

AUTORIZZATO dal Ministero dei Lavori Pubblici (per prove secondo L 1086/71 DM 5609 del 07/11/2008)

RICONOSCIUTO dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (art. 4 - Legge 297/99)

QUALIFICATO da ITALFERR -CEPAV UNO AV MI-BO

**VALUTAZIONE DELLA EFFICACIA DEGLI ADDITIVI PENETRON
ADMIX E PENESAL FH NELLA RIDUZIONE DEL RITIRO IN
CALCESTRUZZI CON VARIE STAGIONATURE**

*Ing. Silvia Collepari
Prof. Mario Collepari*



VALUTAZIONE DELLA EFFICACIA DEGLI ADDITIVI PENETRON ADMIX E PENESAL FH NELLA RIDUZIONE DEL RITIRO IN CALCESTRUZZI CON VARIE STAGIONATURE

*Ing. Silvia Collepari
Prof. Mario Collepari*

1. INTRODUZIONE

Il calcestruzzo è il materiale più impiegato e versatile nelle strutture dell'Ingegneria Civile e nelle costruzioni architettoniche. Il suo maggior pregio consiste nella versatilità di impiego e nella facilità con cui può essere plasmato per assumere le forme progettate. Due sono i punti deboli di questo materiale: la scarsa resistenza a trazione e il ritiro igrometrico che subisce il materiale quando, dopo la scasseratura, si asciuga se è esposto, come quasi sempre accade, all'aria insatura di vapore. La conseguenza del ritiro igrometrico è la formazione di fessure indotte dalle conseguenti tensioni generate dal ritiro allorquando esso si manifesta, come avviene nella totalità delle strutture in c.a. A sua volta la fessurazione può pregiudicare seriamente la durabilità delle strutture armate a seguito della diretta esposizione, attraverso le fessure, agli agenti aggressivi ambientali.

Se alla scarsa resistenza a trazione si è sopperito con la introduzione di armature in acciaio, non si è ancora trovato un rimedio che possa essere applicato con semplicità sui cantieri per attenuare il fenomeno del ritiro e conseguentemente le fessure indotte dal ritiro. In teoria esistono tecniche per diminuire o addirittura eliminare il ritiro ma esse sono scarsamente adottate nel mondo delle costruzioni in c.a. Per esempio, si potrebbero impiegare additivi capaci di ridurre il ritiro oppure, più semplicemente, si potrebbe procrastinare la scasseratura rinviandola a 7 giorni dal getto affinché il calcestruzzo possa raggiungere una sufficiente resistenza meccanica a trazione e diventi quindi capace di resistere alle tensioni generate dal ritiro igrometrico. Questa tecnica, in teoria semplicissima, è in realtà sempre disattesa sui cantieri di costruzione perché il rinvio del tempo di scasseratura è considerato un intralcio nell'esecuzione dei lavori.

Tra le varie alternative al prolungamento della stagionatura del calcestruzzo entro le casseforme si possono prendere in considerazione due tecnologie: rendere il calcestruzzo di per sé impermeabile, in modo da rallentare la fuoriuscita del vapore verso l'ambiente, oppure proteggere la superficie del calcestruzzo dall'asciugamento con rivestimenti micrometrici e trasparenti che ne lascino intatta l'estetica della struttura.

Il lavoro di ricerca, oggetto di questo articolo, è stato realizzato con lo scopo di esaminare l'influenza dell'additivo Penetron Admix e del rivestimento Penesal FH sul ritiro igrometrico del calcestruzzo quando, dopo la scasseratura, è esposto ad asciugamento in ambiente insaturo di vapore.

2. MATERIE PRIME UTILIZZATE

Durante la sperimentazione condotta sono state impiegate le seguenti materie prime:

- Cemento: CEM II/A-LL 42,5 R;
- Aggregati naturali: sabbia 0-4 mm e ghiaia 4-16 mm;
- Superfluidificante Acrilico;
- Penetron Admix da introdurre nell'impasto di calcestruzzo per ridurre la permeabilità e quindi la fuoriuscita del vapore;
- Peneseal FH da diluire con acqua (1:1) e, trattato con catalizzatore (0.5%) prima di essere applicato, da stendere sulla superficie per rallentare l'evaporazione dell'umidità dal calcestruzzo.

3. PRODUZIONE DEI CALCESTRUZZI

Con le suddette materie prime sono stati confezionati due calcestruzzi (con e senza additivo Penetron Admix) individuati rispettivamente con la sigla Control e Admix. Per entrambi i calcestruzzi si è adottato lo stesso rapporto acqua/cemento (0.54) e lo stesso rapporto inerte/cemento (5.6). Nella Tabella 1 è riportata la composizione dei due calcestruzzi per i quali è stata adottata una consistenza superfluida (S5 con slump di 23-24 cm determinato secondo UNI EN 12350/2) grazie all'impiego del superfluidificante. La quantità di additivo Penetron Admix nel calcestruzzo Admix è di 3.4 kg/m³ corrispondente a un dosaggio dell'1 % rispetto al peso di cemento. Per entrambi i calcestruzzi si è determinata (secondo UNI EN 12350/6) una massa volumica di circa 2450 kg/m³ e questo indica che l'additivo Penetron Admix non provoca sviluppo di aria.

TABELLA 1 - Composizione del calcestruzzo con e senza Penetron Admix.

Calcestruzzo	Cemento	Ghiaia 4-16 mm	Sabbia 0-4 mm	Acqua	Penetron Admix	Superfl. Acrilico	a/c	Massa volumica	Slump
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		kg/m ³	cm
Control	341	941	977	185	1	1.53	0.54	2446	24
Admix	341	941	977	185	3.4	1.53	0.54	2448	23

4. PREPARAZIONE DEI MANUFATTI ED ESECUZIONE DELLE PROVE

Con ciascuno dei due calcestruzzi sono stati preparati:

- 6 provini cubici (15 cm) per la misura della resistenza a compressione a 1-7-28 giorni
- 16 prismi 10x10x50 cm per la misura del ritiro igrometrico;
- 16 lastre 100x20x5 cm vincolate alle estremità per la verifica della fessurazione indotta dal ritiro igrometrico impedito.

I provini cubici sono stati maturati a 20 C° con UR di almeno 95 % e quindi sottoposti a rottura secondo UNI EN 12390/3. I provini prismatici sono stati scasserati a 1 giorno oppure a 7 giorni e quindi esposti all'aria con UR del 55 % per determinare il ritiro igrometrico secondo

UNI 6555. Le lastre sono state sformate a 1 giorno oppure a 7 giorni; esse sono state quindi bloccate alle due estremità con fissaggi meccanici (Fig. 1 e 2) ed infine sono state esposte all'aria ventilata di laboratorio per simulare condizioni ambientali esterne e favorire la fessurazione a seguito del ritiro vincolato.



Fig. 1 - Casseri con fissaggi metallici alle estremità per la produzione di lastre vincolate



Fig. 2 - Vista d'insieme di alcune lastre vincolate dopo il getto del calcestruzzo

La metà dei provini prismatici e delle lastre è stata rivestita con Peneseal FH (diluito con acqua 1:1) in misura di 1 litro di prodotto per 5 m² di superficie. Un eguale numero di provini e di lastre non è stato trattato con Peneseal FH. Sono stati quindi ottenuti 4 tipi di manufatti (provini o lastre) che sono stati così individuati:

- 1) Manufatti con calcestruzzo Control senza trattamento superficiale → *Control*
- 2) Manufatti con calcestruzzo Control trattati in superficie con Peneseal FH → *Control + FH*
- 3) Manufatti con calcestruzzo Admix senza trattamento superficiale → *Admix*
- 4) Manufatti con calcestruzzo Admix trattati in superficie con Peneseal FH → *Admix + FH*

5. RISULTATI SPERIMENTALI

Di seguito sono mostrati e commentati i risultati riguardanti la resistenza meccanica dei provini cubici, il ritiro igrometrico dei provini prismatici e il quadro fessurativo delle lastre vincolate.

5.1 Resistenza meccanica dei calcestruzzi

Nella Tabella 2 sono mostrati i risultati della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo con e senza additivo Penetron Admix. Sono anche mostrati i risultati dei calcestruzzi Control e Admix con e senza Peneseal FH per verificare se l'applicazione del rivestimento in superficie non modifichi lo sviluppo della resistenza meccanica. I risultati ottenuti indicano che non ci sono significative modifiche nella resistenza meccanica (38±1 N/mm²) provocate dall'aggiunta di additivo e/o dal rivestimento superficiale.

TABELLA 2 - Resistenza meccanica a compressione dei calcestruzzi.

Calcestruzzo	R. compressione (N/mm ²) a 20°C dopo:			Massa volumica (kg/m ³) a 20°C dopo:		
	1g	7gg	28gg	1g	7gg	28gg
Control	14.6	32.3	39.4	2419	2449	2437
Control+FH	\	31,2	38,6	\	2429	2422
Admix	13.8	30.2	37.9	2427	2422	2413
Admix+FH	\	29,6	37,6	\	2422	2413

5.2 Ritiro igrometrico

I risultati del ritiro igrometrico in funzione del tempo sono mostrati nelle Figure 3 e 4 rispettivamente per i provini prismatici scasserati a 1 e 7 giorni prima di essere esposti in una camera climatica all'aria insatura di vapore, con umidità relativa (UR) del 55 %, che provoca l'essiccazione e quindi il ritiro dei provini prismatici. La Fig. 3 mostra che nei provini *Control*, confezionati con il calcestruzzo non trattato, il ritiro raggiunge il valore di 300 µm/m a 30 giorni e di 400 µm/m a 90 giorni. Nei provini *Admix* confezionati con l'additivo Penetron Admix il ritiro è circa 250 µm/m a 30 giorni e 300 µm/m a 90 giorni con una significativa riduzione (25 %) rispetto al calcestruzzo *Control* non additivato.

Anche nei provini *Control + FH*, trattati in superficie al momento della scasseratura con il rivestimento impermeabilizzante Peneseal FH, si registra una riduzione del 25 % del ritiro a 30 e 90 giorni. Si può quindi dedurre che l'introduzione dell'additivo o il trattamento della superficie si equivalgano nella riduzione del ritiro.

Nei provini *Admix + FH* che contengono sia l'additivo che il rivestimento impermeabilizzante non si registra alcuna ulteriore diminuzione del ritiro rispetto ai valori conseguiti con il solo additivo o con il solo rivestimento superficiale. Si deve concludere che quando, per effetto della impermeabilizzazione interna del calcestruzzo, il rallentamento del flusso del vapore va a regime la presenza del rivestimento superficiale non riduce ulteriormente il flusso verso l'ambiente del vapore interno al materiale e quindi non viene ulteriormente modificato il ritiro igrometrico. Da un punto di vista pratico questi risultati indicano che esiste una opzione equivalente in termini di ritiro: o additivare il calcestruzzo o trattarne la superficie al momento della scasseratura.

Molto diversi, ma in qualche modo prevedibili, appaiono i risultati mostrati nella Fig. 4 che mostra il ritiro dei calcestruzzi trattati o meno quando la scasseratura è rinviata a 7 giorni. In queste condizioni si registrano due effetti:

- il ritiro dei provini confezionati con il calcestruzzo *Control* diventa minore se si esegue la scasseratura a 7 giorni anziché a 1 giorno; a 90 giorni, per esempio, il ritiro dei provini scasserati a 7 giorni è 300 $\mu\text{m}/\text{m}$ (Fig. 4) contro il valore di 400 $\mu\text{m}/\text{m}$ (Fig. 3) che si è registrato nei provini confezionati con lo stesso calcestruzzo scasserati a 1 giorno; si può concludere che una scasseratura dopo 7 giorni dal getto ha lo stesso effetto benefico di un trattamento dello stesso calcestruzzo (scasserato a 1 giorno) con l'additivo o il rivestimento impermeabilizzante applicato subito dopo la rimozione dei casseri;
- quando il calcestruzzo è ben stagionato per almeno 7 giorni esso diventa così impermeabile che si riduce la fuoriuscita del vapore e conseguentemente diminuisce il ritiro igrometrico; a un calcestruzzo così ben stagionato il trattamento con additivo o rivestimento impermeabile non produce alcun ulteriore beneficio.

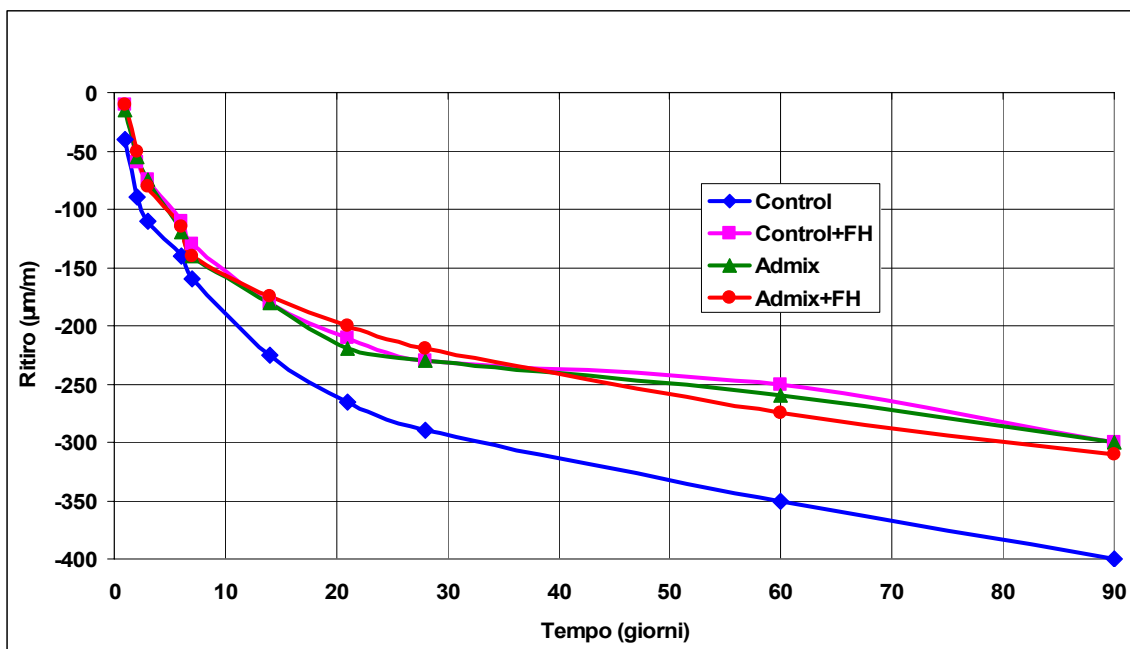


Fig. 3 - Ritiro igrometrico dei calcestruzzi scasserati a 1 giorno ed esposti all'aria con UR del 55 %.

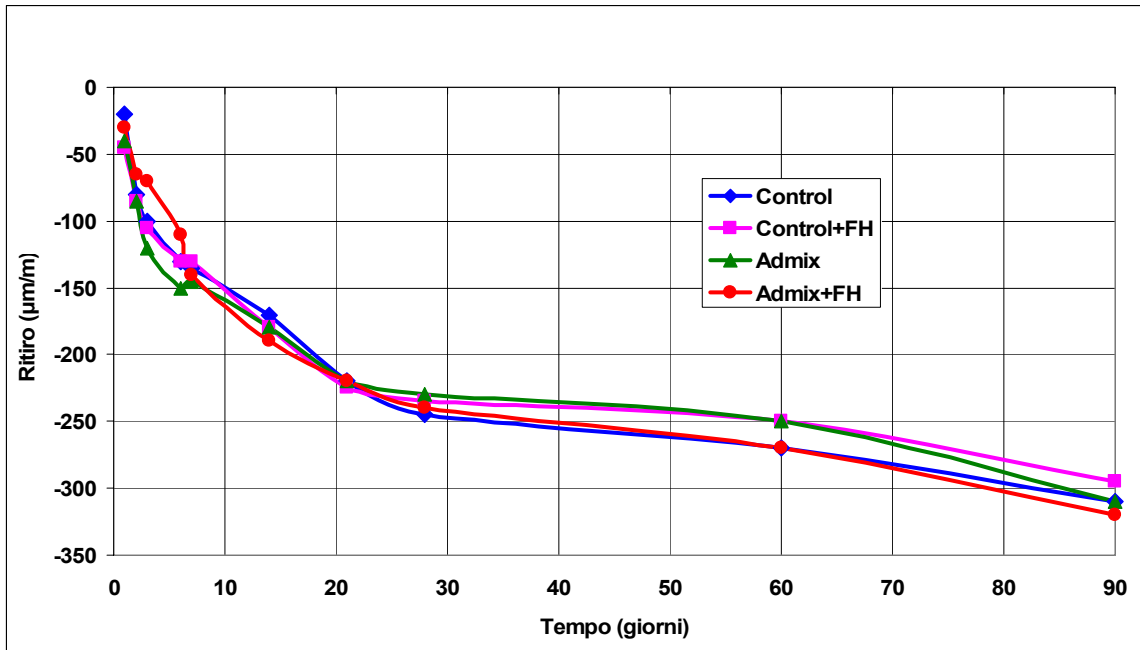


Fig. 4 - Ritiro igrometrico dei calcestruzzi scasserati a 7 giorni ed esposti all'aria con UR del 55 %.

5.3 Fessurazione delle lastre vincolate

Le lastre confezionate con i due calcestruzzi (Control e Admix) e trattati o meno con il rivestimento impermeabile in superficie sono state conservate in laboratorio con una umidità variabile tra il 70 e l' 80 %. Per rendere più realistiche le condizioni ambientali ogni lastra è stata esposta a un ventilatore per favorire la rimozione dell'umidità dalla superficie del calcestruzzo. A tempi variabili tra 1 e 240 ore le lastre sono state monitorate con una sonda elettronica capace di evidenziare l'apparizione delle fessure (Fig. 5)



Fig. 5 - Rilevamento delle microfessure con l'ausilio di una sonda collegata a un microscopio ottico.

I risultati ottenuti in queste prove hanno mostrato che la lastra *Control*, senza additivo impermeabilizzante nel calcestruzzo e senza rivestimento in superficie, presenta microfessure in superficie se la stagionatura è limitata a 1 giorno; le microfessure in questa lastra sono apparse dopo una esposizione all'aria di solo 20 ore. Il prolungamento della stagionatura fino a 7 giorni rende il calcestruzzo più resistente a trazione e meno permeabile al vapore e impedisce conseguentemente la formazione di fessure ancorché la ventilazione sia stata prolungata per 240 ore.

D'altra parte, l'impiego dell'additivo impermeabilizzante nell'impasto cementizio, oppure il trattamento in superficie con il rivestimento che rallenta l'evaporazione del manufatto, consentono di evitare la fessurazione superficiale indipendentemente dalla durata della stagionatura umida (1 o 7 giorni) prima dell'esposizione all'aria ventilata. In pratica, questi risultati indicano che, se non si può garantire una prolungata scasseratura delle strutture in calcestruzzo, come di solito avviene nella pratica di cantiere dove per ragioni esecutive si tende al più rapido riutilizzo dei casseri, diventa importante che il calcestruzzo sia reso di per sé meno permeabile al vapore o che la superficie del manufatto sia protetto con rivestimento in superficie immediatamente dopo la scasseratura. Da un punto di vista operativo, l'aggiunta di un additivo nel calcestruzzo al momento della sua confezione appare molto più semplice che non un trattamento della superficie con il rivestimento impermeabilizzante subito dopo la scasseratura.

Questi risultati sono in accordo con quelli ottenuti sulla determinazione del ritiro igrometrico esaminati nel paragrafo 4.2. Laddove si riduce il ritiro (Fig. 1 e 2), con una più lunga stagionatura o con l'impiego di additivo nell'impasto o con la protezione della superficie con un rivestimento che riduce la permeabilità al vapore, si riduce la tensione a trazione che si genera nelle lastre vincolate ad un livello tale che la fessurazione non può avvenire.

6. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nell'ambito della sperimentazione di questa ricerca indicano che, come era prevedibile, una più lunga stagionatura umida realizzata con un prolungamento del tempo di scasseratura riduce il rischio di fessurazioni sulla superficie delle strutture a seguito di una minore fuoriuscita di vapore dall'interno del calcestruzzo, quindi di un minore ritiro igrometrico e conseguentemente di una minore sollecitazione a trazione dei manufatti vincolati. Nella Tabella 3, desunta dalla norma UNI EN 13670-1 sono indicati i tempi di stagionatura raccomandati per impedire la formazione di fessure indotte dal ritiro igrometrico; si può notare che questi tempi debbono diventare tanto più lunghi quanto più severe sono le condizioni ambientali (clima asciutto, soleggiato e ventilato) e quanto più lento è lo sviluppo della resistenza meccanica del calcestruzzo indicato nella Tabella 4.

A titolo di esempio, un calcestruzzo con un "rapido" sviluppo della resistenza secondo la Tabella 4 ($a/c < 0.50$ e cemento di classe 42.5 R) esposto in condizioni climatiche favorevoli ($UR \geq 80\%$ e non esposto a diretta insolazione) richiede una stagionatura di almeno giorno (Tabella 3); un calcestruzzo con un "lento" sviluppo della resistenza meccanica ($a/c > 0.60$ e cemento di minor classe secondo la Tabella 4) richiede una stagionatura molto più lunga (10 giorni) se si trova nelle condizioni più sfavorevoli ($UR > 50\%$; insolazione diretta; ambiente molto ventilato) come è mostrato nella Tabella 3.

TABELLA 3 - Indicazioni sui tempi minimi di stagionatura in funzione delle condizioni ambientali e della velocità di sviluppo della resistenza secondo UNI EN 13670-1.

Sviluppo della resistenza del calcestruzzo	rapido			medio			lento		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Temperatura del calcestruzzo (°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Condizioni ambientali durante la stagionatura	Tempi espressi in giorni								
I) Non esposto ad insolazione diretta; U_R dell'aria circostante $\geq 80\%$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
II) Insolazione diretta media o vento di media velocità o $U_R > 50\%$	4	3	2	6	4	3	8	5	4
III) Insolazione intensa o vento di forte velocità o $U_R < 50\%$	4	3	2	8	6	5	10	8	5

TABELLA 4 - Indicazioni sulla composizione del calcestruzzo per individuare la velocità di sviluppo della resistenza secondo UNI EN 13670-1.

Velocità di sviluppo della resistenza	a/c	Classe di resistenza del cemento
Rapida	< 0.5	42.5 R
Media	0.5 - 0.6 < 0.5	42.5R 32.5 R - 42.5N
Lenta	In tutti gli altri casi	

Laddove, come spesso avviene nella pratica di cantiere, non si rispetta il tempo minimo di stagionatura umida (indicato nella Tabella 3), che è funzione soprattutto delle locali e poco prevedibili condizioni ambientali, ci si può affrancare dal rischio di fessurazione o rendendo di per sé il calcestruzzo meno permeabile al vapore che tende a fuoriuscire verso l'ambiente oppure proteggendo la superficie subito dopo la precoce scasseratura con un trattamento superficiale che rallenta l'evaporazione. Da un punto di vista logistico appare più semplice adottare la prima opzione piuttosto che la seconda la quale richiede un'operazione aggiuntiva sul cantiere quale è l'applicazione in superficie di un rivestimento non appena la struttura viene scasserata.

Enco Srl
Prof. Mario Collepari

Ing. Silvia Collepari