

SALVATORE LOMBARDO

VINCENZO VENTURI

## **COLLAUDO STATICO DELLE STRUTTURE**

- Accettazione dei materiali
- Controlli distruttivi
- Controlli non distruttivi
- Prove di carico
- Modulistica

**TOMO PRIMO**

Salvatore Lombardo – Vincenzo Venturi  
COLLAUDO STATICO DELLE STRUTTURE  
Due tomi indivisibili  
ISBN 978-88-579-0031-5

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738  
[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: giugno 2010

Lombardo, Salvatore <1962->

Collaudo statico delle strutture / Salvatore Lombardo, Vincenzo Venturi. –

Palermo : D. Flaccovio. – 2 v.

ISBN 978-88-579-0031-5

1. Strutture – Collaudo. I. Venturi Vincenzo <1959->.

624.17 CDD-22

SBN Pal0226509

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, giugno 2010

### **Ringraziamenti**

Per avere contribuito, a vario titolo, alla nascita di questo volume, gli Autori ritengono doveroso ringraziare:

La SIDERCEM s.r.l. Istituto di Ricerca e Sperimentazione – Via G. Agnelli 22 (Zona industriale) - 95045 Misterbianco (CT) e C/da Calderaro (Zona Ind.) 93100 Caltanissetta, per gli esempi di prove, l'interessante documentazione tecnica gentilmente fornita; in particolare si ringraziano il dott. geol. Marco Venturi, l'ing. Domenico Santacroce, l'ing. Paolo Longo, l'ing. Vincenzo Arena, la dott.ssa geol. Sabrina Chiavetta.

Il LABORATORIO GIEPI s.r.l. - Via Faccolli n. 27 - 71100 Foggia; in particolare si ringrazia l'ing. Federico Giuliani per l'interessante materiale messo a disposizione.

La CONTROLS s.r.l. - Via Aosta, 6 - 20063 Cernusco sul Naviglio (MI); in particolare il Sig. Medeo Olivares.

La HOLZBAU SUD, Zona industriale - 83045 Calitri (AV); in particolare l'ing. Dario Curlante.

Si ringrazia il prof. ing. Edoardo Proverbio per l'amichevole collaborazione e i preziosi contributi.

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 riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Ogni sforzo è stato fatto nella creazione, realizzazione, verifica e documentazione dei programmi contenuti in questo libro: essi sono forniti in versione compilata ed il loro acquisto non comprende la facoltà di ottenere la codifica sorgente degli stessi né di disporre della documentazione logica e di progetto. L'utente ha il diritto di utilizzare una sola copia dei programmi su un terminale singolo collegato ad un computer con singola CPU; l'utente non può installare i programmi in network o su più computer o terminali nello stesso tempo. L'utente può fare una sola copia dei programmi esclusivamente per esigenze di archivio ed installarlo su un singolo disco fisso. L'utente non potrà rimuovere né alterare alcun marchio, nome commerciale, numero di serie, indicazione di copyright o altra notifica di riserva di diritti o inseriti nei programmi e/o nel supporto. La verifica dell'idoneità dei programmi per ottenere certi risultati, l'installazione, l'uso e la gestione sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente; l'autore non garantisce che le funzioni contenute nel programma soddisfino in tutto o in parte le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso, non potendo fornire alcuna garanzia sulle prestazioni e sui risultati ottenibili dal loro uso, né essere ritenuto responsabile dei danni o dei benefici risultanti dall'utilizzazione degli stessi. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

## *Struttura dell'opera*

### **TOMO PRIMO**

---

#### **Parte prima – Le finalità del collaudo statico**

1. Le finalità del collaudo statico
2. Il collaudo statico nell'edilizia privata
3. Il collaudo tecnico-amministrativo delle opere pubbliche
4. Il certificato di agibilità
5. Le operazioni di collaudo statico

#### **Parte seconda – I controlli regolamentari sulle strutture in calcestruzzo armato**

1. I controlli d'accettazione del calcestruzzo
2. I controlli d'accettazione sul calcestruzzo fresco. Confezionamento e la posa in opera
3. I controlli d'accettazione dell'acciaio per a.c.
4. Le verifiche geometriche
5. Le strutture prefabbricate
6. I dispositivi antisismici
7. Le prove di carico
8. Le prove di carico sui ponti stradali

#### **Indice analitico**

### **TOMO SECONDO**

---

#### **Parte terza – Il controllo del calcestruzzo in opera**

1. I controlli sul calcestruzzo in opera
2. I controlli distruttivi
3. I controlli non distruttivi e semidistruttivi
4. Il degrado delle strutture in calcestruzzo
5. Il piano di manutenzione dei ponti e dei viadotti
6. La risoluzione non contenziosa delle riserve
7. Lo scioglimento del contratto
8. I sinistri alle persone e i danni alle proprietà. I danni per cause di forza maggiore

#### **Parte quarta – L'accettazione dei materiali e delle lavorazioni. Prove e controlli**

1. L'accettazione dei materiali e delle lavorazioni
2. Le strutture in cemento armato
3. Le strutture in acciaio
4. Le strutture in muratura
5. Le strutture in legno
6. Le prove di carico sui solai
7. Le prove di carico e i controlli sui pali di fondazione
8. I tiranti di ancoraggio
9. Le prove di carico sui ponti stradali
10. I controlli degli impianti
11. I controlli nelle costruzioni stradali
12. I controlli per le fognature, gli acquedotti e i metanodotti

#### **Parte quinta – Le strutture in muratura portante**

1. Le strutture in acciaio

#### **Parte sesta – Le strutture in legno**

1. Le strutture in legno

#### **Parte settima – Le opere interagenti con terreni e rocce**

1. Le prove di carico sui pali di fondazione
2. I controlli non distruttivi sui pali di fondazione
3. I tiranti d'ancoraggio

#### **Indice analitico**

## Indice tomo primo

Introduzione .....pag. XVII

### PARTE PRIMA LE FINALITÀ DEL COLLAUDO STATICO

#### 1. Le finalità del collaudo statico

1.1. L'obbligatorietà del collaudo statico .....	»	2
1.1.1. Le condizioni per l'obbligatorietà del collaudo statico in corso d'opera .....	»	2
1.1.2. Il quadro normativo .....	»	2
1.2. L'ambito soggettivo .....	»	3
1.2.1. Il progettista, il direttore dei lavori e l'esecutore .....	»	3
1.2.2. Il collaudatore statico .....	»	4
1.3. Le misure di sicurezza dei lavoratori durante le operazioni di collaudo .....	»	4

#### 2. Il collaudo statico nell'edilizia privata

2.1. La denuncia dei lavori .....	»	5
<i>Esempio 2.1. Denuncia di opere strutturali (art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	6
2.1.1. L'omessa denuncia dei lavori da parte del costruttore .....	»	7
2.2. La nomina del collaudatore statico .....	»	7
<i>Esempio 2.2. Relazione illustrativa dei materiali impiegati (art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380).....</i>	»	7
<i>Esempio 2.3. Nomina del collaudatore statico da parte del committente (art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	8
<i>Esempio 2.4. Richiesta terna di nominativi per la scelta del collaudatore all'Ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	9
<i>Esempio 2.5. Comunicazione di nomina del collaudatore statico tra la terna di nominativi proposta dall'Ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	9
2.3. Le varianti in corso d'opera.....	»	10
<i>Esempio 2.6. Accettazione dell'incarico di collaudo statico (art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	10
2.4. I documenti da tenere in cantiere .....	»	10
2.5. La relazione a strutture ultimate. La documentazione da consegnare al collaudatore statico .....	»	11
<i>Esempio 2.7. Comunicazione del direttore dei lavori del completamento delle strutture (art. 65, c. 6, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	12
<i>Esempio 2.8. Relazione a strutture ultimate (art. 65, c. 6, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	13
2.5.1. Le sanzioni a carico del direttore dei lavori .....	»	14
2.6. La giurisprudenza .....	»	14

#### 3. Il collaudo tecnico-amministrativo delle opere pubbliche

3.1. La nomina e i requisiti del collaudatore .....	»	22
3.1.1. I tempi della nomina .....	»	22
3.1.2. I requisiti .....	»	22
3.1.2.1. Il collaudo di lavori di manutenzione .....	»	23
3.1.3. L'incompatibilità tra l'incarico di collaudatore e quello di coordinatore per la sicurezza sia in fase di progettazione che di esecuzione .....	»	23
3.1.4. Le commissioni di collaudo. Le opere di particolare complessità .....	»	24
3.1.4.1. Le operazioni di collaudo.....	»	24
3.2. I tempi per l'esecuzione del collaudo .....	»	25
3.2.1. L'ultimazione del procedimento e il collaudo statico .....	»	25
3.2.2. La decadenza dell'incarico per il ritardo delle operazioni di collaudo .....	»	25
3.3. Il collaudo in corso d'opera .....	»	26
3.3.1. Le condizioni per l'obbligatorietà .....	»	26
3.3.2. Il collaudo delle opere di particolare complessità tecnica o di grande rilevanza economica .....	»	26
3.3.3. Il collaudo dei lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale .....	»	27
3.4. Gli incarichi e le soglie di importo dei compensi .....	»	28
3.4.1. La stima del corrispettivo .....	»	29
3.4.2. L'affidamento dei servizi di importo complessivo stimato inferiore a 100.000 euro .....	»	29
3.4.2.1. I soggetti esterni idonei .....	»	29
3.4.2.2. La formazione degli elenchi aperti di operatori.....	»	30
3.4.2.2.1.L'avviso per l'istituzione dell'elenco di operatori economici .....	»	30
3.4.2.3. L'individuazione del numero minimo di candidati .....	»	34
3.4.2.4. L'affidamento .....	»	34
3.4.2.4.1. I principi comunitari da rispettare .....	»	34

3.4.2.4.2. La selezione degli operatori .....	»	36
3.4.2.4.3. L'indagine di mercato .....	»	36
3.4.3. L'affidamento dei servizi di importo complessivo stimato pari o superiore a 100.000 euro.....	»	36
3.4.3.1. Le disposizioni generali .....	»	36
3.4.3.1.1. L'affidamento dei compiti di supporto alle attività del responsabile del procedimento ..	»	37
3.4.4. L'affidamento dell'incarico di collaudo .....	»	37
3.4.4.1. La priorità di affidamento ai dipendenti delle stazioni appaltanti o a dipendenti di amministrazioni aggiudicatrici.....	»	37
3.4.4.1.1. Gli interventi finanziati da più amministrazioni aggiudicatrici .....	»	38
3.4.4.1.2. La motivazione del provvedimento di affidamento.....	»	38
3.4.4.2. L'affidamento dell'incarico a professionisti esterni. La carenza di organico. I divieti .....	»	39
3.4.4.2.1. L'affidamento in caso di commissione di collaudo .....	»	40
3.4.4.3. Il parere dell'Autorità per vigilanza sull'affidamento diretto. I servizi in economia .....	»	40
3.4.4.4. L'affidamento del collaudo statico .....	»	42
3.4.4.4.1. L'affidamento congiunto dell'incarico di collaudo statico .....	»	42
3.4.4.5. I soggetti che possono partecipare alle gare .....	»	42
3.4.4.6. L'affidamento a società di professionisti, a società di ingegneria ed a loro raggruppamenti temporanei o consorzi stabili.....	»	43
3.4.4.7. I requisiti per la partecipazione alla gara .....	»	43
3.4.4.8. I criteri di aggiudicazione .....	»	44
3.4.4.9. La cauzione provvisoria per il collaudo di lavori pubblici .....	»	44
3.4.5. I compensi per i tecnici interni all'amministrazione .....	»	45
3.4.5.1. Il fondo incentivante .....	»	45
3.5. L'attività del responsabile del procedimento e del direttore dei lavori .....	»	46
3.5.1. L'attività del responsabile del procedimento .....	»	46
3.5.1.1. La documentazione da trasmettere al collaudatore .....	»	46
3.5.1.1.1. La documentazione successiva all'ultimazione dei lavori.....	»	46
3.5.1.1.2. La documentazione nel collaudo in corso d'opera .....	»	48
3.5.1.1.3. La corrispondenza durante l'esecuzione dei lavori .....	»	49
3.5.2. L'attività dell'ufficio di direzione dei lavori .....	»	49
3.5.2.1. I controlli e le verifiche sui materiali e sulle opere .....	»	49
3.5.2.2. I compiti e l'assistenza al collaudatore .....	»	49
3.5.2.3. Gli altri componenti dell'ufficio di direzione lavori .....	»	50
3.5.2.3.1. I direttori operativi .....	»	50
3.5.2.3.2. Gli ispettori di cantiere.....	»	50
<b>4. Il certificato di agibilità</b>		
4.1. I contenuti e le attestazioni .....	»	52
4.2. I soggetti preposti alla richiesta e al rilascio .....	»	52
4.3. Il procedimento di rilascio del certificato di agibilità .....	»	53
4.3.1. La presentazione della domanda.....	»	53
4.3.2. La comunicazione del nominativo del responsabile del procedimento .....	»	53
<i>Esempio 4.1. Istanza per rilascio del certificato di agibilità (art. 24, comma 1, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380).....</i>	»	54
<i>Esempio 4.2. Dichiarazione del richiedente il certificato di agibilità (art. 25, comma 1, lett. b), D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380).....</i>	»	55
<i>Esempio 4.3. Dichiarazione di conformità dei lavori alla normativa in materia di accessibilità e superamento delle barriere architettoniche (art. 25, comma 3, lett. d), D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) .....</i>	»	56
4.3.3. I tempi per il rilascio e la formazione del silenzio-assenso .....	»	57
4.3.3.1. L'interruzione del termine stabilito .....	»	57
4.3.4. La dichiarazione di inagibilità di un edificio o di parte di esso .....	»	58
<b>5. Le operazioni di collaudo statico</b>		
5.1. Generalità.....	»	59
5.2. Le nuove prescrizioni normative .....	»	59
5.2.1. Il controllo dei materiali regolamentati dal T.U. sull'edilizia .....	»	60
5.2.2. L'esame dei certificati delle prove sui materiali e il controllo delle prove di carico.....	»	60
5.2.3. L'esame del progetto, delle indagini geotecniche e della relazione a strutture ultimate .....	»	61
5.2.3.1. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito .....	»	61
5.2.3.1.1. Le indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica .....	»	62
5.2.3.1.1.1. Le indagini e le prove geotecniche in sito .....	»	62
5.2.3.1.1.2. Le prove geotecniche di laboratorio.....	»	64
5.2.3.1.1.3. La caratterizzazione e la modellazione geotecnica .....	»	64
5.2.3.1.1.4. I valori caratteristici dei parametri geotecnici .....	»	64

5.2.3.1.2. La relazione geotecnica .....	»	65
5.2.3.1.3. Le indagini geotecniche nell'edilizia privata .....	»	66
5.2.3.1.4. Le indagini geotecniche per i pali di fondazione .....	»	66
5.2.3.1.5. I criteri di progetto per i pali di fondazione .....	»	67
5.2.3.1.6. I criteri di progetto delle fondazioni superficiali .....	»	67
5.2.4. La relazione a strutture ultimate .....	»	67
5.2.4.1. La relazione a strutture ultimate per le opere pubbliche .....	»	68
5.2.5. Gli accertamenti discrezionali .....	»	68
5.2.6. L'ispezione generale dell'opera .....	»	68
5.2.7. Le costruzioni eseguite in procedura di garanzia di qualità .....	»	69
5.2.8. Le strutture dotate di dispositivi di isolamento sismico e/o di dissipazione .....	»	69
5.2.9. L'aspetto strutturale relativo agli impianti .....	»	70
5.2.9.1. I criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi non strutturali .....	»	70
5.2.9.2. I criteri di progettazione .....	»	71
5.2.9.3. I dispositivi di sostegno dei corpi illuminanti .....	»	72
5.2.10. La distanza tra costruzioni contigue .....	»	72
5.2.11. I dispositivi d'isolamento .....	»	72
5.2.11.1. Il controllo di movimenti indesiderati .....	»	73
5.2.11.2. Il controllo degli spostamenti sismici differenziali del terreno .....	»	73
5.2.11.3. Il controllo degli spostamenti relativi al terreno e alle costruzioni circostanti .....	»	73
5.3. Il certificato di collaudo statico .....	»	74
5.3.1. Generalità .....	»	74
<i>Esempio 5.1. Modello di schema di certificato di collaudo statico .....</i>	<i>»</i>	<i>74</i>
5.3.2. La documentazione che deve essere acquisita dal direttore dei lavori .....	»	79
5.3.2.1. Generalità .....	»	79
5.3.2.2. La fornitura di elementi costruttivi prefabbricati in calcestruzzo armato .....	»	80
5.3.3. La trasmissione del certificato di collaudo statico all'Ufficio tecnico regionale e al committente .....	»	81
5.3.4. Le sanzioni per l'uso di costruzioni prima del rilascio del certificato di collaudo statico .....	»	81
5.4. Il collaudo statico parziale .....	»	81

## PARTE SECONDA

### I CONTROLLI REGOLAMENTARI SULLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO

<b>1. I controlli d'accettazione del calcestruzzo</b>		
1.1. Generalità .....	»	84
1.1.1. L'obbligatorietà. I controlli del collaudatore statico .....	»	84
1.1.2. Le classi di resistenza del calcestruzzo .....	»	84
1.1.3. Il calcestruzzo con classi di resistenza superiore a C70/85 .....	»	86
1.1.4. Le classi di resistenza del calcestruzzo leggero strutturale .....	»	86
1.1.5. Le costruzioni composte di acciaio-calcestruzzo .....	»	87
1.2. I controlli di qualità del calcestruzzo .....	»	87
1.2.1. Le linee generali .....	»	87
1.2.2. La valutazione preliminare della resistenza .....	»	88
1.2.2.1. La resistenza caratteristica .....	»	89
1.2.3. Le prescrizioni relative al calcestruzzo confezionato con processo industrializzato .....	»	90
1.2.3.1. I requisiti degli impianti .....	»	90
1.2.3.2. Il sistema permanente di controllo della produzione .....	»	90
1.2.3.3. I documenti che accompagnano ogni fornitura in cantiere .....	»	91
1.3. La fase di prelievo dei campioni in cantiere .....	»	91
1.3.1. Il prelievo di campioni .....	»	91
1.3.1.1. L'obbligo di ulteriori prelievi .....	»	92
1.3.1.2. La quantità di calcestruzzo da prelevare .....	»	92
1.3.1.3. Le modalità di prelievo .....	»	92
1.3.2. Le dimensioni dei provini .....	»	94
1.3.3. Il confezionamento dei provini .....	»	95
1.3.4. Le caratteristiche delle casseformi calibrate per provini .....	»	98
1.3.5. Il verbale di prelievo di campioni di calcestruzzo in cantiere .....	»	99
<i>Esempio 1.1. Modello di verbale di prelievo campioni di calcestruzzo .....</i>	<i>»</i>	<i>99</i>
1.3.6. La stagionatura e la conservazione dei provini .....	»	100
1.3.7. La domanda di prova al laboratorio ufficiale .....	»	101
<i>Esempio 1.2. Lettera di trasmissione dei provini di calcestruzzo al laboratorio ufficiale prove .....</i>	<i>»</i>	<i>101</i>
1.4. La prova a compressione .....	»	103

1.4.1.	La rettifica dei provini .....	»	103
1.4.2.	La macchina per prova a compressione .....	»	105
1.4.2.1.	I risultati e i fattori di influenza .....	»	105
1.4.3.	Le modalità di rottura del provino .....	»	108
1.4.4.	Il certificato di prova a compressione .....	»	110
<i>Esempio 1.3.</i>	<i>Certificato di prova a compressione rilasciato dal laboratorio ufficiale .....</i>	<i>»</i>	<i>111</i>
1.4.4.1.	Il controllo di tipo A con campioni inferiori a 6 .....	»	112
1.4.4.2.	Il rapporto di prova per le prove non richieste .....	»	112
1.5.	I controlli di accettazione .....	»	112
1.5.1.	L'obbligatorietà e le finalità .....	»	112
1.5.2.	Le tipologie di controllo .....	»	112
1.5.2.1.	Il controllo d'accettazione di tipo A .....	»	113
1.5.2.2.	Il controllo d'accettazione di tipo B .....	»	115
1.5.3.	Il calcestruzzo non conforme ai requisiti d'accettazione .....	»	117
1.5.4.	Gli ulteriori controlli per le opere non conformi ai controlli d'accettazione .....	»	118
1.6.	Le prove complementari .....	»	118
1.7.	La resistenza a trazione del calcestruzzo .....	»	119
1.7.1.	Generalità .....	»	119
1.7.2.	Le metodologie .....	»	119
1.7.2.2.	La prova a trazione indiretta o prova brasiliana .....	»	123
1.7.2.3.	La prova a trazione per flessione .....	»	124
1.7.3.	La correlazione tra la resistenza a compressione e quella a trazione .....	»	127
1.8.	La misura del modulo di elasticità .....	»	127
1.8.1.	Le finalità .....	»	127
1.8.2.	La stima .....	»	127
<b>2. I controlli d'accettazione sul calcestruzzo fresco. Il confezionamento e la posa in opera</b>			
2.1.	Generalità .....	»	130
2.1.1.	Il prelievo dei campioni .....	»	130
2.2.	La lavorabilità .....	»	131
2.2.1.	I fattori che influenzano la lavorabilità .....	»	132
2.2.2.	La perdita di lavorabilità .....	»	132
2.3.	La misura della consistenza .....	»	133
2.3.1.	La prova di abbassamento al cono o <i>slump-test</i> .....	»	134
2.3.1.1.	Il riempimento e la misura dell'abbassamento. ....	»	135
2.3.1.1.1.	La validità della prova .....	»	136
2.3.1.2.	Le forme di abbassamento al cono o slump test .....	»	136
2.3.1.2.1.	Le indicazioni delle linee guida sul calcestruzzo strutturale .....	»	136
2.3.1.2.2.	Le indicazioni dell'aitec .....	»	137
2.3.1.2.3.	Le classi di abbassamento al cono UNI EN 206-1 .....	»	138
2.3.1.2.4.	Le forme di abbassamento al cono UNI EN 12350-2 .....	»	139
2.3.1.3.	Le limitazioni .....	»	140
<i>Esempio 2.1.</i>	<i>Verbale di resoconto della prova di abbassamento al cono (UNI EN 12350-2) .....</i>	<i>»</i>	<i>140</i>
2.3.2.	La misura dell'indice di compattabilità .....	»	141
2.3.2.1.	L'esecuzione della prova .....	»	142
<i>Esempio 2.2.</i>	<i>Verbale di resoconto della misura dell'indice compattabilità (UNI EN 12350-4) .....</i>	<i>»</i>	<i>143</i>
2.3.3.	La prova di spandimento alla tavola a scosse .....	»	144
2.3.3.1.	L'apparecchiatura .....	»	144
2.3.3.2.	L'esecuzione della prova .....	»	145
<i>Esempio 2.3.</i>	<i>Verbale di resoconto della prova di spandimento della tavola a scosse (UNI EN 12350-5) .....</i>	<i>»</i>	<i>147</i>
2.3.4.	La prova Vebè .....	»	148
2.4.	Il controllo della composizione del calcestruzzo fresco .....	»	150
2.4.1.	Generalità .....	»	150
2.4.2.	Le finalità della prova .....	»	151
2.5.	La determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata ( <i>bleeding</i> ) .....	»	152
2.5.1.	Generalità .....	»	152
2.5.2.	L'esecuzione della prova .....	»	153
2.5.3.	Gli aspetti del bleeding e i provvedimenti riduttivi .....	»	153
2.6.	La determinazione della massa volumica .....	»	154
2.6.1.	Generalità .....	»	154
2.6.2.	L'esecuzione della prova .....	»	154
2.7.	La determinazione del contenuto d'aria .....	»	155
2.8.	I componenti del calcestruzzo .....	»	157

2.8.1.	I leganti per opere strutturali .....	»	157
2.8.1.1.	La fornitura .....	»	157
2.8.1.2.	Il marchio di conformità .....	»	159
2.8.1.3.	I metodi di prova .....	»	159
2.8.2.	Gli aggregati .....	»	160
<i>Esempio 2.4.</i>	<i>Dichiarazione di conformità di aggregati per calcestruzzo</i> .....	»	161
<i>Esempio 2.5.</i>	<i>Certificato CE di conformità di aggregati per calcestruzzo</i> .....	»	162
2.8.2.1.	Il sistema di attestazione della conformità .....	»	163
2.8.2.2.	La marcatura ce .....	»	163
2.8.2.3.	I controlli d'accettazione .....	»	163
2.8.2.4.	Le norme per gli aggregati per la confezione di calcestruzzi .....	»	164
2.8.3.	Le aggiunte .....	»	164
2.8.3.1.	Le ceneri volanti .....	»	165
2.8.3.1.1.	Le norme di riferimento .....	»	165
2.8.3.2.	La microsilice .....	»	165
2.8.3.2.1.	Le norme di riferimento .....	»	165
2.8.4.	Gli additivi .....	»	166
2.8.5.	L'acqua di impasto .....	»	166
2.8.6.	Le miscele preconfezionate di componenti per calcestruzzo .....	»	167
2.9.	Lo studio e l'accettazione della composizione del calcestruzzo .....	»	167
2.9.1.	La composizione granulometrica .....	»	168
2.9.2.	Il contenuto di cemento .....	»	168
2.9.3.	Il contenuto di acqua di impasto .....	»	168
2.9.4.	Il contenuto d'aria inglobata .....	»	168
2.9.5.	Le resistenze meccaniche .....	»	169
2.10.	La confezione e il trasporto del calcestruzzo .....	»	169
2.10.1.	L'attrezzatura di cantiere .....	»	169
2.10.2.	La confezione del calcestruzzo .....	»	170
2.10.3.	Il tempo di mescolamento .....	»	170
2.10.4.	Il trasporto del calcestruzzo .....	»	171
2.10.5.	I documenti di consegna .....	»	171
2.11.	L'esecuzione del getto del calcestruzzo .....	»	172
2.11.1.	Il programma dei getti .....	»	172
2.11.2.	Le modalità esecutive e la verifica della corretta posizione delle armature .....	»	172
2.11.3.	La realizzazione delle gabbie delle armature per cemento armato .....	»	173
2.11.4.	L'ancoraggio delle barre e le loro giunzioni .....	»	173
2.11.5.	Il getto del calcestruzzo ordinario .....	»	174
2.11.6.	Il getto del calcestruzzo autocompattante .....	»	175
2.11.7.	I getti in climi freddi .....	»	175
2.11.8.	I getti in climi caldi .....	»	176
2.11.9.	Le riprese di getto .....	»	177
2.11.10.	La compattazione del calcestruzzo .....	»	178
2.11.10.1.	La compattazione mediante vibrazione .....	»	179
2.12.	La stagionatura .....	»	180
2.12.1.	Le linee generali .....	»	180
2.12.2.	La protezione in generale .....	»	181
2.12.3.	La protezione termica durante la stagionatura .....	»	181
2.12.4.	La durata della stagionatura .....	»	182
2.12.5.	Il controllo della fessurazione superficiale .....	»	183
2.12.6.	La maturazione accelerata con getti di vapore saturo .....	»	183
<b>3. I controlli d'accettazione dell'acciaio per c.a.</b>			
3.1.	Le prescrizioni comuni a tutte le tipologie di acciaio .....	»	184
3.1.1.	Le forme di controllo obbligatorie .....	»	184
3.1.2.	I controlli di produzione in stabilimento .....	»	186
3.1.2.1.	Le procedure di qualificazione .....	»	186
3.1.2.1.1.	Le verifiche del servizio tecnico centrale .....	»	186
3.1.2.1.2.	L'esecuzione di prove. Il rilascio dell'attestato di qualificazione .....	»	187
3.1.2.1.3.	Il mantenimento della qualificazione .....	»	187
3.1.2.1.3.1.	La documentazione necessaria .....	»	187
3.1.2.1.3.2.	Le modifiche del processo produttivo .....	»	188
3.1.2.1.3.3.	La sospensione della produzione .....	»	188
3.1.2.1.3.4.	Il rinnovo della qualificazione .....	»	188



3.1.2.1.3.5. La marcatura e la rintracciabilità dei prodotti qualificati.....	»	188
3.1.2.1.3.5.1. Il caso dell'unità marcata scorporata. Le ulteriori indicazioni del direttore dei lavori per le prove di laboratorio .....	»	190
3.1.2.1.3.5.2. La conservazione della documentazione d'accompagnamento .....	»	191
3.1.2.1.3.5.3. L'indicazione dei marchi identificativi nei certificati delle prove meccaniche .....	»	191
3.1.2.1.3.6. Le forniture e la documentazione di accompagnamento. L'attestato di qualificazione .....	»	191
3.1.2.1.3.7. Le prove di qualificazione e le verifiche periodiche della qualità .....	»	191
<i>Esempio 3.1. Attestato di qualificazione di acciaio per calcestruzzo armato laminato a caldo .....</i>	<i>»</i>	<i>192</i>
3.1.2.1.3.7.1. I certificati di prova.....	»	193
3.1.3. I controlli nei centri di trasformazione .....	»	193
3.1.3.1. La definizione.....	»	193
3.1.3.2. La rintracciabilità dei prodotti .....	»	193
3.1.3.3. Il sistema di controllo della lavorazione per garantire la permanenza delle caratteristiche meccaniche e geometriche del materiale originario .....	»	193
3.1.3.4. Il direttore tecnico dello stabilimento .....	»	194
3.1.3.5. La dichiarazione al servizio tecnico centrale. Il marchio e il logo di identificazione del centro di trasformazione .....	»	194
3.1.3.6. La documentazione di accompagnamento per i prodotti forniti in cantiere e gli obblighi di verifica del direttore dei lavori e del collaudatore statico.....	»	194
3.2. L'acciaio per calcestruzzo armato .....	»	195
3.2.1. L'acciaio per calcestruzzo armato laminato a caldo B450C .....	»	195
3.2.2. L'acciaio per calcestruzzo armato trafilato a freddo B450A .....	»	196
3.2.3. L'accertamento delle proprietà meccaniche .....	»	197
3.2.3.1. La prova di piegamento .....	»	197
3.2.3.2. La prova di trazione .....	»	198
3.2.4. Le caratteristiche dimensionali e di impiego .....	»	200
3.2.4.1. La sagomatura e l'impiego.....	»	200
3.2.5. Le reti e i tralicci elettrosaldati.....	»	201
3.2.5.1. La marchiatura di identificazione .....	»	201
3.2.6. La saldabilità.....	»	202
3.2.7. Le tolleranze dimensionali .....	»	202
3.2.8. Gli altri tipi di acciai .....	»	203
3.2.8.1. Gli acciai inossidabili.....	»	203
3.2.8.2. Gli acciai zincati .....	»	203
3.2.9. Le procedure di controllo per acciai da calcestruzzo armato ordinario. Le barre e i rotoli.....	»	203
3.2.9.1. I controlli sistematici .....	»	203
3.2.9.1.1. Generalità .....	»	203
3.2.9.1.2. Le prove di qualificazione .....	»	203
3.2.9.1.2.1. La valutazione dei risultati .....	»	204
3.2.9.1.3. Le prove periodiche di verifica della qualità .....	»	205
3.2.9.1.3.1. La verifica delle tolleranze dimensionali per colata o lotto di produzione .....	»	206
3.2.9.2. La facoltatività dei controlli su singole colate o lotti di produzione .....	»	206
3.2.9.3. I controlli nei centri di trasformazione .....	»	206
3.2.9.4. I controlli di accettazione in cantiere.....	»	207
<i>Esempio 3.2. Controllo di accettazione in cantiere di una partita d'acciaio laminato a caldo .....</i>	<i>»</i>	<i>208</i>
3.2.9.4.1. Il prelievo dei campioni e la domanda al laboratorio prove .....	»	209
<i>Esempio 3.3. Modello di verbale di prelievo campioni di acciaio per calcestruzzo armato.....</i>	<i>»</i>	<i>210</i>
<i>Esempio 3.4. Lettera di trasmissione dei provini di barre di acciaio al laboratorio ufficiale .....</i>	<i>»</i>	<i>211</i>
<i>Esempio 3.5. Certificato di prova a trazione e piegamento di barre d'acciaio .....</i>	<i>»</i>	<i>213</i>
3.2.9.4.2. Il contenuto del certificato di prova.....	»	214
3.2.9.5. La determinazione dell'indice e delle tensioni di aderenza.....	»	214
3.2.9.5.1. L'acciaio nervato e l'acciaio dentellato .....	»	214
3.2.9.5.2. Le tensioni d'aderenza. I diametri di prova .....	»	215
3.2.9.5.2.1. Le caratteristiche dei provini .....	»	216
3.2.9.5.2.2. L'esecuzione della prova .....	»	219
3.2.9.5.3. La determinazione dell'indice di aderenza .....	»	219
3.2.9.5.3.1. Il calcolo di fr ed fp .....	»	220
3.2.10. Le procedure di controllo per acciai da calcestruzzo armato ordinario. Le reti e i tralicci elettrosaldati .....	»	223
3.2.10.1. I controlli sistematici in stabilimento.....	»	223
3.2.10.1.1. Le prove di qualificazione .....	»	223

3.2.10.1.2. Le prove di verifica della qualità .....	»	224
3.2.10.2. I controlli sui singoli lotti di produzione .....	»	224
3.2.10.3. I controlli di accettazione in cantiere.....	»	225
3.3. L'acciaio per calcestruzzo armato precompresso .....	»	225
3.3.1. Le caratteristiche dimensionali .....	»	225
3.3.2. Le caratteristiche chimiche, fisiche e geometriche .....	»	226
3.3.3. I controlli .....	»	227
3.3.4. Le cadute di tensione per rilassamento.....	»	227
3.3.5. Le procedure di controllo per acciai da calcestruzzo armato precompresso .....	»	228
3.3.5.1. Le prescrizioni comuni. Le modalità di prelievo .....	»	228
3.3.5.2. I controlli sistematici in stabilimento .....	»	228
3.3.5.2.1. Le prove di qualificazione .....	»	228
3.3.5.2.2. Le prove di verifica della qualità .....	»	229
3.3.5.3. La determinazione delle proprietà e le tolleranze .....	»	229
3.3.5.3.1. Il diametro e l'area della sezione .....	»	229
3.3.5.3.2. La tensione di rottura .....	»	229
3.3.5.3.3. L'allungamento sotto carico massimo .....	»	229
3.3.5.3.4. Il limite elastico allo 0,1% .....	»	230
3.3.5.3.5. La tensione di snervamento .....	»	230
3.3.5.3.6. Il modulo di elasticità.....	»	230
3.3.5.3.7. La tensione all'1% .....	»	230
3.3.5.3.8. La prova di piegamento alternato .....	»	230
3.3.5.3.9. La prova di piegamento .....	»	230
3.3.5.3.10. La resistenza a fatica .....	»	230
3.3.5.3.11. Il rilassamento a temperatura ordinaria .....	»	231
3.3.5.3.11.1. Le condizioni di prova .....	»	231
3.3.5.3.11.2. Le caratteristiche della provetta .....	»	231
3.3.5.3.11.3. Il carico iniziale .....	»	231
3.3.5.3.11.4. La precisione della misura .....	»	231
3.3.5.4. I controlli nei centri di trasformazione .....	»	231
3.3.5.5. I controlli di accettazione in cantiere e gli obblighi del direttore dei lavori .....	»	232
<b>4. Le verifiche geometriche</b>		
4.1. L'esame geometrico delle strutture .....	»	233
4.1.1. Le tolleranze geometriche.....	»	233
4.2. Gli elementi strutturali in calcestruzzo armato .....	»	234
4.2.1. Le indicazioni per le zone non sismiche .....	»	234
4.2.1.1. L'armatura delle travi .....	»	234
4.2.1.2. L'armatura dei pilastri .....	»	235
4.2.2. Le indicazioni per le zone sismiche .....	»	236
4.2.2.1. Le limitazioni geometriche .....	»	236
4.2.2.1.1. Le travi .....	»	236
4.2.2.1.2. I pilastri .....	»	237
4.2.2.1.3. I nodi trave-pilastro .....	»	237
4.2.2.1.4. Le pareti .....	»	239
4.2.2.2. Le limitazioni d'armatura.....	»	239
4.2.2.2.1. L'armatura delle travi.....	»	239
4.2.2.2.1.1. Le armature longitudinali .....	»	239
4.2.2.2.1.2. Le armature trasversali .....	»	240
4.2.2.2.2. Le armature dei pilastri.....	»	242
4.2.2.2.2.1. Le armature longitudinali .....	»	242
4.2.2.2.2.2. Le armature trasversali .....	»	242
4.2.2.2.3. L'armatura dei nodi trave-pilastro .....	»	244
4.2.2.2.4. L'armatura delle pareti .....	»	244
4.2.2.2.5. L'armatura delle travi di accoppiamento .....	»	246
4.2.3. I solai misti .....	»	246
4.2.3.1. I solai misti di c.a. e c.a.p. e i blocchi forati in laterizio .....	»	247
4.2.3.1.1. Le caratteristiche minime dei blocchi .....	»	248
4.2.3.1.2. Le caratteristiche fisico-meccaniche .....	»	249
4.2.3.2. I solai misti di c.a. e c.a.p. e i blocchi diversi dal laterizio .....	»	249
4.2.3.3. I solai realizzati con l'associazione di componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p. ....	»	250
4.2.3.4. I limiti dimensionali .....	»	250
4.2.4. Il coprifero e l'interfero .....	»	251

4.2.4.1.	Le indicazioni del D.M. 9 gennaio 1996 .....	»	253
4.2.4.2.	I distanziatori .....	»	253
4.2.5.	Le giunzioni delle barre d'armatura .....	»	255
4.2.6.	L'ancoraggio delle barre .....	»	258
4.2.7.	Le specifiche esecutive nel progetto strutturale .....	»	259
4.3.	Gli elementi strutturali in c.a. precompresso .....	»	259
4.3.1.	L'armatura longitudinale ordinaria .....	»	259
4.3.2.	Le staffe .....	»	259
4.3.3.	L'esecuzione delle opere .....	»	259
4.4.	La deformabilità degli elementi strutturali .....	»	260
4.4.1.	Le indicazioni dell'Eurocodice .....	»	260
4.4.2.	Le indicazioni del D.M. 9 gennaio 1996 .....	»	261
<b>5. Le strutture prefabbricate</b>			
5.1.	Generalità .....	»	262
5.2.	I prodotti prefabbricati non soggetti a marcatura ce .....	»	262
5.3.	I prodotti prefabbricati in serie .....	»	263
5.3.1.	I prodotti prefabbricati in serie dichiarata .....	»	263
5.3.2.	I prodotti prefabbricati in serie controllata .....	»	263
5.4.	Le responsabilità e le competenze del progettista, del direttore tecnico e del direttore dei lavori .....	»	264
5.5.	Le prove di carico obbligatorie su nuovi componenti .....	»	264
5.6.	Le verifiche dei componenti .....	»	264
5.6.1.	Gli appoggi .....	»	265
5.6.2.	La realizzazione delle unioni .....	»	265
5.6.3.	Le tolleranze .....	»	265
5.7.	I componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p. .....	»	265
5.7.1.	Generalità .....	»	265
5.7.2.	I requisiti minimi degli stabilimenti e degli impianti di produzione .....	»	266
5.7.3.	Il controllo di produzione .....	»	266
5.7.3.1.	I controlli d'accettazione del calcestruzzo per gli elementi di serie .....	»	267
5.7.3.2.	Il controllo di produzione in serie controllata .....	»	267
5.7.3.3.	Le prove iniziali di tipo per elementi in serie controllata .....	»	267
5.7.3.4.	La marchiatura degli elementi prefabbricati .....	»	267
5.7.4.	Le procedure di qualificazione .....	»	268
5.7.4.1.	La qualificazione dello stabilimento .....	»	268
5.7.4.2.	La qualificazione della produzione in serie dichiarata .....	»	268
5.7.4.3.	La qualificazione della produzione in serie controllata .....	»	268
5.7.4.4.	Le sospensioni e le revoche .....	»	269
5.7.5.	I documenti di accompagnamento delle forniture. Gli obblighi del direttore dei lavori e del collaudatore statico .....	»	269
5.7.5.1.	Gli ulteriori documenti forniti dal produttore .....	»	270
<b>6. I dispositivi antisismici</b>			
6.1.	Generalità .....	»	271
6.2.	Le tipologie di dispositivi .....	»	271
6.3.	La procedura di qualificazione .....	»	273
6.3.1.	Il rilascio dell'attestato di qualificazione .....	»	274
6.3.2.	Il sistema di gestione della qualità .....	»	275
6.3.3.	I documenti di accompagnamento delle forniture .....	»	275
6.4.	La procedura di accettazione .....	»	275
6.5.	I dispositivi a comportamento lineare .....	»	275
6.5.1.	Le prove di accettazione sui materiali .....	»	276
6.5.2.	Le prove di qualificazione sui dispositivi .....	»	276
6.5.3.	Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	277
6.6.	I dispositivi a comportamento non lineare .....	»	278
6.6.1.	Le prove di accettazione sui materiali .....	»	280
6.6.2.	Le prove di qualificazione sui dispositivi .....	»	280
6.6.3.	Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	280
6.7.	I dispositivi a comportamento viscoso .....	»	280
6.7.1.	Le prove di accettazione sui materiali .....	»	281
6.7.2.	Le prove di qualificazione sui dispositivi .....	»	281
6.7.3.	Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	282
6.8.	Gli isolatori elastomerici .....	»	282

6.8.1. Le prove di accettazione sui materiali .....	»	283
6.8.2. Le prove di qualificazione sui dispositivi.....	»	284
6.8.3. Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	285
6.9. Gli isolatori a scorrimento .....	»	285
6.9.1. Le prove di accettazione sui materiali .....	»	286
6.9.2. Le prove di qualificazione sui dispositivi.....	»	286
6.9.3. Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	286
6.10. I dispositivi a vincolo rigido del tipo “a fusibile” .....	»	287
6.10.1. Le prove di accettazione sui materiali .....	»	287
6.10.2. Le prove di qualificazione sui dispositivi.....	»	287
6.10.3. Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	288
6.11. I dispositivi (dinamici) di vincolo provvisorio .....	»	288
6.11.1. Le prove di accettazione sui materiali .....	»	289
6.11.2. Le prove di qualificazione sui dispositivi.....	»	289
6.11.3. Le prove di accettazione sui dispositivi .....	»	290
<b>7. Le prove di carico</b>		
7.1. Gli aspetti normativi .....	»	291
7.1.1. La corrispondenza del comportamento teorico e quello sperimentale .....	»	291
7.1.1.1. Il disarmo delle strutture .....	»	291
<i>Esempio 7.1. Richiesta al laboratorio ufficiale incaricato dell'esecuzione di prova di carico .....</i>	»	292
7.1.2. Il programma delle prove .....	»	293
7.1.3. Le modalità di esecuzione .....	»	293
7.2. Le strumentazioni di misura e di controllo .....	»	293
7.3. I carichi di prova .....	»	295
7.3.1. Generalità .....	»	295
7.3.2. Il carico distribuito .....	»	295
<i>Esempio 7.2. Prescrizioni previste per l'esecuzione di una prova di carico .....</i>	»	295
7.3.3. I carichi concentrati equivalenti .....	»	296
7.3.4. Le modalità di applicazione .....	»	298
7.4. Le prove di carico sui solai .....	»	298
7.4.1. Le considerazioni sul calcolo teorico dei solai.....	»	298
7.4.2. Il carico di collaudo .....	»	299
7.4.2.1. I carichi variabili .....	»	300
7.4.2.1.1. I carichi atipici .....	»	301
7.4.2.1.2. Gli elementi divisori interni .....	»	301
7.4.3. Il metodo sperimentale .....	»	301
7.4.3.1. Il metodo sperimentale pratico.....	»	303
<i>Esempio 7.3. Prova di carico su solaio effettuata con il metodo sperimentale. Carico distribuito lungo la fascia.....</i>	»	305
7.4.4. Il metodo della forza equivalente concentrata o metodo a spinta .....	»	309
7.4.5. La verifica sperimentale delle condizioni di vincolo .....	»	310
<i>Esempio 7.4. Prova di carico su solaio effettuata con il metodo sperimentale. Carico concentrato .....</i>	»	314
7.4.6. La prova di carico con due carichi concentrati posti a 1/3 della luce .....	»	320
7.4.7. La determinazione del carico di prova disposto ortogonalmente all'orditura del solaio .....	»	321
<i>Esempio 7.5. Prova di carico su solaio con striscia di carico ortogonale all'orditura del solaio .....</i>	»	322
7.4.8. Il metodo di Guidi.....	»	324
7.5. Le prove di carico sulle travi .....	»	326
<i>Esempio 7.6. Calcoli del carico di prova e della larghezza della fascia di carico per un solaio in latero-cemento.....</i>	»	326
<i>Esempio 7.7. Certificato di prova di carico su trave in calcestruzzo armato con due punti di carico .....</i>	»	327
7.6. Le prove di carico su sbalzi .....	»	331
<i>Esempio 7.8. Prova di carico su trave a sbalzo in c.a. ....</i>	»	331
7.7. Le prove di carico su scale .....	»	333
7.8. L'interpretazione dei risultati .....	»	334
7.8.1. La valutazione della prova .....	»	334
7.8.2. La curva di isteresi .....	»	335
<b>8. Prove di carico sui ponti stradali</b>		
8.1. Le opere stradali .....	»	336
8.2. Le prescrizioni generali .....	»	336
8.2.1. Premessa .....	»	336
8.2.2. La geometria della sede stradale.....	»	336
8.2.2.1. La larghezza della sede stradale .....	»	336
8.2.3. L'altezza libera .....	»	336

8.2.4.	La compatibilità idraulica .....	»	337
8.3.	Le azioni sui ponti stradali .....	»	337
8.3.1.	Le azioni permanenti .....	»	337
8.3.2.	Le deformazioni impresse.....	»	338
8.3.3.	Le azioni variabili da traffico .....	»	338
8.3.3.1.	Premessa .....	»	338
8.3.3.2.	La definizione e la numerazione delle corsie convenzionali .....	»	338
8.3.3.3.	Gli schemi di carico .....	»	339
8.3.3.4.	Le categorie dei ponti stradali .....	»	342
8.3.3.5.	La disposizione dei carichi mobili al fine di realizzare le condizioni di carico più gravose ..	»	342
8.3.4.	I ponti con asse curvo. L'azione centrifuga: Q4.....	»	343
8.4.	Il collaudo statico.....	»	344
8.4.1.	Le deformazioni ammissibili. Le prove di carico .....	»	344
8.4.1.1.	I ponti stradali e ferroviari con isolamento e/o dissipazione .....	»	344
8.4.2.	Le prove di carico statiche .....	»	344
8.4.3.	Le prove di carico dinamiche .....	»	344
8.4.4.	I cenni sulla ripartizione trasversale dei carichi. Gli effetti deformativi .....	»	345
8.4.5.	I carichi di prova .....	»	346
8.4.5.1.	Il carico con colonne di autocarri .....	»	346
<i>Esempio 8.1.</i>	<i>Certificato di prova di carico su ponte .....</i>	»	349
8.4.5.2.	Il carico distribuito con vasche d'acqua .....	»	355
8.4.5.3.	Il carico concentrato .....	»	355
8.4.5.4.	Le considerazioni sui carichi di prova.....	»	355
8.4.6.	Il metodo delle tangenti .....	»	355
8.5.	I ponti ferroviari.....	»	357
8.5.1.	Generalità .....	»	357
8.5.2.	I principali criteri progettuali e manutentivi.....	»	357
8.5.2.1.	L'ispezionabilità e la manutenzione .....	»	357

## Indice analitico

<b>A</b>	
<b>Accertamenti discrezionali</b> .....	68
<b>Acciaio per c.a.</b>	
• acciai inossidabili.....	203
• acciai zincati .....	203
• acciaio tipo B450A .....	196
• acciaio tipo B450C .....	195
• ancoraggio barre .....	258
• attestato di qualificazione .....	191
• barre e rotoli.....	203
• centri di trasformazione .....	193, 206
• certificati di prova.....	193
• controlli di accettazione in cantiere.....	207, 225
• controlli di produzione.....	186
• controlli nei centri di trasformazione .....	206
• corrosione .....	563
• documentazione d'accompagnamento.....	191
• domanda al laboratorio prove .....	209
• forme di controllo obbligatorie.....	184
• identificazione classe tecnica.....	190
• identificazione produttore .....	190
• indice di aderenza .....	214
• marcatura e rintracciabilità.....	188, 201
• prelievo di campioni .....	209
• procedure di qualificazione .....	186
• proprietà meccaniche .....	197
• prova di piegamento .....	197
• prova di trazione .....	198
• prove di qualificazione .....	191
• reti e tralici elettrosaldati .....	201, 223
• saldabilità .....	202
• tipologie .....	195
• tolleranze dimensionali .....	202
• unità marcata scorporata .....	190
<b>Acciaio per c.a.p.</b>	
• cadute di tensione .....	227
• caratteristiche dimensionali .....	225
• caratteristiche fisiche, chimiche e geometriche.....	226
• controlli .....	227
• controlli di accettazione in cantiere.....	232
• controlli nei centri di trasformazione .....	231
• controlli sistematici in stabilimento.....	228
• procedure di controllo.....	228
• prova di piegamento .....	230
• tolleranze.....	229
• resistenza a fatica.....	230
<b>Acciaio (strutture)</b>	
• acciai inossidabili.....	629
• acciaio incrudito.....	614
• acciaio per getti.....	626
• acciaio per strutture saldate .....	626
• apparecchi d'appoggio.....	615
• bulloni .....	627, 634
• centri di prelaborazione .....	633
• centri di trasformazione .....	629, 632
• chiodi .....	628, 634
• connettori a piolo .....	629
• controlli di produzione.....	622
• controlli in stabilimento.....	630
• controlli obbligatori .....	622
• durabilità .....	615
• forniture .....	623
• giunti di tipo misto.....	621
• laminati .....	623, 625, 629
• prelievo campioni .....	635
• procedure di qualificazione .....	622
• progettazione integrata da prove .....	614
• spessori limite .....	614
• strutture composte.....	623
• tipologie strutturali.....	612
• unioni .....	615, 616, 617
• unioni saldate .....	618
• verifica periodica di qualità .....	631
• verifiche del direttore dei lavori .....	632, 633, 634
• verniciatura .....	615
• zincatura .....	615
<b>Ancoraggi e tiranti</b>	
• anticorrosione.....	819
• aspetti costruttivi.....	821
• bulloni d'ancoraggio .....	840
• cause di cedimento.....	839
• chiodi d'ancoraggio .....	841
• classificazione dei tiranti .....	822
• collaudo del foro .....	818
• criteri di progetto .....	819
• durabilità e tesatura.....	821
• fasi di esecuzione .....	825
• monitoraggio .....	819
• parti componenti .....	824
• protezione .....	826
• prove di carico .....	818, 821, 559
• prove di collaudo .....	828, 836
• prove di progetto.....	822

• raccomandazioni Aicap .....	830	• temperatura .....	554
• raccomandazioni Isrm .....	827	• umidità relativa .....	552
• sistemi di precompressione .....	817	<b>Carotaggio</b>	
• tipologie .....	823	• cappatura .....	404
• tiranti .....	817	• carote da scartare .....	394
• verbale di prova di carico .....	839	• certificato di prova a compressione .....	408
• verifiche di sicurezza .....	819	• coefficienti correttivi .....	396
<b>Ancoraggio barre d'armatura</b> .....	173, 258	• dimensione massima aggregato .....	401
<b>Armature</b>		• direzione carotaggio .....	400
• gabbie 173		• effetto barre d'armatura .....	407
• limitazioni d'armatura .....	239	• effetto compattazione .....	406
• pareti .....	244	• estrazione .....	389
• pilastri .....	235, 242, 243	• età carota .....	406
• prelievo .....	387	• etichettatura .....	392
• pull-out test .....	215	• identificazione carote .....	392
• rilevamento .....	385, 389	• numero di carote .....	395
• travi .....	234, 239, 240	• porosità .....	399
<b>Assistenza al collaudo</b> .....	49	• rapporto acqua/cemento .....	398
		• rapporto lunghezza/diametro .....	400
		• resistenza a compressione .....	396
		• rilievo armature .....	389
		• ripristino zone estrazione .....	392
		• temperatura di maturazione .....	406
		• tormento .....	403
		• umidità campione .....	403
		• variabilità valori di resistenza .....	395
		• verbale di prelievo .....	396
		<b>Centri di trasformazione</b>	
<b>B</b>		• documentazione d'accompagnamento in cantiere .....	194
<b>Beam-test</b> .....	215	• marchio e logo di identificazione .....	194
<b>Bleeding</b> .....	152	• rintracciabilità prodotti .....	193
<b>Break-off</b> .....	506	• sistema di controllo .....	193
<b>Bulloni d'ancoraggio</b> .....	840	<b>Certificato di agibilità</b> .....	
		• attestazioni .....	52
		• dichiarazione di inagibilità .....	58
		• domanda .....	53
		• responsabile del procedimento .....	53
		• soggetti preposti al rilascio .....	52
		• tempi .....	57
		<b>Certificato di collaudo statico</b>	
<b>C</b>		• elementi costruttivi prefabbricati .....	80
<b>Calcestruzzo autocompattante</b> .....	175	• sanzioni .....	81
<b>Calcestruzzo fresco</b>		• trasmissione .....	81
• attrezzatura di cantiere .....	169	<b>Certificato di prova a compressione</b> .....	110, 517
• bleeding .....	152	<b>Chiodi d'ancoraggio</b> .....	841
• compattazione .....	178, 179	<b>Cloruri (attacco)</b>	
• componenti .....	157	• analisi quantitativa .....	559
• composizione .....	150	• depassivazione .....	557
• confezione e trasporto .....	169	• meccanismo di corrosione .....	559
• consistenza .....	133	• penetrazione .....	558
• documenti di consegna .....	171	• prelievo di campioni .....	560
• esecuzione del getto .....	172	<b>Collaudatore statico</b>	
• indice di compattabilità .....	141	• accettazione dell'incarico .....	10
• lavorabilità .....	131	• documentazione acquisita dal direttore dei lavori .....	79
• massa volumica .....	154	• modello .....	74
• mescolamento .....	170	• nomina .....	7
• prove di valutazione .....	130	• richiesta di terna di nominativi .....	9
• prelievo campioni .....	130	<b>Collaudo statico in corso d'opera</b> .....	2, 26
• programma dei getti .....	172	<b>Collaudo statico</b>	
• prova di abbassamento al cono .....	134	• collaudatore statico .....	4
• prova vebè .....	148		
• tavola a scosse .....	144		
• trasporto .....	171		
• vibrazione .....	179		
<b>Carbonatazione</b>			
• alcalinità .....	554		
• anidride carbonica .....	554		
• cause .....	552		
• depassivazione .....	548		
• meccanismo elettrochimico .....	550		
• profondità .....	551, 555		
• rapporto a/c .....	554		
• spessore copri ferro .....	553		

• direttore dei lavori .....	3	• controllo di produzione .....	87
• esame dei certificati delle prove sui materiali .....	60	• controllo di tipo A .....	112, 113
• esame del progetto .....	61	• controllo di tipo B .....	113, 114
• esecutore .....	3	• dimensione provini .....	94
• misure di sicurezza .....	4	• domanda di prove al laboratorio .....	101
• obbligatorietà .....	2	• macchina per prova a compressione .....	105
• operazioni .....	59	• obbligatorietà .....	84
• progettista .....	3	• prelievo di campioni .....	91
• quadro normativo .....	2	• prova a compressione .....	103
<b>Collaudo statico parziale</b> .....	81	• prove complementari .....	88, 118
<b>Collaudo tecnico-amministrativo opere pubbliche</b>		• resistenza caratteristica .....	89
• affidamento .....	34, 37	• rettifica provini .....	103
• affidamento diretto .....	40	• rottura provini .....	108
• beni del patrimonio culturale .....	27	• stagionatura provini .....	100
• carenza di organico .....	39	• ulteriori controlli .....	118
• cauzione provvisoria .....	44	• valutazione preliminare resistenza .....	87, 88
• collaudo statico .....	42	• verbale di prelievo .....	98
• commissioni di collaudo .....	24	<b>Controlli distruttivi</b> .....	383
• decadenza dell'incarico .....	25	<b>Controlli non distruttivi</b> .....	417
• direttore dei lavori .....	46	<b>Controllo del calcestruzzo in opera</b>	
• fondo incentivante .....	45	• analisi storica .....	366
• elenchi aperti di operatori .....	30	• aree di prova .....	371, 374
• incompatibilità .....	23	• calcestruzzo prelevato .....	362
• nomina collaudatore .....	22	• classificazione dei controlli .....	368
• operazioni di collaudo .....	24	• edifici esistenti .....	360, 363
• opere di particolare complessità .....	24, 26	• esito negativo controlli d'accettazione .....	362
• professionisti esterni .....	39	• interpretazione dati di prova .....	370
• responsabile del procedimento .....	46	• ispezioni .....	370
• requisiti .....	3	• livelli di conoscenza .....	376
• ritardo operazioni di collaudo .....	25	• modalità di indagine .....	364
• servizi in economia .....	40	• norme di riferimento .....	365
• soglie di importo dei compensi .....	28	• piano di manutenzione strutturale .....	370
• stima del corrispettivo .....	29	• pilastro .....	373
<b>Commissioni di collaudo</b> .....	24	• programmazione indagini .....	368
<b>Compattazione</b> .....	178, 179	• scelta elementi strutturali .....	372
<b>Componenti calcestruzzo</b>		• sopralluoghi .....	367
• acqua d'impasto .....	166, 168	• trave .....	374
• additivi .....	166	• valore di resistenza a compressione accettabile .....	365
• aggiunte .....	164	• valutazione sicurezza .....	361, 363
• aggregati .....	160	• variazione proprietà calcestruzzo .....	375
• aria inglobata .....	168	• verifiche in situ .....	380
• ceneri volanti .....	165	<b>Controllo di tipo A</b> .....	112, 113
• composizione granulometrica .....	168	<b>Controllo di tipo B</b> .....	113, 114
• controlli accettazione aggregati .....	163	<b>Copriferro e interferro</b> .....	251
• leganti .....	157	<b>Corpi illuminanti</b> .....	71
• marcatura CE aggregati .....	163	<b>Corrosione armature</b>	
• micro silice .....	165	• corrosione sotto sforzo .....	566
• miscele preconfezionate .....	167	• effetti .....	563
• resistenze meccaniche .....	169	• mappatura potenziale .....	566
• studio composizione .....	167	• processi corrosivi .....	564
<b>Controlli d'accettazione calcestruzzo</b>		• spalling .....	565
• calcestruzzo confezionato con processo industrializzato .....	90	<b>Cross-hole</b>	
• calcestruzzo non conforme .....	117	• analisi dei risultati .....	785
• casseformi .....	98	• difetti riscontrabili .....	783
• certificato di prova a compressione .....	110	• esecuzione .....	779
• classi di resistenza .....	84, 85, 86	• misurazioni .....	781
• confezionamento provini .....	95	• onde sonore .....	781
• controlli di qualità .....	87	• preparazione struttura .....	777
• controllo d'accettazione .....	88	<b>Curve di correlazione</b>	
		• intervallo di confidenza .....	424



• limiti.....	427
• linearizzazione dei dati .....	421
• metodi statistici .....	420
• metodo dei minimi quadrati.....	420
• metodo di Mandel.....	422
• regressione polinomiale .....	423
• sensibilità metodi .....	425
• taratura .....	426
• tipi .....	419

## D

<b>Deformabilità elementi strutturali</b> .....	260
<b>Denuncia dei lavori</b> .....	5
<b>Disarmo delle strutture</b> .....	291
<b>Direttore dei lavori</b> .....	3, 46, 79
<b>Direttore operativo</b> .....	50
<b>Dispositivi di isolamento</b> .....	72
<b>Dispositivi antisismici</b>	
• attestato di qualificazione .....	274
• comportamento lineare .....	275
• comportamento non lineare .....	278
• comportamento viscoso .....	280
• dispositivi a vincolo rigido del tipo a fusibile.....	287
• dispositivi dinamici di vincolo provvisorio .....	288
• isolatori a scorrimento .....	285
• isolatori elastomerici .....	282
• procedura di accettazione .....	275, 276, 277, 281, 283, 286, 287, 289, 290
• procedura di qualificazione .....	273, 276, 281, 283, 285, 286, 287, 289
• tipologie .....	271
• valutazione della forza assiale .....	289
• verifica rispetto ad un sovraccarico.....	290
• verifica sotto azioni impulsive.....	290
• verifica della tenuta delle guarnizioni .....	289
<b>Dispositivi di isolamento sismico e/o dissipazione</b> .....	69, 271
<b>Distanza tra costruzioni contigue</b> .....	71
<b>Distanziatori</b> .....	253
<b>Documentazione acquisita dal direttore dei lavori</b> .....	79
<b>Documenti da tenere in cantiere</b> .....	10
<b>Durabilità</b>	
• aggiunte minerali .....	546
• agenti aggressivi .....	536, 546
• ambiente marino .....	538
• carbonatazione .....	548
• cloruri .....	557
• durabilità potenziale .....	534, 547
• innesco corrosione .....	547
• meccanismi di trasporto.....	544
• permeabilità .....	542, 543, 545
• processi a rischio .....	536
• propagazione corrosione .....	547
• tipo di cemento .....	546
• stagionatura protetta.....	542
• vita in servizio .....	538

## F

<b>Fondo incentivante</b> .....	45
---------------------------------	----

## G

<b>Gabbie d'armatura</b> .....	173
<b>Garanzia di qualità</b> .....	69
<b>Gelo e disgelo (azione)</b> .....	561
<b>Getto calcestruzzo</b> .....	172
<b>Giunzioni di barre</b> .....	173, 255

## I

### Impact-echo

• mappatura dei difetti .....	479
• metodologia .....	474
• norma astm C 1383 .....	475
• principi del metodo .....	472
• strutture in c.a.p. ....	477

### Impianti .....

.....	70
-------	----

### Indice di compattabilità .....

.....	141
-------	-----

### Indice di maturazione

• calcolo .....	530
• stima resistenza a compressione cls .....	531

### Indice di rimbalzo

• cause di influenza .....	436
• esecuzione prova .....	435
• limitazioni .....	442
• metodi .....	430
• metodo coefficienti di influenza corretti .....	431
• metodo coefficienti di influenza non corretti .....	433
• metodo curva di taratura.....	430
• metodo curva unica .....	434
• numero minimo battute .....	436
• spessore minimo elemento strutturale .....	435
• strumento .....	429
• trattamento delle superfici .....	435
• verbale di prova .....	438

### Isolatori a scorrimento.....

.....	285
-------	-----

### Isolatori elastomerici.....

.....	282
-------	-----

### Ispettore di cantiere .....

.....	50
-------	----

### Ispezione generale dell'opera .....

.....	68
-------	----

## L

### Lesioni

• alcali.....	582
• asciugatura .....	582
• assestamento .....	582
• cause .....	578
• identificazione .....	584
• indagini petrografiche .....	585
• osservazioni dirette .....	584
• microlesioni .....	584
• ritiro plastico .....	581
• sforzi termici .....	582
• sollecitazioni .....	580

## M

### Manutenzione ponti

• controlli periodici.....	596
• gestione .....	588
• grandi manufatti .....	589
• impalcato.....	601

• ispezione .....	591
• ispezioni annuali .....	605
• ispezioni trimestrali .....	605
• manutenzione .....	599, 609
• ponti ferroviari .....	610
• restauro statico .....	600
• schedatura difetti .....	594
• sorveglianza .....	604
• strutture portanti .....	601
• vigilanza .....	588
• vita residua della struttura .....	594
• vita utile dell'opera .....	589
<b>Mappatura potenziale corrosione armature</b>	
• limitazioni .....	569
• misura .....	566
• procedura .....	567
• resistenza di polarizzazione lineare .....	571
• strumentazione .....	567
• superficie della struttura .....	570
<b>Marcatura CE aggregati</b> .....	163
<b>Massa volumica</b> .....	154
<b>Metodi combinati</b> .....	517
<b>Metodo Case</b>	
• considerazioni teoriche .....	804
• fasi esecutive .....	803
• interpretazione dei risultati .....	805
<b>Metodo microsismico di trasparenza</b> .....	
• elaborazione dei dati .....	800
• modalità esecutiva .....	800
<b>Metodo Simbat</b> .....	806
<b>Metodo Sonreb</b> .....	517
<b>Microcarotaggio</b>	
• apparecchiatura .....	514
• certificato di prova a compressione carote .....	517
• condizioni di influenza .....	514
• curva di correlazione .....	516
<b>Minimi quadrati</b> .....	420
<b>Misure di sicurezza</b> .....	4
<b>Modellazione geologica</b> .....	61
<b>Modellazione geotecnica</b> .....	62
<b>Modulo di elasticità calcestruzzo</b> .....	127
<b>Movimenti indesiderati</b> .....	73

**O**

<b>Omessa denuncia dei lavori</b> .....	7
---	---

**P**

**Pali di fondazione (controlli non distruttivi)**

• cross-hole .....	777
• metodo microsismico di trasparenza .....	799
• profilo di impedenza .....	797
• prova di eco-sonico .....	791
• prove dinamiche ad alte deformazioni .....	802
• prove dinamiche nel dominio delle frequenze .....	809
• single-hole .....	788
• tipi di controllo .....	776
• tomografia sonica .....	789
<b>Prelievo di campioni</b> .....	91, 130

<b>Profilo di impedenza</b> .....	797
<b>Prova a trazione indiretta</b> .....	123
<b>Prova a trazione per flessione</b> .....	124
<b>Prova vebè</b> .....	148
<b>Prove complementari</b> .....	88, 118
<b>Prove di carico</b>	
• calcolo teorico dei solai .....	298
• carichi atipici .....	301
• carichi di prova .....	295, 321
• carichi concentrati equivalenti .....	296, 320
• carichi variabili .....	300
• carico di collaudo .....	299
• carico distribuito .....	295
• carico di prova ortogonale all'orditura del solaio .....	321
• condizioni di vincolo .....	310
• comportamento sperimentale .....	291
• comportamento teorico .....	291
• curva di isteresi .....	335
• disarmo delle strutture .....	291
• esito della prova .....	334
• metodo di Guidi .....	324
• metodo forza equivalente .....	309
• metodo sperimentale .....	301, 303
• metodo sperimentale pratico .....	303
• pali di fondazione .....	746
• programma prove .....	293
• prova a spinta .....	296
• prova a tiro .....	297
• prove di carico su sbalzi .....	331
• prove di carico su scale .....	333
• prove di carico su travi .....	326
• strumentazioni di misura .....	293
• valutazione della prova .....	334
• verifica sperimentale condizioni di vincolo .....	310
<b>Prova di ammettenza dinamica</b>	
• apparecchiatura .....	809
• comportamento del palo .....	811
• condizioni del palo .....	812
• interpretazione del diagramma .....	813
<b>Prova di eco-sonico</b>	
• analisi dei risultati .....	796
• cause di influenza .....	797
• fondamenti teorici .....	793
• limitazioni .....	792
• preparazione della struttura .....	791
<b>Prove di carico sui pali di fondazione</b>	
• caratteristiche geometriche .....	746
• carico limite .....	758
• collaudo statico .....	746
• misura spostamenti in testa .....	773
• mobilitazione resistenza laterale palo .....	761
• modalità esecuzione prova .....	755
• numero dei pali da sottoporre a prova .....	749
• presentazione dei risultati .....	758
• prova a deformazione controllata .....	750
• prova a incremento di carico controllato .....	750
• prova di carico orizzontale .....	773
• prove di carico verticale .....	748
• prove di collaudo .....	749
• prove di progetto .....	748

• relazione prova di carico .....	762, 775
• strutture di contrasto .....	750
• sistema misura abbassamento .....	754
• tolleranze geometriche .....	747
<b>Prove di carico sui ponti stradali</b>	
• altezza libera .....	336
• azione centrifuga .....	343
• azioni .....	337
• azioni permanenti .....	337
• carichi di prova .....	346
• carico concentrato .....	355
• carico con colonna di autocarri .....	346
• categorie .....	342
• collaudo statico .....	344
• compatibilità idraulica .....	337
• condizioni di carico più gravose .....	342
• corsie convenzionali .....	338
• deformazioni ammissibili .....	344
• deformazioni impresse .....	338
• effetti deformativi .....	345
• geometria sede stradale .....	336
• ispezionabilità .....	357
• larghezza sede stradale .....	336
• manutenzione .....	357
• metodo delle tangenti .....	355
• ponti ad asse curvo .....	343
• ponti ferroviari .....	344, 357
• prove di carico dinamiche .....	344
• prove di carico statiche .....	344
• ripartizione trasversale carichi .....	345
• schemi di carico .....	339
• vasche d'acqua .....	355
<b>Prove dinamiche ad alte deformazioni</b>	
• comportamento dinamico palo .....	802
• metodo Case .....	803
• metodo Simbat .....	806
<b>Prove geotecniche di laboratorio</b>	64
<b>Pull-off (prova di aderenza)</b>	
• esecuzione .....	504
• limitazioni .....	506
<b>Pull-out test (armature)</b>	215
<b>Pull-out (prova di estrazione)</b>	
• Capo-test .....	485, 489
• criterio di resistenza di Coulomb .....	496
• curva di correlazione .....	502
• Lok-test .....	485, 486
• meccanismo di rottura .....	494, 499, 501
• norma uni 10157 .....	491
• punti di prova .....	492
• resoconto prova .....	502
• taratura attrezzatura .....	485
• tensione media di estrazione .....	495

**R**

<b>Relazione a strutture ultimate</b> .....	11, 67, 68
<b>Relazione geotecnica</b> .....	65
<b>Relazione illustrativa dei materiali</b> .....	7
<b>Resistenza a compressione calcestruzzo in opera</b>	
• metodo norma Uni En 13791 .....	412

• prescrizioni normative .....	409
<b>Resistenza all'abrasione</b> .....	561
<b>Resistenza a trazione del calcestruzzo</b> .....	119
<b>Resistenza caratteristica</b> .....	89
<b>Resistenza di polarizzazione lineare</b>	
• esecuzione prova .....	573
• interpretazione risultati .....	575
• limitazioni .....	575
• metodologia .....	571
<b>Resistività del calcestruzzo</b> .....	576
<b>Responsabile del procedimento</b> .....	46
<b>Rettificata provini</b> .....	103
<b>Rilevamento armature</b> .....	385
<b>Riprese getto</b> .....	177
<b>Ritiro plastico</b> .....	581
<b>Rottura provini</b> .....	108

**S**

<b>Saggi sulle strutture</b> .....	383
<b>Sanzioni a carico del direttore dei lavori</b> .....	14
<b>Scaling</b> .....	562
<b>Sfaldamento superficiale</b> .....	562
<b>Single-hole</b> .....	788
<b>Slump test</b> .....	136
<b>Solai misti</b> .....	246
<b>Solfati (attacco)</b> .....	560
<b>Sonda Windsor</b>	
• elaborazione misure .....	511
• esecuzione .....	509
<b>Spalling</b> .....	565
<b>Spostamenti sismici differenziali del terreno</b> .....	73
<b>Stagionatura calcestruzzo</b>	
• durata .....	182
• fessurazione superficiale .....	183
• maturazione accelerata .....	183
• protezione generale .....	181
• protezione termica .....	181
<b>Stagionatura provini calcestruzzo</b> .....	100
<b>Strutture in acciaio (controlli)</b>	
• accettabilità difetti .....	646
• controllo di qualità strutture saldate .....	637
• cricche .....	640
• difetti esterni o di profilo .....	645
• difetti saldature .....	639
• esame visivo .....	667
• imperfezioni geometriche .....	637
• inclusioni .....	643
• incollature .....	643
• mancanze di penetrazione .....	642
• obbligatorietà controlli .....	636
• liquidi penetranti .....	647
• magnetoscopia .....	651
• prove di carico .....	670
• prove preliminari .....	637
• radiografia .....	665
• serraggio bulloni .....	667
• strappi lamellari .....	641
• ultrasuoni .....	654
• unioni imbullonate .....	667

**Strutture in muratura portante**

- attestazione di conformità .....694
- controlli geometrici .....702
- criteri di progetto .....686
- elementi resistenti .....692
- malte .....691
- materiali .....690
- modulo di elasticità secante .....701
- muratura armata .....687
- organizzazione strutturale .....684
- prove d'accettazione .....694
- resistenza a compressione .....694, 696, 697
- resistenza caratteristica a taglio .....698
- strutture miste .....686
- ulteriori prove d'accettazione .....694
- tipologie .....684

**Strutture portanti in legno**

- accettazione .....716
- adesivi .....723
- anelli e caviglie .....726
- bulloni .....726
- chiodi .....724
- collegamenti .....706, 713, 714
- controlli .....737
- coppia di serraggio .....741
- durabilità .....709, 728
- essiccazione .....710
- forniture .....715
- giunti a dita .....720
- identificazione .....714
- impalcati .....713, 714
- instabilità .....710
- legno lamellare incollato .....721
- legno massiccio .....719
- pannelli .....723
- piastre dentate .....727
- proprietà dissipative .....712
- proprietà meccaniche .....715
- prova di resistenza a fuoco .....743
- prove di carico .....729, 742
- prove sui giunti .....739
- qualificazione .....716, 721
- robustezza strutturale .....709
- sistemi strutturali .....708
- spinotti .....725
- stati limite di esercizio .....704
- stoccaggio .....710
- travi ad altezza variabile .....707
- unioni incollate .....711
- verifiche del direttore dei lavori .....715, 719

**Strutture prefabbricate**

- appoggi .....265
- componenti prefabbricati .....265
- collaudatore statico .....269
- controlli d'accettazione .....267
- controllo di produzione .....266
- direttore dei lavori .....264, 269
- direttore tecnico .....264
- documenti di accompagnamento forniture .....269, 270
- marcatura CE .....261

- marchiatura degli elementi .....267
- qualificazione .....268
- prodotti prefabbricati in serie .....263
- prodotti prefabbricati in serie controllata .....263
- prodotti prefabbricati in serie dichiarata .....263
- prove di carico .....264
- tolleranze .....265
- unioni .....265
- verifiche dei componenti .....264

**T**

**Tiranti**

- anticorrosione .....819
- aspetti costruttivi .....821
- bulloni d'ancoraggio .....840
- cause di cedimento .....839
- chiodi d'ancoraggio .....841
- classificazione dei tiranti .....822
- collaudo del foro .....818
- criteri di progetto .....819
- durabilità e tesatura .....821
- fasi di esecuzione .....825
- monitoraggio .....819
- parti componenti .....824
- protezione .....826
- prove di carico .....818, 821
- prove di collaudo .....828, 836
- prove di progetto .....822
- raccomandazioni Aicap .....830
- raccomandazioni Isrm .....827
- sistemi di precompressione .....817
- tipologie .....823
- tiranti .....817
- verbale di prova di carico .....839
- verifiche di sicurezza .....819

**Tomografia sonica**

- descrizione metodo .....481
- elaborazione dati .....482
- pali di fondazione .....789
- strumentazione .....482

**V**

- **Varianti in corso d'opera** .....10

**Velocità di propagazione ultrasuoni**

- aggregati .....451
- apparecchiatura .....443
- armature .....453
- curva di correlazione .....459
- età del calcestruzzo .....450
- fattori di influenza .....449
- fessurazioni .....453
- lunghezza del percorso .....452
- metodo diretto .....469
- metodo indiretto .....462
- misura della velocità .....447
- modalità di esecuzione .....444
- modalità di trasmissione .....446, 447, 462
- principi teorici .....442
- profondità fratture .....465

• profondità strati degradati .....	463	• blocchi diversi dai laterizi .....	249
• rapporto acqua/cemento .....	450	• blocchi forati in laterizio .....	247
• stima modulo elastico dinamico cls.....	460	• copriferro e interferro .....	251
• stima resistenza a compressione cls in opera .....	458	• elementi strutturali .....	234
• strutture danneggiate dal fuoco .....	451	• elementi strutturali in c.a.p. ....	259
• taratura strumento .....	443	• limitazioni d'armatura .....	239
• temperatura .....	449	• limitazioni geometriche .....	236
• tenore di umidità .....	452	• nodi trave pilastro .....	237, 244
• tipo di cemento .....	450	• pareti .....	239, 244
• verbale di prova .....	470	• travi d'accoppiamento .....	246
• vuoti .....	453	• solai misti .....	246
<b>Verifiche geometriche</b>		• tolleranze.....	233
• armatura pilastri .....	235, 242, 243	• zone non sismiche .....	234
• armatura pareti .....	244	• zone sismiche.....	236
• armatura travi.....	234, 239, 240	<b>Vibrazione</b> .....	179

## *Introduzione*

L'esercizio di un manufatto, sia esso una semplice costruzione civile o una più complessa opera di ingegneria civile, è subordinato, ai sensi della vigente normativa, al positivo esito del Collaudo statico.

Nell'assolvere al proprio mandato il Collaudatore statico deve pertanto attivare una serie di procedure che gli consentono di perfezionare il convincimento che tanto le attività di controllo, svolte in corso d'opera dal Direttore dei lavori, che le modalità di esecuzione dell'opera, seguite dall'Impresa, siano coerenti con le prescrizioni previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con D.M. 14 gennaio 2008, e che le opere realizzate siano conformi agli elaborati progettuali e contrattuali.

Il Collaudatore, secondo quanto stabilito dalle nuove Norme Tecniche, deve procedere alla verifica documentale, che trova il momento di sintesi nella Relazione a strutture ultimate redatta dal Direttore dei lavori, ma anche alla verifica geometrica degli elementi strutturali ed al controllo sperimentale dei materiali impiegati ed alla risposta globale delle strutture mediante l'esecuzione delle prove di carico delle strutture realizzate.

Gli Autori hanno cercato, ci auguriamo con successo, di armonizzare le risposte ai quesiti più frequenti con l'obiettivo di fornire al Professionista, ma anche al tecnico che con questi si interfaccia, un circuito virtuoso convergente alla valutazione globale dell'insieme strutturale. Tale approccio ha permesso agli Autori di esplicitare le procedure, e di integrarle, quando necessario, con la coerente proposta di modulistica, ma anche di non trascurare gli approfondimenti specifici, tecnici e scientifici.

In questo contesto, e con queste premesse, particolare cura è stata posta alle attività sperimentali in opera, ed in particolare alle procedure e ai limiti di impiego dei controlli non distruttivi, che costituiscono, sempre più spesso e per le ragioni più diverse, una attività complementare alle prove cogenti, convenzionali, ma anche un approccio non invasivo di diagnosi strutturale di manufatti edilizi in esercizio.

Fra le attività sperimentali un ruolo particolare è stato attribuito alle prove di carico, statiche e dinamiche, che consentono grazie alla valutazione della risposta globale della struttura la validazione del modello di calcolo adottato nel progetto esecutivo. Per questa ragione le Norme Tecniche, ma anche la precedente normativa, hanno dato ampio risalto alle prove di carico.

Per le considerazioni sopra esposte gli Autori hanno cercato di fornire una panoramica dello stato dell'arte, e dei principi di funzionamento, delle metodiche di indagine strutturale più diffuse, in opera e in laboratorio, integrandole con esemplificazioni, schemi e criteri interpretativi dei risultati sperimentali, che non devono mai prescindere da una coerente definizione delle condizioni al contorno richieste dal tipo di indagine.

Gli argomenti affrontati e le tematiche connesse, per la loro specificità, comportano l'esigenza di continui aggiornamenti, che rendono necessario, e auspicabile, il confronto dialettico con tutti gli operatori del settore, confronto oltremodo utile, non solo per le necessarie, future, revisioni ma anche per una opportuna calibrazione delle attività sperimentali in continua evoluzione.

## **Parte Prima**

---

Le finalità del collaudo statico

## Le finalità del collaudo statico

### 1.1. L'OBBLIGATORIETÀ DEL COLLAUDO STATICO

L'obbligatorietà del collaudo statico è prevista dall'art. 7 della Legge 5 novembre 1971, n. 1086, *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale pre-compresso e a struttura metallica*, per le:

- opere in conglomerato cementizio armato normale, cioè quelle composte da un complesso di strutture in conglomerato cementizio e armature metalliche che assolvono a una funzione statica;
- opere in conglomerato cementizio armato precompresso, cioè quelle composte da strutture in conglomerato cementizio e armature metalliche nelle quali si imprime artificialmente uno stato di sollecitazione addizionale di natura ed entità tali da assicurarne permanentemente l'effetto statico voluto;
- opere a struttura metallica, cioè quelle nelle quali la statica è assicurata in tutto o in parte da elementi strutturali in acciaio o in altri metalli.

La Circolare n. 11951 del 14 febbraio 1974 chiarisce che il collaudo statico deve riguardare tutte quelle opere di ingegneria civile, mentre possono essere escluse oltre a singole membrature anche elementi costruttivi in c.a. che assolvono una funzione di limitata importanza nel contesto statico di un'opera.

Le opere strutturali non possono essere poste in esercizio prima dell'effettuazione del relativo collaudo statico. In tal senso, l'art. 67, c. 1, del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, di seguito indicato anche come T.U. sull'edilizia, stabilisce che tutte le costruzioni la cui sicurezza possa comunque interessare la pubblica incolumità devono essere sottoposte a collaudo statico.

#### 1.1.1. Le condizioni per l'obbligatorietà del collaudo statico in corso d'opera

Il secondo periodo del paragrafo 9.1., delle norme tecniche stabilisce che il collaudo statico, tranne in casi particolari, deve essere eseguito in corso d'opera quando vengono posti in opera elementi strutturali non più ispezionabili, controllabili e collaudabili a seguito del proseguire della costruzione.

In tal senso il comma 6 dell'art. 67 del T.U. sull'edilizia stabilisce che in corso d'opera possono essere eseguiti collaudi parziali motivati da difficoltà tecniche e da complessità esecutive dell'opera, fatto salvo quanto previsto da specifiche disposizioni.

#### 1.1.2. Il quadro normativo

Specifiche norme tecniche emanate nel tempo prevedono apposite modalità di collaudazione di opere in c.a. normale e precompresso, di strutture prefabbricate, di strutture in muratura, in acciaio, ecc. Tali norme sono quelle di seguito elencate:



- D.M. 20 novembre 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*;
- D.M. 3 dicembre 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate*;
- D.M. 11 marzo 1988, *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*;
- D.M. 4 maggio 1990, *Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e il collaudo di ponti stradali*;
- D.M. 9 gennaio 1996, *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*;
- D.M. 16 gennaio 1996, *Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi*;
- D.M. 16 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*;
- D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*;
- O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*;
- D.M. 14 settembre 2005, *Norme tecniche per le costruzioni*;
- D.M. 14 gennaio 2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*;
- C.M. 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*.

Il capo II del testo unico sull'edilizia approvato con D.P.R. n. 380/2001 ripropone con alcune significative modifiche le disposizioni della legge n. 1086/1971.

## **1.2. L'AMBITO SOGGETTIVO**

### **1.2.1. Il progettista, il direttore dei lavori e l'esecutore**

Le fasi per l'esecuzione di un'opera devono essere effettuate in base alle nuove disposizioni dell'art. 64 del testo unico sull'edilizia che ripropone integralmente le disposizioni degli articoli 1, 2 e 3 della Legge n. 1086/1971.

In particolare, l'art. 2 della legge n. 1086/1971 dispone che la costruzione delle opere, di cui all'art. 1 della stessa legge, debba avvenire in base a un progetto esecutivo redatto da un ingegnere o da un architetto oppure da un geometra o anche da un perito industriale edile, iscritti all'albo relativo, nei limiti delle rispettive competenze professionali.

Il progettista ha la responsabilità diretta della progettazione di tutte le strutture dell'opera comunque realizzate.

L'esecuzione delle opere deve avere luogo sotto la direzione delle figure professionali prima citate e attraverso le stesse modalità.

Il direttore dei lavori e il costruttore, ciascuno per la parte di sua competenza, hanno la responsabilità della rispondenza dell'opera al progetto esecutivo, dell'osservanza delle prescrizioni esecutive, della qualità dei materiali impiegati, nonché, per quanto riguarda gli elementi prefabbricati, della posa in opera.

La realizzazione delle opere di calcestruzzo armato, normale e precompresso e a struttura metallica, deve avvenire in modo tale da assicurare la perfetta stabilità e sicurezza delle strutture e da evitare qualsiasi pericolo per la pubblica incolumità.

Nel caso in cui vengano impiegati prefabbricati di serie, la ditta produttrice deve fornire tutte le istruzioni per il trasporto e il montaggio e dichiarare che ogni tipo di struttura oggetto della fornitura corrisponde a quella presentata al Ministero dei LL.PP. (certificato d'origine) e deve inoltre corredare la fornitura con i disegni del manufatto e l'indicazione delle sue caratteristiche di impiego.

### **1.2.2. Il collaudatore statico**

Il collaudo statico di tutte le opere strutturali come disposto dall'art. 7 della Legge n. 1086/1971 e dall'art. 67 del T.U. sull'edilizia, deve essere eseguito da un ingegnere o da un architetto che abbia maturato 10 anni d'iscrizione all'albo professionale e non sia, in alcun modo e ad alcun titolo, riguardo all'opera da collaudare, intervenuto nella:

- progettazione delle strutture;
- direzione dei lavori;
- esecuzione dei lavori.

Tali requisiti, per le strutture private, devono essere espressamente attestati dal collaudatore all'atto di accettazione della nomina da parte del committente o del costruttore.

La suddetta disposizione non è applicabile agli ingegneri e architetti dello Stato che collaudino opere eseguite per conto dello Stato; pertanto, gli ingegneri e architetti dello Stato possono eseguire i collaudi suddetti, anche senza un'esperienza professionale decennale, fermo restando che è rimesso alla responsabile valutazione della pubblica amministrazione stabilire criteri interni che stabiliscano che gli incarichi stessi non vanno affidati a ingegneri di fresca nomina bensì a ingegneri con una certa anzianità e con determinati requisiti di servizio<sup>1</sup>.

### **1.3. LE MISURE DI SICUREZZA DEI LAVORATORI DURANTE LE OPERAZIONI DI COLLAUDO**

Nel rispetto della normativa sulla sicurezza dei lavoratori nei cantieri, le operazioni di collaudo statico inerenti prove di carico e indagini sulle strutture, specie in elevazione, devono essere eseguite sulla base di un piano operativo di sicurezza (POS) a cura del laboratorio ufficiale prove incaricato. Si evidenzia che durante le operazioni di collaudo statico possono essere montati ponteggi, impiegate gru, movimentati carichi, ecc.

<sup>1</sup> Cons. Stato comm. spec., 22 giugno 1992, n. 295.

## Il collaudo statico nell'edilizia privata

### 2.1. LA DENUNCIA DEI LAVORI

La denuncia dei lavori riguardanti gli edifici di edilizia privata deve essere effettuata in base alle nuove disposizioni dell'art. 65 del T.U. sull'edilizia che ripropone integralmente le disposizioni degli articoli 4 e 6 della Legge n. 1086/1971.

Le opere di calcestruzzo armato, normale e precompresso e a struttura metallica, prima del loro inizio, devono essere denunciate dal costruttore allo Sportello Unico per l'edilizia, che provvede a trasmettere tale denuncia al competente Ufficio tecnico regionale.

Le denunce delle opere strutturali devono essere presentate in due copie entrambe in bollo, nelle quali dovranno sempre essere indicati i nominativi e i recapiti:

- del committente;
- del progettista delle strutture;
- del direttore dei lavori;
- del costruttore.

Diverse amministrazioni comunali adottano appositi modelli resi disponibili attraverso il sito web dello sportello unico.

Alla denuncia dei lavori deve essere allegata la seguente documentazione:

- a) il progetto dell'opera in triplice copia, firmato dal progettista, dal quale risultino in modo chiaro ed esauriente:
  - le calcolazioni eseguite;
  - l'ubicazione;
  - il tipo;
  - le dimensioni delle strutture;
  - quanto altro occorre per definire l'opera sia nei riguardi dell'esecuzione sia nei riguardi della conoscenza delle condizioni di sollecitazione;
- b) una relazione illustrativa in triplice copia firmata dal progettista e dal direttore dei lavori, dalla quale risultino per i materiali che verranno impiegati nella costruzione:
  - le caratteristiche;
  - le qualità;
  - i dosaggi.
- c) due copie della nomina del collaudatore statico scelto dal committente con la contestuale dichiarazione di accettazione dell'incarico. La nomina deve essere accompagnata dalla certificazione attestante l'iscrizione all'albo professionale da almeno dieci anni e di non essere intervenuto in alcun modo nella progettazione, direzione ed esecuzione dell'opera.

Lo Sportello unico restituisce al costruttore, all'atto stesso della presentazione, una copia del progetto e della relazione con l'attestazione dell'avvenuto deposito.

**Esempio 2.1. Denuncia di opere strutturali** (art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Al .....  
Sportello Unico per l'Edilizia

**DENUNCIA DELLE OPERE DI CALCESTRUZZO ARMATO NORMALE  
E PRECOMPRESSO E A STRUTTURA METALLICA**  
(art. 4, legge 5 novembre 1971, n. 1086, e art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Il sottoscritto..... nella sua qualità costruttore delle strutture, ai sensi dell'art. 4 della legge 5 novembre 1971, n. 1086, e dell'art. 65, comma 1, del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, depositata presso codesto sportello unico la presente denuncia, con i relativi allegati, costituenti il progetto ..... della struttura in:

- struttura metallica
- c.a./c.a.p. in opera
- c.a./c.a.p. prefabbricata

**denuncia**

la costruzione di: .....  
sita in comune di: .....

indica di seguito i nomi e recapiti di:

Committente:

.....  
.....  
.....

Progettista delle strutture:

..... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....;

Direttore dei lavori delle strutture:

..... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....;

Alla presente denuncia allega in triplice copia (di cui una in bollo):

- il progetto architettonico;
- il progetto delle strutture e la relazione di calcolo;
- la relazione illustrativa della qualità dei materiali impiegati firmata dal progettista e dal direttore dei lavori.

Il costruttore

.....

(Anche le varianti che nel corso dei lavori si volessero introdurre alle opere previste nel progetto originario, dovranno essere denunciate, prima di dare inizio alla loro esecuzione, al Settore Tecnico - Servizio Edilizia Privata nella forma e con gli allegati summenzionati).

**Esempio 2.2. Relazione illustrativa dei materiali impiegati** (art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Al .....

Sportello Unico per l'Edilizia

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

(art. 4, legge 5 novembre 1971, n. 1086, e art. 65, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Dati identificativi dell'opera: .....

sito in comune di: .....

Committente:

.....

.....

.....

Progettista delle strutture:

..... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine  
degli..... della Provincia di..... al n.....;

Direttore dei lavori delle strutture:

..... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine  
degli..... della Provincia di..... al n.....;

Caratteristiche dei materiali utilizzati nelle strutture:

a) calcestruzzo:

.....

.....

b) acciaio ordinario tipo:

.....

.....

c) acciaio laminato tipo:

.....

.....

Il progettista delle strutture

.....

Il direttore dei lavori delle strutture

.....

**2.1.1. L'omessa denuncia dei lavori da parte del costruttore**

L'omessa o la ritardata denuncia dei lavori ai sensi dell'art. 14 della Legge n. 1086/1971 e dell'art. 72 del T.U. sull'edilizia può comportare per il costruttore l'arresto fino a tre mesi con ammenda da 103 a 1032 euro.

**2.2. LA NOMINA DEL COLLAUDATORE STATICO**

L'art. 67, comma 3, del T.U. sull'edilizia prescrive che contestualmente alla denuncia delle opere strutturali, il direttore dei lavori è tenuto a presentare presso lo sportello unico per l'edilizia:

- 1) l'atto di nomina del collaudatore statico scelto dal committente;
- 2) la dichiarazione del collaudatore statico di accettazione dell'incarico, attestante, riguardo ai lavori da collaudare, le condizioni di non essere intervenuto in alcun modo nelle fasi di:
  - progettazione;
  - direzione;
  - esecuzione.

La norma non considera espressamente gli aspetti della sicurezza del lavoro nei cantieri edili. In tal caso il collaudatore statico non dovrebbe rivestire nemmeno le funzioni di coordinatore per la progettazione e o di quello per l'esecuzione dei lavori.

Al comma 4 dello stesso art. 67 è disposto che quando non esiste il committente il costruttore che esegue in proprio ha l'obbligo di chiedere, anteriormente alla presentazione della denuncia di inizio dei lavori, all'ordine provinciale degli ingegneri o a quello degli architetti, la designazione di una terna di nominativi fra i quali scegliere il collaudatore statico.

#### **Esempio 2.3. Nomina del collaudatore statico da parte del committente** (art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

.....  
(Committente)

Al .....

Via ....., n .....

.....

#### **NOMINA DEL COLLAUDATORE STATICO**

(art. 7, legge 5 novembre 1971, n. 1086, e art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Dati identificativi dell'opera: .....

sito in comune di: .....

Committente:

.....

.....

.....

Il sottoscritto ..... in qualità di committente delle opere sopra citate, che verranno realizzate da:

Impresa:

.....

.....

#### **conferisce**

l'incarico di effettuare il collaudo statico delle strutture al ..... residente in..... via.....  
n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... n....., l'incarico di  
Collaudatore delle strutture.

Il committente

.....

**Esempio 2.4. Richiesta terna di nominativi per la scelta del collaudatore all'Ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)**

.....  
(Impresa)

All'Ordine degli .....  
della Provincia di .....  
Via ..... n .....  
.....

OGGETTO: Lavori di .....  
Richiesta di terna di nominativi per conferimento incarico di collaudatore statico ai sensi dell'art. 7, c. 4, legge 5 novembre 1971, n. 1086 e dell'art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380.

Il sottoscritto..... residente in..... via..... n....., in qualità di costruttore in proprio dei lavori indicati in oggetto:

- Progettista delle opere..... residente in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....;
- Progettista delle strutture..... residente in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....;
- Direttore dei lavori..... residente in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....;
- Strutture del tipo intelaiato in calcestruzzo armato;

**chiede**

a Codesto Ordine Professionale una terna di nominativi per la scelta del collaudatore statico delle opere in oggetto.

Si comunica che le operazioni di collaudo dovranno essere completate entro la data del.....

....., li.....

L'impresa  
.....

**Esempio 2.5. Comunicazione di nomina del collaudatore statico tra la terna di nominativi proposta dall'Ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)**

.....  
(Impresa)

All'Ordine degli .....  
della Provincia di .....  
Via ..... n .....

OGGETTO: Lavori di ..... Nomina del collaudatore statico e ai sensi dell'art. 7, comma 4, legge 5 novembre 1971, n. 1086 e dell'art. 67, comma 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380.

Il sottoscritto..... residente in..... via..... n....., in riferimento alla Vostra lettera di terna di nominativi segnalati, prot. n. .... del ....., comunica di avere scelto come collaudatore statico dei lavori indicati in oggetto l'arch./ing. .... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n.....

....., li.....

L'impresa  
.....

**Esempio 2.6. Accettazione dell'incarico di collaudo statico** (art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Al .....

Sportello Unico per l'Edilizia

**ACCETTAZIONE DELL'INCARICO DI COLLAUDO STATICO**

(art. 7, legge 5 novembre 1971, n. 1086, e art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Dati identificativi dell'opera: .....

sita in comune di: .....

Committente:

.....

.....

.....

Il sottoscritto ..... con studio in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... al n....., in qualità di Collaudatore statico delle strutture:

.....

.....

.....

a seguito del conferimento dell'incarico con nota n. .... del ..... di effettuare il collaudo statico delle opere sopra descritte che verranno realizzate da:

Impresa:

.....

.....

**dichiara**

- di impegnarsi ad espletare quanto conferito entro 60 giorni dalla comunicazione del direttore dei lavori attestante che le opere strutturali sono state ultimate;
- di essere iscritto da oltre 10 anni all'albo professionale;
- di accettare l'incarico impegnandosi a non prendere parte in alcun modo alla direzione ed esecuzione dei lavori.

Il collaudatore statico

.....

**2.3. LE VARIANTI IN CORSO D'OPERA**

Eventuali varianti e/o integrazioni strutturali che si rendessero necessarie nel corso dei lavori delle opere di cui all'art. 65, comma 1, del T.U. sull'edilizia devono essere denunciate allo Sportello unico per l'edilizia nella forma e con gli allegati previsti per la denuncia originaria (qualora si tratti di varianti sostanziali) della quale si devono sempre riportare gli estremi di protocollazione (anno, registro, numero).

L'art. 65, comma 5, del T.U. sull'edilizia stabilisce che le varianti ai lavori devono essere denunciate, prima della loro esecuzione.

**2.4. I DOCUMENTI DA TENERE IN CANTIERE**

L'art. 66 del T.U. sull'edilizia che ripropone integralmente le disposizioni dell'art. 5 della Legge n. 1086/1971, stabilisce che nei cantieri, dal giorno di inizio delle opere a quello di ultimazione dei lavori, devono essere conservati:



- a) il progetto dell'opera, firmato dal progettista, dal quale risultino in modo chiaro ed esauriente le calcolazioni eseguite, l'ubicazione, il tipo, le dimensioni delle strutture, e quanto altro occorre per definire l'opera sia nei riguardi dell'esecuzione sia nei riguardi della conoscenza delle condizioni di sollecitazione;
- b) la relazione illustrativa firmata dal progettista e dal direttore dei lavori, dalla quale risultino le caratteristiche, le qualità e le dosature dei materiali che verranno impiegati nella costruzione;
- c) un apposito giornale dei lavori.

Gli elaborati progettuali debbono essere quelli riportanti l'attestazione rilasciata dallo sportello unico per l'edilizia.

Della conservazione e regolare tenuta di tali documenti è responsabile il direttore dei lavori. Egli è anche tenuto a visitare periodicamente, in particolare nelle fasi più importanti dell'esecuzione, il giornale dei lavori.

I lavori devono essere eseguiti nel rispetto del piano di sicurezza previsto dal D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81.

## **2.5. LA RELAZIONE A STRUTTURE ULTIME.**

### **LA DOCUMENTAZIONE DA CONSEGNARE AL COLLAUDATORE STATICO**

La relazione a strutture ultimate è ora prevista dall'art. 65, comma 6, del T.U. sull'edilizia.

A strutture ultimate, entro il termine di 60 giorni, il direttore dei lavori deve depositare presso lo sportello unico per l'edilizia una relazione, redatta in triplice copia, sull'adempimento degli obblighi previsti dalle norme tecniche (in particolare dei commi 1, 2 e 3 dello stesso art. 65), esponendo:

- a) i certificati delle prove sui materiali impiegati emessi da Laboratori Ufficiali prove;
- b) per le opere in calcestruzzo armato precompresso, ogni indicazione inerente alla tesatura dei cavi e ai sistemi di messa in coazione;
- c) l'esito delle eventuali prove di carico, allegando le copie dei relativi verbali firmate per copia conforme.

Lo Sportello Unico per l'edilizia restituisce al direttore dei lavori, all'atto stesso della presentazione, una copia della relazione a strutture ultimate con l'attestazione dell'avvenuto deposito, e provvede a trasmettere una copia di tale relazione al competente ufficio tecnico regionale.

Il direttore dei lavori dovrà consegnare al collaudatore statico:

- la copia della relazione a strutture ultimate attestante l'avvenuto deposito;
- la documentazione relativa alla denuncia dei lavori presentata;
- i certificati delle prove di carico (pali, solai, travi, sbalzi, ecc.), fatte eseguire da Laboratori Ufficiali prove;
- i verbali di prelievo (calcestruzzo, barre d'acciaio, ecc.) eseguiti in contraddittorio con l'impresa esecutrice;
- la documentazione di accettazione dei materiali strutturali impiegati (acciaio, calcestruzzo, legno, ecc.) come previsto dalle norme tecniche per le costruzioni:
  - a) certificati di prova compressione ed esito del controllo accettazione del calcestruzzo (paragrafo 11.2.5 norme tecniche);
  - b) certificati di prova a trazione ed esito del controllo accettazione dell'acciaio per calcestruzzo armato (paragrafo 11.3.2. norme tecniche);

- c) certificati di prova a trazione ed esito del controllo accettazione dell'acciaio per calcestruzzo armato precompresso (paragrafo 11.3.3.5.4. norme tecniche);
- d) attestato di qualificazione per le forniture di acciaio per le quali non sussiste l'obbligo della marcatura CE (paragrafo 11.3.1.5 norme tecniche);
- e) elementi presaldati, presagomati o preassemblati (paragrafo 11.3.1.7 norme tecniche):
  - e.1) dichiarazione, su documento di trasporto, degli estremi dell'attestato di avvenuta dichiarazione di attività, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;
  - e.2) attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno fatte eseguire dal direttore tecnico del centro di trasformazione, con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Qualora il direttore dei lavori lo richieda, all'attestazione di cui sopra potrà seguire copia dei certificati relativi alle prove effettuate nei giorni in cui la lavorazione è stata effettuata.

Maggiori dettagli sulla documentazione che deve essere acquisita dal direttore dei lavori sono trattati al paragrafo 5.3.2 di questa parte.

Gli estremi della documentazione di cui sopra devono essere riportati nel certificato di collaudo statico.

#### **Esempio 2.7. Comunicazione del direttore dei lavori del completamento delle strutture**

(art. 65, c. 6, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Al .....  
Sportello Unico per l'Edilizia  
e.p.c.  
Al .....  
Collaudatore statico

#### **COMUNICAZIONE DEL COMPLETAMENTO DELLE STRUTTURE**

(art. 65,c. 6, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Riferimento ...../..... data inizio lavori .....

Il sottoscritto..... direttore dei lavori dell'opera di seguito identificata:

Lavori di .....

Comune di: .....

Committente: .....

Denuncia al Comune di (numero/anno) ..... in data .....

Progettista delle strutture:

..... residente in..... via..... n....., iscritto all'Ordine degli..... della Provincia di..... n.....;

Impresa: .....;

in ottemperanza degli articoli 4 e 6 della legge 5 novembre 1971, n. 1086 e dell'art. 65, c. 6, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, comunica a Codesto Ufficio l'avvenuto completamento delle struttura.

Invita pertanto il collaudatore ad espletare il collaudo statico entro sessanta giorni dalla data della presente.

Il direttore dei lavori  
.....

SALVATORE LOMBARDO

VINCENZO VENTURI

## **COLLAUDO STATICO DELLE STRUTTURE**

- Accettazione dei materiali
- Controlli distruttivi
- Controlli non distruttivi
- Prove di carico
- Modulistica

**TOMO SECONDO**

## **Parte Terza**

---

Il controllo delle strutture  
in calcestruzzo armato in opera

# I controlli sul calcestruzzo in opera

## 1.1. LE FINALITÀ

Il controllo della resistenza a compressione, dell'omogeneità e dello stato di degrado del calcestruzzo in opera può dipendere da diversi obiettivi (valutazione della sicurezza in edifici costruiti abusivamente o prima dell'entrata in vigore delle norme sismiche, interventi di consolidamento o di manutenzione, ecc.).

Il controllo dell'effettiva valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, oltre agli edifici già esistenti, può riguardare anche edifici nuovi o in fase di costruzione, per questi ultimi indipendentemente dall'esito positivo dei controlli d'accettazione del calcestruzzo, per esempio, per l'esecuzione di varianti in corso d'opera o per errori di esecuzione.

I controlli sul calcestruzzo in opera possono essere disposti anche dalla magistratura ai fini della verifica dell'effettiva qualità e della resistenza del calcestruzzo impiegato.

### 1.1.1. Gli edifici esistenti

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:

- il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione;
- il progetto può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non evidenziabili.

Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti. Di conseguenza la valutazione della sicurezza e il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione. Ciò comporta l'impiego di adeguati fattori di confidenza nelle verifiche di sicurezza come pure metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile. Negli edifici esistenti le situazioni concrete riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche e dettagliate per tutti i casi. Le seguenti indicazioni costituiscono un riferimento generale che può essere integrato, in casi particolari, da valutazioni specifiche e anche alternative da parte del progettista.

Le valutazioni di sicurezza sismica (e, qualora ne sia verificata la necessità, gli interventi di adeguamento) devono essere eseguite nel caso si voglia:

- a) sopraelevare o ampliare l'edificio (s'intende per ampliamento la sopraelevazione di parti dell'edificio di altezza inferiore a quella massima dell'edificio stesso);
- b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari al singolo piano superiori al 20%;
- c) effettuare interventi strutturali volti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino a un organismo edilizio diverso dal precedente;
- d) effettuare interventi strutturali rivolti a eseguire opere e modifiche, rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, resasi necessaria per l'abitabilità degli ambienti, a norma dei regolamenti edilizi, sempre che resti immutato il numero di piani, non deve essere considerata sopraelevazione o ampliamento; in tal caso non è obbligatorio l'intervento di adeguamento sismico, sempre che non ricorra nessuna delle altre tre condizioni elencate ai punti b), c) e d) precedenti. In particolare occorrerà documentare che gli interventi conseguenti alla variazione di altezza non abbiano portato a un incremento dei carichi superiore al 20% e siano comunque in grado di far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza rispetto alle azioni sismiche.

Le sopraelevazioni, nonché gli interventi che comportano un aumento del numero di piani, sono ammissibili solamente ove siano compatibili con gli strumenti urbanistici.

Qualora si intenda effettuare interventi di tipo strutturale su singoli elementi di fabbrica, se non sussistono le condizioni che impongono l'adeguamento sismico, è consentito procedere senza dar luogo alle analisi e verifiche sismiche, a condizione che si dimostri che l'insieme delle opere previste è comunque tale da far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche. Tali interventi sono definiti di miglioramento sismico.

#### **1.1.1.1. La valutazione della sicurezza di edifici in cemento armato e in acciaio**

Per valutazione della sicurezza si intende un procedimento quantitativo volto a stabilire se un edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto contenuta nelle presenti norme.

Le norme forniscono gli strumenti per la valutazione di singoli edifici e i risultati non sono estendibili a edifici diversi pur appartenenti alla stessa tipologia.

Gli stessi metodi previsti dalle norme di progetto per le nuove costruzioni valgono per la valutazione degli edifici esistenti.

Nell'effettuare la valutazione si deve tenere conto dell'esperienza, se disponibile, derivante dall'esame del comportamento di edifici simili che abbiano subito in passato l'effetto di eventi sismici.

#### **1.1.1.2. Gli edifici costruiti prima della legge sismica**

Le *Istruzioni tecniche – Criteri per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato (VSCA)*<sup>1</sup>, emanate dalla Regione Toscana nel 2004, rilevano che i risultati di tali indagini, finalizzati alla determinazione della qualità del calcestruzzo, hanno evidenziato nella maggior parte dei casi e soprattutto in edifici costruiti prima dell'entrata in vigore della Legge n. 64/1974 un elevato stato di degrado dei calcestruzzi e parallelamente problematiche strutturali connesse principalmente ai seguenti fattori:

- scarso controllo sulla qualità dei materiali impiegati;
- errori progettuali;
- mancata corrispondenza tra gli elaborati di progetto strutturale e lo stato di fatto;
- inadeguata duttilità del sistema resistente;
- mancanza di manutenzione;
- prescrizioni normative sul calcestruzzo vigenti all'epoca di costruzione meno restrittive delle attuali.

A tali aspetti bisogna aggiungere anche quelli legati all'eventuale sospensione dei lavori, imputabile a cause diverse, e alla successiva ripresa; i prolungati tempi di sospensione dei lavori possono determinare un certo livello di degrado delle strutture in calcestruzzo già realizzate (carbonatazione, ossidazione dei ferri, umidità, ecc.) se, durante la sospensione, non sono state adeguatamente protette dagli agenti atmosferici.

<sup>1</sup> Le istruzioni sono state approvate con Decreto Dirigenziale n. 4301 del 21 luglio 2004.

La ripresa dei lavori dopo una prolungata sospensione non esclude la possibilità di impiego delle strutture realizzate e della posa in opera di un calcestruzzo certamente diverso da quello delle strutture preesistenti, ma deve valutare correttamente la qualità delle strutture realizzate e le modalità di ripresa del getto. Per tale ragione i controlli devono essere estesi a tutte le parti della struttura e non essere circoscritti solo alle zone più agevoli.

Riguardo all'acciaio delle armature, per le strutture realizzate prima dell'entrata in vigore delle vigenti norme tecniche non era escluso l'impiego di armature lisce e nervate all'interno dello stesso edificio o in piani diversi. Per accertarne le caratteristiche meccaniche è opportuno procedere all'estrazione di campioni rappresentativi.

Le verifiche strutturali di costruzioni esistenti devono essere sempre precedute dalla caratterizzazione e dalla modellazione geotecnica dei terreni di imposta dell'opera e dalla definizione delle strutture di fondazione. Qualora la documentazione disponibile non fosse esauriente o completa o, peggio, qualora essa fosse inattendibile, si dovranno prevedere le necessarie indagini geotecniche su un volume significativo di terreno, che come è noto ha forma ed estensione da individuare, caso per caso, in base alle caratteristiche dell'opera e alla natura e alle caratteristiche dei terreni, e dall'ispezione e dal rilievo delle strutture fondali.

### **1.1.2. L'esito negativo dei controlli d'accettazione del calcestruzzo**

Le norme tecniche per le costruzioni, al paragrafo 11.2.5, prevedono per il direttore dei lavori l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera al fine di verificare la conformità delle caratteristiche del calcestruzzo fornito e messo in opera rispetto alle prescrizioni progettuali e alle verifiche sperimentali preliminari.

Qualora i valori di resistenza a compressione dei provini prelevati durante il getto e stagionati in condizioni standard per 28 giorni non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, o qualora sorgano dubbi sulla qualità del calcestruzzo, è facoltà del direttore dei lavori richiedere l'effettuazione di prove direttamente sulle strutture mediante l'esecuzione di prove distruttive (carotaggi) eventualmente integrate da controlli non distruttivi.

La valutazione dell'effettiva resistenza a compressione del calcestruzzo in opera attraverso l'analisi qualitativa e quantitativa dei controlli eseguiti in corso d'opera dal direttore dei lavori eventualmente integrati da prelievi e da prove direttamente sulle strutture è una specifica competenza del collaudatore statico.

#### **1.1.2.1. Il calcestruzzo prelevato e il calcestruzzo in opera**

Prima di entrare nel merito della valutazione della qualità del calcestruzzo è opportuno premettere che la resistenza alla compressione determinata sul cubetto di calcestruzzo è diversa da quella che si svilupperà, in opera, nei diversi elementi strutturali, e questo per molteplici ragioni, fra le quali possibili differenze nella composizione del calcestruzzo, diverse modalità di posa in opera, di costipamento e di condizioni di maturazione ecc.<sup>2</sup>:

- 1) durante il confezionamento il cubetto di calcestruzzo è compattato con modalità convenzionali, "a rifiuto" a differenza di quello posto in opera nelle strutture (travi, pilastri, solette, ecc.) che può presentare, per le ragioni più diverse, fenomeni di segregazione, di porosità, ecc.;
- 2) la forma e l'armatura dei diversi elementi strutturali condizionano il getto del calcestruzzo, la vibrazione e la stagionatura che è sostanzialmente diversa da quella del cubetto;

<sup>2</sup> Menditto G., *Metodi non distruttivi per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali*; Cias, *Indagini non distruttive per l'individuazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali, per esami degli effetti vibratorii sulle opere monumentali, per il collaudo dei ponti in c.a. e in carpenteria metallica*, Parma, maggio 1992.

- 3) la stagionatura degli elementi strutturali, esposti agli agenti atmosferici, non è la stessa delle condizioni controllate ( $T = 20 \pm 2$  °C; U.R. > 95%) previste per i cubetti;
- 4) le armature influiscono sulla maturazione e sul comportamento del calcestruzzo in opera;
- 5) nelle strutture in c.a.p. il calcestruzzo in opera ha un comportamento diverso da quello dei cubetti;
- 6) il calcestruzzo prelevato per il confezionamento dei cubetti è statisticamente rappresentativo della fornitura a cui si riferisce il controllo ma potrebbe differire, anche vistosamente, nel riferimento puntuale. Ragione per cui, non essendo perseguibile il prelievo di cubetti da ogni betoniera, anche i controlli in opera devono essere, numericamente e statisticamente, rappresentativi;
- 7) nello stesso elemento strutturale possono essere presenti delle stratificazioni di calcestruzzo con diversa composizione e vibrazione, a differenza del calcestruzzo prelevato per il confezionamento dei cubetti; per esempio, in una pila (ma vale anche per le travi, i muri ecc.) fino a una certa altezza il calcestruzzo è quello corrispondente al calcestruzzo del prelievo, cosa che non vale per i successivi getti di completamento, quindi anche in questo caso si dovrà avere cura di individuare correttamente il campione di prelievi e prove in opera;
- 8) i cubetti di calcestruzzo prelevati per il controllo d'accettazione possono avere subito rimaneggiamenti prima di essere trasmessi al laboratorio ufficiale.

Tutto ciò premesso, appare evidente che se, ai fini della valutazione della qualità del calcestruzzo “a bocca di betoniera” il prelievo dei cubi, nelle modalità e procedure indicate dalla normativa vigente, è sufficientemente rappresentativo, per quanto concerne invece il controllo delle modalità di posa in opera o della valutazione dell'effettiva resistenza delle strutture, e quindi della verifica statica, questi dovrebbero essere integrati da prelievi e prove in opera. Oggi, tanto il direttore dei lavori quanto il collaudatore statico dispongono di diversi metodi di indagine, distruttivi e non distruttivi, che gli consentono di raggiungere, con un buon margine di affidabilità, il convincimento della conformità del calcestruzzo fornito in opera alle specifiche contrattuali e di progetto.

Per concludere si deve sottolineare che in assenza di specifiche prescrizioni, la conformità della resistenza alla compressione non comporta necessariamente la conformità nei riguardi della durabilità o di altre caratteristiche del calcestruzzo.

### 1.1.3. La valutazione della sicurezza di edifici esistenti

La stima della resistenza in opera della struttura può essere richiesta anche ai fini della valutazione della sicurezza di edifici esistenti, per esempio quando ricorra uno dei seguenti casi:

- riduzione evidente della capacità resistente di elementi strutturali;
- azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura) che abbiano compromesso la capacità resistente della struttura;
- degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali;
- azioni antropiche eccezionali (urti, incendi, esplosioni);
- distorsioni significative imposte dalle deformazioni del terreno di fondazione;
- errori di progetto o di esecuzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili;
- interventi non dichiaratamente strutturali (per esempio impiantistici, di redistribuzione degli spazi, ecc.) qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale.



La Regione Toscana ha emanato le *Istruzioni tecniche. Criteri per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato* (luglio 2004), un utile linea guida per la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi in edifici esistenti che è affetta normalmente da un grado di incertezza maggiore rispetto a quello di edifici di nuova progettazione.

Di seguito sono riportate le attività sperimentali che possono costituire la base per una più ampia valutazione dell'idoneità della struttura all'uso corrente o a una diversa destinazione o ampliamento:

1. stima della struttura per l'acquisto o per la stipula di contratti assicurativi;
2. valutazione dell'integrità strutturale o della sicurezza residua in conseguenza del degrado o del danneggiamento causato da:
  - incendio;
  - esplosioni;
  - sisma;
  - fatica;
  - sovraccarichi.
3. utilizzo o adeguamento di elementi strutturali che possono essere risultati non conformi alle specifiche o nei quali siano emersi difetti di progettazione;
4. valutazione delle cause e dell'estensione del danno, preliminarmente alla progettazione dell'intervento di riparazione, consolidamento, restauro;
5. controllo degli interventi di adeguamento e/o di consolidamento strutturale;
6. controlli periodici delle deformazioni previste dal piano di manutenzione strutturale dell'opera;
7. cambio di destinazione d'uso, ampliamento o sopraelevazione.

#### **1.1.4. Le modalità d'indagine**

Le modalità d'indagine sulle strutture si diversificano a seconda che sia necessario:

- stimare la stabilità di un'intera struttura;
- determinare la qualità del calcestruzzo in singoli elementi strutturali o in tutta la struttura.

In ogni caso, il numero di campioni da prelevare o il numero dei controlli non distruttivi da effettuare dipende:

- dal grado di fiducia che si intende affidare alla stima della resistenza del calcestruzzo in opera;
- dalla variabilità dei dati o dei risultati che si presume di ottenere.

In caso di contenzioso le tipologie di indagine devono essere stabilite di comune accordo dai consulenti tecnici delle parti.

La scelta di un approccio sperimentale alternativo al prelievo di calcestruzzo (carotaggio) può essere determinato dalla necessità di non indebolire le strutture e/o di ridurre il danneggiamento provocato dai prelievi. I controlli non distruttivi sono generalmente fondati sull'analisi della risposta del calcestruzzo a sollecitazioni di tipo statico, dinamico-vibrazionale, meccanico, elettrico, elettromagnetico, ecc. Con tali metodi è possibile avere informazioni in tempi rapidi ed economici sull'omogeneità del calcestruzzo dell'intera struttura. Si premette però che i metodi non distruttivi sono affetti da diverse condizioni al contorno tali da renderli affidabili per esprimere giudizi sulla resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, anche in sede di contenzioso, a condizione che non si disponga di una curva di correlazione relativa al calcestruzzo in opera.

La valutazione della sicurezza in una struttura (edificio, ponte, ecc.) esistente implica successivamente la progettazione degli interventi strutturali di adeguamento. Il grado di sicurezza valutato può fare aumentare o diminuire il costo degli interventi richiesti.

### 1.1.5. Le norme e le linee guida di riferimento

Per la modalità di determinazione della resistenza strutturale del calcestruzzo in opera si potrà fare utile riferimento alle seguenti norme e linee guida:

- UNI EN 12504-1 – *Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Carote. Prelievo, esame e prova di compressione;*
- UNI EN 12504-2 – *Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Prove non distruttive. Determinazione dell'indice sclerometrico;*
- UNI EN 12504-3 – *Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 3: Determinazione della forza di estrazione;*
- UNI EN 12504-4 – *Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici;*
- UNI EN 13791 – *Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo;*
- servizio tecnico centrale del consiglio superiore dei lavori pubblici, *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo*, 2008.

### 1.1.6. Il valore di resistenza a compressione in opera accettabile

Ai fini della valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera il secondo periodo del paragrafo 11.2.6. delle norme tecniche per le costruzioni stabilisce che il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale).

Le nuove norme tecniche per le costruzioni ritengono accettabile un calcestruzzo in opera il cui valore medio di resistenza a compressione ( $f_{opera,m}$ ), determinato con tecniche opportune (carotaggi e/o controlli non distruttivi), sia almeno pari all'85% del valore medio della resistenza cilindrica di progetto  $f_{cm}$ :

$$f_{opera,m} \geq 0,85 f_{cm} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

o più in generale con riferimento alla resistenza cubica:

$$R_{opera,m} \geq 0,85 R_{cm} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Per la trattazione di questi argomenti si rimanda al successivo capitolo 2.

## 1.2. LA PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI

### 1.2.1. Generalità

La programmazione delle indagini *in situ* consente di ottimizzare tempi e risorse; è opportuno, per tale ragione, che preliminarmente all'avvio di una campagna sperimentale siano correttamente definiti<sup>3</sup>:

- lo scopo delle indagini;
- le tecniche disponibili;
- le condizioni al contorno e i limiti strumentali, operativi e logistici.

<sup>3</sup> Bungey J.H. e Millard S.G., *Testing of Concrete in Structures*, Blackie Academic & Professional, Cambridge 1996.

Definire lo scopo della campagna sperimentale è prioritario per la corretta pianificazione delle tecniche d'indagine la cui scelta e ubicazione saranno ulteriormente subordinate alla disponibilità sul territorio e alla compatibilità dei limiti strumentali e di accettazione dei risultati con gli obiettivi dell'indagine.

Metodiche molto semplici, economiche e non invasive (si pensi all'indice sclerometrico o alla velocità di propagazione di onde ultrasoniche) sono però condizionate da diversi fattori e solo in alcuni casi specifici risultano coerenti con le finalità fissate. Per contro, approcci sofisticati, come l'analisi dinamica, perdono di significato se non vengono adeguatamente supportati da modelli interpretativi altrettanto raffinati. Per questa ragione il progetto di un'indagine, che deve essere prerogativa assoluta del professionista incaricato delle verifiche, può privilegiare un campione statisticamente ridotto (per esempio di carotaggi) invece della proliferazione di risultati, statisticamente rappresentativi, ma sperimentalmente dispersi o non significativi.

Un altro aspetto al quale non si attribuisce grande importanza è la possibilità che le attività sperimentali possano – e in alcuni casi debbano – essere rimodulate in funzione dei risultati via via acquisiti. In questo caso si deve operare la valutazione contestuale, in corso d'opera, dei risultati per la quale è necessario un ottimo coordinamento fra il laboratorio ufficiale che esegue i rilievi e il professionista incaricato delle verifiche.

In tema di controlli sugli edifici esistenti non è possibile non accennare all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, in quanto, con i necessari adattamenti alle nuove norme tecniche, costituisce pur sempre un'utile guida per il tecnico.

### **1.2.2. Le fasi**

La programmazione delle indagini su di un edificio in cemento armato con riferimento alle istruzioni emanate dalla Regione Toscana (2004) e all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, si potrebbe svolgere secondo le seguenti fasi descritte nei sottoparagrafi seguenti:

- analisi storica e raccolta degli elaborati progettuali originali;
- esecuzione di sopralluoghi;
- definizione del programma delle indagini.

#### **1.2.2.1. L'analisi storica e la raccolta degli elaborati progettuali originali**

L'analisi storica e la raccolta degli elaborati progettuali originali deve essere condotta presso le amministrazioni locali competenti (comune, genio civile, provveditorato opere pubbliche, ecc.). Devono essere acquisiti i documenti di progetto con particolare riferimento alle relazioni geologiche, geotecniche e strutturali, ai documenti di cantiere, ai certificati di collaudo statico e a ogni altra eventuale documentazione successiva alla costruzione.

In generale, l'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 stabilisce che dovranno essere acquisiti i dati relativi a:

- identificazione dell'organismo strutturale sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati con indagini *in situ*, oppure con un rilievo *ex-novo*;
- identificazione delle strutture di fondazione;
- informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti, in caso contrario deve essere eseguito il rilievo strutturale geometrico;

- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, ecc.);
- informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle azioni sismiche di progetto;
- descrizione della destinazione d'uso attuale e futura dell'edificio;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate;
- prove *in situ* e in laboratorio eventualmente già fatte eseguire dal committente.

Risulta pertanto fondamentale l'assunzione di diverse informazioni, reperibili attraverso l'acquisizione del progetto originario o copia di esso, in modo tale da poter valutare l'età di costruzione dell'edificio e potere così distinguere tra edifici che dovrebbero essere stati progettati con criteri antisismici o meno, verificare i criteri e i metodi di calcolo utilizzati per la progettazione, le dimensioni geometriche degli elementi strutturali, la disposizione delle armature e delle staffe, le proprietà meccaniche dei materiali utilizzati e le caratteristiche dei collegamenti e dei particolari costruttivi.

La quantità e la qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da adoperare nelle verifiche di sicurezza.

#### 1.2.2.2. L'esecuzione di sopralluoghi

I sopralluoghi sono finalizzati alla:

- a) verifica della corrispondenza tra lo stato attuale dell'edificio e gli elaborati strutturali di progetto, nel caso siano stati reperiti o, in caso contrario, esecuzione di un rilievo speditivo *ex novo* dell'organismo strutturale con:
  - verifica delle geometrie e dei dettagli costruttivi;
  - verifica delle dimensioni degli elementi strutturali;
  - verifica, mediante metodi magnetometrici o radar, della quantità e della disposizione delle armature principali e delle staffe, della chiusura delle stesse e del loro passo con particolare attenzione ai nodi.

Tale approccio, oltre che consentire di diversificare la disposizione delle armature rispetto agli elaborati di progetto, consente di evitare il taglio di porzioni di barre di armatura durante il prelievo dei campioni;
- b) esecuzione di saggi in opera per la caratterizzazione tipologica dei solai e dei tamponamenti, finalizzata alla determinazione dei pesi propri da computare nell'analisi dei carichi;
- c) analisi dello stato di degrado delle strutture (qualità del calcestruzzo da esame visivo, espulsione del copriferro da parte di armature ossidate);
- d) rilievo e quantificazione dell'eventuale quadro fessurativo;
- e) rilevamento di danneggiamenti provocati da installazioni impiantistiche;
- f) individuazione preliminare degli elementi strutturali indagabili, in considerazione di vari fattori quali l'accessibilità degli elementi (travi emergenti, pilastri con lati opposti liberi), il confinamento garantito da pareti di tamponamento e la disposizione di barre longitudinali e staffe per i pilastri da sottoporre a carotaggio.

### 1.2.2.3. la definizione del programma delle indagini

Il programma delle indagini deve essere preliminarmente preceduto da una descrizione storico e strutturale del manufatto, da un allegato contenente l'estratto delle istruzioni tecniche, in particolare la parte riguardante i ruoli e le competenze delle varie figure coinvolte, dalle modalità di esecuzione delle prove e dai dati che devono essere contenuti nel certificato emesso dal laboratorio incaricato dell'esecuzione delle prove. Completano il documento tabelle e piante con l'indicazione degli elementi oggetto di prove e di prelievi e una relazione tecnica con i diversi livelli di sollecitazione per le varie combinazioni di carico esaminate.

### 1.2.3. La classificazione dei controlli del calcestruzzo in opera

La qualità e le caratteristiche dei materiali possono essere stimate, con la precisione richiesta, attraverso attività sperimentali che hanno avuto un notevole sviluppo negli ultimi decenni. Queste, in prima battuta, si possono suddividere in:

- controlli non distruttivi;
- controlli distruttivi.

I primi consentono di arrecare il minimo disturbo alle strutture e ai campioni testati, i secondi comportano il danneggiamento locale della struttura e la distruzione dei campioni.

Una classificazione più articolata delle varie tecniche di prova, come illustrato nella tabella 1.1, può essere fatta con riferimento alle finalità generali dell'indagine, al parametro o alla caratteristica che si intende determinare, al principio di funzionamento dell'attrezzatura impiegata.

Tabella 1.1. Le principali tecniche di indagine strutturali<sup>4</sup>

Fenomeno	Parametro	Principio di funzionamento
Corrosione dell'armatura	Misura del potenziale spontaneo di corrosione	Elettrochimico
	Misura della resistività	Elettrico
	Resistenza di polarizzazione lineare	Elettrochimico
	Impedenza in calcestruzzo armato	Elettrochimico
	Spessore del copriferro	Elettromagnetico
	Profondità di carbonatazione	Chimico/ottico
	Concentrazione dei cloruri	Chimico/elettrico
Qualità del calcestruzzo, durabilità e degrado	Durezza superficiale	Meccanico
	Velocità dell'impulso ultrasonoro	Elettromeccanico
	Radiografia	Sorgente radioattiva
	Radiometria	Sorgente radioattiva
	Assorbimento neutronico	Sorgente radioattiva
	Umidità relativa	Chimico/elettronico
	Permeabilità	Idraulico
	Assorbimento	Idraulico
	Petrografia	Microscopico
	Contenuto di solfati	Chimico
	Espansione	Meccanico
	Contenuto d'aria	Microscopico
	Contenuto e tipo di cemento	Chimico/microscopico
	Resistenza all'abrasione	Meccanico

<sup>4</sup> Bungey J.H. e Millard S.G., *op. cit.*

Tabella 1.1. Le principali tecniche di indagine strutturali (continuazione)

Fenomeno	Parametro	Principio di funzionamento
Resistenza del calcestruzzo in opera	Carotaggio	Meccanico
	<i>Pull-out</i>	Meccanico
	<i>Pull-off</i>	Meccanico
	<i>Break-off</i>	Meccanico
	Frattura interna	Meccanico
	Resistenza alla penetrazione	Meccanico
	Maturità	Chimico/elettrico
	Maturazione a temperatura	Elettrico/elettronico
Integrità e prestazioni	Induzione magnetica	Elettromagnetico
	Auscultazione	Meccanico
	Eco da impulso	Meccanico/elettronico
	Eco da impatto	Meccanico/elettronico
	Risposta dinamica	Meccanico/elettronico
	Emissione acustica	Elettronico
	Termoluminescenza	Chimico
	Termografia	Ottica infrarosso
	Radar	Elettromagnetico
	Localizzazione dell'armatura	Elettromagnetico
	Misura delle deformazioni e delle fessure	Ottico/meccanico/elettrico
Prova di carico	Meccanico/elettromeccanico/idraulico/elettronico/elettrico	

Nella tabella 1.2 sono riportati, in maniera sintetica e a scopo esemplificativo, i vantaggi e gli svantaggi dei più comuni metodi d'indagine strutturale.

Tabella 1.2. I vantaggi e gli svantaggi dei più comuni metodi d'indagine strutturale

Metodo di prova	Costo	Velocità di esecuzione	Danno apportato alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Qualità della Correlazione fra la grandezza misurata e la resistenza
Carotaggio	Elevato	Lento	Moderato	Moderata	Ottima
Indice di rimbalzo	Molto basso	Veloce	Nessuno	Interessa solo la superficie <sup>(1)</sup>	Debole
Velocità di propagazione di ultrasuoni	Basso	Veloce	Nessuno	Buona Riguarda tutto lo spessore	Moderata <sup>(2)</sup>
Estrazione di inserti	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona
Resistenza alla penetrazione	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Moderata

<sup>(1)</sup> Inoltre, la singola determinazione è influenzata dallo stato della superficie dell'area di prova (umidità, carbonatazione, ecc.).

<sup>(2)</sup> La misura si correla bene con il modulo elastico del materiale, la bontà della correlazione, tra modulo elastico e resistenza meccanica, può dipendere dalle caratteristiche del conglomerato.