

INDICE

Premessa, XII

1. Prestazioni dei materiali e progetto, 3

- 1.1 Comportamento meccanico, 6
- 1.2 Azione dell'ambiente, 6
- 1.3 Vita di servizio e durabilità, 11
- 1.4 Prevenzione del degrado, 16
- 1.5 Restauro, 18
- 1.6 Interazione con l'ambiente, 19

Parte I – DEGRADO E PREVENZIONE

2. Fenomeni di trasporto, 23

- 2.1 Materiali porosi, 24
 - 2.1.1 Caratteristiche dei pori, 24
 - 2.1.2 Contenuto di umidità, 24
 - 2.1.3 Condensazione capillare ed evaporazione, 26
- 2.2 Trasporto di massa, 29
 - 2.2.1 Diffusione, 30
 - 2.2.2 Permeazione, 34
 - 2.2.3 Assorbimento capillare, 35
 - 2.2.4 Migrazione elettrica, 37
- 2.3 Trasporto di calore e proprietà termiche, 41
 - 2.3.1 Proprietà termiche, 41
 - 2.3.2 Variazioni dimensionali di origine termica, 43
 - 2.3.3 Trasformazioni con la temperatura, 44

- 3. Corrosione, 47**
 - 3.1 Conseguenze, 48
 - 3.1.1 Forme di corrosione, 49
 - 3.2 Principi, 52
 - 3.2.1 Meccanismo elettrochimico, 52
 - 3.2.2 Velocità di corrosione, 53
 - 3.2.3 Termodinamica della corrosione, 55
 - 3.2.4 Cinetica della corrosione, 58
 - 3.3 Passività, 65
 - 3.3.1 Curva di polarizzazione di un metallo attivo-passivo, 66
 - 3.4 Corrosione localizzata, 69
 - 3.4.1 Fattori che favoriscono la localizzazione dell'attacco, 69
 - 3.4.2 Pitting, 72
 - 3.4.3 Corrosione in fessura (crevice), 76
 - 3.5 Corrosione e azioni meccaniche, 78
 - 3.5.1 Corrosione sotto sforzo (stress corrosion cracking, SCC), 78
 - 3.5.2 Corrosione-fatica, 83

- 4. Strutture in acciaio, 87**
 - 4.1 Corrosione atmosferica degli acciai non legati, 87
 - 4.1.1 Fattori meteorologici e climatici, 88
 - 4.1.2 Contaminanti atmosferici, 92
 - 4.1.3 Microambiente e progettazione, 95
 - 4.2 Protezione con rivestimenti organici, 97
 - 4.2.1 Composizione delle pitture, 98
 - 4.2.2 Effetto barriera, 98
 - 4.2.3 Pigmenti attivi, 99
 - 4.2.4 Cicli di pitturazione, 100
 - 4.2.5 Danneggiamento delle pitture, 102
 - 4.2.6 Norme e prescrizioni, 103
 - 4.3 Zincatura, 105
 - 4.3.1 Tipi di zincatura, 106
 - 4.3.2 Velocità di corrosione dello zinco, 106
 - 4.3.3 Protezione attiva dell'acciaio, 107
 - 4.3.4 Trattamenti successivi alla zincatura, 108
 - 4.4 Acciai patinabili, 109

- 5. Strutture in acciaio interrate o immerse, 113**
 - 5.1 Corrosione nei terreni, 113
 - 5.1.1 Corrosione generalizzata nei terreni aerati, 114
 - 5.1.2 Corrosione per contatto galvanico, 117
 - 5.1.3 Corrosione per aerazione differenziale, 122

- 5.1.4 Corrosione per correnti disperse, 123
- 5.1.5 Corrosione batterica, 125
- 5.1.6 Protezione delle tubazioni in acciaio interrate, 125
- 5.2 Corrosione nelle acque, 125
 - 5.2.1 Acque dolci, 125
 - 5.2.2 Acqua di mare, 128
- 5.3 Protezione catodica, 129
 - 5.3.1 Condizioni di protezione, 130
 - 5.3.2 Modalità di applicazione, 132
 - 5.3.3 Rivestimenti, 133
 - 5.3.4 Protezione catodica per passività perfetta, 134
- 6. Acciai inossidabili e metalli non ferrosi, 139**
 - 6.1 Acciai inossidabili, 139
 - 6.1.1 Resistenza alla corrosione per pitting e in fessura, 142
 - 6.1.2 Corrosione intergranulare, 144
 - 6.1.3 Esposizione atmosferica, 146
 - 6.2 Alluminio e leghe di alluminio, 148
 - 6.2.1 Pitting, 148
 - 6.2.2 Anodizzazione, 149
 - 6.3 Rame e leghe di rame, 149
 - 6.4 Titanio e leghe di titanio, 151
 - 6.5 Nichel e leghe di nichel, 153
- 7. Degrado delle opere in c.a. e c.a.p., 155**
 - 7.1 Degrado del calcestruzzo, 156
 - 7.1.1 Degrado precoce, 157
 - 7.1.2 Attacco da gelo-disgelo, 157
 - 7.1.3 Attacco solfatico, 160
 - 7.1.4 Reazione alcali-aggregati (*ASR*), 162
 - 7.2 Corrosione delle armature, 166
 - 7.2.1 Calcestruzzo alcalino e senza cloruri, 166
 - 7.2.2 Corrosione da carbonatazione, 168
 - 7.2.3 Corrosione da cloruri, 173
 - 7.2.4 Macro Coppie, 181
 - 7.2.5 Correnti disperse, 182
 - 7.2.6 Effetti della corrosione sugli acciai da precompressione, 183
- 8. Strutture in c.a. e c.a.p.: prevenzione, 187**
 - 8.1 Fattori per il progetto della durabilità, 188
 - 8.1.1 Aggressività ambientale, 189
 - 8.1.2 Qualità del calcestruzzo, 190
 - 8.1.3 Spessore di copriferro, 192
 - 8.1.4 Fessure, 192

- 8.1.5 Particolari costruttivi, 193
- 8.1.6 Ispezione e manutenzione programmata, 193
- 8.2 Progetto della durabilità, 194
 - 8.2.1 Approcci prescrittivi, 194
 - 8.2.2 Approcci prestazionali, 201
- 8.3 Le protezioni aggiuntive, 208
 - 8.3.1 Armature in acciaio zincato, 208
 - 8.3.2 Armature in acciaio inossidabile, 210
 - 8.3.3 Armature rivestite con epossidiche, 212
 - 8.3.4 Trattamenti superficiali del calcestruzzo, 213
 - 8.3.5 Inibitori di corrosione, 216
 - 8.3.6 Prevenzione catodica, 217
- 8.4 Dal progetto alla realizzazione, 217
 - 8.4.1 Prescrizioni, 217
 - 8.4.2 Controlli, 218
- 8.5 Prevenzione della corrosione degli acciai da precompressione, 219

- 9. Murature, 223**
 - 9.1 Materiali per le murature, 223
 - 9.2 Umidità nelle murature, 225
 - 9.2.1 Meccanismi di ingresso dell'acqua, 226
 - 9.2.2 Risalita capillare, 228
 - 9.2.3 Distribuzione dell'umidità all'interno di una muratura, 232
 - 9.3 Meccanismi di degrado, 233
 - 9.3.1 Azioni chimiche, 233
 - 9.3.2 Azioni fisiche, 235
 - 9.3.3 Alterazioni biologiche, 240
 - 9.3.4 Corrosione degli inserti metallici, 241

- 10. Opere in legno, 243**
 - 10.1 Umidità e variazioni dimensionali, 243
 - 10.2 Attacco biologico, 247
 - 10.3 Altri tipi di attacco, 252
 - 10.4 Prevenzione del degrado delle opere in legno, 253

- 11. Degrado dei polimeri, 257**
 - 11.1 Effetti della temperatura, 259
 - 11.1.1 Trasformazioni fisiche, 259
 - 11.1.2 Degradazione termica, 260
 - 11.2 Invecchiamento fisico, 261
 - 11.3 Interazione con sostanze liquide, 262
 - 11.3.1 Azione dei solventi, 262
 - 11.3.2 Environmental stress crazing, 263
 - 11.4 Azione dell'ambiente, 263

12. Comportamento al fuoco dei materiali, 267

- 12.1 Rischi legati all'incendio, 267
- 12.2 Cenni sulla combustione, 269
 - 12.2.1 Combustibili, 269
 - 12.2.2 Aria teorica e composizione dei fumi, 270
 - 12.2.3 Combustione di gas e liquidi, 271
 - 12.2.4 Combustione dei solidi, 271
- 12.3 Comportamento al fuoco di alcune classi di materiali, 272
 - 12.3.1 Acciai, 272
 - 12.3.2 Calcestruzzo armato, 274
 - 12.3.3 Gesso e prodotti a base di gesso, 277
 - 12.3.4 Materie plastiche, 277
 - 12.3.5 Legno, 279

Parte II – INDAGINI SUI MATERIALI E SULLE COSTRUZIONI**13. Tecniche di studio dei materiali, 285**

- 13.1 Analisi chimico-fisiche, 286
 - 13.1.1 Analisi chimiche tradizionali, 286
 - 13.1.2 Tecniche strumentali, 289
- 13.2 Analisi microstrutturali, 295
 - 13.2.1 Osservazione macroscopica, 296
 - 13.2.2 Microscopia ottica, 297
 - 13.2.3 Microscopia elettronica, 299
 - 13.2.4 Diffrazione di raggi X, 303
- 13.3 Prove di corrosione, 305
 - 13.3.1 Prove di esposizione, 305
 - 13.3.2 Tecniche elettrochimiche, 307
- 13.4 Prove sui materiali porosi, 312
- 13.5 Misura delle variazioni dimensionali, 314
- 13.6 La *failure analysis*, 314

14. Tecniche di ispezione, 319

- 14.1 Programmazione dell'ispezione, 320
 - 14.1.1 Raccolta dei dati, 320
 - 14.1.2 Ispezione visiva e programmazione dell'ispezione, 321
- 14.2 Ispezione delle strutture in calcestruzzo armato, 323
 - 14.2.1 Ispezione visiva, 323
 - 14.2.2 Tecniche non distruttive, 325
 - 14.2.3 Prelievo di campioni e analisi sul calcestruzzo, 330
 - 14.2.4 Misura dello spessore di copriferro, 333
 - 14.2.5 Misure elettrochimiche, 333
 - 14.2.6 Previsione della vita residua, 337

- 14.3 Ispezione delle strutture metalliche, 339
 - 14.3.1 Caratterizzazione del materiale, 339
 - 14.3.2 Controlli non distruttivi, 339
- 14.4 Ispezione delle murature, 340
 - 14.4.1 Misura del contenuto di umidità, 342
- 14.5 Ispezione delle opere in legno, 344
- 14.6 Monitoraggio, 346

Parte III – MATERIALI E TECNICHE PER IL RESTAURO

15. Tecniche di intervento, 353

- 15.1 Strutture metalliche, 354
- 15.2 Murature, 355
 - 15.2.1 Impermeabilizzazioni, 356
 - 15.2.2 Intonaci macroporosi, 358
 - 15.2.3 Tecniche di rimozione dell'umidità, 359
 - 15.2.4 Consolidamento delle murature, 361
- 15.3 Opere in legno, 361
- 15.4 Conservazione del patrimonio culturale, 365
- 15.5 Pitture e rivestimenti protettivi, 367
- 15.6 Adesivi strutturali, 372
 - 15.6.1 Adesione, 372
 - 15.6.2 Adesivi epossidici per applicazioni *in situ*, 374
 - 15.6.3 Proprietà degli adesivi strutturali, 375
 - 15.6.4 Effetti ambientali sugli adesivi strutturali, 376
- 15.7 Rinforzi esterni con *FRP*, 378
 - 15.7.1 Modalità di rinforzo, 379
 - 15.7.2 Compositi per il rinforzo strutturale, 380
 - 15.7.3 Modalità d'applicazione, 383
 - 15.7.4 Effetto di temperatura e umidità, 384

16. Restauro delle strutture in c.a., 387

- 16.1 Approcci al restauro, 388
- 16.2 Metodo convenzionale, 389
 - 16.2.1 Rimozione del calcestruzzo, 390
 - 16.2.2 Tecniche di rimozione, 395
 - 16.2.3 Preparazione delle superfici, 396
 - 16.2.4 Malte, 397
 - 16.2.5 Prescrizioni e controlli di qualità, 399
 - 16.2.6 Spessore di copriferro, 400
 - 16.2.7 Protezioni aggiuntive, 400
- 16.3 Tecniche elettrochimiche, 402
 - 16.3.1 Principi dei metodi elettrochimici, 402
 - 16.3.2 Protezione catodica delle strutture contaminate da cloruri, 404

- 16.3.3 Prevenzione catodica, 406
- 16.3.4 Protezione catodica delle strutture carbonatate, 408
- 16.3.5 Rialcalinizzazione elettrochimica, 408
- 16.3.6 Rimozione elettrochimica dei cloruri, 409
- 16.4 Strutture in calcestruzzo armato precompresso, 411
- 16.5 Rinforzo strutturale, 414

Parte IV – I MATERIALI DA COSTRUZIONE, L’UOMO E L’AMBIENTE

17. Ciclo di vita dei materiali, 419

- 17.1 Ambiente serbatoio di risorse, 420
 - 17.1.1 Risorse non rinnovabili, 420
 - 17.1.2 Risorse rinnovabili, 424
 - 17.1.3 Prezzo delle risorse e modello di prelievo, 424
- 17.2 Trasformazione delle risorse, 426
- 17.3 Ambiente pozzo di rifiuti, 431
 - 17.3.1 Gerarchia delle soluzioni, 432
 - 17.3.2 I percorsi della dismissione, 433
 - 17.3.3 Riciclo di alcune classi di materiali, 435
- 17.4 I materiali e la salute dell’uomo, 439
 - 17.4.1. Caratteristiche tossicologiche delle sostanze e dei composti, 442
 - 17.4.2. Rapporto fra dose e effetto, 445
 - 17.4.3 Materiali da costruzione e atmosfera domestica, 447

18. Materiali cementizi e ambiente, 449

- 18.1 Sviluppi nella produzione dei cementi, 449
 - 18.1.1 Miglioramenti impiantistici, 452
 - 18.1.2 Nuovi tipi di leganti, 453
- 18.2 Impiego di aggiunte minerali di riciclo, 454
 - 18.2.1 Aggiunte minerali tradizionali, 454
 - 18.2.2 Ricerche su nuove aggiunte minerali da riciclo, 456
 - 18.2.3 Valutazione delle proprietà pozzolaniche delle aggiunte, 457
- 18.3 Aggregati e riciclo dei materiali da demolizione, 460
- 18.4 Ruolo dei materiali cementizi nel ciclo di vita delle costruzioni, 464

Bibliografia, 469

Indice analitico, 475