

CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE, DURABILE, PRIVO DI FESSURE PER COSTRUZIONI IN ZONE SISMICHE

Mario Collepardi, *ACI Honorary Member*, ENCO

Silvia Collepardi, Direttore Laboratorio Ufficiale Prove Materiali, ENCO

Riassunto

In questa ricerca sono stati messi a punto calcestruzzi con tutte le possibili prestazioni ottimali derivanti dai materiali e dalle tecnologie attualmente disponibili per la costruzione di strutture in C.A. da erigere in zone sismiche.

Innanzitutto sono stati studiati calcestruzzi autocompattanti particolarmente adatti alla messa in opera di strutture fortemente congestionate dalla presenza dei ferri di armatura quali quelle adottate per le strutture anti-sismiche.

Inoltre è stato adottato un basso rapporto acqua/cemento (a/c) di 0,42 per garantire la durabilità della costruzione.

La presenza di un agente espansivo a base di CaO combinato con l'additivo SRA (che riduce il ritiro igrometrico) o di fibre in PVA rende il calcestruzzo privo di fessure anche in assenza di una stagionatura umida iniziale. L'assenza di fessure e l'impermeabilità del calcestruzzo derivante dal basso rapporto a/c di 0,42 rende questo calcestruzzo particolarmente affidabile dal punto di vista della resistenza agli agenti aggressivi.

Al rapporto a/c di 0,42 corrisponde una resistenza meccanica a compressione a 28 giorni di circa 40-45 MPa con un modulo elastico statico a 28 giorni di appena 18 GPa per la presenza di argilla espansa che abbassa la massa volumica del calcestruzzo a circa 1975 kg/m³ che risulta essere circa il 20% in meno rispetto ad un calcestruzzo ordinario. Sia il basso modulo elastico che la minore massa volumica rendono questo calcestruzzo particolarmente adatto a resistere alle sollecitazioni sismiche.

1. Introduzione

Calcestruzzi leggeri autocompattanti sono stati prodotti con prestazioni speciali in termini di basso rapporto a/c , basso ritiro igrometrico anche in ambienti asciutti, basso modulo elastico e ridotta

massa volumica, caratteristiche entrambi favorevoli per calcestruzzi armati destinati a resistere alle sollecitazioni sismiche. Per migliorare la durabilità delle strutture oltre a mantenere basso il rapporto a/c sono stati prodotti calcestruzzi privi di fessure promosse dal ritiro igrometrico con la tecnica del calcestruzzo a ritiro compensato o con l'introduzione di fibre in PVA.

2. Parte sperimentale: materiali e metodi

MATERIALI. Una combinazione di circa 400 kg/m^3 di cemento Portland (CEM I 52.5 R) e circa 95 kg/m^3 di calcare finemente macinato (finezza Blaine di $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$) sono stati impiegati per produrre un calcestruzzo coesivo autocompattante (SCC) con uno slump-flow di almeno 700 mm senza alcuna presenza di acqua di *bleeding* e segregazione. Come aggregati sono stati impiegati circa 900 kg/m^3 di una sabbia naturale (0-4 mm) e circa 400 kg/m^3 di argilla espansa per alleggerire il calcestruzzo di circa il 20% rispetto a un calcestruzzo ordinario.

Come additivi sono stati impiegati 4 kg/m^3 di additivo SRA (acronimo di Shrinkage-Reducing Admixture) per mantenere il livello del ritiro igrometrico al valore più basso possibile. In una di queste miscele cementizie contenenti SRA, una parte del filler calcareo (30 kg/m^3) è stato sostituito con una massa equivalente di agente espansivo a base di CaO "cotto a morte" ($> 1000^\circ\text{C}$) per esplicitare le caratteristiche espansive tra 6-8 ore o 1-2 giorni quando il calcestruzzo è già indurito e può aderire alle armature metalliche; in queste condizioni l'espansione del conglomerato cementizio contrastata dalla presenza delle armature metalliche provoca un benefico stato di coazione: compressione nel calcestruzzo e trazione nei ferri di armatura (1).

In uno dei calcestruzzi con 4 kg/m^3 di SRA sono state impiegate macrofibre sintetiche in PVA lunghe 15 mm con diametro da 0,5 mm spesse allo scopo di verificare se queste fibre possano ridurre il numero e l'ampiezza delle eventuali fessure.

Dodici kg/m^3 di superfluidificante a base di polycarbossilato (PCS) sono stati impiegati per mantenere basso il valore del rapporto a/c al livello di 0,42 in tutti i calcestruzzi.

La Tabella 1 mostra la composizione del calcestruzzo individuate come *Control Mix* (privo di SRA, CaO, e fibre in PVA). I calcestruzzi con SRA senza CaO e PVA, o con CaO, o con PVA sono identificati con i simboli *SRA Mix*, *SRA/CaO Mix*, e *SRA/PVA Mix*.

Tabella 1 – Composizione dei calcestruzzi SCC con un rapporto a/c di 0,42, uno *slump-flow* di 720 mm e un peso specifico di 1975 kg/m³.

Tipo di SCC	CEM I 52.5 R (kg/m ³)	Filler calcareo (kg/m ³)	Agente Espansivo CaO (kg/m ³)	Argilla espansa 0-15 mm (kg/m ³)	Sabbia 0-4 mm (kg/m ³)	Acqua (kg/m ³)	PCS kg/m ³	SRA kg/m ³	PVA Fibers kg/m ³
<i>Control Mix</i>	399	93	----	399	907	166	12	----	----
<i>SRA Mix</i>	399	93	----	398	905	166	12	4	----
<i>SRA/CaO Mix</i>	398	64	29	398	905	166	12	4	----
<i>SRA/PVA Mix</i>	395	92	----	395	899	164	12	4	4

METODI. Le seguenti misure sono state eseguite su tutti i calcestruzzi SCC:

- -slump flow, bleeding e peso specifico del calcestruzzo fresco dopo 5 minuti di mescolamento;
- -resistenza meccanica a compressione tra 1 e 180 giorni a 20°C e 95% di UR;
- -ritiro libero, secondo la norma UNI 6555, di provini non armati, sformati a 1 giorno e conservati a 55% di UR;
- -espansione contrastata di provini armati scasserati a 6 ore, protetti con un telo di plastica impermeabile per 1 giorno e quindi esposti all'aria con UR=55% secondo la norma UNI 8147-metodo B;
- -modulo elastico statico dopo conservazione a UR = 95 % per 180 giorni;
- -misure visive a 180 giorni delle fessure e delle loro aperture in lastre (lunghe 8 m; larghe 400 mm; spesse 60 mm) bloccate alle estremità per indurre un ritiro contrastato (Fig. 1).



Fig. 1 – Prove di campo sul ritiro contrastato in lastre appoggiate su terreno e bloccate alle estremità.

3. Risultati

I risultati mostrati nella Tabella 1 indicano che i calcestruzzi SCC sono caratterizzati da un peso specifico di circa 1975 kg/m^3 e da uno *slump flow* di 720 mm in assenza di acqua di *bleeding* e di ogni segregazione.

Nella Fig. 2 è riportata la resistenza meccanica a compressione in funzione del tempo di maturazione. Rispetto al *Control Mix* si registra una modesta diminuzione di resistenza meccanica nei Calcestruzzi con SRA (*SRA Mix* e *SRA/PVA Mix*), mentre in presenza di CaO ed SRA (*SRA/CaO Mix*) si verifica un lieve aumento di resistenza meccanica (fino a circa 45 MPa a 28 giorni) probabilmente per un minor rapporto *a/c* dovuto ad un effettivo minor rapporto *a/c* per la sottrazione dell'acqua di impasto che si combina con il CaO. Alle stagionature più lunghe la resistenza meccanica è compresa nell'intervallo 45-50 MPa ad eccezione di quella dell'*SRA Mix* che è di 40 MPa.

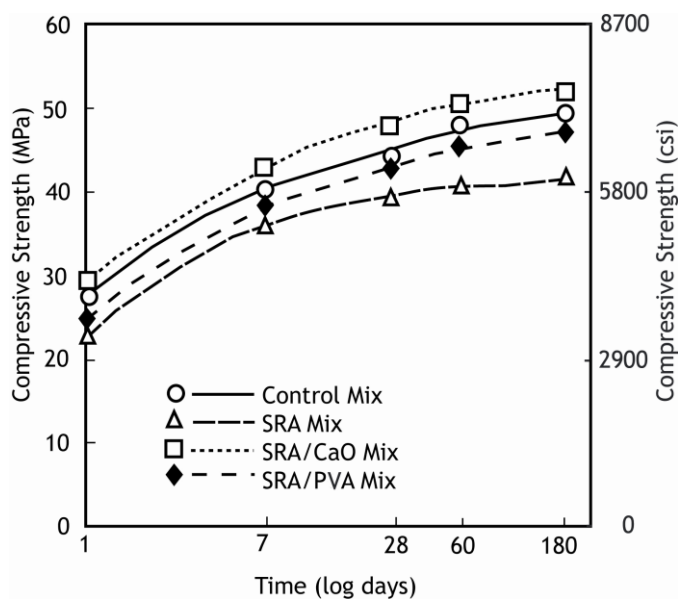


Fig. 2 – Resistenza meccanica dei calcestruzzi in funzione del tempo.

Il modulo elastico dei calcestruzzi SCC è di appena 18 GPa a 28 giorni e raggiunge il valore di 22 GPa dopo 180 giorni di maturazione a 20 °C con UR eguale a 95%. Questi bassi valori di modulo elastico in combinazione con un valore relativamente basso di massa volumica (1975 kg/m³) sono particolarmente adatti alle costruzioni in calcestruzzo armato esposte al rischio di terremoto.

La Fig. 3 mostra le variazioni di ritiro non contrastato di provini in calcestruzzo non armato (ad eccezione dell' *SRA/CaO Mix*) esposti in ambiente insaturo di vapore (UR = 55%) secondo la norma UNI 6555. Si registra un ritiro significativamente minore (15-25% in meno) nell'*SRA Mix* rispetto al *Control Mix*. L'aggiunta di fibre in PVA non provoca alcuna ulteriore riduzione del ritiro igrometrico.

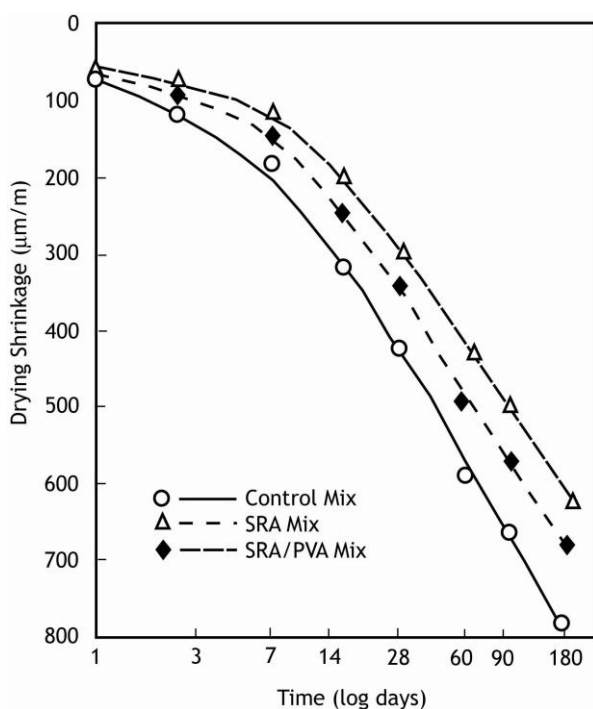


Fig. 3 – Ritiro libero (in µm/m) non contrastato in ambiente insaturo di vapore con UR=55% in funzione del tempo.

La Fig. 4 mostra le variazioni di lunghezza contrastata dalla presenza di armatura metallica dei provini dell'*SRA/CaO Mix*. Si verifica un'espansione durante il primo giorno quando i provini sono protetti dall'evaporazione con un telo impermeabile per simulare la situazione che si verifica nel calcestruzzo dentro i casseri. Dopo la rimozione del telo impermeabile a 24 ore dal getto si verifica una progressiva fino a 6 mesi di esposizione ad un ambiente permanentemente insaturo ($UR = 55\%$).

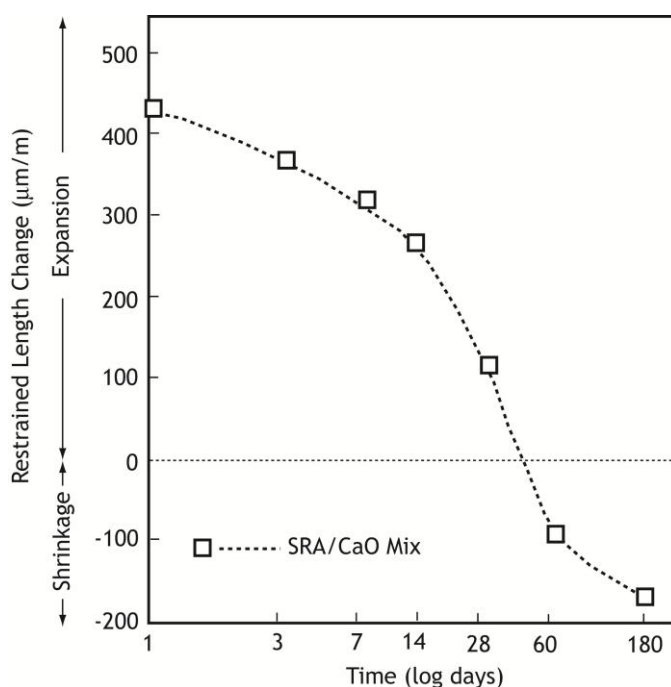


Fig. 4 – Espansione contrastata (in $\mu\text{m/m}$) del calcestruzzo *SRA/CaO Mix* in funzione del tempo.

La Tabella 2 mostra il numero e la larghezza media delle aperture delle fessure determinate sulle lastre esposte all'aria mostrate in Fig. 1: nei calcestruzzi *SRA/CaO Mix* non si registra alcuna fessurazione. Sorprendentemente neppure nel calcestruzzo *SRA/PVA Mix* si sono osservate fessure sebbene l'aggiunta di fibre in PVA al calcestruzzo contenente SRA non abbia provocato alcun beneficio nella riduzione del ritiro igrometrico. È possibile che la presenza delle fibre provochi una "cucitura" delle microfessure non visibili.

Tabella 2 – Numero di fessure e loro larghezza media visibili nelle lastre mostrate in Fig. 1.

Tipo di SCC	Numero di fessure	Larghezza media delle fessure
<i>Control Mix</i>	4	1,4 mm
<i>SRA Mix</i>	2	0,2
<i>SRA/CaO Mix</i>	0	----
<i>SRA/PVA mix</i>	0	----

4. Conclusioni

Sono stati studiati alcuni calcestruzzi particolarmente adatti alle costruzioni in zone con rischio sismico. Questi calcestruzzi sono caratterizzati da un'elevata lavorabilità -come quella prevista per gli SCC- per essere messi in opera senza vibrazione all'interno di cassaforme con armature fortemente congestionate come quelle previste per le costruzioni anti-sismiche.

Per garantire la durabilità di questi SCC è stato adottato un basso rapporto a/c (0,42) che corrisponde ad una resistenza a compressione di 40-45 MPa a 28 giorni.

L'impiego combinato dell'additivo anti-ritiro SRA con un espansivo a base di CaO o con fibre macro-strutturali in PVA consente di produrre calcestruzzi autolivellanti privi di fessure provocate dal ritiro igrometrico anche in assenza di una stagionatura umida iniziale. Questa caratteristica, congiunta con il basso rapporto a/c , consente di produrre strutture in C.A. molto durabili per la resistenza alla penetrazione degli agenti aggressivi attraverso la matrice cementizia o le fessure generate dal ritiro igrometrico.

Il basso peso specifico di questi calcestruzzi (circa 20% in meno rispetto ai calcestruzzi ordinari) combinato con un basso modulo elastico statico (circa 20 GPa) rende questi calcestruzzi particolarmente adatti a costruzioni che debbano essere erette in zone ad alto rischio sismico.

Bibliografia

- (1) Collepari, M., Borsoi, A., Collepari, S., Ogoumah Olagot, J.J., Troli, R., "*Effects of shrinkage-reducing admixture in shrinkage-compensating concrete under non-wet curing conditions*", Cement and Concrete Composites, 6, pp. 704-708, 2005.