

**RELAZIONE DI RICERCA SULLA RESISTENZA DI MALTA CEMENTIZIA ALLA
PENETRAZIONE DI CLORURO A SEGUITO DI TRATTAMENTO CON PRODOTTO
KOMSOL CONTROLL INNERSEAL**

Prof. Miguel A. Climent

(e-mail: ma.climent@ua.es)

Dipartimento di Ingegneria Civile

dell'Università di Alicante, Spagna

novembre 2014

1 OBIETTIVO DELLA RICERCA

L'obiettivo della ricerca consisteva nel valutare l'aumento del tempo di corrosione dell'acciaio per effetto della penetrazione di cloruro, ottenuto trattando la superficie con prodotto Komsol Control Innerseal, al fine di prolungare la durata del cemento armato in un ambiente ad alta presenza di cloruro.

2 METODOLOGIA SPERIMENTALE

I metodi di prova di riferimento per quantificare la resistenza alla penetrazione di cloruro comprendono prove di diffusione naturale in condizioni non permanenti [1, 2]. Tuttavia, per via dei lunghi tempi di esecuzione di tali prove di diffusione [3], si è deciso di utilizzare metodi accelerati che misurassero la migrazione del cloruro per mezzo dell'applicazione di un campo elettrico a norma Nordic Standard NT Build 492 [4]. Inoltre, date le tempistiche ristrette, si è deciso, in questa indagine preliminare, di utilizzare malta composta da cemento di Portland come materiale semplificato rappresentativo del comportamento del calcestruzzo. La composizione della malta cementizia testata è descritta nella tabella 1 di seguito.

Composizione della malta cementizia	
Cemento di Portland (g)	350
CEM 1/42,5 R (a norma comunitaria EN-197-1)	
Sabbia silicea standard (g)	1350
Rapporto acqua/cemento	0,5

Tabella 1. Composizione della malta utilizzata per i campioni di prova

I campioni di prova sono stati preparati nel modo seguente:

- La malta è stata fusa in stampi cilindrici (10 cm di diametro e 20 cm di lunghezza) e compattata meccanicamente. I cilindri di malta sono stati sottoposti a processo di indurimento per 7 giorni in una camera umida di polimerizzazione, ad una temperatura (T) di 202 °C e un'umidità relativa (UR) del 95%.
- A seguito del processo di indurimento, i campioni più piccoli (cilindri di 10 cm di diametro e 5 cm di lunghezza) sono stati tagliati con una sega a disco diamantato in

acciaio, utilizzando acqua come mezzo refrigerante. La parte superiore e la parte inferiore (entrambe di 1,5 cm) dei

cilindri più grandi sono state scartate durante il taglio dei campioni di prova. Sono stati utilizzati un totale di 8 campioni ai fini della prova.

- I campioni di malta sono stati essiccati in un forno alla temperatura prestabilita fino a raggiungere una massa costante. Questo passaggio è stato introdotto per consentire un rapido assorbimento dopo l'applicazione del prodotto Komsol Controll Innerseal, in modo da rispettare le tempistiche.
- Una parte dei campioni è stata trattata in superficie con il prodotto Controll Innerseal su una delle basi, mentre la parte restante dei campioni non è stata sottoposta ad alcun trattamento (utilizzati come campioni di controllo per i relativi calcoli comparativi). Dopo il trattamento con il prodotto, tutti i campioni di prova (trattati e non trattati) sono stati conservati a condizioni ambientali di laboratorio (cT 25 °C cca. (e UR 50% - 60%) per poi essere essiccati rispettivamente per 7 e 28 giorni dopo l'applicazione del prodotto.
- Prima di eseguire le prove, i campioni sono stati saturati con acqua sotto vuoto come indicato dalla norma ASTM C-1202-97 [5]. Le prove sono state condotte secondo la norma Nordic Standard NT Build 492 [4].

3 MODELLO MATEMATICO PER VALUTARE L'INCREMENTO DELLA VITA UTILE DELLA MALTA

Tenendo conto che la ricerca ha esclusivamente come scopo quello di valutare le proprietà di durevolezza (della malta trattata rispetto a quella non trattata), utilizziamo il coefficiente di migrazione del cloruro come primo approccio per quantificare il parametro di flusso ionico di base nel cemento, che corrisponde al coefficiente di diffusione D .

Secondo la legge di Fick, per la diffusione unidirezionale semi-infinita in un mezzo omogeneo, in assenza di fissazione della sostanza diffondente, utilizziamo l'espressione seguente [6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Dove C è la concentrazione della sostanza diffondente, D è il coefficiente di diffusione, t è il tempo e x è la distanza del punto di diffusione (nel caso di calcestruzzo esposto ad un ambiente carico di cloruro, esso rappresenta la profondità dalla superficie esposta).

La soluzione dell'equazione differenziale (1) nel caso particolare di concentrazione costante della sostanza diffondente sulla superficie del calcestruzzo (C_5) e il coefficiente di diffusione costante è il seguente:



$$C = C_s \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{Dt}} \right) \quad (2)$$

Dove ***erf*** è la funzione matematica denominata funzione di errore.

L'acciaio inizia a corrodersi per effetto della penetrazione di cloruro quando viene raggiunta una concentrazione critica di cloruro sufficientemente alta (C_c) nella zona a contatto con le armature in acciaio, cioè ad una profondità pari al copriferro sull'acciaio ($x = e$). Pertanto, il tempo di corrosione, che in base ad un primo approccio conservativo può essere considerato come il tempo di vita utile, può essere espresso come:

$$t = \frac{1}{D} \left[\operatorname{inverf} \left(1 - \frac{e^2}{x_c^2} \right) \right]^2 \quad (3)$$

Dove *inverf* è la funzione matematica denominata come inversa della funzione di errore.

Se l'applicazione del prodotto Controll Innerseal sulla malta consente di ridurre l'entità del coefficiente di diffusione da un valore D_0 (malta di riferimento non trattata con il prodotto) ad un valore più basso D_{CI} (malta trattata con Controll Innerseal), l'aumento relativo della vita utile in relazione alla corrosione delle armature per effetto del cloruro può essere calcolato per mezzo della seguente espressione:

$$\frac{t_{CI}}{t_0} = \frac{D_0}{D_{CI}} \quad (4)$$

4 RISULTATI E ANALISI

La tabella 2 mostra i risultati delle prove di migrazione di cloruro, oltre agli aumenti nella vita utile dell'acciaio, l'equazione (4) in relazione alla corrosione delle armature per effetto del cloruro ottenuto grazie al trattamento con il prodotto Komsol Controll Innerseal.

Tempo dall'applicazione del prodotto (giorni)	Malta di riferimento (non trattata)		Malta trattata con Komsol Controll Innerseal		Aumento relativo della vita utile t_{CI}/t_0
	D_0 ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	Valore medio di D_0 ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	D_{CI} ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	Valore medio di D_{CI} ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	
7	155,6	163,0	61,0	62,5	2,6
	170,4		64,0		
28	122,6	122,2	40,4	40,9	3,0
	121,8		41,3		

Tabella 2. Risultati delle prove di migrazione di cloruro e i valori calcolati per l'aumento della vita utile (in relazione alla corrosione delle armature per effetto del cloruro) ottenuto grazie al trattamento con Komsol Controll Innerseal



La tabella 2 mostra valori piuttosto elevati per i coefficienti di diffusione rispetto ai valori tipicamente rilevati in calcestruzzo commerciale utilizzato nell'edilizia e nella costruzione di infrastrutture [7]. Tuttavia, tale differenza nei valori era prevista, dato che per via delle tempistiche ristrette, i campioni di malta erano stati essiccati prima della prova. E' infatti risaputo che un simile trattamento di essiccazione (105 °C) può aumentare la porosità e modificare la distribuzione delle dimensioni dei pori dei materiali cementizi e di conseguenza modificare notevolmente le loro proprietà di trasporto di massa [8].

Il dato più significativo nella tabella 2 è che l'applicazione del prodotto Komsol Controll Innerseal comporta un sostanziale aumento della resistenza alla penetrazione di cloruro del materiale cementizio, come risulta evidente dalla notevole diminuzione dei valori del coefficiente di migrazione di cloruro. Infatti, la vita utile calcolata in relazione al tempo di corrosione delle armature d'acciaio per effetto del cloruro è moltiplicata per un fattore compreso tra 2,6 e 3.

5 CONCLUSIONI

L'applicazione del prodotto Komsol Controll Innerseal aumentata notevolmente la resistenza alla penetrazione di cloruro di una malta cementizia, come mostrato dalla sostanziale diminuzione del coefficiente di migrazione di cloruro. In base ai dati rilevati, la vita utile calcolata in relazione al tempo di corrosione delle armature d'acciaio per effetto del cloruro può essere moltiplicata per un fattore compreso tra 2,6 e 3.

6 RIFERIMENTI NORMATIVI

[1] CEN/TC 104 (2009). Prove su calcestruzzo indurito - determinazione della resistenza al cloruro di calcestruzzo, diffusione unidirezionale. Bozza finale prCEN/TS 12390-11. (Specifiche tecniche comunitarie).

[2] ASTM (2004). Metodo di prova standard per la determinazione del coefficiente di diffusione apparente di cloruro in miscele cementizie per diffusione di massa (1556-03). American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA).

[3] M.A. Climent, G. de Vera, J.F. López, E. Viqueira, C. Andrade (2002). Metodo di prova per misurare i coefficienti di diffusione del cloruro in calcestruzzo non saturo. Parte I. Caso di diffusione sorgente istantanea. Cement and Concrete Research, 32(7): 1113-1123.



[4] Nordtest (1999). NT Build 492. Calcestruzzo, malta e materiali di riparazione a base di cemento: coefficiente di migrazione del cloruro in base a prove di migrazione in condizioni non permanenti. Espoo, Finlandia.

[5] ASTM (1997). Metodo di prova standard per misurazione elettrica della capacità del calcestruzzo di resistere alla penetrazione di ioni di cloruro, C1202-97. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

[6] J. Crank (1975). Matematica della diffusione, 2° edizione. Oxford University Press, Oxford, Regno Unito.

[7] A. Boddy, E. Bentz, M.D.A. Thomas, R.D. Hooton (1999). Panoramica e studio sulla sensibilità di un modello di trasporto di cloruro multi-meccanico, Cement and Concrete Research, 29 (6) (1999) 827-837.

[8] T.C. Powers, L.E. Copeland, J.C. Hayes, H.M. Mann (1955). Permeabilità di miscele di cemento di Portland. Portland Cement Association Bulletin 53, pp. 285-298, Chicago, USA.

Alicante, 27 novembre 2014



DEPARTAMENTO DE

INGENIERIA DE CONSTRUCCIONES

Miguel-Angel
Climent

Professore ordinario di Chimica e durevolezza del Calcestruzzo