



GIANNI MICHELE DE GAETANIS

RIABILITAZIONE DELLE STRUTTURE DI CLS

PROGETTO DEL RECUPERO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per **informazioni e promozioni**



WEBAPP INCLUSA
CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

GRAFILL

Gianni Michele De Gaetanis

RIABILITAZIONE DELLE STRUTTURE DI CLS

Ed. I (04-2025)

ISBN 13 978-88-277-0480-6

EAN 9 788827 704806

Collana **MANUALI**



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	11
ELENCO DEI SIMBOLI UTILIZZATI	"	13
1. COSTRUZIONI ESISTENTI	"	21
1.1. Introduzione	"	21
1.2. Nozione di costruzione esistente	"	22
1.3. Generalità sulla riabilitazione	"	22
1.4. Sicurezza strutturale	"	23
1.5. Interventi.....	"	25
1.5.1. Interventi di riparazione o interventi locali	"	28
1.5.2. Interventi di miglioramento	"	29
1.5.3. Interventi di adeguamento.....	"	29
1.6. Elementi costruttivi degli edifici di calcestruzzo armato	"	30
1.6.1. Pilastri, colonne e piloni	"	30
1.6.2. Travi e strutture lineari orizzontali/inclinate	"	31
1.6.3. Opere di fondazione.....	"	31
1.6.3.1. Fondazioni dirette.....	"	33
1.6.3.2. Fondazioni indirette.....	"	37
1.6.4. Orizzontamenti, solai e coperture	"	38
1.6.4.1. Introduzione	"	38
1.6.4.2. Solai latero-cementizi con fondello accostato.....	"	38
1.6.4.3. Solai latero-cementizi senza fondello	"	39
1.6.4.4. Solai tipo "VARESE"	"	39
1.6.4.5. Solai a travetti prefabbricati tralicciati	"	39
1.6.4.6. Solai a travetti precompressi	"	40
1.6.4.7. Solai tipo "SAP"	"	40
1.6.4.8. Solai precompressi alveolari o alveolati	"	41
1.6.4.9. Solai prefabbricati a pannelli	"	41
1.6.4.10. Solaio con lastre di c.a. tipo predalles gettati in opera	"	42

	1.6.4.11. Solaio in calcestruzzo armato	p.	42
1.7.	Identificazione dello schema strutturale resistente per le verifiche e valutazione della sicurezza	"	43
1.7.1.	Analisi storico-critica	"	43
1.7.2.	Rilievo	"	43
1.7.3.	Schema strutturale resistente	"	44
	1.7.3.1. Tematiche generali	"	44
	1.7.3.2. Schemi semplificati	"	44
1.7.4.	Caratterizzazione meccanica dei materiali	"	49
1.7.5.	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	"	49
1.7.6.	Azioni	"	49
1.8.	Duttilità delle strutture esistenti	"	50
1.9.	Documenti ed elaborati del progetto di intervento	"	50
1.10.	Riferimenti normativi e bibliografici	"	51
2.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	"	52
2.1.	Materiali	"	52
2.1.1.	Calcestruzzo in fase di progettazione	"	53
	2.1.1.1. Titolo	"	53
	2.1.1.2. SLU e SLE/SLS - Calcestruzzo non confinato	"	54
	2.1.1.3. SLE/SLS	"	60
	2.1.1.4. SLU - Calcestruzzo confinato: legame costitutivo, parametri di calcolo e sicurezza	"	61
2.1.2.	Acciaio	"	65
	2.1.2.1. Barre	"	66
	2.1.2.2. Reti e tralicci elettrosaldati	"	66
	2.1.2.3. SLU	"	67
	2.1.2.4. SLE/SLS	"	72
2.2.	Materiali riferiti a strutture esistenti	"	73
	2.2.1. Introduzione	"	73
	2.2.2. Livelli di conoscenza	"	73
	2.2.3. Calcolo delle resistenza di verifica	"	74
	2.2.4. Materiali nuovi o aggiunti	"	75
2.3.	Materiali per incamiciature	"	75
2.4.	Riferimenti normativi e bibliografici	"	76
3.	PROVE SULLE STRUTTURE ESISTENTI	"	77
3.1.	Prove sui materiali: quadro generale	"	77
	3.1.1. Prove non distruttive	"	77
	3.1.1.1. Prova sclerometrica: elementi introduttivi	"	78

3.1.1.2.	Prova ultrasonica: elementi introduttivi	p.	86
3.1.1.3.	Prova SONREB: la prova	"	96
3.1.2.	Prove semi-distruttive: generalità	"	98
3.1.2.1.	Prova di estrazione: elementi introduttivi	"	98
3.1.2.2.	Prova di infissione: elementi introduttivi	"	103
3.1.2.3.	Metodi combinati (cenni)	"	106
3.1.3.	Prove distruttive: generalità	"	106
3.1.3.1.	Analisi delle prove di laboratorio	"	106
3.2.	Riferimenti normativi e bibliografici	"	111
4.	DEGRADO FISICO-CHIMICO, CLASSIFICAZIONE AMBIENTALE E SL	"	113
4.1.	Introduzione al calcestruzzo storico, moderno e sua composizione	"	113
4.1.1.	Cemento normale e ad alta resistenza	"	114
4.1.1.1.	Cemento portland naturale e artificiale	"	114
4.2.	Azione della CO ₂ : la carbonatazione	"	115
4.3.	Azione dei cloruri	"	117
4.3.1.	Cloruro di calcio	"	117
4.3.2.	Cloruro di sodio	"	118
4.3.3.	Effetti e danni	"	118
4.4.	Azione dei solfati	"	119
4.5.	Reazione alcali-aggregati	"	119
4.5.1.	Tipi di reazione	"	119
4.5.2.	Tipi di inerti	"	120
4.6.	Classificazione ambientale	"	121
4.6.1.	Condizioni ambientali ordinarie	"	122
4.6.2.	Condizioni ambientali aggressive	"	123
4.6.3.	Condizioni ambientali molto aggressive	"	124
4.7.	Stati limite	"	125
4.7.1.	Stati limite non sismici	"	125
4.7.2.	Stati limite sismici	"	126
4.7.3.	Combinazioni delle azioni	"	126
4.7.4.	Verifiche agli SLU	"	127
4.7.5.	Verifiche agli SLE/SLS	"	130
5.	DISSESTI STRUTTURALI	"	132
5.1.	Introduzione	"	132
5.2.	Danni lievissimi/lievi	"	133
5.2.1.	Fessurazioni	"	133
5.2.1.1.	Fessurazioni da ritiro	"	133
5.2.1.2.	Fessurazioni termiche	"	134

	5.2.1.3.	Fessurazioni da cedimenti vincolari o da deformazioni eccessive	p.	134
	5.2.1.4.	Azione del sisma	"	137
5.3.		Danni gravi	"	141
	5.3.1.	Dissesti per singole azioni o sollecitazioni	"	141
	5.3.1.1.	Compressione/trazione semplice	"	141
	5.3.1.2.	Flessione semplice e con sforzo normale	"	142
	5.3.1.3.	Taglio e torsione	"	142
	5.3.2.	Dissesti per cedimenti di fondazione	"	143
	5.3.2.1.	Cedimenti di strutture di bordo o d'angolo	"	143
	5.3.2.2.	Cedimenti di strutture interne all'edificio	"	144
	5.3.2.3.	Cedimenti orizzontali di strutture verticali all'edificio	"	146
	5.3.3.	Azione sismica	"	148
	5.3.3.1.	Danni gravi sulle strutture portate	"	148
	5.3.3.2.	Danni alle strutture portanti	"	150
6.	ESEMPI APPLICATIVI		"	154
	<u>ESEMPIO 1</u>			
		<i>Stima del tempo di completa carbonatazione del copriferro</i>	"	155
	<u>ESEMPIO 2</u>			
		<i>Stima del copriferro in relazione al periodo di carbonatazione</i>	"	156
	<u>ESEMPIO 3</u>			
		<i>Analisi prova sclerometrica</i>	"	157
	<u>ESEMPIO 4</u>			
		<i>Correzione prova sclerometrica</i>	"	158
	<u>ESEMPIO 5</u>			
		<i>Studio della curva di correlazione per prove sclerometriche di più aree di misura</i>	"	159
	<u>ESEMPIO 6</u>			
		<i>Valutazione del fattore di efficienza di una sezione quadrata armata simmetricamente e del quantitativo totale (aree delle sezioni) di armatura trasversale</i>	"	168
	<u>ESEMPIO 7</u>			
		<i>Valutazione del fattore di efficienza della sezione rettangolare armata asimmetricamente e del quantitativo totale (aree delle sezioni) di armatura trasversale</i>	"	171

<u>ESEMPIO 8</u>	
<i>Valutazione della resistenza teorica di un calcestruzzo confinato per una sezione quadrata esistente armata simmetricamente</i>	p. 174
<u>ESEMPIO 9</u>	
<i>Valutazione della resistenza teorica di un calcestruzzo confinato per una sezione circolare esistente</i>	" 178
<u>ESEMPIO 10</u>	
<i>Progetto della incamiciatura di un pilastro, soggetto a compressione semplice, con e senza legature della incamiciatura, al fine di sopperire a carenze strutturali agli SLU</i>	" 180
<u>ESEMPIO 11</u>	
<i>Progetto della incamiciatura di un pilastro, soggetto a presso-flessione retta, con e senza legature della incamiciatura, al fine di sopperire a carenze strutturali allo SLU ed allo SLV</i>	" 191
<u>ESEMPIO 12</u>	
<i>Progetto di adeguamento di una trave (portante un solaio), soggetta a flessione retta, per un incremento del carico per variazione di destinazione d'uso</i>	" 203
<u>ESEMPIO 13</u>	
<i>Studio di una gradinata sportiva calcistica ai fini della valutazione della sicurezza</i>	" 209
<u>ESEMPIO 14</u>	
<i>Studio di adeguamento di una struttura multipiano</i>	" 232
7. RACCOLTA FOTOGRAFICA COMMENTATA	" 262
<u>ESEMPIO 1</u>	
<i>Elemento strutturale a parasta di pietra naturale rinforzato con calcestruzzo armato</i>	" 263
<u>ESEMPIO 2</u>	
<i>Elemento strutturale di recinzione e sostegno cancellata esterna</i>	" 266
<u>ESEMPIO 3</u>	
<i>Elemento strutturale di appoggio solaio</i>	" 268
<u>ESEMPIO 4</u>	
<i>Frangisole di una abitazione</i>	" 271
<u>ESEMPIO 5</u>	
<i>Solaio interno ad una abitazione</i>	" 273

<u>ESEMPIO 6</u>	
<i>Strutture esterne di un singolo immobile fronte-mare</i>	p. 275
<u>ESEMPIO 7</u>	
<i>Strutture esterne di un immobile condominiale in ambiente marino</i>	" 278
<u>ESEMPIO 8</u>	
<i>Trave da ponte (danno puntuale)</i>	" 281
<u>ESEMPIO 9</u>	
<i>Trave da ponte (danno diffuso)</i>	" 283
<u>ESEMPIO 10</u>	
<i>Sommità di un muro di sostegno</i>	" 285
LA WEBAPP INCLUSA	" 287
– Contenuti della WebApp	" 287
– Requisiti hardware e software	" 287
– Attivazione della WebApp	" 287

PREFAZIONE

Negli ultimi anni, sulla base anche di una spinta normativa ed economica, si è dato un forte impulso al recupero delle strutture esistenti, ad una loro riconversione e ad un utilizzo più consono alle esigenze moderne.

Oltre agli aspetti di natura economica, graduati dal legislatore attraverso i bonus, vi sono oggettive ragioni per recuperare una struttura piuttosto che demolirla e ricostruirla, oppure, peggio, costruirne una ex novo e lasciare in disuso quella esistente.

Quali motivi suggeriscono la riabilitazione strutturale funzionalmente ad una ristrutturazione o ad un cambio d'uso? Fra i principali:

- uso razionale del suolo;
- uso razionale dell'immobile;
- limitazione dei carichi urbanistici;
- garantire la funzionalità degli spazi;
- garantire la staticità dell'immobile nelle diverse situazioni.

Ciò detto, il presente testo affronta e si colloca chiaramente nella fase di progettazione strutturale degli elementi e presuppone che le analisi statiche, strutturali e di vulnerabilità sismica siano affrontate in altra sede e, ovviamente, propedeutiche agli interventi sugli elementi.

In tal senso, quindi, il testo è strutturato per fornire le informazioni necessarie alle verifiche degli elementi ed alla progettazione degli interventi secondo una sequenza logica di operazioni e secondo quanto indicato nella parte degli esercizi pratici e descrittiva.

La parte finale contiene una raccolta commentata dei principali guasti a carico delle strutture di calcestruzzo.

Aprile 2025

ELENCO DEI SIMBOLI UTILIZZATI

α

α	Fattore di efficienza
α_{cc}	Coefficiente riduttivo per le resistenze (del calcestruzzo) di lunga durata
α_{EP}	Coefficiente riduttivo per le resistenze (del calcestruzzo) per elementi piani, gettati in opera con calcestruzzi ordinari
α_n	Fattore relativo alla disposizione delle armature trasversali nel piano della sezione
α_s	Fattore relativo all'armatura trasversale, ossia relativo al passo delle staffe

β

β	Esponente per il calcolo di α_s Fattore per la determinazione della deformazione ϵ_{ca} (determinazione dell'altezza della sezione da utilizzare per il calcolo delle reazioni interne)
---------	--

χ

χ	Curvatura di una sezione
χ_f	Curvatura della sezione in opera a seguito della parte aggiunta
χ_s	Curvatura di una sezione totale inclusa la parte aggiunta

δ

δ	Rapporto fra copriferro reale c_r e altezza utile della sezione h oppure fra copriferro reale c_r e altezza totale della sezione
ΔA	Errore associato al parametro A
ΔB	Errore associato al parametro B
δ_B	Errore relativo percentuale associato al parametro B
Δf_{cd}	Errore associato alla resistenza di progetto a compressione derivante da prove di schiacciamento
Δf_{cm}	Errore associato alla resistenza media a compressione derivante da prove di schiacciamento
ΔN	Errore di una prova sclerometrica
ΔN_m	Errore associato al valore medio dell'indice di rimbalzo di uno sclerometro
ΔQ	Errore associato al termine noto
δ_Q	Errore relativo percentuale associato al termine noto
ΔR_c	Errore associato alla resistenza a compressione derivante da prove di schiacciamento
ΔR_{ck}	Errore associato alla resistenza caratteristica a compressione derivante da prove di schiacciamento
ΔX	Errore associato all'ascissa
ΔY	Errore associato all'ordinata

ϵ

ϵ_c	Deformazione del calcestruzzo
ϵ_{c2}	Deformazione al limite elasto-plastico a compressione del calcestruzzo per il legame parabo-rettangolo

COSTRUZIONI ESISTENTI

1.1. Introduzione

Una costruzione esistente, al di là della nozione tecnica, costituisce (principalmente) una sfida in termini di riconoscimento delle tecniche esecutive e del periodo di realizzazione.

Avere contezza di tali elementi si traduce in informazioni ragionevolmente certe su:

- procedure di approvazione dei progetti ai diversi gradi tecnici;
- modelli teorici statici e/o sismici al tempo della progettazione e realizzazione dell'opera;
- errori sulla concezione strutturale dell'edificio;
- errori tipici commessi, in termini realizzativi, dalle maestranze;
- criteri di collaudo e/o di accertamento della idoneità strutturale.

In tale panorama, ogni elemento aggiunge un'informazione tecnica sull'edificio e consente di definire, più o meno approfonditamente, diversi livelli di conoscenza e, quindi, di studio.

Ciò si traduce in una richiesta di:

- conoscenza geometrica strutturale, inclusi dettagli costruttivi ed esecutivi, eventualmente supportata da rilievi in situ;
- conoscenza, a diversi gradi di approfondimento, dei materiali impiegati per la realizzazione dell'opera;
- verifiche in situ e prove meccaniche distruttive, semi-distruttive e/o non distruttive sui materiali in opera.

È necessario chiarire, prima di proseguire, cosa si intende per struttura di calcestruzzo armato e come, nel tempo, tale nozione si sia andata modificando.

Sono considerate tali, ossia strutture di calcestruzzo armato normale, o semplicemente strutture di C.A. normale «[...] *quelle composte da un complesso di strutture in conglomerato cementizio ed armature che assolvono a una funzione statica*» [1]. La definizione data consta di tre elementi essenziali e precisamente [1]:

- caratteristica geometrica, ossia «[...] *complesso di strutture* [...]»;
- caratteristica materiale o fisica, ossia «[...] *conglomerato cementizio ed armature* [...]»;
- caratteristica funzionale o meccanica, ossia «[...] *che assolvono a una funzione statica*».

La definizione data è di fondamentale importanza nel comprendere ciò che è una struttura di CLS da ciò che non lo è: in origine, l'assenza di una sola delle tre caratteristiche impediva di ricomprendere la struttura fra quelle di C.A. normale [1].

Nel corso del tempo, la tecnica ha interpretato il dettato normativo esplicitandone dettagli e caratteristiche e delineando un elemento principale fra quelli caratteristici.

Infatti, in un primo momento le tre caratteristiche sono state interpretate con lo stesso peso e la caratteristica geometrica è stata riguardata dal punto di vista macroscopico per cui un architrave o un solaio appoggiato su una struttura non rientravano nella nozione di opera di calcestruzzo armato normale (viene meno il requisito geometrico, non risultando dal concorso di una pluralità di strutture ma trattandosi di una sola [1]).

Successivamente, l'evoluzione della norma e della giurisprudenza, nonché il finalismo e ratio delle leggi tecniche, hanno condotto verso la necessità di dare maggiore risalto all'aspetto funzionale: ogni qual volta si realizzano strutture di C.A. normale, siano esse semplici o complesse, singole o plurali, purché assolvano ad una funzione statica nell'ambito del manufatto e non vi siano altri elementi resistenti, la struttura deve considerarsi di calcestruzzo armato [1].

1.2. Nozione di costruzione esistente

Secondo norma, si definisce «*costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento, la struttura completamente realizzata*» [2] [3].

La struttura completamente realizzata è quella che sia dotata di certificato di collaudo statico: in realtà, la circolare esplicativa delle NTC18 introduce il collaudo quale una possibilità e non quale requisito perentorio [3].

Soprattutto con alcuni disposti normativi del passato, la tempistica del collaudo era concordata con il collaudatore per cui non sempre certa e, in periodi ante 1939, il collaudo stesso non richiesto: si può legare il concetto, quindi, al completamento di tutte le parti aventi funzione strutturale/portante, fermo restando il fatto che il collaudo sicuramente definisce il completamento della struttura.

1.3. Generalità sulla riabilitazione

La riabilitazione richiede la conoscenza, in relazione alla struttura, di alcune informazioni essenziali e precisamente se la struttura [4]:

- riflette lo stato delle conoscenze al momento della sua realizzazione;
- se sono presenti difetti di impostazione e di realizzazione, anche non direttamente riscontrabili;
- se gli effetti delle azioni a cui è stata sottoposta nel tempo siano o meno completamente manifesti;
- significative differenze, sia geometrico-strutturali che di degrado, rispetto alla situazione originaria.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

2.1. Materiali

In merito ai materiali è necessaria una distinzione fra l'attuale assetto normativo e la struttura teorica pregressa legata, essenzialmente, alle tensioni ammissibili.

Dal punto di vista dell'applicazione sul nuovo, il materiale può essere facilmente identificato e le caratteristiche meccaniche consentono una valutazione della sicurezza molto attendibile. Al contrario, sull'esistente, la valutazione delle caratteristiche meccaniche può essere fatta solo per via sperimentale sia con metodi distruttivi che non distruttivi/semi-distruttivi e in tal caso, pur avendo una valutazione sulla sicurezza, possibili disomogeneità del materiale possono rendere la stessa non del tutto attendibile: ciò si traduce nella non necessaria conoscenza del calcolo teorico delle resistenze dei materiali secondo il pregresso dettato normativo.

Oggi giorno qualunque materiale per uso strutturale deve essere conforme alle condizioni armonizzate fissate dal Regolamento (UE) del 9 marzo 2011, n. 305 [1].

Le NTC definiscono i «*materiali e prodotti per uso strutturale*» quelli che consentono ad un'opera ove siano incorporati in modo permanente di soddisfare in maniera prioritaria il requisito base n. 1, «*Resistenza meccanica e stabilità*» dell'Allegato 1 del Regolamento UE n. 305/2011 prima citato [1].

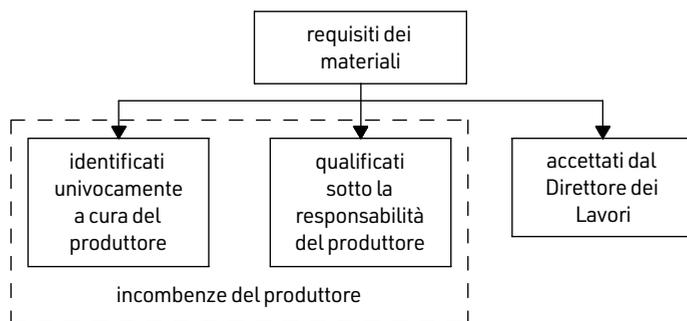


Figura 2.1. Requisiti dei materiali e prodotti per uso strutturale

In termini del tutto generali, la fornitura di componenti, sistemi o prodotti per impiego strutturale deve essere accompagnata da manuale di installazione e manutenzione e l'impiego per fini strutturali richiede procedure e prove sperimentali di accettazione [1].

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, secondo norma, devono avere tre requisiti fondamentali (Cfr. Fig. 2.1) [1]: due di essi sono a cura e responsabilità del produttore mentre il terzo è una verifica del Direttore dei Lavori.

2.1.1. Calcestruzzo in fase di progettazione

La trattazione corrente riguarda i calcestruzzi di peso normale. Tale materiale, secondo la UNI-EN 206, è «calcestruzzo avente massa volumica, dopo essiccamento in stufa, maggiore di 2000 kg/m^3 ma non maggiore di 2600 kg/m^3 » [1].

Le strutture di calcestruzzo, nell'accezione di calcestruzzo armato e con riferimento a calcestruzzi di peso normale, possono essere di tre tipi. In dettaglio (Cfr. Fig. 2.2) [1]:

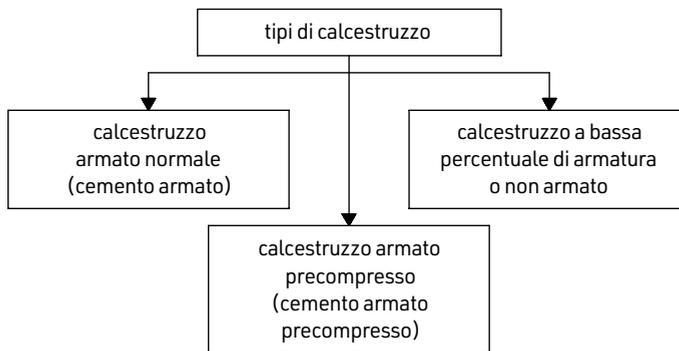


Figura 2.2. Classificazione del calcestruzzo

In dettaglio si può esplicitare che [1]:

- le strutture di calcestruzzo non armato non contengono alcun tipo di armatura ed il loro impiego è solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese;
- le strutture di calcestruzzo a bassa percentuale di armatura contengono armatura in opera:
 - minore di quella minima prescritta;
 - quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo $< 30 \text{ daN/m}^3$, ed il loro impiego è consentito, similmente al punto precedente, solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese;
- le strutture di calcestruzzo semplicemente armate sono quelle escluse dai punti precedenti.

Il presente testo tratta solo ed esclusivamente al calcestruzzo armato normale [1].

2.1.1.1. Titolo

Il calcestruzzo per uso armato normale è identificato e/o titolato facendo riferimento alla classe di resistenza: l'identificativo, o titolo, o classe di resistenza, è costituito dalla lettera "C" seguita dalle resistenze uniassiali misurate mediante prove su campioni cilindrici e cubici [1].

PROVE SULLE STRUTTURE ESISTENTI

3.1. Prove sui materiali: quadro generale

Le prove sui materiali possono essere condotte in laboratorio o in situ e, inoltre, si differenziano fra prove distruttive, semi-distruttive (ossia prove che arrecano danni di limitata o trascurabile entità alle strutture) e non distruttive. Si può esplicitare il contesto delineato secondo il quadro di seguito riportato (Cfr. Fig. 3.1):

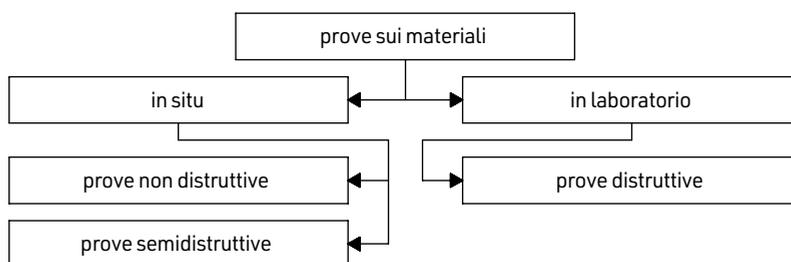


Figura 3.1. Prove sui materiali

Le prove possono essere ulteriormente classificate in prove meccaniche, acustiche, elettro-magno-metriche e chimiche.

3.1.1. Prove non distruttive

Si possono utilizzare differenti prove o controlli non distruttivi (PND o CND) per definire, a vario livello, le caratteristiche dei materiali in opera: il termine non distruttivo indica la totale assenza di invasività sulla struttura.

Il risultato di tali controlli è di natura prettamente qualitativa anche se si possono ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali tramite campioni staticamente significativi e con adeguate leggi o curve di taratura degli strumenti utilizzati.

In questa sede si riporrà l'attenzione su tre di tali prove:

- prova sclerometrica;
- prova ultrasonica;
- prova SonReb, utilizzo combinato della prova sclerometrica e ultrasonica.

In generale, quindi, si può considerare lo schema di seguito riportato (Cfr. Fig. 3.2):

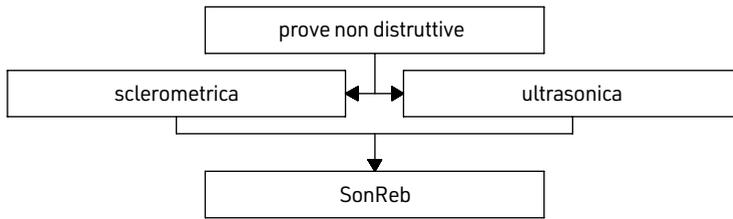


Figura 3.2. Prove non distruttive

La sclerometro è uno degli strumenti maggiormente utilizzati: la sua diffusione di utilizzo è paragonabile agli errori che si commettono nella interpretazione dei risultati.

Meno frequente è la prova ultrasonica, soprattutto per i costi legati alla strumentazione: in genere la prova è effettuata da ditte specializzate per cui, in questo caso, gli errori di interpretazione dei risultati sono notevolmente ridotti.

È possibile un parallelo fra i due metodi in relazione alle differenti tematiche legate al loro utilizzo e precisamente (Cfr. Tab. 3.1):

Tabella 3.1. Comparazione sclerometro-ultrasuoni

Prova	Costo	Rappresentatività	Affidabilità
Sclerometro	Basso	Superficiale	Scarsa
Ultrasuoni	Medio	Massiva	Moderata

3.1.1.1. Prova sclerometrica: elementi introduttivi

La prova sclerometrica consente la stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera, nonché la loro omogeneità, mediante la valutazione dell'indice sclerometrico (o di rimbalzo) [1]. Il controllo si basa sulla determinazione della durezza superficiale del calcestruzzo in opera e, attraverso specifiche curve di correlazione, la stima della resistenza meccanica a compressione. Di fatto, lo sclerometro fornisce una stima indiretta dell'energia assorbita dal calcestruzzo a seguito di un impatto: tale energia è correlata mediante relazioni empiriche alla resistenza meccanica [1].

Lo strumento, in termini di funzionamento, struttura e costruzione, si presenta molto semplice: attraverso il pistone d'acciaio di cui è dotato, lo sclerometro viene appoggiato alla superficie del calcestruzzo in opera e, mediante l'impatto di una massa standardizzata scagliata da una molla sul pistone, si misura l'entità, ossia l'altezza, del rimbalzo [1] [2].

In buona sostanza, lo sclerometro è una sorta di maglio caricato da una molla: il rilascio di quest'ultima comporta la proiezione della massa standardizzata sul pistone a contatto con la superficie di calcestruzzo [3]. In relazione alla classe di resistenza e tipologia di calcestruzzo si utilizza un diverso tipo di sclerometro [3].

Premesso che in commercio esistono sclerometri per roccia, esclusi dal trattamento del presente testo, gli strumenti per il calcestruzzo si suddividono in tre categorie: la differenza è di impiego ed è legata allo spessore degli elementi da sottoporre a controllo.

DEGRADO FISICO-CHIMICO, CLASSIFICAZIONE AMBIENTALE E SL

4.1. Introduzione al calcestruzzo storico, moderno e sua composizione

L'origine del calcestruzzo, come tutte le tecniche costruttive antiche, è di difficile datazione. Forme primordiali di conglomerati furono utilizzate già dagli egizi, i babilonesi e gli assiri. In realtà, il calcestruzzo, inteso con il significato a noi più vicino, viene definito e assume importanza applicativa con Roma, in particolare il conglomerato pozzolanico (Cfr. Fig. 4.1).

Molto tempo è passato dal *Betunium* e, successivamente, dal *Calcis Structio* romano anche se, laddove sono stati impiegati, hanno dimostrato di poter attraversare il tempo senza grossi inconvenienti.



Figura 4.1. Cupola del Pantheon [1]

Il calcestruzzo, nel corso del tempo, ha subito una notevole evoluzione ed è soggetto ancora oggi a miglioramenti.

Il passaggio decisivo, sia nel senso del miglioramento delle prestazioni meccaniche che nelle criticità di degrado del materiale, si ebbe con l'introduzione dell'armatura metallica all'interno dei getti di calcestruzzo.

Prima del 1867 numerose esperienze avevano portato diversi costruttori ad impiegare il calcestruzzo anche in applicazioni navali.

Il "cemento armato" o "cemento rinforzato" nasce con il brevetto di un giardiniere francese, Joseph Monier, del 16 luglio 1867: il brevetto riguardava una gabbia metallica all'interno della struttura di vasi per fiori. Da quel momento è iniziata la diffusione nell'ambito delle costruzioni ad uso civile e industriale (incluso quello militare e non solo) con applicazioni sempre più ardite. Il materiale si presentava molto versatile e di facile produzione: inizialmente ritenuto di notevole durata, il materiale è stato sviluppato basandosi su criteri progettuali e compositivi a volte non precisi o non del tutto coerenti.

Nel tempo i fenomeni di degrado e la loro azione hanno messo in evidenza le criticità del materiale e ridimensionato le idee riguardo alla durabilità.

Al fine di inquadrare il quadro merceologico e normativo, si possono considerare i seguenti tipi di cemento [2] (Cfr. Fig. 4.2):



Figura 4.2. Classificazione del cemento [2]

Quindi, nel presente testo, si riporrà attenzione al cemento normale e ad alta resistenza e, nello specifico, il portland (quello da sempre più diffuso ed impiegato).

4.1.1. **Cemento normale e ad alta resistenza**

Il cemento normale e ad alta resistenza può essere classificato come di seguito riportato [2]: in realtà si tratta di una sotto-classificazione (Cfr. Fig. 4.3).

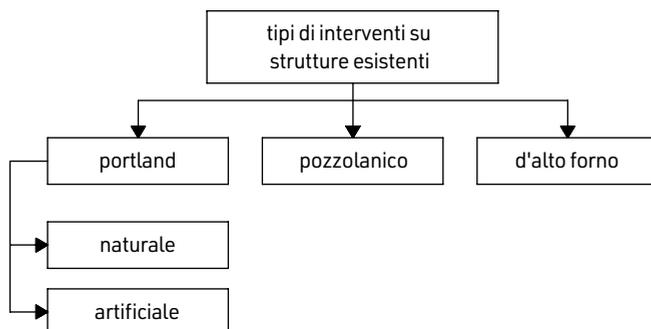


Figura 4.3. Sotto-classificazione del cemento normale e ad alta resistenza [2]

4.1.1.1. **Cemento portland naturale e artificiale**

Il cemento portland, sia naturale che artificiale, si ottiene in modo sostanzialmente analogo e secondo quanto di seguito riportato: il nome deriva dalla somiglianza, nell'a-

DISSESTI STRUTTURALI

5.1. Introduzione

L'analisi dei dissesti strutturali, quale che ne sia l'origine, è condotta partendo da situazioni semplici ed elementari: si considerano, isolate, le singole cause fino ad analizzare la eventuale compresenza di più di esse con i conseguenti co-effetti strutturali.

Lo studio, affinché sia significativo, non deve semplicemente considerare la compresenza di più cause ma anche, cosa più complicata, una eventuale loro sequenza: in tal senso la iperstaticità delle strutture gettate in opera rende il tutto molto complicato.

L'analisi riguarda gli effetti di sollecitazioni assiali quali sforzo di compressione, trazione e torsione, e azioni flettenti e taglio e loro combinazioni.

I dissesti strutturali possono essere classificati in due differenti raggruppamenti, ovviamente di differente gravità (Cfr. Fig. 5.1):

- **lievissimi/lievi**: si tratta di fessurazioni superficiali, anche importanti o con distacchi corticali di calcestruzzo, con armatura integra;
- **gravi**: si tratta di danni di vario tipo al nucleo di calcestruzzo con compromissione dell'armatura.

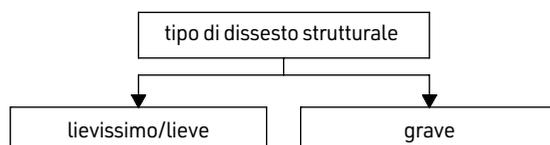


Figura 5.1. *Classificazione dissesti strutturali*

Mentre con dissesti di tipo lieve in atto è possibile un intervento in quanto non sussistono particolari pericoli per la pubblica e privata incolumità, nel caso di dissesti di tipo grave in atto, nella stragrande maggioranza dei casi, è necessario lo sgombero dell'edificio e l'isolamento dello stesso al fine di limitare i rischi per la pubblica e privata incolumità.

A definire ulteriormente il tipo di dissesto è l'elemento sul quale lo stesso è in atto e ciò si traduce nella possibilità di uno studio in relazione all'effettivo rischio di collasso. In generale:

- non vi sono rischi di collasso se il dissesto, grave per quanto possa essere, è in atto solo su strutture senza funzione strutturale, quali tompagni, tramezzature, partizioni, impianti, etc.;

- potrebbero esserci rischi di collasso se il dissesto è in atto sulle strutture portanti e si manifesta sotto forma di lesioni inclinate rispetto all'asse dell'elemento, quale indicazione generale; lesioni lungo l'asse o perpendicolari ad esso non necessariamente descrivono una situazione compromessa e di pericolo di collasso;
- vi sono certamente rischi di collasso nel caso in cui il dissesto si manifesti sotto forma di crisi o rottura delle sezioni degli elementi, dagli incastri fino alle sezioni intermedie in relazione al funzionamento dell'elemento stesso.

5.2. Danni lievissimi/lievi

I danni lievissimi/lievi sono classificati, come pure quelli gravi, in relazione all'entità di apertura delle fessure; si considerano:

- lievissime (o capillari), le lesioni le cui fessure risultano, in ampiezza, < 0.50 mm;
- lievi, le lesioni le cui fessure risultano, in ampiezza, ≤ 1 mm (> 0.50 mm).

Dette fessurazioni possono avere differente matrice e/o origine, esaminate a seguire.

5.2.1. Fessurazioni

Prima dell'introduzione obbligatoria del calcolo agli stati limite le norme tecniche e le relative circolari indicavano «*Le fessure non sono da considerarsi fenomeno anomalo entro strutture in c.a. non precompresso soggette a trazione, flessione, taglio, torsione per effetto di carichi o di deformazioni imposte (deformazioni termiche, ritiro, cedimento dei vincoli). È tuttavia necessario contrastarne l'apertura allo scopo di rispettare le esigenze funzionali e di durata, nonché quelle inerenti l'estetica*» [1] [2].

Quindi le fessurazioni sono imputabili a tre distinti meccanismi [2]:

- fessurazioni da ritiro;
- fessurazioni termiche;
- fessurazioni da cedimenti vincolari o da deformazioni eccessive.

I fenomeni oggetto di analisi determinano un quadro fessurativo abbastanza omogeneo con la possibilità, attraverso altri fenomeni, di attacco e degrado dell'armatura presente nel getto.

5.2.1.1. Fessurazioni da ritiro

La fessurazione da ritiro prende luogo, in aria, essenzialmente durante la fase di presa e, in misura molto minore, durante quella di indurimento: la reazione che porta all'idratazione del cemento è del tipo esotermico per cui, oltre alla formazione di composti che hanno un volume minore di quelli di partenza, una parte dell'acqua di idratazione evapora liberando ulteriore volume.

Ordinariamente il fenomeno può essere contrastato, ma non annullato, attraverso una costante bagnatura del getto: se ciò è stato fatto in fase realizzativa, il getto si presenta con un quadro fessurativo contenuto ma comunque presente. In taluni studi si osserva che l'armatura, in relazione al ritiro, può contrastare il fenomeno: tale considerazione non è

ESEMPI APPLICATIVI

Gli esempi applicativi di seguito riportati riguardano le principali tematiche della riabilitazione strutturale. Come di consueto, gli esempi sono di complessità e difficoltà via via crescente.

Al fine di illustrare compiutamente le tematiche legate alla riabilitazione, nel concreto senso pratico-tecnico, gli esempi spaziano dalla più semplice posizione teorica a quella totalmente tecnico-sperimentale.

In dettaglio, i vari esempi riguardano:

- i primi due, il degrado dei materiali;
- da tre a cinque, analisi teorica dei risultati di prove sperimentali;
- sei e sette, valutazione teorica del fattore di efficienza e del quantitativo totale di armatura trasversale;
- da otto a dieci, approccio teorico di calcolo della resistenza di sezioni;
- i successivi due, gli ultimi due, casi pratici di interventi.

Nello studio delle sezioni, salvo diversa e differente specificazione si utilizzerà un legame costitutivo *stress-block*: tale soluzione è legata alla possibilità di consentire al lettore una verifica analitica diretta dell'algebra e delle operazioni eseguite.

Negli esempi, la direzione X indica la direzione orizzontale e la Y quella verticale.

ESEMPIO 1**Stima del tempo di completa carbonatazione del copriferro**

Si stimi, su una struttura esistente, il tempo di completa carbonatazione del copriferro sapendo che all'atto della stima la struttura ha una vita di 12 anni.

Si ipotizzino condizioni ambientali costanti nel tempo, calcestruzzo del tipo poroso e copriferro $c_r = 3.00$ cm.

RISOLUZIONE

Da indagini sperimentali, ossia da un carotaggio e seguente test con fenolfetaleina, emerge che la profondità del fronte di carbonatazione è di 16 mm.

Una tale informazione, unitamente alle ipotesi del problema, consente di assumere $n = 2$, $S = 16$ mm e $t = 12$ anni e quindi procedere al calcolo del fattore che descrive la velocità di propagazione del fronte di carbonatazione sulla base della:

$$S = k\sqrt{t}$$

da cui

$$k = \frac{S}{\sqrt{t}} = \frac{16}{\sqrt{12}} \text{ mm/anno}^{1/2} = 4.62 \text{ mm/anno}^{1/2}$$

Sulla base della stessa formulazione ed assumendo S pari al copriferro, si determina il tempo:

$$t = \left(\frac{S}{k}\right)^2 = \left(\frac{c_r}{k}\right)^2 = \left(\frac{30.00}{4.62}\right)^2 \text{ anni} = 42.16 \text{ anni}$$

ossia 42 anni e due mesi (circa) e quindi ulteriori 30 anni (circa) rispetto al tempo di studio della struttura.

RACCOLTA FOTOGRAFICA COMMENTATA

Il capitolo riporta una raccolta fotografica commentata, ossia esempi di analisi storico-critica di strutture di calcestruzzo armato.

È indicata quale raccolta commentata in quanto viene fatta ed eseguita solo l'analisi critica e storica.

L'analisi verte, nei vari esempi, su elementi strutturali via via più complessi: significa che i primi esempi di analisi sono relativi a strutture semplici ed isolate mentre i successivi riguardano porzioni di strutture e interi complessi edilizi.

L'analisi è condotta considerando almeno i seguenti elementi (elenco non esaustivo):

- descrizione qualitativa dell'elemento e/o della struttura;
- data di realizzazione dell'opera;
- data di/delle modifiche, se realizzate;
- contesto edilizio e relazione funzionale con il tessuto urbano limitrofo;
- tecniche realizzative e/o modificazioni intercorse nel tempo;
- la qualità e lo stato di conservazione dei materiali;
- gli elementi costruttivi con funzione strutturale;
- organismo resistente del contesto strutturale e relazione meccanica con le strutture adiacenti;
- dissesti, in atto o stabilizzati;
- quadri fessurativi e meccanismi di danno;
- analisi dello stato di degrado;
- cenni alle soluzioni tecniche.

ESEMPIO 1***Elemento strutturale a parasta di pietra naturale rinforzato con calcestruzzo armato***

L'elemento in esame è l'ingresso ad uno scoperto interno di una proprietà privata. Si tratta di una struttura ad arco i cui elementi caratteristici, causa il degrado, sono facilmente identificabili in termini di elementi e struttura (Cfr. Fig. 7.1).

Le parti costituenti, per la loro quasi totalità, sono in pietra naturale, cioè tufo e/o pietra leccese, completati da un intonaco in totale stato di degrado e abbandono.

Dal punto di vista edilizio è possibile identificare, per la quota parte di elementi verticali, un parziale elemento a parasta al quale è stato aggiunto, con funzione strutturale secondo una ragionevole certezza nelle intenzioni di chi lo ha ideato, un elemento di calcestruzzo armato.

Tabella 7.1. *Realizzazione e modifiche dell'opera: date presunte*

Evento	Data
Realizzazione dell'opera	Inizi 1900
Modifiche dell'opera	1960-1970

Il manufatto si presenta, sostanzialmente, conforme al contesto edilizio in cui risulta collocato e funzionalmente integrato in esso, ossia una maglia a destinazione residenziale.



Figura 7.1. *Parasta rivestita di calcestruzzo armato*



Figura 7.2. *Dettaglio danno elemento di sinistra*

Dal punto di vista delle tecniche utilizzate, come già premesso, si tratta di una struttura in muratura di pietra: l'arco risulta finemente decorato in chiave anche se, come si può ri-

LA WEBAPP INCLUSA

Contenuti della WebApp

La **WebApp inclusa** gestisce lo **Speciale Progettazione Strutturale** (a cura della redazione di **LavoriPubblici.it**), una banca dati di normativa e giurisprudenza sempre aggiornata che riporta le seguenti utilità:

- Normativa nazionale;
- Normativa regionale;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Documenti utili;
- Giurisprudenza.

Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per gestire documenti PDF e Office.

Attivazione della WebApp

- Collegarsi al seguente web link:

https://www.grafill.it/pass/0480_6.php

- Inserire i codici **[A]** e **[B]** presenti nell'ultima pagina del libro e cliccare **[Continua]**;
- Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**;
- Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- Accedere alla WebApp cliccando la copertina esposta sullo scaffale **Le mie App**.

