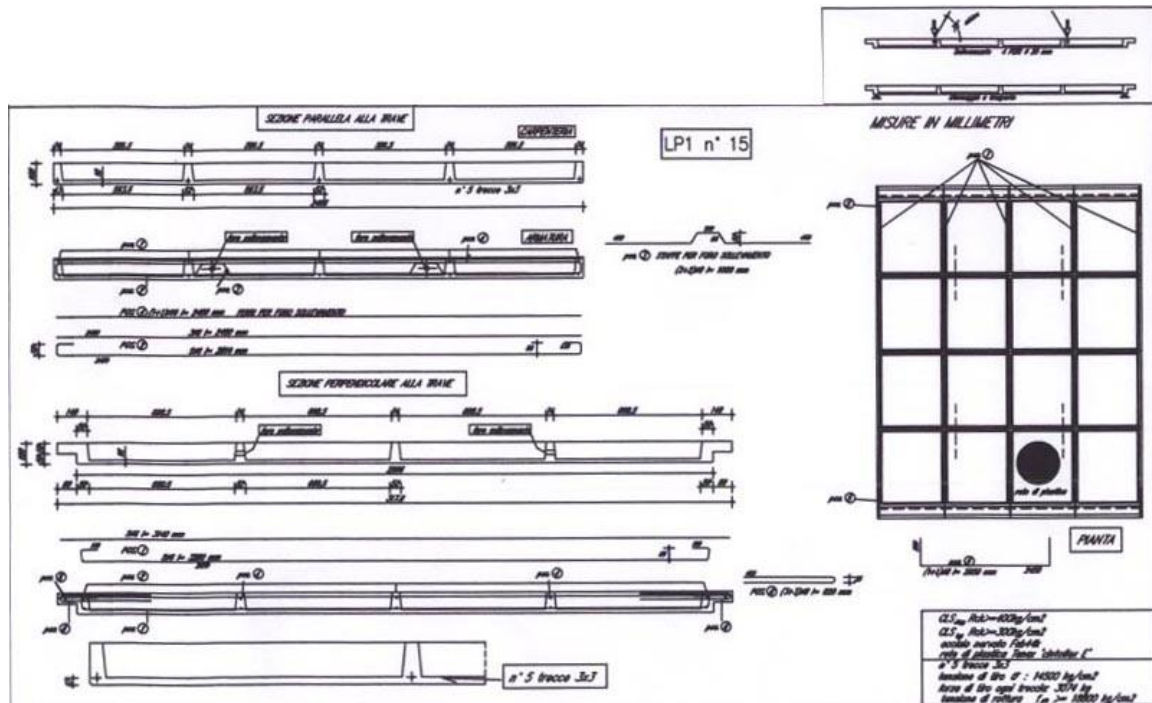
Il posizionamento delle rete geosintetica risulta alquanto laborioso ed inoltre crea impedimento durante il getto del calcestruzzo autocompattante nei casseri.

Per questo motivo, frequentemente, il manufatto presenta dei vuoti causati proprio dall'azione

frenante della rete nei confronti dell'impasto e talvolta alcune lastrine devono essere scartate.

La reologia degli impasti allo stato fresco è stata verificata mediante le prove di slump test ed L-Box;

Figura 4 Schema progetto lastrine



La sperimentazione effettuata, che in seguito ha portato alla produzione seriale degli elementi prefabbricati, ha previsto la modifica del mix design abitualmente impiegato (vedi tabella 9 confronto tra i due mix) e la realizzazione di alcune lastrine secondo il seguente schema:

- Miscela A (mix design del cliente): lastrina standard (armatura precompressa + armatura lenta + rete)
- Miscela B (mix design modificato Ruedil): lastrina con armatura precompressa + 2,2 Kg di RXF 54, senza armatura lenta, senza rete;
- Miscela C (mix design modificato Ruedil): lastrina con armatura precompressa + 2,2 Kg di RXF 54 + armatura lenta, senza rete;
- Miscela D (mix design modificato Ruedil): lastrina con armatura precompressa + 1,1Kg di RXF 54 + armatura lenta, senza rete.

mentre le prove di carico sono state effettuate dopo 28gg dal confezionamento dell'impasto, secondo una metodologia normalmente impiegata per verificare periodicamente gli effetti dell'armatura sulla duttilità dell'elemento. In tabella 10 sono riportati i valori medi (n° 4 getti per miscela) di slump flow ed L-Box delle miscele realizzate. Come si evince i valori misurati per i calcestruzzi SCC fibrosi sono boder-line rispetto ai parametri prefissati dalla norma, ma nonostante ciò gli impasti sono stati gettati senza difficoltà operative ed gli elementi, una volta scasserati, non hanno presentato vuoti od altre imperfezioni.

I calcestruzzi autocompattanti fibrosi sono stati messi in opera senza evidenziare fenomeni d'attrito o frenanti ed inoltre non hanno necessitato di alcuna vibrazione addizionale.

Tabella 10 Valori “medi” determinati per le diverse miscele

	MIX A	MIX B	MIX C	MIX D
Slump Flow (mm)	760	600	580	690
Tempo di spandimento (s)	3,01	5,45	6,00	3,18
Slump Flow dopo 20 minuti (mm)	740	580	570	690
L-Box – H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,87	0,79	0,78	0,83

La misurazione della variazione della freccia è stata effettuata mediante tre flessimetri applicati lungo un lato della lastrina (vedi figura 8) e secondo i seguenti steps:

- misura della freccia a carico zero;
- caricamento sulla lastrina fino a 215Kg (la norma prevede che la lastrina sopporti un carico puntuale di 200Kg) e misura della freccia a tale carico;
- scarico del peso e misura della freccia in fase di ritorno;
- nuovo caricamento sulla lastrina fino a 215Kg e misura della freccia a tale carico;
- incremento del carico fino a 315Kg e misura della freccia;
- determinazione del valore di carico a rottura ottenibile con le fibre RXF 54.

La prova di carico è stata considerata positiva avendo rilevato che le fibre RXF 54 conferiscono un comportamento elastico agli elementi in cui sono state inserite, del tutto comparabile a quello della lastrina realizzata con lo schema tradizionale (armatura precompressa + armatura lenta + rete geosintetica).

Inoltre la rottura avviene sul riquadro interessato dal carico (rottura locale), non coinvolgendo l'intera struttura che si fessura ma non crolla, ed a un valore di carico di 650 Kg.

A fronte di quanto riscontrato durante la sperimentazione in cantiere, si è deciso di intraprendere la produzione seriale degli elementi utilizzando un calcestruzzo HPFR-SCC con fibre RXF 54.

I vantaggi economici/gestionali derivanti dall'impiego del calcestruzzo HPFR-SCC con RXF 54 sono stati i seguenti:

- 1) eliminazione totale del carbonato quale filler;
- 2) impiego di un unico additivo ERGOMIX CtS, anzichè due (ERGOMIX SCC ed ERGOMIX VEA);
- 3) eliminazione dell'armatura lenta e della rete geosintetica;
- 4) eliminazione della vibrazione con conseguente beneficio per le maestranze.

## 9 CONCLUSIONI

Un calcestruzzo autocompattante è tale da unire due caratteristiche che, solitamente, sono tra di loro antitetiche nella progettazione di un calcestruzzo superfluido.

Queste due caratteristiche sono:

- alta deformabilità della miscela (lavorabilità)
- alta resistenza alla segregazione.

Ne consegue che i costituenti fondamentali di una miscela SCC sono i filler e l'additivo modificatore della viscosità.

L'impiego delle fibre ibride polimeriche strutturali RXF54 nel confezionamento degli SCC, in abbinamento ad un additivo superfluidificante combo-type, ha consentito di realizzare, limitatamente ad alcune miscele, calcestruzzi le cui proprietà reologiche allo stato fresco sono “assimilabili” ad un calcestruzzo autocompattante.

Le miscele HPFR-SCC sottoposte alla prova di spandimento, L-Box e V-funnel hanno evidenziato comportamenti border-line rispetto ad una tradizionale miscela SCC: in molti casi i valori di slump-flow sono stati superiori a 700 mm (il valore minimo è 600 mm) ed il rapporto H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> pari a 0,81 (contro un limite di 0,8).

Questi risultati ci stimolano a continuare ampliando la sperimentazione, variando il mix design con particolare riferimento al cemento, alla granulometria degli inerti ed ottimizzando, nel contempo, l'additivo superfluidificante più idoneo.

Sempre limitatamente ad alcune miscele, le proprietà reologiche tipiche di un calcestruzzo



autocompattante sono state raggiunte: infatti le miscele HPFR-SCC hanno evidenziato la capacità di mantenere la propria composizione omogenea ed invariante sia in movimento sia in riposo, la capacità di scorrimento e deformabilità in presenza di ostacoli.

Sono in corso tests di carico-deformazione atti a confermare la duttilità che ci si aspetta da questi HPFR-SCC, in quanto non si hanno attualmente indicazioni di una distribuzione non omogenea e tridimensionale delle fibre RXF 54.

L'impiego di un nuovo polimero policarbossilato "Combo-type superplasticizer-CtS-" Ergomix CtS, caratterizzato dalla presenza di catene di ossido di polietilene diversa lunghezza, è stato funzionale e fondamentale nell'esplicare un'azione disperdente sulle fibre RXF 54.

Il percorso intrapreso con questa ricerca può aprire futuri scenari i cui sarà possibile progettare e realizzare diversi elementi o strutture mediante getti di calcestruzzi fibrosi, durabili, duttili e che non necessitano di vibrazione per la messa in opera.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- Ohta, A., and Uomoto, T. (1998). "Study on the Dispersion Mechanism of Polycarboxylate-based Dispersing Agent" Cement Science and Concrete Technology, No. 52, 138-143 (in Japanese).
- Sakai, E., and Daimon, M. (1996). "The Dispersion Mechanisms of AE High-Range Water-Reducing Agents Calculation of Inter-particle Potential." Cement Concrete, No. 595, 13-22 (in Japanese).
- Ohta, A., and Uomoto, T. (1998). "Study on the Dispersion Mechanism of Polycarboxylate-based Dispersing Agent" Cement Science and Concrete Technology, No. 52, 138-143 (in Japanese).
- Sakai, E., Kawakami, A., Honda, S., Itoh, A. and Daimon, M. (2003). "Influence of Molecular Structure of Comb-type Polymer on the Fluidity of CaCO<sub>3</sub> Suspension with Inorganic Salts." J. Ceram. Soc. Jpn, 111, 117-121.
- Ohta, A., Sugiyama, T., and Tanaka, Y. (1997). "Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers." Proc. Fifth CANMET/ACI, Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SPI73-19, 359378.
- Sakai, E., Kawakami, A., Honda, S., Itoh, A. and Daimon, M. (2003). "Influence of Molecular Structure of Comb-type Polymer on the Fluidity of CaCO<sub>3</sub> Suspension with Inorganic Salts." J. Ceram. Soc. Jpn, 111, 117-121
- Japan Society of Civil Engineers (1998). "Guideline for Self-compacting Concrete."
- Ohta, A., Sugiyama, T., and Uomoto, T. (2000). "Study of Dispersing Effects of Polycarboxylate-Based Dispersant on Fine Particles." Proc. Sixth CANMET/ACI, Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SPI95-14, 211228
- Grunewald, S. Walraven, J.C. (2002c): Sensitivity of the bending behaviour of self-compacting fibre reinforced concrete to the method of casting, 5<sup>th</sup> Int. Symposium on Cement & Concrete, Shanghai.
- Grunewald, S., Walraven, J.C. (2003b): Rheological measurements on selfcompacting fibre reinforced concrete, RILEM – Third Int. Symposium on SCC, Augustus 2003, Iceland.
- Rilem First int. Symposium on Scc September 13-14 1999 Stockholm

