

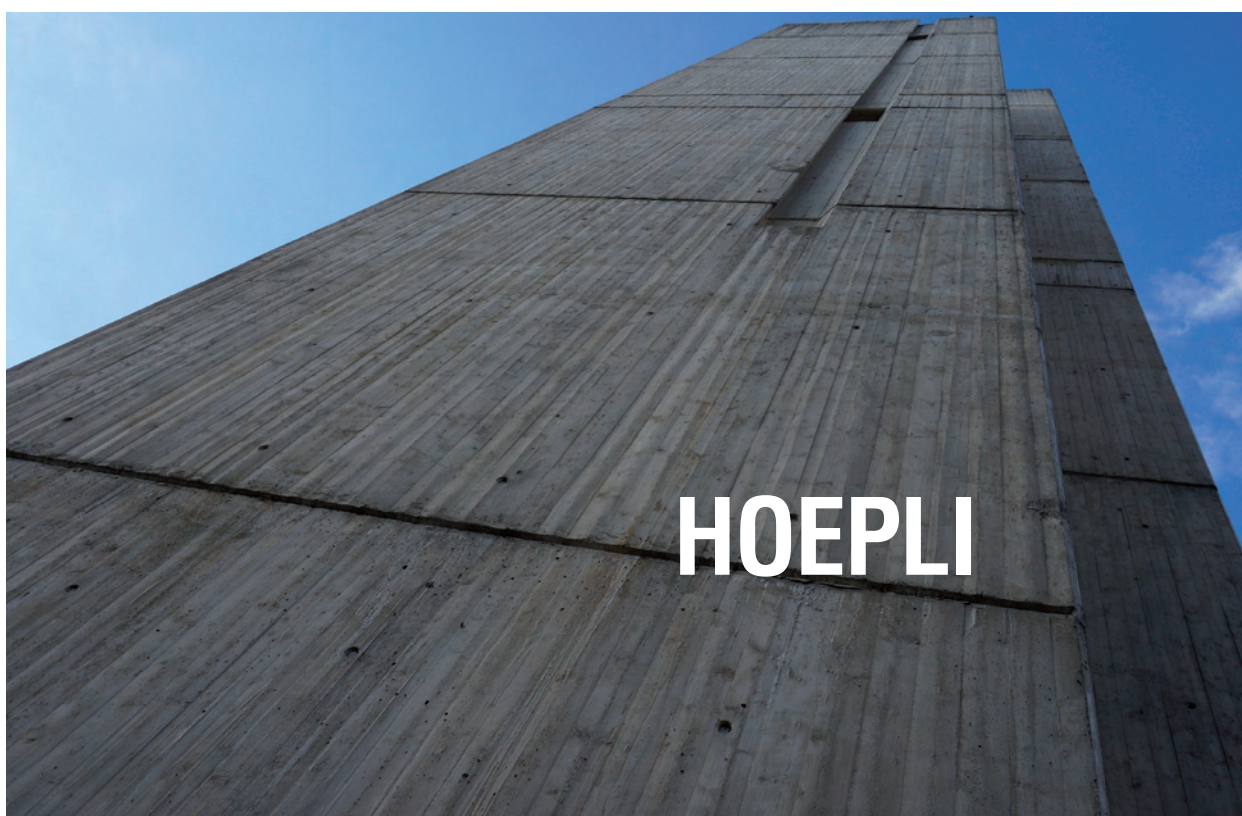
Luigi Coppola, Alessandra Buoso

# IL RESTAURO DELL'ARCHITETTURA MODERNA IN CEMENTO ARMATO

Alterazione e dissesto delle strutture in c.a. - Diagnostica

Interventi di manutenzione e adeguamento antisismico

Materiali, tecniche e cantieristica



**HOEPLI**



Il volume presenta le principali forme di alterazione e dissesto delle opere in c.a., le tecniche di indagine per la corretta individuazione delle cause che le hanno prodotte, i materiali, i metodi di ripristino e manutenzione per progettare e realizzare un durevole intervento di conservazione e adeguamento antisismico. Il testo è contraddistinto da schede fotografiche a colori che aiutano il lettore a riconoscere le forme di alterazione e dissesto più ricorrenti.

Si tratta di una straordinaria guida attraverso centinaia di "cantieri reali" per i quali vengono illustrate le operazioni manuali di preparazione delle superfici, i materiali speciali cui far ricorso, le tecniche e le macchine per una loro corretta applicazione.

## PUNTI DI FORZA DEL LIBRO

- Più di 600 fotografie di edifici e infrastrutture in c.a. che presentano forme di alterazione e dissesto.
- Oltre 300 grafici e schemi illustrativi per operare una scelta dei materiali idonei per il restauro.
- Esempi di alterazione, dissesto e restauro di opere ordinarie dell'edilizia civile residenziale e infrastrutturale insieme ad opere di architetti e studi famosi come: Alvar Aalto, BBPR, Santiago Calatrava, Guido Canella, Lucio Costa, Giancarlo De Carlo, Mario Fiorentino, Norman Foster, Gigi Ghò, Zaha Hadid, Le Corbusier, Pierluigi Nervi, Oscar Niemeyer, Giò Ponti ecc.

## INDICE

Il calcestruzzo armato: materiale della modernità - Studio, progetto e realizzazione di un intervento di manutenzione, ripristino e adeguamento strutturale di opere in c.a. - Il calcestruzzo armato: il DNA del materiale - I fenomeni e i meccanismi di alterazione e degrado - Le strutture in calcestruzzo armato facciavista - I dissesti strutturali e da sisma - La diagnostica del degrado e del dissesto - Materiali, sistemi, tecniche e cantieristica negli interventi di ripristino. Appendici: Glossario illustrato delle patologie dei materiali. Atlante illustrato dei fenomeni di dissesto strutturale e da sisma. Atlante illustrato delle tecniche diagnostiche. Atlante dei materiali e delle tecniche di ripristino. Voci di capitolato per prodotti e sistemi per il restauro e la manutenzione.


## AUTORI

**Luigi Coppola** è docente di Materiali per il Restauro all'Università di Bergamo, Facoltà di Ingegneria e di Gestione e Manutenzione del Costruito presso l'University of Applied Sciences di Lugano.

**Alessandra Buoso**, PhD, è ingegnere-ricercatore e cultore di Tecnologia dei Materiali Innovativi in ambito Edile.

[www.hoepli.it](http://www.hoepli.it)

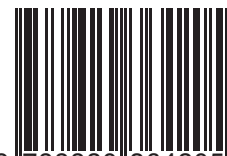
Ulrico Hoepli Editore S.p.A.  
via Hoepli, 5 - 20121 Milano  
e-mail [hoepli@hoepli.it](mailto:hoepli@hoepli.it)

 @Hoepli\_1870

€ 69,90

e book disponibile

ISBN 978-88-203-6420-5



9 788820 364205

LUIGI COPPOLA

ALESSANDRA BUOSO

CON IL CONTRIBUTO DI ATTILIO PIZZIGONI

# **IL RESTAURO DELL'ARCHITETTURA MODERNA IN CEMENTO ARMATO**

Alterazione e dissesto delle strutture in c.a. – Diagnostica  
Interventi di manutenzione e adeguamento antisismico  
Materiali, tecniche e cantieristica



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

**Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2015**

via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)  
tel. +39 02 864871 - fax +39 02 8052886  
e-mail [hoepli@hoepli.it](mailto:hoepli@hoepli.it)

**[www.hoepli.it](http://www.hoepli.it)**

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge  
e a norma delle convenzioni internazionali

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail [autorizzazioni@clearedi.org](mailto:autorizzazioni@clearedi.org) e sito web [www.clearedi.org](http://www.clearedi.org).

**ISBN 978-88-203-6420-5**

Ristampa:

4 3 2 1 0            2015   2016   2017   2018   2019

Realizzazione editoriale: Pierluigi Angelo Riva  
Redazione: Antonella Angela Arosio

Copertina realizzata da Sara Taglialegne

Stampato da L.E.G.O. S.p.A., stabilimento di Lavis (Trento)

Printed in Italy

*Ad Anna e Carlotta*  
*A Marta e Raffaele*

<b>Prefazione</b>	
<b>1. Introduzione – Il calcestruzzo armato: materiale della modernità (A. Pizzigoni) ....</b>	<b>1</b>
<b>2. Studio, progetto e realizzazione di un intervento di manutenzione, ripristino e adeguamento strutturale di opere in c.a. ...</b>	<b>7</b>
2.1 Introduzione	7
2.2 Il canovaccio per la corretta progettazione e realizzazione dell'intervento di ripristino	8
2.3 I materiali e i sistemi per la realizzazione dell'intervento di ripristino	10
2.4 I principi alla base della progettazione e realizzazione dell'intervento di restauro di opere in calcestruzzo armato	13
2.5 Gli interventi di ripristino e conservazione delle strutture in calcestruzzo armato	14
2.5.1 Interventi di ricostruzione	14
2.5.2 Rafforzamento strutturale e adeguamento sismico mediante lamine e barre in materiale composito o mediante tessuti in acciaio o in FRP	15
2.5.3 Sigillatura delle lesioni	15
2.5.4 Protezione e decorazione della superficie degli elementi in c.a.	15
2.5.5 Pulitura delle superfici	16
2.5.6 Inibitori di corrosione	16
2.5.7 Protezione catodica	16
2.5.8 Rialcalinizzazione elettrochimica e rimozione dei cloruri	17
<b>3. Il calcestruzzo armato: il DNA del materiale .....</b>	<b>19</b>
3.1 Introduzione	19
3.2 I costituenti del calcestruzzo	19
3.2.1 Il cemento	20
3.2.1.1 <i>Fenomeni di alterazione/degrado riconducibili al cemento</i>	22
3.2.2 L'acqua d'impasto	23
3.2.2.1 <i>Fenomeni di alterazione/degrado riconducibili all'acqua d'impasto</i>	23
3.2.3 Gli additivi	24
3.2.3.1 <i>Fenomeni di alterazione/degrado riconducibili agli additivi</i>	25
3.2.4 Gli aggregati	25
3.2.4.1 <i>Fenomeni alterazione, degrado e dissesto riconducibili agli aggregati</i>	26
3.2.5 Le aggiunte di tipo I e di tipo II	29
3.2.5.1 <i>Fenomeni alterazione/degrado riconducibili alle aggiunte</i>	29
3.3 Il calcestruzzo indurito	29
3.3.1 Microstruttura della matrice cementizia	30
3.3.2 Resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo	30
3.3.3 Resistenza a trazione del calcestruzzo	32
3.3.4 Tenuta idraulica	32
3.3.5 Ritiro idraulico o igrometrico	33
3.4 La realizzazione delle strutture in calcestruzzo armato in cantiere	34
3.4.1 Preparazione dei casseri e applicazione del disarmante	34
3.4.2 Riprese di getto	35
3.4.3 Posizionamento delle armature	36
3.4.4 Posa in opera del calcestruzzo	36
3.4.5 La lavorabilità del calcestruzzo al momento del getto	37
3.4.6 Compattazione dei getti	38
3.4.7 Segregazione e bleeding	39
3.4.8 La maturazione umida dei getti	40
<b>4. I fenomeni e i meccanismi di alterazione e degrado .....</b>	<b>43</b>
4.1 Introduzione	43
4.2 Durabilità e stati limite per le strutture in calcestruzzo	43
4.3 Cause di degrado del calcestruzzo e delle armature	44
4.3.1 Le strutture aeree fuori terra: corrosione dei ferri indotta dall'anidride carbonica	45
4.3.2 Le strutture aeree fuori terra in climi freddi: degrado promosso dai cicli di gelo-disgelo	47
4.3.3 Le strutture sottoposte a trattamenti con sali disgelanti	49
4.3.4 Corrosione delle armature nelle strutture esposte all'azione dei cloruri	49
4.3.5 Il degrado di tipo chimico	50
4.4 Efflorescenze, dilavamento, colonizzazioni biologiche e deposizione del particolato atmosferico	54
4.5 Distacco delle pellicole pittoriche, degli intonaci e dei rivestimenti di facciata	56
<b>5. Le strutture in calcestruzzo armato facciavista .....</b>	<b>59</b>
5.1 Introduzione	59
5.2 Suggerimenti per la realizzazione di strutture in calcestruzzo facciavista	65
5.2.1 Fattori progettuali ed esecutivi	65
5.2.1.1 <i>Casseri</i>	65
5.2.1.2 <i>Disarmante</i>	67
5.2.1.3 <i>Modalità di posa in opera</i>	68
5.2.1.4 <i>Modalità di maturazione</i>	68
5.2.1.5 <i>Condizioni climatiche al momento della realizzazione dell'opera</i>	69
5.2.2 Fattori dipendenti dal calcestruzzo	69
5.2.2.1 <i>Tipo di cemento</i>	70
5.2.2.2 <i>Acqua di impasto</i>	70
5.2.2.3 <i>Tipo di aggregato</i>	70
5.2.2.4 <i>Dosaggio di cemento</i>	71
5.2.2.5 <i>Rapporto 'a/c'</i>	71
5.2.2.6 <i>Lavorabilità</i>	71

INDICE

<b>6. I dissesti strutturali e da sisma .....</b>	<b>73</b>	8.4.1	Il ritiro idraulico dei materiali cementizi per il ripristino delle strutture	141	
6.1	Introduzione	73	8.4.1.1	<i>Fattori compositivi</i>	141
6.2	Cedimenti di fondazione	74	8.4.1.2	<i>Fattori esterni</i>	143
6.3	Quadri fessurativi e deformativi promossi dal ritiro e da carenze statiche e/o costruttive	76	8.4.1.3	<i>Rischio di fessurazione nei materiali da ripristino e ruolo dell'armatura</i>	144
6.3.1	I quadri fessurativi promossi dal ritiro idraulico del calcestruzzo	76	8.4.1.4	<i>La prevenzione del rischio di fessurazione nei materiali da ripristino</i>	145
6.3.2	I dissesti per carenze statiche e/o costruttive	78	8.4.2	I conglomerati cementizi a ritiro compensato	146
6.3.3	La valutazione della pericolosità delle lesioni di tipo flessionale in una trave	82	8.4.3	Interventi di ricostruzione corticali	150
6.3.4	Le fessure di tipo tagliante nelle travi	83	8.4.4	Interventi di ricostruzione parziale della sezione originaria di elementi in calcestruzzo armato	185
6.4	Dissesti nei solai	84	8.4.5	Interventi con aumento della sezione originaria (ringrosso) di elementi in calcestruzzo armato	185
6.5	Danneggiamenti delle strutture portanti e degli elementi secondari causati dall'azione sismica	87	8.4.6	Interventi di ripristino dei solai	189
6.5.1	I dissesti delle fondazioni	87	8.4.7	Gli interventi sulle strutture aggettanti	191
6.5.2	I dissesti dei tamponamenti	87	8.4.8	I materiali per gli interventi di ricostruzione di elementi in calcestruzzo armato: voci di capitolato, accettazione in cantiere e controlli in opera	192
6.5.3	I dissesti del telaio in c.a.	89	8.5	Il ripristino di opere in calcestruzzo armato fessurate: la sigillatura delle lesioni	196
6.5.4	I dissesti dei solai e delle scale	94	8.5.1	I materiali per gli interventi di sigillatura delle fessure negli elementi in calcestruzzo armato: voci di capitolato, accettazione in cantiere e controlli in opera	201
<b>7. La diagnostica del degrado e del dissesto ..</b>	<b>97</b>	8.6	I materiali compositi per rinforzo statico e adeguamento sismico delle strutture in c.a.	202	
7.1	Introduzione	97	8.6.1	Legami costitutivi dei materiali compositi	204
7.2	Il sopralluogo: analisi visiva	97	8.6.2	Principali campi di applicazione dei materiali compositi in edilizia	205
7.3	Il sopralluogo: raccolta dei dati storici	102	8.6.3	Meccanismi di collasso di tipo fragile del sistema calcestruzzo/composito	208
7.4	Le prove in situ ed in laboratorio	105	8.6.4	Accorgimenti tecnologici e di cantiere	209
7.4.1	Le prove in situ	105	8.7	La pulitura delle opere in calcestruzzo armato	213
7.4.1.1	<i>Indagine magnetometrica</i>	106	8.7.1	Pulitura meccanica con spazzole metalliche	215
7.4.1.2	<i>Pull-off (prova di adesione)</i>	106	8.7.2	Pulitura con acqua in pressione	215
7.4.1.3	<i>Termografia ad infrarossi</i>	108	8.7.3	Pulitura con sabbiatrice o idrosabbiatrice	216
7.4.1.4	<i>Sclerometro (martello di Schmidt)</i>	109	8.7.4	Pulitura con laser	216
7.4.1.5	<i>Velocità di propagazione delle onde ultrasoniche</i>	112	8.7.5	Pulitura con ghiaccio secco	216
7.4.1.6	<i>Tomografia sonora</i>	116	8.7.6	Pulitura con acqua nebulizzata	217
7.4.1.7	<i>Metodo combinato SONREB</i>	116	8.7.7	Pulitura con vapore	217
7.4.1.8	<i>Pull-out</i>	118	8.7.8	Pulitura mediante impacchi	217
7.4.1.9	<i>Modalità di campionamento ed estrazione di carote</i>	118	8.7.9	Pulitura mediante l'utilizzo di paste	218
7.4.1.10	<i>Metodi colorimetrici</i>	120	8.7.10	Pulitura di tipo chimico	218
7.4.1.11	<i>Le mappature di potenziale di corrosione libera</i>	122	8.7.11	Pulitura per mezzo di biocidi	219
7.4.2	Le prove in laboratorio	124	8.8	La protezione delle opere in calcestruzzo armato mediante trattamenti con inibitori di corrosione	219
7.4.2.1	<i>Analisi chimica elementare</i>	124	8.8.1	Tecniche e materiali	219
7.4.2.2	<i>Diffrattonometria dei raggi X</i>	127	8.9	Tecniche elettrochimiche per la protezione di strutture esistenti in c.a.	220
7.4.2.3	<i>Microscopia ottica</i>	127	8.9.1	La protezione catodica	220
7.4.2.4	<i>Microscopia elettronica a scansione</i>	128	8.9.1.1	<i>Tecniche e materiali</i>	221
7.4.2.5	<i>Analisi termica</i>	128	8.9.2	Il ripristino di opere in calcestruzzo armato mediante ricalcinizzazione elettrochimica	222
7.4.2.6	<i>Porosimetria</i>	129	8.9.3	Il ripristino di opere in c.a. mediante rimozione elettrochimica dei cloruri	223
7.4.2.7	<i>Umidità</i>	130			
<b>8. Materiali, sistemi, tecniche e cantieristica negli interventi di ripristino .....</b>	<b>131</b>				
8.1	Introduzione	131			
8.2	I materiali per il ripristino e la manutenzione delle opere in calcestruzzo armato: quadro normativo e analisi del mercato	131			
8.3	Gli interventi di manutenzione e ripristino	137			
8.4	Interventi di ricostruzione e di consolidamento della sezione di elementi in calcestruzzo armato	137			

