

INIBITORE FR

**INIBITORE DI CORROSIONE DEI FERRI
DI ARMATURA DEL CALCESTRUZZO ARMATO**

Relazione tecnica e scheda tecnica

*Pubblicazione destinata ai corsi di formazione
dei collaboratori e dei tecnici della*

BUCCELLATO

FREIUS

TEKEDIL

INIBITORE FR

Prodotto pronto all'uso ad azione migrante
di inibizione di corrosione
delle armature di calcestruzzo armate

DESCRIZIONE

INIBITORE FR pronto all'uso è un prodotto a base acquosa ad azione inibitrice di corrosione in grado di penetrare nel calcestruzzo creando un film protettivo intorno ai ferri di armatura.

L' **INIBITORE FR** pronto all'uso è di semplice applicazione, non altera il colore originale della struttura, ne la sua traspirabilità e le proprietà meccaniche del calcestruzzo armato. E' compatibile, infine, con eventuali successivi trattamenti vernicianti decorativi e/o protettivi.

PARAMETRO	VALORE	UNITA' DI MISURA	METODO
Aspetto a 20° C	Liquido limpido arancio - rubino	-----	Visivo
pH (Soluz. 5% a 20°)	8 ± 0,5	-----	ASTM D 1176 ASTM E 70
Densità	1,10 ± 0.01	gr/ml	ASTM D 1298
Colore	4,5	Unità ASTM	ASTM D 1500
Comportamento in acqua	Miscibile	%	INTERNO
Numero di acidità	60 ± 5	mgKOH/g	ASTM D 664
Numero di alcalinità	10 ± 2	mgKOH/g	AST, D 664
Stabilità	oltre 12 mesi	in confezioni chiuse	

PRINCIPIO CHIMICO

Per un approfondimento completo dei principi chimici e sul comportamento dell'**INIBITORE FR** pronto all'uso, si rimanda alla lettura dello studio (allegato alla presente scheda tecnica).
Va, intanto, precisato che l'**INIBITORE FR** pronto all'uso si compone di sostanze polime-

riche organofunzionali a base di poliammide bioresistente in grado di formare complessi di coordinazione stabili che, applicati superficialmente migrano all'interno del calcestruzzo armato e creano un film protettivo e inibitore di corrosione intorno alle armature in ferro del calcestruzzo.

APPLICAZIONE

L'**INIBITORE FR** pronto all'uso si applica con successo per trattamenti preventivi su strutture di calcestruzzo armato nuovo o dopo interventi di manutenzione ricostruttiva eseguite sulle stesse strutture.

Si utilizza, inoltre, sulle strutture armate anche quando non sono state completamente messe a nudo durante l'intervento di manutenzione. Prima di applicare il prodotto assicurarsi che le pareti siano state lavate perfettamente ed eliminato completamente sporco, sali e smog.

L'applicazione del prodotto è molto semplice, efficace ed economica.

Inoltre:

- non altera le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo armato;
- non modifica l'aspetto della superficie;
- non riduce la traspirabilità del supporto al vapore acqueo;
- non ostacola successive operazioni o trattamenti superficiali.

Applicare in due - quattro mani con pennello, con rullo o a spruzzo a bassa pressione per un quantitativo totale compreso fra 250 e 500 gr/mq.

Tra una mano e l'altra il tempo di attesa deve essere almeno di 2 ore.

Il numero delle mani e la quantità di prodotto dipendono dalle caratteristiche di porosità del supporto.

L'efficacia intrinseca del prodotto è ampiamente verificabile mediante la prova accelera-

ta della "nebbia salina".

L'entità e la velocità della penetrazione è in funzione della tipologia e della porosità del supporto.

Prove applicative analitiche testimoniano che una completa distribuzione e penetrazione del prodotto in un substrato di calcestruzzo si esplica almeno dopo una settimana dall'applicazione, garantendo l'effettiva protezione dai fenomeni corrosivi sulle armature ferrose.

PERICOLOSITÀ

L'**INIBITORE FR** pronto all'uso non è da considerarsi pericoloso ne inquinante ma va, comunque, utilizzato correttamente.

Si consiglia, in ogni caso, l'utilizzo dei guanti ed occhiali di sicurezza.

Non disperdere il prodotto ed i suoi contenitori vuoti nell'ambiente.

Informazioni più complete sono contenute nella relazione tecnica sul prodotto che viene consegnata insieme alla scheda tecnica.

"Le informazioni riportate nella relazione, nella scheda tecnica e nella scheda di sicurezza sono le conoscenze attualmente in nostro possesso.

Nessuna responsabilità può essere da noi assunta per un non corretto uso del prodotto.

Scheda tecnica e documentazione allegata verificata completamente in data 12.05.2008"



09028 Sestu (Cagliari)
S.S. 131 Km. 11,500 - n° 61
Tel. 070. 22208 - Fax 070. 22130

RELAZIONE TECNICA

AGENTI INIBITORI DI CORROSIONE MIGRATORI DI NUOVA CONCEZIONE A BASE AMMIDE ORGANICA DI POLIAMMINA IDROSOLUBILE: PRINCIPI E MECCANISMI CHIMICO - FISICI

1. PREMESSA

Come noto, il problema della progressiva corrosione dei ferri d'armatura è causato principalmente da fenomeni di carbonatazione (derivante dalla CO₂ dell'aria) e dall'azione corrosiva dei cloruri presenti.

Negli ultimi decenni a fronte di approfondite ricerche sono stati sviluppate diverse tecnologie atte a limitare e prevenire il problema con sempre maggiore efficacia

2. LA CORROSIONE DELLE ARMATURE

2.1 IL MECCANISMO ELETTROCHIMICO DELLA CORROSIONE

L'ossidabilità del ferro dipende dal potenziale elettrodico e dal pH dell'ambiente in cui esso è immerso. Nella figura 1 allegata indicati i campi di esistenza degli ossidi di ferro e del ferro stabile (zona di immunità). Si può notare come per qualsiasi valore di pH si abbia immunità del ferro quando il suo potenziale elettrodico è minore a -900 mV.

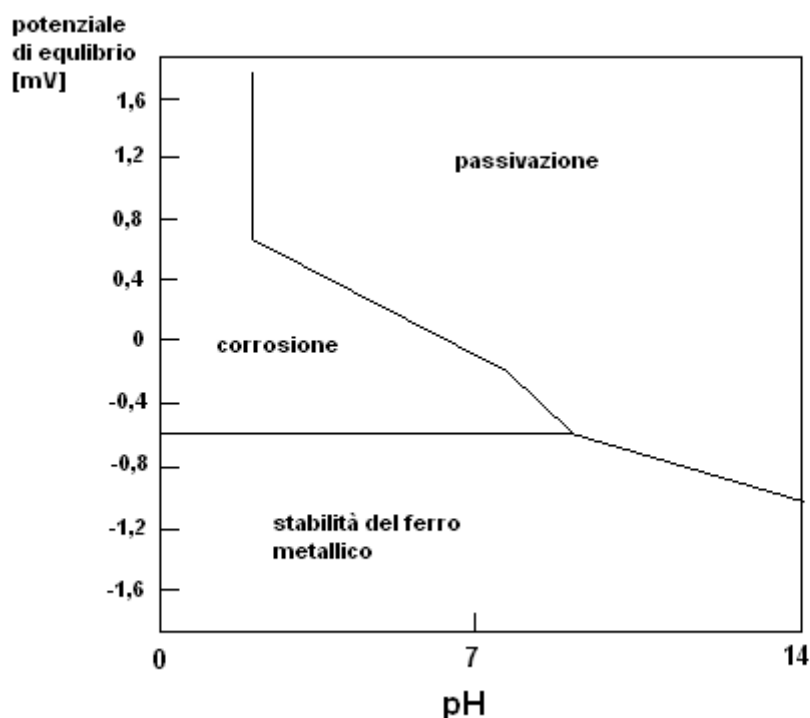


Figura 1: diagramma potenziale elettrochimico/pH per il ferro

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

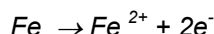
Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

Il fenomeno della corrosione delle armature nelle strutture in cemento armato causato da carbonatazione o attacco da cloruri s'innesca a causa della seguente reazione

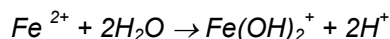


Questa reazione di natura elettrochimica si realizza secondo quattro processi parziali:

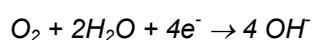
La reazione di ossidazione del ferro (processo anodico), rende disponibili elettroni nella fase metallica e origina prodotti di corrosione



la cui idrolisi produce acidità



La reazione di riduzione dell'ossigeno (processo catodico) consuma tali elettroni e produce alcalinità



Gli elettroni vengono trasportati all'interno del metallo dalle regioni anodiche, dove vengono resi disponibili, a quelle catodiche, dove sono consumati (poiché gli elettroni sono carichi di segno negativo, questo produce una circolazione di corrente convenzionale in senso opposto).

Nella fase di chiusura del circuito la corrente circola nel calcestruzzo dalle regioni *anodiche* a quelle *catodiche* perché, in presenza d'acqua, il calcestruzzo diventa un elettrolita trasportando ioni.

Così, il numero di elettroni liberati dalla reazione anodica nell'unità di tempo (la corrente scambiata alla superficie delle armature), il numero di elettroni consumati contemporaneamente dalla reazione catodica (la corrente scambiata in senso catodico sulle armature), la corrente che passa all'interno dell'armatura dalla regione anodica a quella catodica e la corrente che circola nel calcestruzzo dalla regione catodica a quella anodica, devono essere uguali tra loro.

Il valore comune di queste correnti misura, in unità elettrochimiche, la velocità del processo globale di corrosione. Pertanto, la velocità di corrosione è determinata dal più lento dei quattro processi parziali. Infatti, la resistenza elettrica dell'armatura è sempre trascurabile rispetto a quella del calcestruzzo.

Il trasporto di corrente all'interno dell'armatura non è mai un processo lento e quindi non può contribuire a ridurre la velocità di corrosione. Al contrario, ciascuno degli altri tre processi, in specifiche condizioni del calcestruzzo, può prodursi con velocità poco rilevante e diventare un processo controllante dal punto di vista cinetico. In particolare, la velocità di corrosione risulta trascurabile in presenza anche di una sola delle seguenti condizioni:

1. Il processo anodico è lento perché le armature sono passive, come avviene nel calcestruzzo non carbonato e non contenente cloruri (controllo cinetico di passività).
2. Il processo catodico avviene lentamente perché la velocità con cui l'ossigeno giunge alla superficie delle armature è bassa, come nel caso dei calcestruzzi saturi d'acqua (controllo di diffusione di ossigeno).
3. La resistività elettrica del calcestruzzo è elevata, come nel caso di strutture operanti in ambienti secchi o comunque a bassa umidità relativa (controllo ohmico).

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

La velocità di corrosione è invece elevata nei casi in cui si verificano nello stesso momento le tre seguenti condizioni:

1. Le armature non sono più in condizioni di passività
2. L'ossigeno giunge alle armature con relativa facilità
3. La resistività del calcestruzzo risulta bassa (inferiore a 20.000 cm)

L'umidità del calcestruzzo è il principale fattore di controllo della velocità di corrosione. Nel caso di calcestruzzi a bassa porosità, il contenuto d'acqua a cui corrisponde la velocità di corrosione massima è quello di equilibrio con atmosfere di umidità relativa attorno al 95%.

Il contenuto d'acqua del calcestruzzo dipende dall'umidità relativa dell'atmosfera esterna, supponendo che l'atmosfera ed il calcestruzzo siano in condizioni di equilibrio. Nelle strutture reali questa ipotesi risulta verificata solo alla superficie del calcestruzzo, ma non nel suo interno.

Pertanto, in generale, non si può quantificare il contenuto d'acqua del calcestruzzo a contatto con l'armatura in base al livello di umidità dell'atmosfera esterna. Poiché il calcestruzzo tende ad assorbire l'acqua più velocemente di quanto non la rilasci, normalmente il contenuto d'acqua a livello delle armature risulta essere più elevato di quello prevedibile dal grado di umidità atmosferica, in condizioni di equilibrio. Per calcestruzzi meno compatti il contenuto d'acqua corrisponde a quello di equilibrio con livelli di umidità relativa un po' più elevata, ma non ancora a valori di saturazione.

Se ci si allontana da questi valori di umidità, la velocità di corrosione diminuisce. Infatti nei calcestruzzi a più alto tenore d'acqua (valori prossimi alla saturazione), caratterizzati da conducibilità elevata e da velocità di supporto di ossigeno ridotta, la velocità di corrosione dipende solo dalla velocità di apporto di ossigeno e diminuisce al crescere del contenuto d'acqua, fino quasi ad annullarsi in condizioni di saturazione.

Viceversa, nei calcestruzzi a più basso tenore d'acqua, caratterizzati da velocità di apporto di ossigeno elevate e da conducibilità che diventano sempre più basse con l'abbassarsi del tenore d'acqua, la velocità dipende esclusivamente dalla conducibilità del calcestruzzo e quindi diminuisce al diminuire del contenuto d'acqua, fino a diventare trascurabile quando è in equilibrio con atmosfere di umidità relativa inferiore rispettivamente del 50/60% nel caso di calcestruzzo inquinato da cloruri e del 70% nel caso di calcestruzzo carbonatato.

2.2 IL PROCESSO DI CORROSIONE DEI CEMENTI ARMATI

In soluzioni alcaline con $\text{pH} > 11,5$ e in assenza di cloruri, il ferro si ricopre di un sottile strato di ossido, il cui spessore è di pochi strati molecolari.

In queste condizioni, dette di "passività", la sua velocità di corrosione è praticamente nulla.

Un calcestruzzo correttamente confezionato e messo in opera, si comporta come una soluzione alcalina e pertanto "passiva" perfettamente le armature.

Nei pori della sua pasta cementizia è contenuta una soluzione, composta per la maggior parte da idrossido di sodio e di potassio, con pH compreso tra 13 e 14.

Col passare degli anni il calcestruzzo perde facilmente le sue caratteristiche protettive. Questo accade di norma per due motivi:

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

- L'anidride carbonica proveniente dall'ambiente esterno riduce progressivamente la naturale alcalinità del calcestruzzo, partendo dagli strati più esterni verso quelli più interni. Con questo processo di carbonatazione il pH scende da un valore di circa 12 ad un valore anche inferiore a 9.
- A contatto con ambienti contenenti cloruri, nel calcestruzzo possono penetrare questi anioni fino a raggiungere le armature. Se alla superficie delle armature si supera un tenore critico di cloruri, nell'ordine di 0,4 - 1% del contenuto del peso del cemento, lo strato protettivo può rompersi localmente.

2.3 ENTITÀ E CARATTERISTICHE DEL PROCESSO CORROSIVO

La distruzione dello strato protettivo di ossido è la precondizione che permette il processo di corrosione.

Una volta distrutto lo strato protettivo, la corrosione può verificarsi solo se alla superficie delle armature sono presenti acqua e ossigeno, oppure, nel caso di correnti disperse, se l'interferenza continua nel tempo.

La depassivazione avviene solo nelle armature che hanno raggiunto una condizione di *carbonazione* o sulle quali agisce un tenore critico di cloruri. Pertanto, tale fenomeno riguarda solo una parte delle armature.

In una tale situazione è possibile formare una macrocoppia fra le armature che si corrodono e le rimanenti ancora passive, agendo, generalmente, attraverso un collegamento elettrico.

In condizioni particolari, questo processo può però provocare un aumento di velocità del processo di corrosione sulle strutture già intaccate.

Nella vita dei cementi armati si possono individuare due fasi distinte:

- Una fase di innesco della corrosione, in cui si realizzano i fenomeni di neutralizzazione della condizione di passività, cioè la distruzione locale o generale dello strato protettivo di ossido.
- Una fase di propagazione, più o meno veloce, del processo di corrosione, che subentra nel momento in cui lo strato protettivo di ossido è stato completamente eliminato.

La carbonatazione, nel momento in cui raggiunge le armature, complessa e riduce progressivamente lo strato passivante. I cloruri invece ne provocano una rottura localizzata in misura proporzionale alla loro concentrazione e in funzione anche del valore effettivo di pH.

Su armature ad alta resistenza, per strutture di cemento armato precompresso (questo caso non riguarda le comuni armature per cemento armato), in condizioni ambientali, metallurgiche e meccaniche molto specifiche, è possibile che si sviluppino cricche di corrosione, in condizioni di sforzo provocate dall'idrogeno, che conducono alla rottura "fragile" del materiale.

I fenomeni corrosivi risultano spesso segnalati dalla comparsa, sulla superficie esterna del calcestruzzo, di macchie di ruggine o da danneggiamenti del copriferro provocati dall'azione di *aumento di volume specifico* dei prodotti di corrosione.

Infatti il volume degli ossidi prodotti dalla corrosione può essere da *2 a 6 volte maggiore* del volume del ferro da cui provengono, in base alla loro composizione e al grado di idratazione. Per esempio, il volume degli ossidi Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ risulta rispettivamente 2, 3, 4, 6 volte superiore a quello del ferro da cui provengono. In generale, il volume dei prodotti di corrosione, formati da una miscela di questi ossidi, viene considerato come 4 volte superiore a quello del ferro.

Tuttavia, nei casi di attacco corrosivo localizzato, il calcestruzzo può presentare una superficie esterna totalmente integra.

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

2.4 CONSEGUENZE STRUTTURALI

Sebbene i fenomeni corrosivi sulle armature siano spesso confinati a porzioni localizzate della struttura, le loro conseguenze si ripercuotono notevolmente, non solo sullo strato esteriore delle opere interessate, ma anche sulle condizioni strutturali, minandone lo stato di sicurezza generale.

In generale, le principali conseguenze di un attacco corrosivo sono:

- Abbassamento del carico portante e della resistenza a fatica delle armature.
- Formazione di prodotti di corrosione che possono creare fessure nel copriferro, provocarne l'espulsione o la totale delaminazione.
- Riduzione di aderenza delle armature, fino al limite massimo della perdita di ancoraggio.
- Cedimenti improvvisi, per infrangimento da idrogeno. Questo fenomeno riguarda solo quegli acciai a elevato limite di snervamento.

2.5 LA VELOCITÀ DI CORROSIONE

La velocità di corrosione è di solito espressa come velocità di penetrazione e viene misurata in $\mu\text{m}/\text{anno}$.

Raramente si esprime come perdita di massa per unità di superficie e di tempo: in questo caso l'unità di misura è $\text{g}/\text{m}^2/\text{anno}$.

Per prove di laboratorio riportate in letteratura la velocità di corrosione può essere espressa in unità elettrochimiche ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$).

A $1 \text{ mA}/\text{m}^2$ corrisponde, nel caso dell'acciaio, una perdita di massa pari a circa $9 \text{ mg}/\text{m}^2 \text{ anno}$ e una velocità di penetrazione della corrosione pari a $1,17 \mu\text{m}/\text{anno}$.

Finché la velocità di penetrazione si mantiene al di sotto di circa $1,5 - 2 \mu\text{m}/\text{anno}$, sia l'attacco delle armature che le sue conseguenze sono trascurabili.

Quando invece supera i $2 \mu\text{m}/\text{anno}$, i prodotti di corrosione si accumulano all'interfaccia armatura/calcestruzzo provocando dapprima una riduzione di aderenza e poi, una volta che l'attacco è penetrato di uno spessore compreso tra 20 e $200 \mu\text{m}$ (in base alle caratteristiche del copriferro, del diametro delle armature, delle condizioni ambientali, del tipo e della velocità di corrosione, della natura dei suoi prodotti), procurando danni anche nel calcestruzzo.

Indicativamente, le velocità di corrosione si possono classificare come segue:

- velocità trascurabile - inferiore a $2 \mu\text{m}/\text{anno}$
- velocità bassa - tra 2 e $5 \mu\text{m}/\text{anno}$
- velocità moderata - tra 5 e $10 \mu\text{m}/\text{anno}$
- velocità intermedia - tra 10 e $50 \mu\text{m}/\text{anno}$
- velocità alta - tra 50 e $100 \mu\text{m}/\text{anno}$
- velocità elevatissima - superiore a $100 \mu\text{m}/\text{anno}$

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Cernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

3. TECNOLOGIE PER L'INIBIZIONE DELLA CORROSIONE DA CARBONATAZIONE E DA CLORURI

Con riferimento a tecnologie note e pubblicazioni tecniche del settore, i principali sistemi preventivi di protezione della corrosione delle armature dei calcestruzzi si basano sulle seguenti tecniche:

- a. Ripassivazione delle armature
- b. Rialcalinizzazione, sostituzione del calcestruzzo contaminato con malta alcalina da ripristino
- c. Rivestimento dell'armatura - blocco processo anodico
- d. Protezione catodica - blocco della circolazione di corrente nel calcestruzzo
- e. Riduzione del tenore d'acqua mediante rivestimenti, membrane non traspiranti sulla superficie del calcestruzzo per separarlo dall'ambiente esterno
- f. Applicazione superficiale di inibitori di corrosione migratori ad azione selettiva

3.1 RIPASSIVAZIONE DELLE ARMATURE

Tecnologicamente costosa e di difficile applicazione su strutture già esistenti

3.2 RIALCALINIZZAZIONE DELLA MALTA

Si ricopre tutta la superficie interessata dal degrado con uno strato di malta o calcestruzzo alcalino con spessore superiore a 20 mm. Questo trattamento è valido fino a quando il riporto di malta impedisce la penetrazione della carbonatazione. In questo intervento è indispensabile rimuovere completamente il calcestruzzo carbonatato e pulire perfettamente le armature dalla ruggine.

3.3 RIVESTIMENTO DELLE ARMATURE

Applicare una barriera fisica tra l'armatura e la malta da ripristino è l'intervento che si consiglia solamente quando non è possibile intervenire con una delle altre tecniche proposte. L'applicazione di un rivestimento organico, resina epossidica sui ferri preventivamente ripuliti dalla ruggine ha come indirizzo finale quello di generare un rivestimento perfettamente omogeneo resistente alla penetrazione della carbonatazione e dei cloruri. Solitamente a questo intervento segue il ricoprimento delle armature con malta da ripristino. Questo intervento è sconsigliato perché è molto difficile riuscire a realizzare un rivestimento omogeneo e completo di tutte le armature: infatti è indispensabile raggiungere e ricoprire perfettamente anche il lato opposto del ferro (lato a contatto con il calcestruzzo).

3.4 PROTEZIONE CATODICA

La Protezione Catodica delle armature nel calcestruzzo è ormai considerata un metodo affidabile ed ampiamente accettato per combattere la corrosione. Questa tecnica viene prevalentemente impiegata quando i metodi tradizionali non sono efficaci: quando si è in presenza di elevate concentrazioni di Cloruri in prossimità delle armature. In questi casi non è necessario rimuovere completamente il calcestruzzo contenente cloruri ma basta ripristinare le parti in distacco e carbonatate.

Il funzionamento della Prevenzione Catodica si sintetizza in: *passaggio di corrente continua dal calcestruzzo verso le armature*. Alla struttura da proteggere vengono applicati uno o più anodi collegati al polo positivo di un generatore a bassa tensione, mentre il polo negativo è collegato all'armatura che diventa quindi un catodo di una cella elettrochimica. Questo costante passaggio di corrente dal calcestruzzo al metallo consente di diminuire del potenziale di corrosione delle armature e quindi annullare la velocità di corrosione.

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

3.5 RIDUZIONE DEL TENORE D'ACQUA NEL CALCESTRUZZO

Riducendo il contenuto d'acqua contenuto nel calcestruzzo al di sotto del 70 ÷ 75% si riduce sensibilmente la corrosione imputabile alla carbonatazione; per quanto concerne la corrosione da cloruri non è sufficiente questa riduzione: infatti per l'aggressione da cloruri si riduce il valore tanto più basso è il contenuto d'acqua rispetto alla quantità di cloruri che sono contenuti nel calcestruzzo. La protezione alla carbonatazione ed all'aggressione da cloruri dipende dalla validità e dall'efficacia del sistema di protezione superficiale e dalla sua durata nel tempo e dalla valutazione e prevenzione di eventuali infiltrazioni d'acqua per risalita capillare o penetrazioni dall'altra faccia della struttura.

3.6 INIBITORI DI CORROSIONE AD AZIONE MIGRATORIA: LO STATO DELL'ARTE

Gli inibitori di corrosione sono sostanze in grado di mantenere o riportare le armature in condizioni di protezione anche quando alla loro superficie il contenuto di cloruri è superiore alla soglia critica (o il pH è quello del calcestruzzo carbonatato). Gli inibitori di corrosione si suddividono a seconda del meccanismo di funzionamento.

Gli *inibitori di corrosione ad azione migratoria* (ICM) sono appositamente concepiti con l'obiettivo di migrare attraverso il calcestruzzo per raggiungere e proteggere le armature d'acciaio interne anche se in avanzata fase ossidazione.

Le molecole degli ICM migrano allo stato di vapore nei punti e cavità anche minuscole, condensando sulle superfici metalliche sia con cariche positive (sul catodo) che con cariche negative (sull'anodo), formando un film monomolecolare sulla superficie del metallo; tale strato si autocompensa e si autorifornisce condensando altro vapore.

La diffusione delle molecole degli ICM attraverso la porosità del calcestruzzo è stata dimostrata e sono pubblicati studi (Università di Mosca, Università della Virginia) che testimoniano l'efficacia della migrazione e della conseguente protezione, utilizzando le tecniche degli isotopi radioattivi e degli elettrodi sensibili. Misure di potenziale di corrosione con prove di laboratorio e monitoraggi in opera hanno dimostrato l'efficacia delle molecole di ICM nella protezione delle barre di acciaio dalla corrosione anche se in presenza di alte concentrazioni di sali aggressivi, particolarmente cloruri.

3.7 RISULTATI TEST APPLICATIVI E CONCLUSIONI

Preparati ad azione inibitore di corrosione di moderna concezione a base polimerica idrosolubile (*ammina di poliammide di acidi organici bicarbonilici*) sono state sperimentate mediante prove in *spettrometria infrarosso* e della corrente di corrosione verificando l'efficacia sia dal punto di vista dell'efficacia migratoria sia per quanto riguarda l'efficacia chimica nel meccanismo inibitore di corrosione delle armature, peraltro già note da prove di invecchiamento accelerato in atmosfera salina. La corrente di corrosione, calcolata applicando la legge di Ohm ($V = R \cdot I$) misurano il voltaggio attraverso il resistore a *10 Ohm* è un indicatore diretto dell'ammontare della corrosione che avviene e come tale, è un diretto indicatore della quantità di metallo consumato nella barra di armatura.

Facendo riferimento alla *figura 2* (meccanismo inibitore di corrosione) e alla *figura 3* (prove di migrazione) emerge un quadro di efficacia applicativa di assoluto interesse. Dopo un ciclo di invecchiamento accelerato (14 giorni in atmosfera salina a 40°C) le prove pratiche di inibizione di corrosione evidenziano un livello di

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 - 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 - e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

protezione superiore al 96%. Tale dato, di assoluta rilevanza facendo riferimento ad un analogo pezzo non sottoposto a prova di invecchiamento accelerato, è influenzato da altri fattori non trascurabili quali il tempo di trattamento, le condizioni operative generali e il dosaggio di agente inibitore di corrosione.

I risultati ottenuti garantiscono un'ottima efficacia e validità applicativa, a parità di condizioni operative e ambientali, anche rispetto ad analoghi prodotti già presenti sul mercato

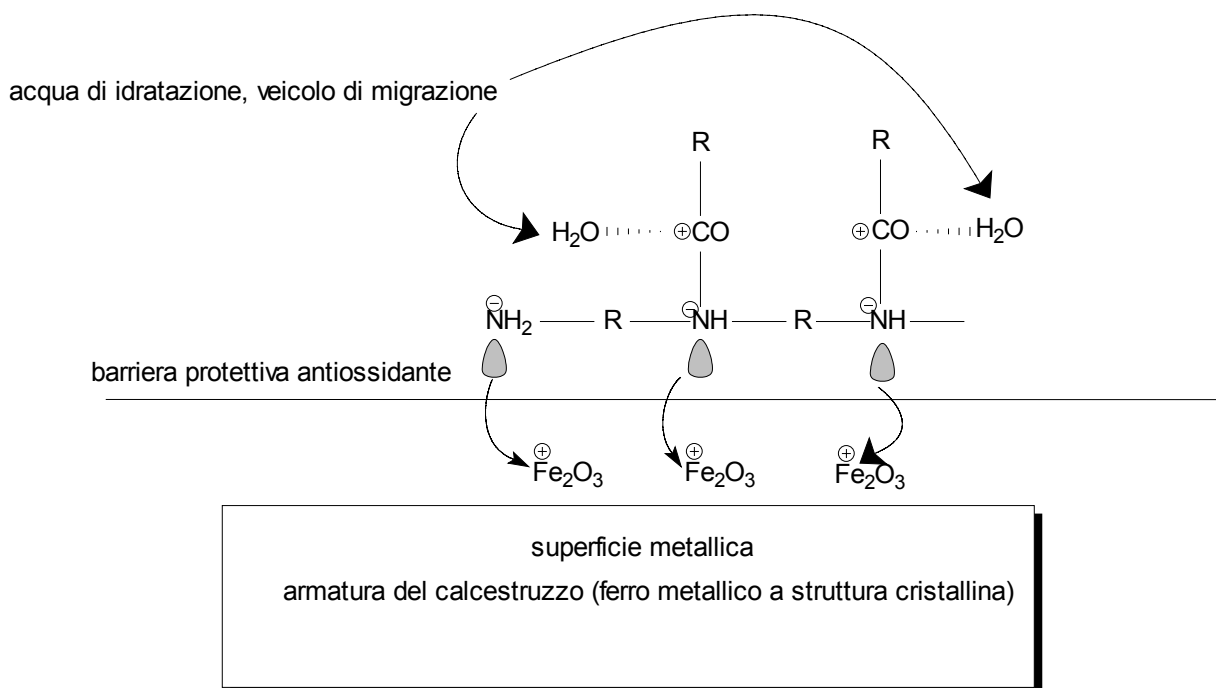


Figura 2: schema del meccanismo chimico di inibizione della corrosione

L'azione inibitrice di corrosione, anche in presenza di concentrazioni relativamente elevate di cloruri, è legata ai gruppi funzionali azotati legati alla struttura polimerica polare che legano, complessano e proteggono sia la superficie di ferro metallico sia lo strato autopassivato dell'armatura di ioni idrati di Fe⁺⁺ e Fe⁺⁺⁺, grazie a meccanismi di effetto induttivo, effetto di repulsione elettrostatica ed effetto barriera (effetto sterico). Inoltre è probabile che nel tempo si aggiunga un meccanismo di controllo del pH alcalino per effetto "tamponante" da parte dei gruppi funzionali poliamminici.

Il meccanismo migratorio è funzione della tipologia, dalla porosità e dalla densità di calcestruzzo ed è legato principalmente al fenomeno della migrazione ionica del polimero *poliammidico/carbossilico anfotero* idrato mediante il mezzo acquoso.

Le prove svolte su un periodo di 6 settimane con blocchi di cemento Portland a bassa porosità hanno evidenziato una velocità media di migrazione indicativa di 0,9 cm/settimana, per dosaggi di 150 g/m² e di 1,1 cm/settimana per dosaggi di 300 g/m².

Dott. Alessandro Trosa

Ordine dei Chimici del Piemonte e Valle d'Aosta n. 1997 - Partita IVA: 09757780011

Via Vittime di Chernobyl, 14 – 10042 Nichelino (TO)

Tel/fax: 011 6290075 – e-mail: alessandro.trosa@yahoo.com

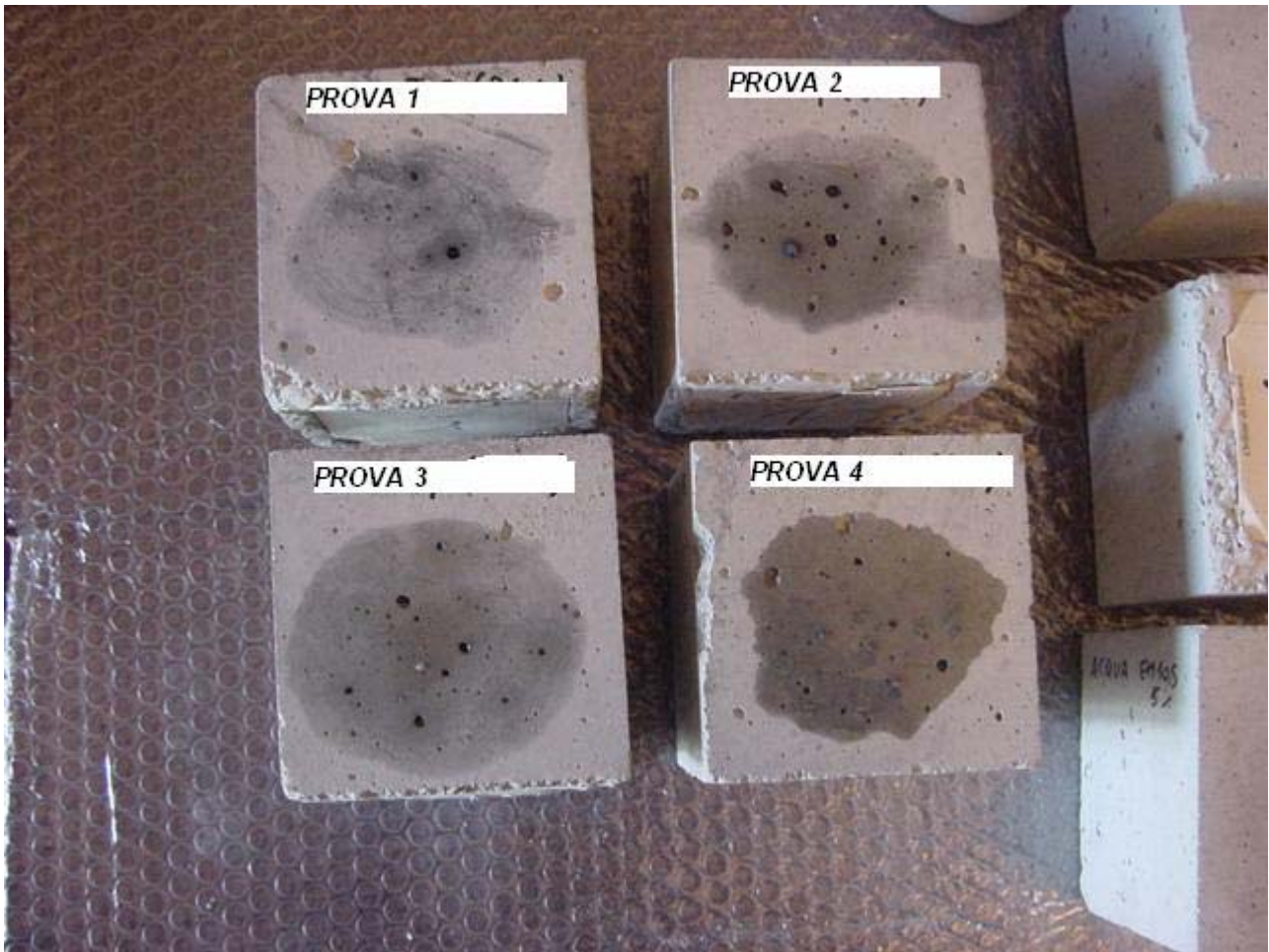


Figura 3: prove pratiche di migrazione a diverse concentrazioni su cemento a bassa porosità

Torino, 30/04/2008



