



Copyright © 1996 McGraw-Hill Libri Italia srl
piazza Emilia, 5 - 20129 Milano

McGraw-Hill
A Division of The McGraw-Hill Companies

I diritti di traduzione, di riproduzione, di memorizzazione elettronica e di adattamento totale e parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i paesi.

Editor: Alberto Kratter Thaler
Redazione: Chiara Tartara
Produzione: Ines Farina
Grafica di copertina: Achilli & Piazza e Associati
Stampa: Tipleco - S. Bonico (PC)

Printed in Italy
1234567890 TIPTIP 909876
1a edizione maggio 1996
ISBN 88 386 3216-2

INDICE

Premessa, IX

Parte prima: Corrosione nel calcestruzzo

Capitolo 1 Aspetti generali, 3

1.1 Innesco e propagazione della corrosione, 3; 1.2 Morfologia, 5; 1.3 Conseguenze strutturali, 5; 1.4 Meccanismo elettrochimico e processi controllanti, 7; 1.5 Velocità di corrosione, 10; 1.6 Comportamento di altri materiali metallici, 11.

Capitolo 2 Cementi e pasta cementizia, 13

2.1 Cemento portland, 13; 2.2 Porosità della pasta di cemento idratata, 14; 2.3 Cementi con aggiunte minerali, 19; 2.4 Norme sui cementi, 21; 2.5 Cemento alluminoso, 23.

Capitolo 3 Processi di trasporto nel calcestruzzo, 25

3.1 L'acqua nella pasta cementizia, 27; 3.2 Diffusione, 29; 3.3 Assorbi-

mento capillare, 32; 3.4 Permeazione, 33; 3.5 Trasporto elettroforetico, 35; 3.6 Meccanismi e grandezze rilevanti, 37.

Capitolo 4 Corrosione da carbonatazione, 41

4.1 La carbonatazione, 41; 4.2 Tempo di innesco, 46; 4.3 Velocità di avanzamento, 50.

Capitolo 5 Corrosione da cloruri, 55

5.1 Meccanismo, 56; 5.2 Tempo di innesco, 58; 5.3 Velocità di avanzamento, 61.

Capitolo 6 Aspetti elettrochimici, 63

6.1 Calcestruzzo non carbonatato e senza cloruri, 64; 6.2 Calcestruzzo carbonatato, 68; 6.3 Calcestruzzo contenente cloruri, 70; 6.4 Strutture polarizzate catodicamente o anodicamente, 73.

Capitolo 7 Corrosione da macrocoppie, 75

7.1 Aspetti elettrochimici, 76; 7.2 Strutture aeree, 80; 7.3 Strutture interrate o immerse, 81.

Capitolo 8 Corrosione da correnti disperse, 85

In collaborazione con Luciano Lazzari

8.1 Interferenza in strutture metalliche interrate, 86; 8.2 Interferenza in strutture in c.a. e c.a.p., 93; 8.3 Strutture non inquinate da cloruri e non carbonatate, 94; 8.4 Strutture che non si corrodono, ma inquinate da cloruri, 98; 8.5 Strutture che già si corrodono, 99; 8.6 Interferenza da corrente alternata, 100; 8.7 Sviluppo di idrogeno, 101.

Capitolo 9 Infragilimento da idrogeno, 103

9.1 Condizioni metallurgiche, meccaniche e di carico, 103; 9.2 Condizioni ambientali, 106; 9.3 Idrogeno generato durante l'esercizio, 107; 9.4 Idrogeno generato prima del riempimento delle guaine, 110.

Capitolo 10 Degrado del calcestruzzo, 113

In collaborazione con Mario Berra e Fabio Bolzoni

10.1 Attacco da gelo-disgelo, 114; 10.2 Attacco acido e dilavamento, 118; 10.3 Attacco solfatico, 118; 10.4 Reazione alcali aggregati, 120; 10.5 Acqua di mare, 124.

Capitolo 11 Principali fattori, 127

11.1 Presenza di fessure, 127; 11.2 Spessore del copriferro, 130; 11.3 Condizioni di aggressività, 131; 11.4 Analisi dei casi di corrosione, 134.

Capitolo 12 Diagnosi e monitoraggio, 137

In collaborazione con Bruno Bazzoni, Luciano Lazzari e Tommaso Pastore

12.1 Tecniche elettrochimiche di ispezione, 137; 12.2 Misura e mappatura del potenziale, 139; 12.3 Polarizzazione lineare, 144; 12.4 Misure di resistività, 147; 12.5 Tecniche di monitoraggio, 148; 12.6 Diagnosi e monitoraggio dell'interferenza, 150.

Capitolo 13 Prevenzione, 155

13.1 Qualità del calcestruzzo, 158; 13.2 Prevenzione secondo le norme, 160; 13.3 Proposte per valutare la durabilità, 165; 13.4 Modelli di determinazione della vita di servizio, 167; 13.5 Misure di protezione aggiuntiva, 173.

Capitolo 14 Interventi sul calcestruzzo, 177

14.1 Additivi fluidificanti, 177; 14.2 Aggiunte minerali, 178; 14.3 Inibitori di corrosione, 180; 14.4 Trattamenti superficiali, 182.

Capitolo 15 Armature resistenti a corrosione, 191

In collaborazione con Fabio Bolzoni e Tommaso Pastore

15.1 Acciai per armature, 192; 15.2 Acciai inossidabili, 194; 15.3 Acciaio zincato, 198; 15.4 Rivestimento con resine epossidiche, 201.

Capitolo 16 Linee guida per il ripristino, 205

16.1 Livelli decisionali, 206; 16.2 Principi base, 209; 16.3 Strutture carbonatate, 210; 16.4 Strutture inquinate da cloruri, 214; 16.5 Strutture interessate da correnti disperse, 218.

Capitolo 17 Tecniche elettrochimiche, 221

17.1 Sviluppo delle varie tecniche, 222; 17.2 Effetti positivi della circolazione di corrente, 224; 17.3 Effetti collaterali negativi, 225; 17.4 Lavoro motore e resistenza di reazione, 226; 17.5 Come operano le varie tecniche, 227; 17.6 Condizioni operative per la protezione e la prevenzione, 230; 17.7 Potere penetrante, 232; 17.8 Sistema anodico, 233; 17.9 Criteri di protezione, 234; 17.10 Rimozione dei cloruri e ricalcinizzazione, 234; 17.11 Fenomeni elettroosmotici, 236.

Parte seconda: Corrosione negli ambienti naturali

Capitolo 18 Atmosfera, 241

In collaborazione con Tommaso Pastore

18.1 Fattori, 244; 18.2 Protezione mediante zincatura, 250; 18.3 Protezione mediante pitture, 254; 18.4 Prevenzione in sede di progetto, 259.

Capitolo 19 Terreni, 263

In collaborazione con Luciano Lazzari

19.1 Corrosione in assenza di batteri, 262; 19.2 Corrosione batterica, 267; 19.3 Previsione della corrosività, 269; 19.4 Prevenzione, 270.

Capitolo 20 Acque dolci, 276

In collaborazione con Bruno Bazzoni, Marina Cabrini, Luciano Lazzari

20.1 Proprietà, 277; 20.2 Principali fattori, 282; 20.3 Materiali per condotte e serbatoi, 284.

Capitolo 21 Acqua di mare, 292

In collaborazione con Luciano Lazzari e Tommaso Pastore

21.1 Proprietà, 292; 21.2 Zone di corrosione, 294; 21.3 Materiali, 295; 21.4 Corrosione sotto sforzo, a fatica e per sfregamento, 299; 21.5 Protezione catodica, 301.

Indice analitico, 305

Il campo della corrosione è con molta aderenza paragonabile a quello della medicina. Per i materiali, la corrosione è indubbiamente la più insidiosa delle cause di decadimento e di morte e al corrosionista si presenta il compito, in genere assai arduo, di diagnosticare il male, di stabilirne le cause, di prevenirlo ove possibile altrimenti di reprimerlo o contenerlo in limiti accettabili... [A questo scopo il corrosionista deve]... pazientemente costruirsi il suo atlante di anatomia patologica dei materiali esposti ai più svariati ambienti aggressivi, edificare il corpus della sua diagnostica, sviluppare una sempre più efficace farmacologia anticorrosionistica.

Roberto Piontelli, 1961

PREMESSA

La durabilità dei calcestruzzi che i Romani preparavano utilizzando calce, pozzolana e aggregati ha conferme millenarie. Sono giunte fino noi, in condizioni di conservazione perfetta, prestigiose opere in conglomerato cementizio come il Pantheon, finito di costruire nella forma attuale nel 125 d.C., o come gli archi di Claudio ad Anzio, il ponte Emilio a Roma o alcune opere nei porti di Ancona o di Civitavecchia, rimaste per più di duemila anni in ambiente marino o a contatto con acqua [1]. È la dimostrazione che il calcestruzzo può presentare la durabilità di una pietra naturale, almeno in assenza di alcune specifiche cause di degrado come gli ambienti acidi o solfatici, il gelo-disgelo, la presenza di aggregati reattivi.

Oggi, grazie ai progressi nella chimica del cemento e nella tecnologia del calcestruzzo avvenuti negli ultimi decenni, anche queste cause di degrado possono essere contrastate efficacemente, per cui, con una corretta scelta dei materiali di partenza, con una preparazione e una messa in opera dell'impasto effettuate con cura e con controlli adeguati, è possibile ottenere opere in calcestruzzo durevoli in un ampio spettro di condizioni operative.

Il caso delle strutture in cemento armato è in parte diverso. Queste strutture non sono eterne o quasi, come si riteneva fino agli anni '70, ma hanno una durata limitata in genere proprio a causa della corrosione delle loro armature.