



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI

FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

**IL DEGRADO DELLE STRUTTURE IN  
CEMENTO ARMATO: ANALISI, DIAGNOSI ED  
INTERVENTI DI RIPRISTINO**

Relatore:  
Chiar.<sup>mo</sup> Prof. Ernesto Grande

Candidato:  
Davis Magrin  
Matr. N°: STA06957/L7

ANNO ACCADEMICO

2017/2018

## INDICE GENERALE

<u>INDICE DELLE ABBREVIAZIONI</u> .....	3
<u>INTRODUZIONE</u> .....	4
<u>CAPITOLO 1 - IL CEMENTO ARMATO</u> .....	6
<u>CAPITOLO 2 - NORME TECNICHE</u> .....	11
<u>2.1 Sicurezza ed affidabilità strutturale</u> .....	16
<u>CAPITOLO 3 - IL DEGRADO DELLE STRUTTURE IN C.A.</u> 19	
<u>3.1 Le aggressioni di tipo chimico</u> .....	23
<u>3.2 Le aggressioni di tipo fisico</u> .....	32
<u>3.3 Le aggressioni di tipo meccanico</u> .....	36
<u>3.4 Difetti nella miscela</u> .....	37
<u>3.5 Le classi d'esposizione</u> .....	39
<u>3.6 Lo spessore del copriferro</u> .....	49
<u>CAPITOLO 4 - ANALISI E DIAGNOSI DEL DEGRADO DELLE FACCIAE DEL CONDOMINIO "VALPARADISO 2"</u> .....	56
<u>4.1 Raccolta dati storici</u> .....	58
<u>4.2 Sopralluoghi con esame visivo</u> .....	61
<u>4.3 Prove eseguite in sito</u> .....	68
<u>4.4 Esame critico comparativo dei dati e diagnosi delle presunte cause di degrado</u> .....	75
<u>CAPITOLO 5 - GLI INTERVENTI DI RIPRISTINO</u> .....	77
<u>CONCLUSIONI</u> .....	82
<u>APPENDICE</u> .....	85
<u>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</u> .....	86

## **ABSTRACT**

È cresciuto, negli anni, l'interesse per il degrado e il recupero delle strutture in cemento armato per salvaguardare il patrimonio edilizio esistente ed aumentare la sicurezza strutturale delle vecchie costruzioni.

È cambiato anche l'iter progettuale ed esecutivo delle opere in cemento armato non più basato esclusivamente su un approccio di tipo strutturale, ma considerando anche tutti quei fattori sia di natura ambientale, che costruttivi, responsabili del degrado del calcestruzzo e con essi le relative conseguenze più o meno gravi che il fenomeno può arrecare.

L'obiettivo dell'elaborato di tesi è quello di approfondire lo studio delle principali cause di degrado nelle strutture in cemento armato, in particolare l'analisi e la diagnosi del degrado delle facciate dei due edifici nel Comune di Aprilia, Provincia di Latina.

L'eccessivo degrado dei materiali è considerato dalle nuove NTC 2018 tra gli SLE, rappresenta quindi una condizione limite che riguarda la funzionalità della struttura e che potrebbe ridurre la sua durabilità.

La durabilità del calcestruzzo è un requisito che deve essere garantito progettando la struttura e la specifica manutenzione in modo tale che il degrado, che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto, non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto. Tale requisito è stato valorizzato dalle nuove NTC

2018 e deve essere soddisfatto tenendo conto anche di dettagli costruttivi quali il rapporto a/c, lo spessore del copriferro, i fattori ambientali, che spesso vengono trascurati.

Le opere strutturali dei fabbricati oggetto di studio sono state ultimate nel 1998, da ritenersi quindi relativamente giovani, ma i sopralluoghi effettuati hanno evidenziato un degrado di tipo chimico che interessa sia la matrice cementizia che le armature metalliche da attribuirsi all'aggressione di anidride carbonica e gas presenti in atmosfera che, combinandosi con l'acqua meteorica e di esercizio degli edifici, causa il fenomeno della carbonatazione.

Tale fenomeno è piuttosto diffuso e spesso associato all'impiego di calcestruzzo di mediocre qualità, poroso e quindi permeabile all'anidride carbonica, all'umidità e all'ossigeno dell'aria.

È stato possibile rimuovere, con facilità, alcune parti del copriferro del calcestruzzo armato, denotando un decadimento accentuato dello stesso.

Per entrambi gli edifici, rispetto al progetto strutturale, non è stato rispettato, in fase di esecuzione dei lavori, lo spessore del copriferro delle armature posate in opera. La posizione rilevata delle barre di armatura in più punti della struttura è risultata essere inferiore a quella di cm 3 prescritta e in alcuni punti molto superficiale. Tale fatto ha rappresentato un acceleratore del probabile innesco del degrado delle armature che ha certamente contribuito alla

promozione della ossidazione dei ferri. La corrosione dei ferri appare localizzata e, dall'esame visivo, di tipo superficiale senza aver causato una riduzione eccessiva della percentuale della sezione resistente originaria.

Due le prove eseguite in sito. La prima, quella alla fenolftaleina, eseguita su campioni di calcestruzzo estratti tramite carotaggio, 10 saggi totali, per la determinazione della profondità di carbonatazione che hanno accertato un calcestruzzo poco compatto, permeabile e con un rapporto a/c molto alto.

La seconda prova, quella combinata sclerometro + ultrasuoni, denominata metodo SONREB, per valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo in situ.

Per concludere, le nuove NTC 2018 si preoccupano e condizionano la realizzazione dei dettagli costruttivi che sono fondamentali per garantire la durabilità delle strutture. È importante, in particolare, aumentare lo spessore del copriferro, dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente, e diminuire il rapporto a/c, facilitando così la formazione di una microstruttura della pasta cementizia meno porosa.

Quando questi dettagli costruttivi vengono trascurati le strutture in calcestruzzo sono inevitabilmente destinate a degradarsi nel tempo.

## **BIBLIOGRAFIA**

M. COLLEPARDI, 'Il Nuovo calcestruzzo', Ed. Tintoretto, 2003

M. COLLEPARDI, J. J. OGOURRAH OLAGOT, F. SIMONELLI, R. TROLI, 'Il calcestruzzo vulnerabile - Prevenzione, diagnosi del degrado e restauro', Edizione Enco S.r.l., 2005

Prof. Ing. L. COPPOLA, 'Durabilità delle Strutture - Il copriferro' Università degli Studi di Bergamo Facoltà di Ingegneria

MAPEI 'Il degrado del calcestruzzo'

BibLus-net Acca, 'Classi di esposizione del calcestruzzo'

Arch. G. BELARDINELLI, iscritto all'Albo degli Architetti di Roma al numero 11718, 'Relazione Tecnica - Analisi e diagnosi del degrado delle facciate costituenti i prospetti degli edifici (M1-M2) del Condominio Valparadiso 2'

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, 'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni' (NTC 2018)

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 'Norme Tecniche per le Costruzioni', Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, 2008, (NTC 2008)

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, 'Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le

Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008, approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici'

Decreto Ministeriale 9 gennaio 1996, 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precomprese e per le strutture metalliche'

UNI 11104:2016 'Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206'

UNI EN 206:2016 'Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità'

UNI EN 13670:2010 'Esecuzione di strutture di calcestruzzo'

UNI EN 12390-8:2009 'Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione'

UNI EN 14630:2007 Norma Europea per i prodotti e i sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo. Metodi di prova: determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina

UNI EN 1992-1-1 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici ENV 1992-1-1

UNI 9944:1992 Norma sulla corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della

profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo

UNI 9524:1989 Calcestruzzo indurito. Rilievi microsismici mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza, in campioni o strutture di calcestruzzo semplice, armato o precompresso

UNI 9189:1988 Calcestruzzo indurito. Determinazione dell'indice sclerometrico