

Descrizione:

PENESEAL FH[®] è un esclusivo trattamento induritore, corazzante, sigillante e protettivo a base acqua. Il prodotto è trasparente, chimicamente reattivo e penetra in profondità nel calcestruzzo e nei materiali da costruzione a base cemento con un effetto consolidante, antipolvere e protettivo permanente. Non è un rivestimento superficiale filmante. Viene assorbito completamente dalla matrice.

Principali caratteristiche:

Effetto Curing:

PENESEAL FH[®] è un effettivo agente di curing che controlla le fessurazioni e le crepe da ritiro igrometrico nei calcestruzzi di nuova realizzazione, avendo anche un effetto stabilizzante della superficie con una significativa riduzione delle microfessurazioni circa 25% (*test UNI EN 6555*).

PENESEAL FH[®] sigilla chimicamente il calcestruzzo, bloccando l'umidità e permettendo una maturazione più uniforme. Promuovendo una maggiore completezza del processo di idratazione permette al calcestruzzo di raggiungere più facilmente le resistenze progettate ed eventualmente di migliorarle.

Effetto Sigillante:

PENESEAL FH[®] penetra profondamente nello strato corticale del calcestruzzo sigillando attivamente i pori e i capillari all'interno della matrice.

PENESEAL FH[®] provvede ad un completo trattamento delle superfici in calcestruzzo con una sigillatura profonda e permanente, con evidenti risultati nel tempo per quanto riguarda la estrema facilità di manutenzione e pulizia delle superfici.

Induritore:

PENESEAL FH[®] incrementa la resistenza e la durabilità del calcestruzzo con un processo di indurimento e rafforzamento delle particelle componenti il calcestruzzo stesso che conduce ad una massa solida.

Il calcestruzzo è protetto dal danneggiamento e dal deterioramento grazie alle caratteristiche prestazionali del PENESEAL FH[®] che aumenta la densità e sostanzialmente anche la resistenza all'abrasione ed all'impatto delle superfici trattate. I test di resistenza all'abrasione effettuati dimostrano che il calcestruzzo trattato con PENESEAL FH[®] ha evidenziato un incremento di resistenza a compressione corticale di circa il 38% (*test ASTM C39*).

Antipolvere:

PENESEAL FH[®] garantisce una superficie antipolvere tramite una reazione chimica interna con i sali del calcestruzzo. Con il suo effetto altamente indurente delle superfici riduce l'usura e la conseguente produzione di polvere.

Creando una superficie resistente al traffico ed autolucidante PENESEAL FH[®] incrementa le caratteristiche prestazionali ed estetiche delle pavimentazioni.

Effetto neutralizzante degli alcali

Quando PENESEAL FH[®] entra progressivamente nel calcestruzzo neutralizza gli alcali forzandoli ad affiorare in superficie dove possono essere lavati nelle operazioni di applicazione. La profondità in cui gli alcali e le efflorescenze sono confinati riduce la loro comparsa in superficie.

Effetto di consolidante del fondo:

Quando correttamente applicato, PENESEAL FH[®] prepara la superficie trattata alla ricezione di pitture, trattamenti per pavimenti e composti adesivi, eliminando i sali in superficie che sono causa di problematiche di adesione.

Risultati del trattamento:

Una singola applicazione di PENESEAL FH® consente di corazzare e sigillare il calcestruzzo in profondità, rendendolo altamente resistente agli olii, ai grassi, ed altri contaminanti superficiali. In caso di finiture levigate delle superfici con macchine apposite, si sviluppa un effetto permanente di indurimento e lucentezza: effetto marmoreo, tra 6 e 12 mesi dopo il trattamento. Questa lucentezza è causata dalle caratteristiche indurenti e di sigillatura del PENESEAL FH® e dall'azione abrasiva della pulizia e dell'uso quotidiano delle pavimentazioni. In quanto parte permanente ed integrante delle superfici in calcestruzzo la lucentezza durerà per la vita della superficie.

Tipologie di applicazione:

- Calcestruzzo e pavimentazioni in calcestruzzo;
- Pavimenti inseminati e a mosaico;
- Pavimenti levigati e molati;
- Stucchi a base cemento e marmorini;
- Malte Cementizie;
- Intonaci Cementizi;
- Qualsiasi composto in combinazione di aggregati, sabbia e cemento

ISTRUZIONI PER L'USO

Applicazione:

Spruzzare a bassa pressione il prodotto sulle superfici e successivamente scopare per ottenere la saturazione della porosità superficiale.

Strumentazione necessaria:

Spruzzatori a bassa pressione, scope o spazzoloni, macchina lavasciuga con spazzole, acqua per il risciacquo.

Preparazione della Superficie:

Procedere alla pulizia delle superfici da trattare con scope, spazzoloni ed acqua per rimuovere la polvere superficiale lo sporco ed il contaminante (meglio con macchine lavasciuga), lasciare quindi asciugare. Rimuovere ogni forma di olio e composti residui dalle aree del trattamento (disarmanti e agenti eventuali di curing) con lavaggio ad alta pressione o scarifica meccanica.

PER I NUOVI CALCESTRUZZI:

Punto 1: Applicare PENESEAL FH® circa 1 litro per 5 mq immediatamente dopo le operazioni di finitura della pavimentazione quando la superficie è sufficientemente dura per camminarci e prima che le microfessurazioni si manifestino. Lasciare asciugare per circa 30 minuti.

Punto 2: Quando PENESEAL FH® diventa scivoloso sotto le scarpe, bagnare moderatamente le superfici con acqua. Questa operazione farà perdere la scivolosità del materiale.

Punto 3: Quando PENESEAL FH® diventerà nuovamente scivoloso e simile ad un gel sotto le scarpe, bagnare abbondantemente le superfici con acqua corrente, e scopare le superfici (meglio utilizzare macchine lavasciuga con spazzole leggermente abrasive per attivare la lucentezza), rimuovendo i residui di PENESEAL FH®.

PER I VECCHI CALCESTRUZZI

(e tutte le superfici mature):

Punto 1: Saturare le superfici con il PENESEAL FH® (circa 1 litro per 5 mq) lasciare asciugare il PENESEAL FH® per circa 30 minuti.

Punto 2: Se dopo 30-40 minuti la maggiorparte di PENESEAL FH® è stata assorbita dalla superficie, scopare e asciugare gli eccessi di materiale dai ristagni in modo che tutto il rimanente PENESEAL FH® sia interamente assorbito, quindi bagnare abbondantemente le superfici con acqua corrente, e scopare le superfici (meglio utilizzare macchine lavasciuga con spazzole leggermente abrasive per attivare la lucentezza), rimuovendo i residui di PENESEAL FH®.

Scheda Tecnica

Consumi:

Approssimativamente 1 litro per 5 mq. di prodotto diluito con acqua. I consumi dipendono dalla porosità del calcestruzzo e dalle temperature.

Accorgimenti:

Pulire tutti gli equipaggiamenti solamente con acqua corrente.

Diluizione obbligatoria per PENESEAL FH Concentrato:

Miscelare PENESEAL FH® “concentrato” con acqua potabile 1:1, rimiscelare bene per omogenizzare la soluzione.

Numero di applicazioni: Una.

Durata del trattamento:

Permanente. Il calcestruzzo diventa indurito e sigillato.

Tempo richiesto per il completamento del curing, della sigillatura e dell'indurimento:

60-90 giorni. Contrariamente ai trattamenti filmogeni, PENESEAL FH® sigilla il calcestruzzo dall'interno della matrice bloccando permanentemente i pori e le capillarità, questo processo rende il calcestruzzo stesso una barriera alla penetrazione dei contaminanti. L'effetto è completo entro 90 giorni, ma continua a incrementarsi lentamente per quasi un anno.

Limiti di temperature: 40°C e 5°C, a basse temperature procedere a proteggere il calcestruzzo fresco dal rischio del gelo per un periodo di 6 giorni. La reazione del PENESEAL FH® è rallentata in condizioni di temperature basse.

Avvertenze importanti:

PENESEAL FH® non è un trattamento filmogeno e quindi può assorbire olii e fluidi idraulici nella prima millimetrica capillarità superficiale causando macchie ed aloni sulla superficie se non lavata immediatamente.

Tempo di asciugatura: 1-3 ore. Le superfici dei calcestruzzi stagionati possono essere utilizzate dopo il trattamento quando lo stesso è asciutto al tatto. Nel caso di calcestruzzi freschi si richiede la usuale stagionatura.

Pitture e trattamenti aggiuntivi:

Per i Calcestruzzi stagionati attendere 3-7 giorni prima di applicare i trattamenti aggiuntivi. Nel caso di calcestruzzi freschi si richiedono i 28 giorni di maturazione classica.

Caratteristiche tecniche:

- Abrasione: ASTM C 779 – 80,9 % di aumento di resistenza all'abrasione.
- Adesione: ASTM D 3359 - 60% di aumento di adesione di un trattamento epossidico. 50% nel caso di trattamento poliuretano.
- Maturazione: 61% di aumento nella ritenzione dell'umidità durante le iniziali critiche 24 ore di maturazione comparato con il calcestruzzo di controllo non trattato.
- Indurimento: ASTM C 39 - 40% di aumento della durezza superficiale a 7 giorni, 38% a 28 giorni rispetto ai campioni non trattati. ASTM C 805 – Schmidt hammer – 16,1 % di aumento nella resistenza all'impatto.
- Permeabilità: 98,5 % riduzione della permeabilità a 100 psi.
- Alterazione ambientale: ASTM G 2381 i raggi ultravioletti e l'esposizione all'acqua non ha effetti negativi sul PENESEAL FH® .

Scheda Tecnica

Colore:

Trasparente. PENESEAL FH® non cambia la naturale tessitura cromatica del calcestruzzo. Dove gli alcali, la calce libera, e altre impurità siano forzate in superficie dal trattamento, e si debba preservare l'estetica, tutte le superfici trattate devono essere abbondantemente lavate con acqua seguendo le istruzioni del fabbricante.

Confezionamento:

Latte da 19 litri.

Conservazione e durata:

2 anni ben sigillato in luogo chiuso e all'asciutto. Agitare bene prima dell'uso. Non permettere in alcun modo il congelamento del prodotto. Conservare il prodotto non a contatto con l'esposizione solare.

Note:

Non applicare PENESEAL FH® nei seguenti casi:

- Per sigillare blocchi di calcestruzzo alleggeriti, o estremamente porosi che contengano vuoti d'aria.
- Quando la temperatura sia scesa al di sotto dei 4°C.
- Nelle aree precedentemente trattate con agenti di curing o sigillanti, prima che questi rivestimenti vengano completamente rimossi con trattamento chimico o meccanico.

N.B. Applicare su calcestruzzi colorati solo dopo che la pavimentazione sia completamente matura.

(rev. 150716)

Precauzioni:

- Applicare il prodotto solamente a bassa pressione. Evitare l'inalazione.
- PENESEAL FH® può causare irritazione agli occhi, alla pelle, alle vie respiratorie allo stomaco e all'esofago se ingerito (Consultare la Scheda di Sicurezza). Non è tossico, non è combustibile, non è infiammabile.
- In caso di contatto con la pelle, lavare abbondantemente con acqua e sapone. Lavare anche gli indumenti contaminati.
- Se ingerito, diluire ingerendo abbondante acqua o latte. Non induce vomito. Nel caso consultare un medico.
- In caso di contatto con gli occhi sciacquare abbondantemente con acqua per almeno 20 minuti.
- Usare guanti, mascherina, occhiali e indumenti protettivi. Lavare dopo l'uso.
- Evitare assolutamente il contatto del prodotto con le superfici vetrate o di alluminio, etc. Nel caso sciacquare immediatamente con acqua.

4 di 4



006bCPR2013-07-10

EN 1504-2

Penetron International, Ltd.
601 South Tenth Street,
Unit 300
Allentown, PA 18103
09

PENESEAL FH

Sistemi di protezione della
superficie del calcestruzzo
Protezione dalla penetrazione:
Classe 1.2 (I)
Incremento della resistenza:
Classe 5.2 (I)

Resistenza all'Abrasiono:
≥ 30 % di incremento
Assorbimento capillare
dell'acqua:
Classe II

Resistenza all'impatto:
Classe II (≥ 20 Nm)
Adesione al pull-off: ≥ 0,8 N/mm²
Profondità di penetrazione:
≥ 5 mm.

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.

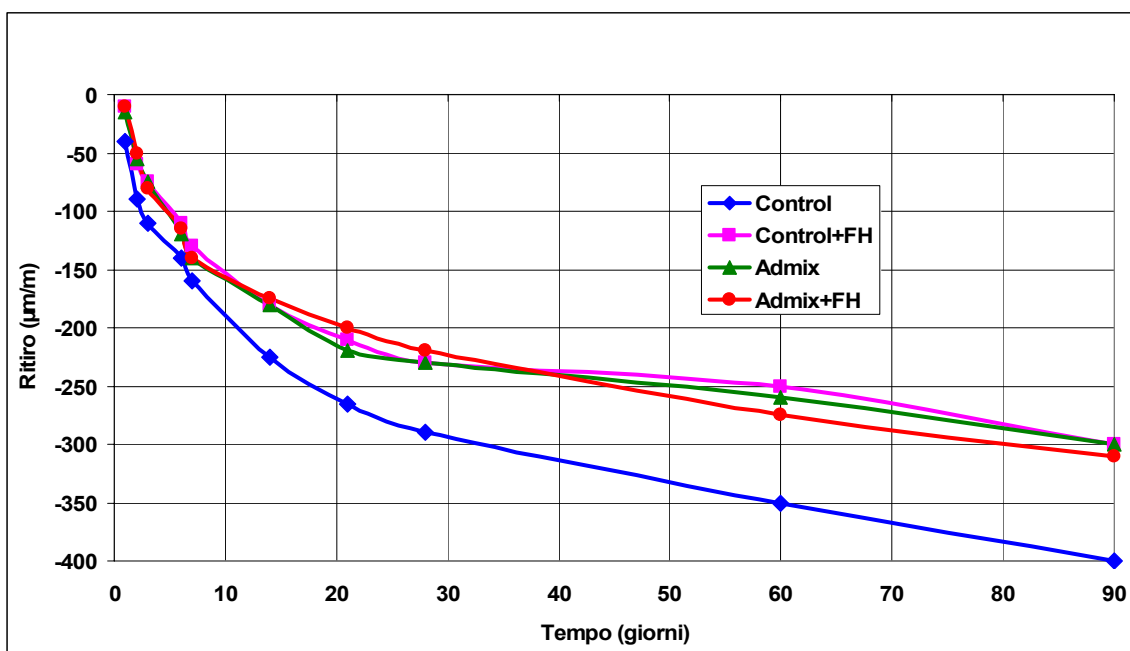


Fig. 3 - Ritiro igrometrico dei calcestruzzi scasserati a 1 giorno ed esposti all'aria con UR del 55 %.

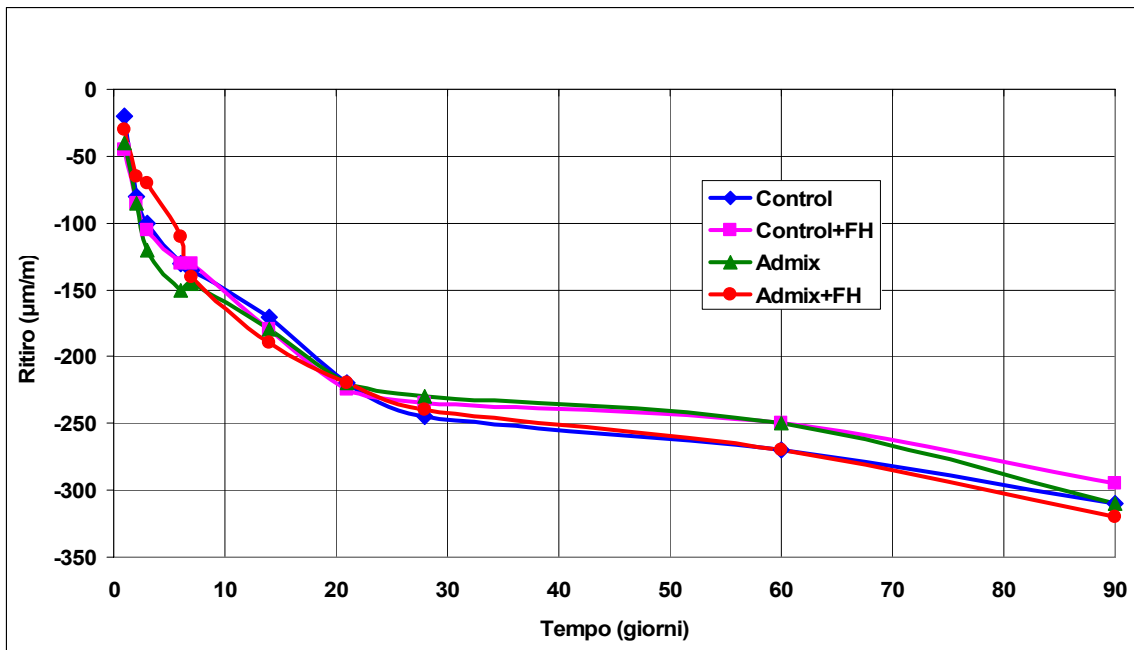


Fig. 4 - Ritiro igrometrico dei calcestruzzi scasserati a 7 giorni ed esposti all'aria con UR del 55 %.

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