

Effetto combinato di agente espansivo e additivo riduttore di ritiro sulle prestazioni di malte fibrorinforzate

V. Corinaldesi¹, S. Monosi¹, A. Nardinocchi¹, M. Collepardi²

¹Dipartimento SIMAU, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy

²ENCO, Engineering Concrete, Ponzano Veneto, Italy

...

E-mail: v.corinaldesi@univpm.it; Web: <http://www.encosrl.it/>

Introduzione

Le malte e i calcestruzzi sono tra i materiali da costruzione più impiegati poiché sono in grado di sviluppare elevata resistenza meccanica, tenacità e durabilità. Tuttavia, i fenomeni di ritiro da essiccamento e la conseguente fessurazione della matrice cementizia possono costituire un serio problema in termini di durabilità del materiale. Si è visto (1, 2) come incorporando delle fibre nella matrice cementizia sia possibile migliorare la loro tenacità nonché la capacità di resistere alla fessurazione. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di esaminare l'influenza di agenti espansivi a base di CaO (3,4) in combinazione con l'additivo riduttore di ritiro SRA (5,6) sulle proprietà di malte fibrorinforzate con diversi tipi di macro-fibre: metalliche (acciaio), polimeriche (PVA) e vetro (resistente agli alcali). Sono state esaminate le prestazioni meccaniche a compressione e flessione, ed il ritiro igrometrico in condizioni libere e contrastate.

Materiali e Metodi

Per la preparazione delle malte si è impiegato cemento CEM I 52.5 R (secondo UNI EN 197-1) in combinazione con una sabbia standard (secondo UNI EN 196-1). I rapporti acqua/cemento e sabbia/cemento sono stati mantenuti costanti per tutti gli impasti e pari a 0,45 e 3 rispettivamente. Come additivo riduttore d'acqua è stato impiegato un superfluidificante a base acrilica (30% in sostanza secca) ad un dosaggio di 2.9 kg/m³: lo scopo di questa aggiunta è stato quello di realizzare malte aventi tutte circa la stessa lavorabilità allo stato fresco (slump di 110-150 mm) a pari rapporto acqua/cemento di 0,45.

In qualità di agente espansivo sono stati impiegati 35 kg/m³ di CaO "cotto a morte" per realizzare una serie di miscele indicate con le sigle: E (con agente espansivo), Facc+E (con agente espansivo e fibre in acciaio), Fpva+E (con agente espansivo e fibre in PVA), e Fv+E (con agente espansivo e fibre in vetro). In tutte queste malte è stato aggiunto anche un additivo riduttore di ritiro a base di neopentilglicole (4.5 kg/m³) per enfatizzare le proprietà conseguibili in termini di variazioni dimensionali, aumentando l'espansione iniziale e diminuendo quindi il successivo ritiro da essiccamento. Le ragioni dell'aumento di espansione per la presenza dell'additivo riduttore di ritiro, secondo Maltese e altri (7), sarebbe imputabile alla diversa morfologia della Ca(OH)₂ prodotta per idratazione del CaO.

Le macro-fibre sono state sempre aggiunte allo stesso dosaggio in volume pari all'1,2% sul volume complessivo della malta. Tenendo conto delle diverse masse volumiche dei vari tipi di fibra sono stati impiegati i seguenti dosaggi: 100 kg/m³ di fibre in acciaio; 10 kg/m³ di fibre in PVA; 30 kg/m³ fibre in vetro resistenti agli alcali grazie ad un elevato contenuto di ossido di zirconio (superiore al 16%). La lunghezza delle fibre è pari a: 12 mm per quelle in acciaio, 15 mm per quelle in PVA e 36 mm per quelle in vetro. Il rapporto d'aspetto (lunghezza/diametro) è 75 per le fibre in acciaio, 48 le fibre in PVA e 67 per le fibre in vetro.

Oltre alle malte con agente espansivo con o senza fibre è stata preparata anche una malta di riferimento (indicata con Rif) priva di agente espansivo, di SRA e di fibre.

Le malte preparate, le cui ricette sono riportate in Tabella 1, sono state caratterizzate allo stato fresco mediante valutazione dell'abbassamento al cono di Abrams (misura dello slump). Allo stato

indurito sono state condotte prove di compressione e di flessione su provini mantenuti a temperatura ambiente ed umidità relativa del 95%. Quindi sono state condotte prove di ritiro vincolato su provini di dimensioni 50x50x250 mm rinforzati con una barra d'acciaio lunga 280 mm, scasserati dopo 6 ore dal getto per misurarne la lunghezza iniziale, quindi mantenuti avvolti in una pellicola di plastica per 2 giorni, ed infine esposti in ambiente con U.R. pari al 55% secondo la norma UNI 8147 - metodo B. Sono state anche eseguite prove di ritiro igrometrico libero su provini scasserati dopo 6 ore dal getto dei quali è stata misurata la lunghezza iniziale; quindi i provini sono stati avvolti per un giorno da una pellicola polimerica e quindi mantenuti in ambiente con umidità relativa del 50% in accordo con la normativa italiana UNI 6687.

Tab. 1. Composizione in kg/m³ e slump delle malte.

	Rif	E	Facc	Facc+E	Fpva	Fpva+E	Fv	Fv+E
Acqua	200							
Cemento	450							
Sabbia	1350							
Superfluidificante	2.9							
Fibre	-	-	100	100	10	10	30	30
SRA	-	4.5	-	4.5	-	4.5	-	4.5
CaO	-	35	-	35	-	35	-	35
Slump (mm)	130	145	110	115	130	150	125	125

Risultati e Discussione

Nelle Figure 1-3 sono riportate le resistenze a compressione delle varie malte in funzione del tempo di stagionatura umida (U.R. = 100%) a 20°C.

I risultati mostrati in Figura 1 evidenziano come l'aggiunta di fibre in acciaio comporti un aumento della resistenza a compressione della malta. D'altra parte, le malte contenenti agente espansivo e additivo SRA (E ed Facc+E) hanno resistenza a compressione inferiore rispetto alla malta di riferimento (Rif). Questo effetto è imputabile alla presenza di SRA che riduce il processo di idratazione del cemento e conseguentemente i valori di resistenza a compressione e flessione (8).

In Figura 2 si nota come la resistenza a compressione delle malte contenenti fibre polimeriche (Fpva ed Fpva+E) sia significativamente minore rispetto alla miscela di controllo (Rif). Inoltre, si conferma l'effetto negativo sullo sviluppo delle resistenze legato all'impiego di SRA: la resistenza a compressione dopo 28 giorni della malta E è circa 30% inferiore rispetto alla malta di riferimento.

In Figura 3 si nota come l'aggiunta di fibre di vetro (Fv) non modifichi sostanzialmente la resistenza a compressione rispetto alla malta di controllo (Rif). Nuovamente, in presenza di SRA le prestazioni meccaniche risultano inferiori.

Le Figure 4-6 mostrano i valori della resistenza a flessione delle malte in funzione del tempo di stagionatura umida a 20°C.

La Figura 4 mostra come l'aggiunta di fibre metalliche aumenti il valore di resistenza a flessione del 45% rispetto alla malta di riferimento (Rif); e l'influenza di queste fibre appare più evidente sulla

resistenza meccanica a flessione piuttosto che a compressione (Figura 2). In presenza di SRA si nota una riduzione delle resistenza a flessione, e l'effetto positivo delle fibre metalliche quando sono stati aggiunti agente espansivo e SRA alla miscela è stato pari ad un aumento del 30%. In Figura 5 si nota come la resistenza a flessione della malta con fibre in PVA (Fpva) sia leggermente superiore a quella della malta di riferimento (Rif), in questo caso la presenza di SRA non sembrerebbe influenzare in modo significativo il comportamento a flessione del materiale.

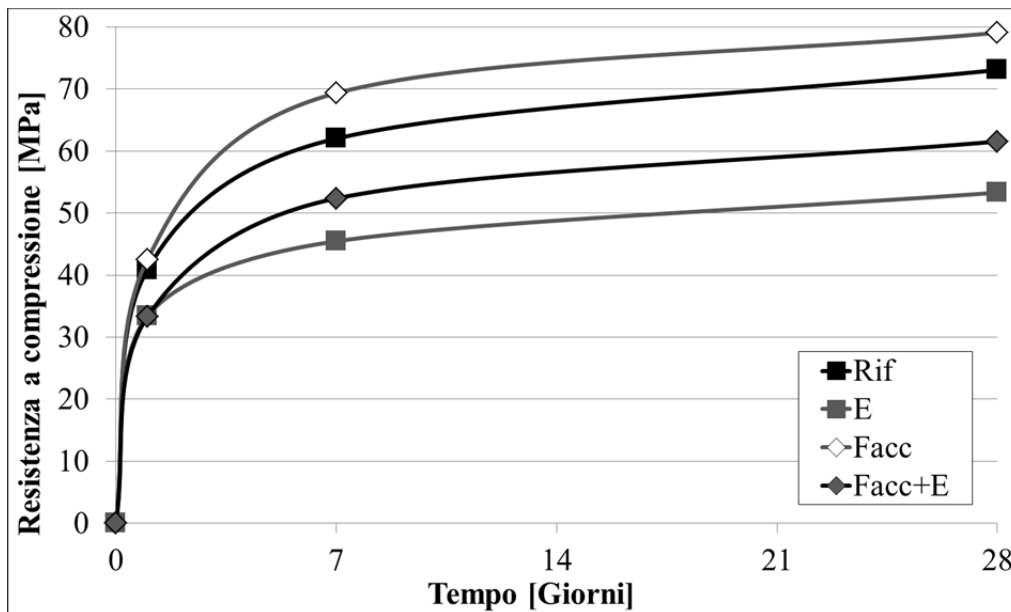


Fig. 1. Resistenza a compressione in funzione del tempo di stagionatura

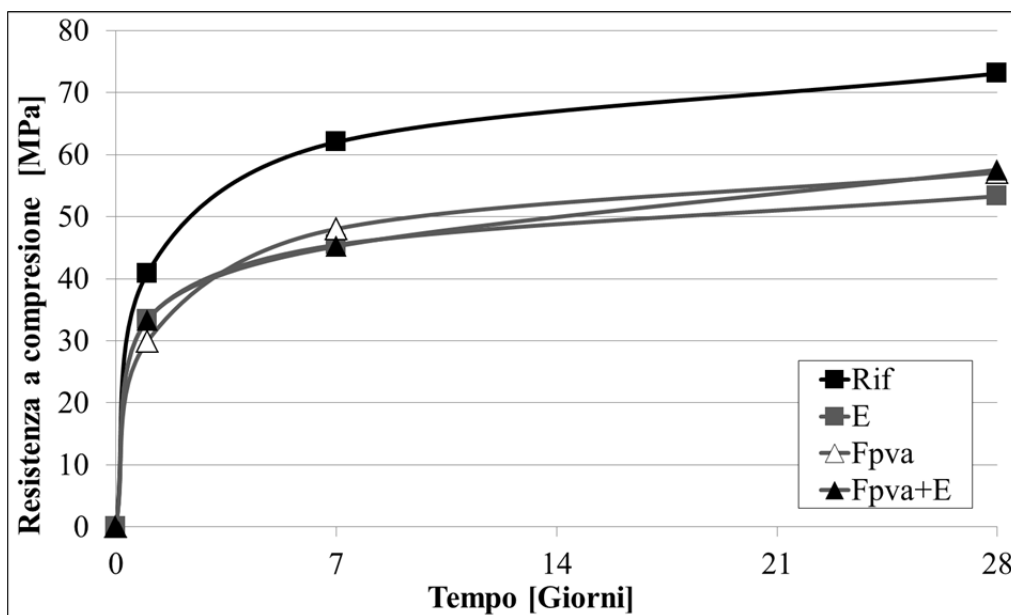


Fig. 2. Resistenza a compressione in funzione del tempo di stagionatura

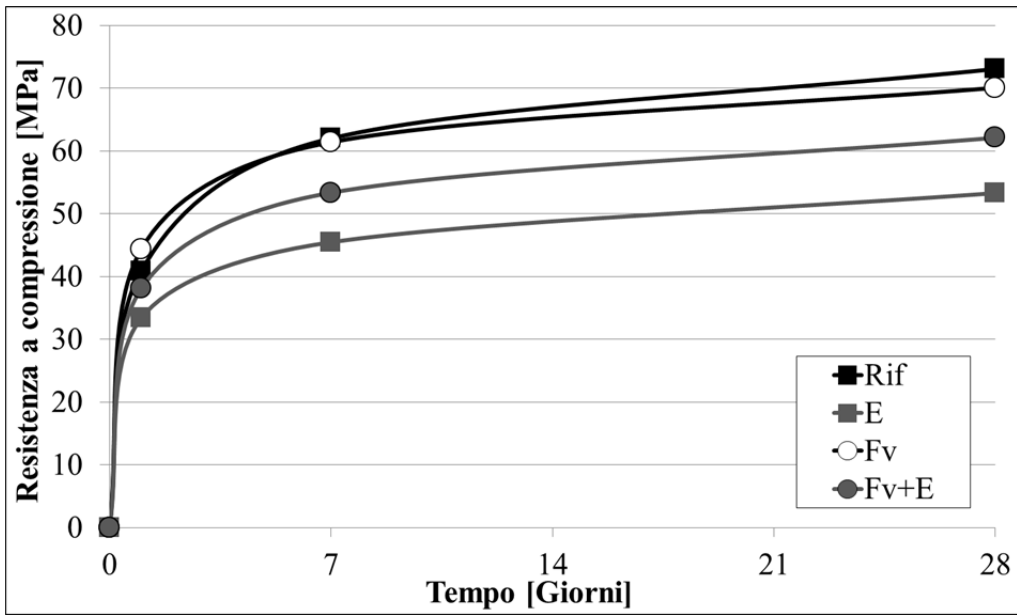


Fig. 3. Resistenza a compressione in funzione del tempo di stagionatura

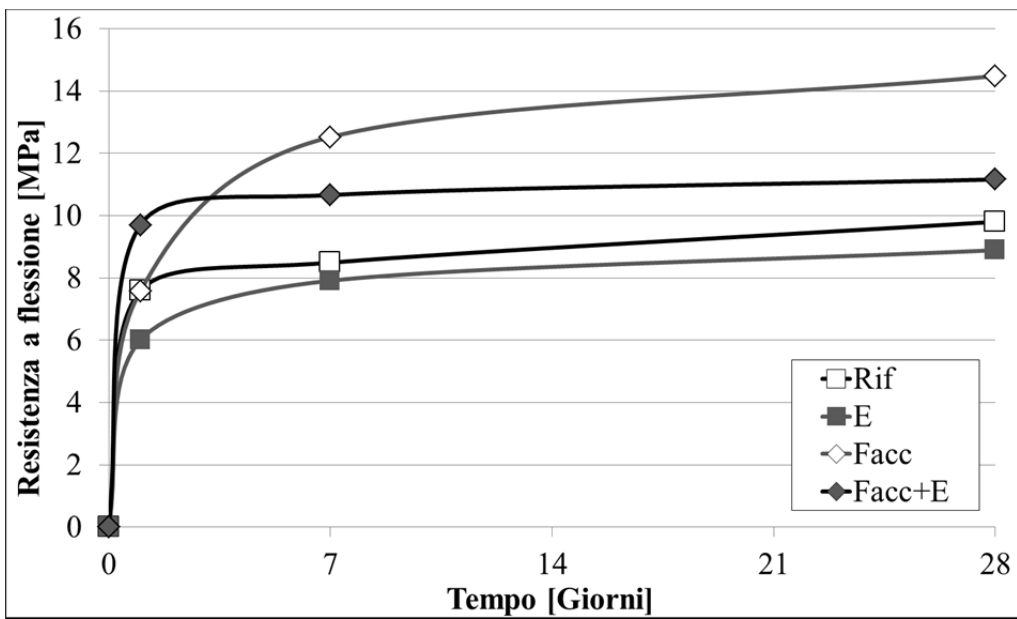


Fig. 4. Resistenza a flessione in funzione del tempo di stagionatura

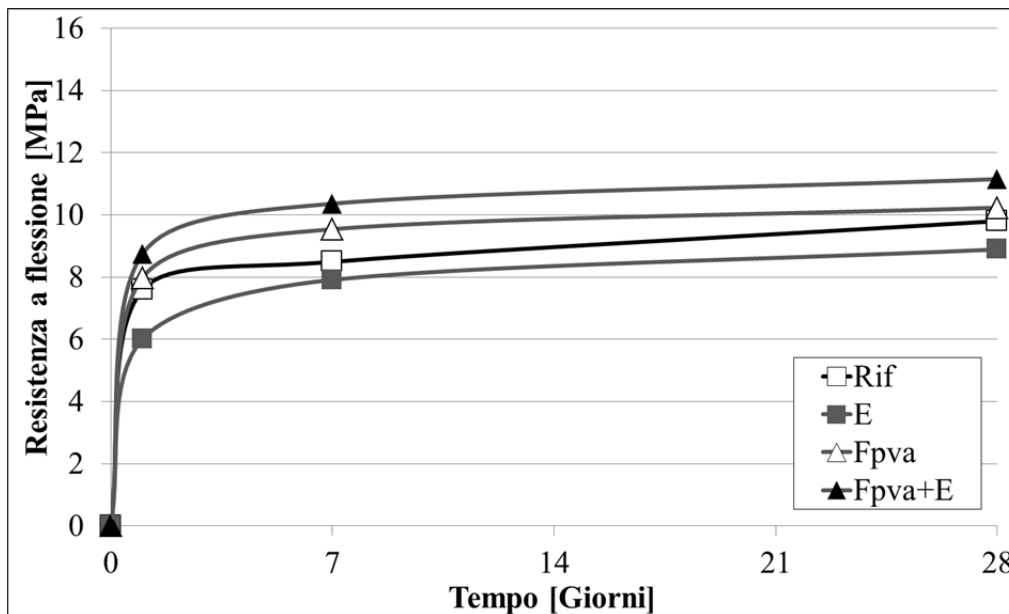


Fig. 5. Resistenza a flessione in funzione del tempo di stagionatura

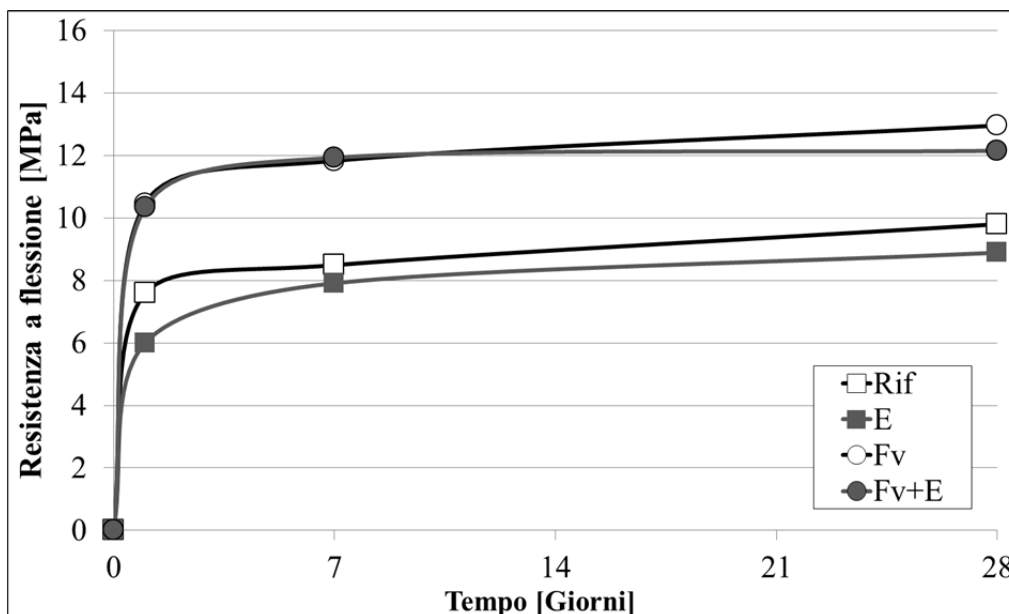


Fig. 6. Resistenza a flessione in funzione del tempo di stagionatura

In Figura 6 è mostrato il comportamento a flessione delle miscele contenenti fibre in vetro (Fv, Fv+E): la resistenza a flessione delle malte con le fibre in vetro (Fv ed Fv+E) è risultata di circa il 30% superiore a quella ottenuta per le corrispondenti miscele prive di fibre (Rif ed E).

In Figura 7 e 8 sono riportati i risultati ottenuti nelle prove di variazione dimensionale dei provini in condizioni rispettivamente vincolate e libere.

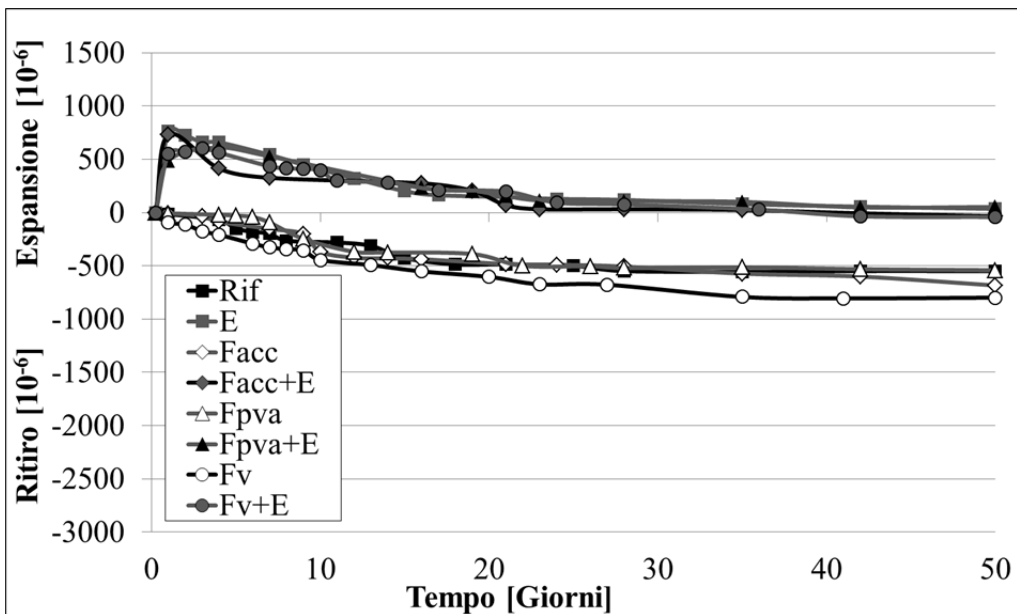


Fig. 7. Variazione dimensionale vincolata in funzione del tempo (U.R.= 55% dopo 2 giorni)

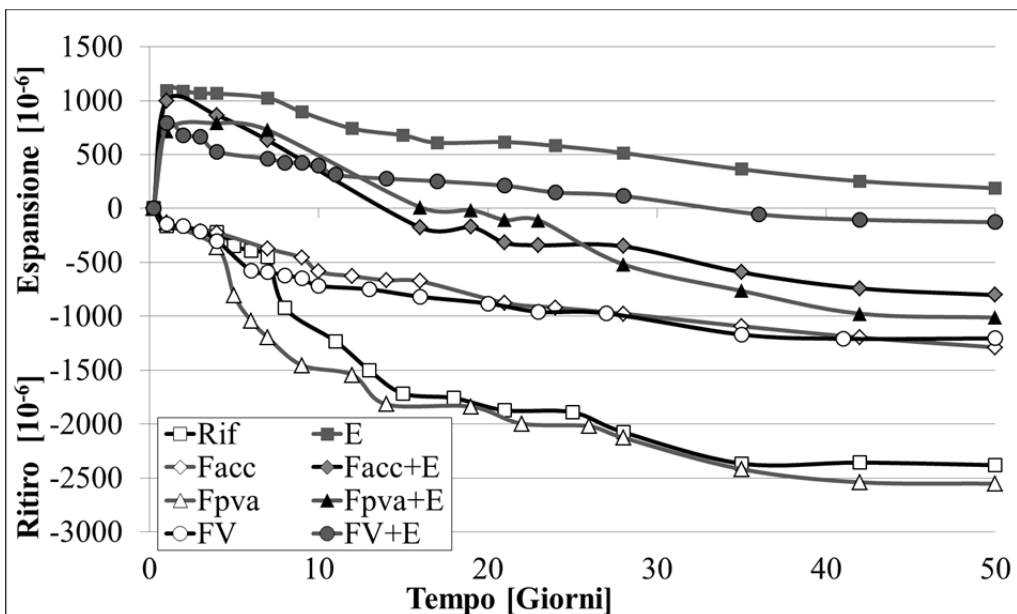


Fig. 8. Variazione dimensionale libera funzione del tempo (U.R.= 50% dopo 1 giorno)

Per quanto riguarda i risultati ottenuti in condizioni vincolate e riportati in Figura 7, in tutte le malte contenenti l'agente espansivo + SRA si registra un'espansione iniziale a 2 giorni pari a circa $700 \cdot 10^{-6}$, e sono necessari circa 50 giorni di permanenza in ambiente insaturo di umidità (U.R. = 55%) affinché si annulli l'espansione avvenuta inizialmente. In assenza di agente espansivo si è notata la presenza di un ritiro igrometrico che ha raggiunto valori pari a $500 \cdot 10^{-6}$ dopo un mese di esposizione in ambiente insaturo di umidità (UR = 55%).

Confrontando l'andamento della miscela espansiva (E) con quello della malta di riferimento (Rif) si nota il notevole effetto espansivo libero iniziale (Figura 8) causato dall'aggiunta di agente espansivo a base di CaO in presenza di SRA. In genere l'aggiunta di fibre tende a ridurre tale effetto espansivo per una sorta di vincolo interno offerto dalle fibre. Nelle malte preparate senza agente espansivo si notano contrazioni da ritiro fin dal primo giorno di esposizione in ambiente con U.R. del 50%, ma in presenza di fibre di acciaio (Facc) o in vetro (Fv) tale contrazione è significativamente inferiore rispetto alle miscele contenenti fibre in PVA o preparate senza fibre

(Rif). Dopo 50 giorni le malte Facc e Fv hanno raggiunto contrazioni pari a $1200 \cdot 10^{-6}$, mentre le malte Fpva e Rif pari a circa il doppio, ovvero $2500 \cdot 10^{-6}$.

Conclusioni

A causa dell'effetto ritardante dell'SRA sull'idratazione del cemento Portland, le resistenze meccaniche a flessione e a compressione delle malte contenenti agente espansivo (CaO) e additivo SRA sono risultate inferiori rispetto a quelle della malta di riferimento priva di CaO ed SRA.

L'effetto espansivo contrastato provocato dalla presenza di CaO e SRA è risultato inferiore quando sono stati impiegati insieme alle fibre.

Il ritiro igrometrico libero delle miscele contenenti fibre in acciaio o in vetro è risultato minore rispetto a quello della malta senza fibre, mentre circa gli stessi valori di ritiro sono stati registrati per la miscela contenente fibre in PVA e quella di riferimento senza fibre.

Bibliografia

- [1] R.N. Swamy (Editor), "Fiber Reinforced Cement and Concrete", 4th RILEM International Symposium, Chapman and Hall, Sheffield, UK, 1992.
- [2] M. Cheyreyzy, J.I. Deniel, H. Krenziel, H. Mihashi, J. Pera, P.Rossi, Y. Xi, "Specific Production and manufacturing issue" in: A.E. Naaman, H.W. Reinhardt (Editors), High Performance fiber Reinforced Cement Composite Volume 2 (HPFRCC2), Proceedings of the 2nd International Workshop, E&FN SPON, London, pp.25-41, 1995.
- [3] Wei Sun, Huisu Chen, Xin Luo, Hongpin Qian, "The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, 31, pp.595-601, 2001.
- [4] Wang Aiguo, Deng Min, Sun Daosheng, Mo Liwu, Wang June, Tang Mingshu, "Effect of Combination of Steel Fibers and MgO-type Expansive Agent on Properties of Concrete", Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sc. Ed., Volume 26, pp.786-790, 2011.
- [5] Jung-Jun Park, Doo-Yeol Yoo, Sung-Wook Kim, Young-Soo Yoon, "Drying shrinkage cracking characteristics of ultra-high-performance fibre reinforced concrete with expansive and shrinkage reducing agents", Magazine of Concrete Research, Volume 65, Issue 4, pp. 248-256, 2013.
- [6] M. Collepardi, "The New Concrete", Tintoretto, Villorba, pp.195-197, 2010.
- [7] C. Maltese, C. Pistolesi, A. Lolli, A. Bravo, T. Cerulli, D. Salvioni, "Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars" Cement and Concrete Research, Volume 35, pp. 2244-2251, 2005
- [8] R. Gettu, J. Roncero, "On the long term response of concrete with a shrinkage reducing admixture", Proceedings of the Conference "Admixtures-Enhancing Concrete Performance", Editors R. K. Dhir, P.C. Hewlett, M. D. Newlands, pp.209-216, 2005.