

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 tomii indivisibili
ISBN 978-88-579-0031-5

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738
www.darioflaccovio.it 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->. SBN Pal0226509
624.17 CDD-22
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 Curnante.

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 installarla 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.

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
3.1.2.3. L'incompatibilità tra l'incarico di collaudatore e quello di coordinatore per la sicurezza sia in fase di progettazione che di esecuzione	»	23
3.1.2.4. Le commissioni di collaudo. Le opere di particolare complessità	»	24
3.1.2.4.1. 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
3.5.1.2. 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
4. Il certificato di agibilità		
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
5. Le operazioni di collaudo statico		
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 situ	»	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 geotetiche 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>	»	74
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

1. I controlli d'accettazione del calcestruzzo

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
1.2.2.3. 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 casseforme 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>	»	99
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>	»	101
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>	»	111
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
2. I controlli d'accettazione sul calcestruzzo fresco. Il confezionamento e la posa in opera			
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>	»	140
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>	»	143
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>	»	147
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
3.	I controlli d'accettazione dell'acciaio per c.a.		
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 marchio identificativo 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>	192
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 eletrosaldati	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>	208
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>	210
<i>Esempio 3.4. Lettera di trasmissione dei provini di barre di acciaio al laboratorio ufficiale</i>	211
<i>Esempio 3.5. Certificato di prova a trazione e piegamento di barre d'acciaio</i>	213
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 eletrosaldati	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
4. Le verifiche geometriche		
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 armatura 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-mecccaniche	»	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 copriferro e l'interferro	»	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
5. Le strutture prefabbricate		
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 revoca	»	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
6. I dispositivi antismistici		
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
7. Le prove di carico			
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
8. Prove di carico sui ponti stradali			
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. Certificato di prova di carico su ponte</i>			
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

<p style="text-align: center;">A</p> <p>Accertamenti discrezionali 68</p> <p>Acciaio per c.a.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 tralicci elettrosaldati 201, 223 • saldabilità 202 • tipologie 195 • tolleranze dimensionali 202 • unità marcata scorporata 190 <p>Acciaio per c.a.p.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 	<p>Acciaio (strutture)</p> <ul style="list-style-type: none"> • acciai inossidabili 629 • acciaio incrudito 614 • acciaio per getti 626 • acciaio per strutture saldate 626 • apparecchi d'appoggio 615 • bulloni 627, 634 • centri di prelavorazione 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 <p>Ancoraggi e tiranti</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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
• raccomandazioni Isrm	827
• sistemi di precompressione	817
• tipologie	823
• tiranti	817
• verbale di prova di carico	839
• verifiche di sicurezza	819
Ancoraggio barre d'armatura	173, 258
Armature	
• gabbie 173	
• limitazioni d'armatura	239
• pareti	244
• pilastri	235, 242, 243
• prelievo	387
• pull-out test	215
• rilevamento	385, 389
• travi	234, 239, 240
Assistenza al collaudo	49
B	
Beam-test	215
Bleeding	152
Break-off	506
Bulloni d'ancoraggio	840
C	
Calcestruzzo autocompattante	175
Calcestruzzo fresco	
• attrezzatura di cantiere	169
• bleeding	152
• compattazione	178, 179
• componenti	157
• composizione	150
• confezione e trasporto	169
• consistenza	133
• documenti di consegna	171
• esecuzione del getto	172
• indice di compattabilità	141
• lavorabilità	131
• massa volumica	154
• mescolamento	170
• prove di valutazione	130
• prelievo campioni	130
• programma dei getti	172
• prova di abbassamento al cono	134
• prova vebè	148
• tavola a scosse	144
• trasporto	171
• vibrazione	179
Carbonatazione	
• alcalinità	554
• anidride carbonica	554
• cause	552
• depassivazione	548
• meccanismo elettrochimico	550
• profondità	551, 555
• rapporto a/c	554
• spessore copri ferro	553
• temperatura	554
• umidità relativa	552
Carotaggio	
• cappatura	404
• carote da scartare	394
• certificato di prova a compressione	408
• coefficienti correttivi	396
• dimensione massima aggregato	401
• direzione carotaggio	400
• effetto barre d'armatura	407
• effetto compattazione	406
• estrazione	389
• età carota	406
• etichettatura	392
• identificazione carote	392
• numero di carote	395
• porosità	399
• 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
Centri di trasformazione	
• documentazione d'accompagnamento in cantiere	194
• marchio e logo di identificazione	194
• rintracciabilità prodotti	193
• sistema di controllo	193
Certificato di agibilità	
• attestazioni	52
• dichiarazione di inagibilità	58
• domanda	53
• responsabile del procedimento	53
• soggetti preposti al rilascio	52
• tempi	57
Certificato di collaudo statico	
• elementi costruttivi prefabbricati	80
• sanzioni	81
• trasmissione	81
Certificato di prova a compressione	110, 517
Chiodi d'ancoraggio	841
Cloruri (attacco)	
• analisi quantitativa	559
• depassivazione	557
• meccanismo di corrosione	559
• penetrazione	558
• prelievo di campioni	560
Collaudatore statico	
• accettazione dell'incarico	10
• documentazione acquisita dal direttore dei lavori	79
• modello	74
• nomina	7
• richiesta di terna di nominativi	9
Collaudo statico in corso d'opera	2, 26
Collaudo statico	
• collaudatore statico	4

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

Deformabilità elementi strutturali	260
Denuncia dei lavori	5
Disarmo delle strutture	291
Direttore dei lavori	3, 46, 79
Direttore operativo	50
Dispositivi di isolamento	72
Dispositivi antisismici	
• attestato di qualificazione	274
• comportamento lineare	275
• comportamento non lineare	278
• comportamento viscoso	280
• dispositivi 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
Dispositivi di isolamento sismico e/o dissipazione	69, 271
Distanza tra costruzioni contigue	71
Distanziatori	253
Documentazione acquisita dal direttore dei lavori	79
Documenti da tenere in cantiere	10
Durabilità	
• 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
Fondo incentivante	45

F**G**

Gabbie d'armatura	173
Garanzia di qualità	69
Gelo e disgelo (azione)	561
Getto calcestruzzo	172
Giunzioni di barre	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
Mappatura potenziale corrosione armature	
• limitazioni	569
• misura	566
• procedura	567
• resistenza di polarizzazione lineare	571
• strumentazione	567
• superficie della struttura	570
Marcatura CE aggregati	163
Massa volumica	154
Metodi combinati	517
Metodo Case	
• considerazioni teoriche	804
• fasi esecutive	803
• interpretazione dei risultati	805
Metodo microsismico di trasparenza	
• elaborazione dei dati	800
• modalità esecutiva	800
Metodo Simbat	806
Metodo Sonreb	517
Microcarotaggio	
• apparecchiatura	514
• certificato di prova a compressione carote	517
• condizioni di influenza	514
• curva di correlazione	516
Minimi quadrati	420
Misure di sicurezza	4
Modellazione geologica	61
Modellazione geotecnica	62
Modulo di elasticità calcestruzzo	127
Movimenti indesiderati	73
 O	
Omessa denuncia dei lavori	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
Prelievo di campioni	91, 130
 Profilo di impedenza	797
Prova a trazione indiretta	123
Prova a trazione per flessione	124
Prova vebè	148
Prove complementari	88, 118
Prove di carico	
• 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
Prova di ammettenza dinamica	
• apparecchiatura	809
• comportamento del palo	811
• condizioni del palo	812
• interpretazione del diagramma	813
Prova di eco-sonico	
• analisi dei risultati	796
• cause di influenza	797
• fondamenti teorici	793
• limitazioni	792
• preparazione della struttura	791
Prove di carico sui pali di fondazione	
• 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 abbassamenti	754
• tolleranze geometriche	747
Prove di carico sui ponti stradali	
• 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
Prove dinamiche ad alte deformazioni	
• comportamento dinamico palo	802
• metodo Case	803
• metodo Simbat	806
Prove geotecniche di laboratorio	64
Pull-off (prova di aderenza)	
• esecuzione	504
• limitazioni	506
Pull-out test (armature)	215
Pull-out (prova di estrazione)	
• 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	
Relazione a strutture ultimate	11, 67, 68
Relazione geotecnica	65
Relazione illustrativa dei materiali	7
Resistenza a compressione calcestruzzo in opera	
• metodo norma Uni En 13791	412
• prescrizioni normative	409
Resistenza all'abrasione	561
Resistenza a trazione del calcestruzzo	119
Resistenza caratteristica	89
Resistenza di polarizzazione lineare	
• esecuzione prova	573
• interpretazione risultati	575
• limitazioni	575
• metodologia	571
Resistività del calcestruzzo	576
Responsabile del procedimento	46
Rettifica provini	103
Rilevamento armature	385
Riprese getto	177
Ritiro plastico	581
Rottura provini	108
S	
Saggi sulle strutture	383
Sanzioni a carico del direttore dei lavori	14
Scaling	562
Sfaldamento superficiale	562
Single-hole	788
Slump test	136
Solai misti	246
Solfati (attacco)	560
Sonda Windsor	
• elaborazione misure	511
• esecuzione	509
Spalling	565
Spostamenti sismici differenziali del terreno	73
Stagionatura calcestruzzo	
• durata	182
• fessurazione superficiale	183
• maturazione accelerata	183
• protezione generale	181
• protezione termica	181
Stagionatura provini calcestruzzo	100
Strutture in acciaio (controlli)	
• 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 seccante	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
• essiccatura	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
Verifiche geometriche		• tolleranze	233
• armatura pilastri	235, 242, 243	• zone non sismiche	234
• armatura pareti	244	• zone sismiche	236
• armatura travi.....	234, 239, 240	Vibrazione	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

1

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 rimessa 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 servizio¹.

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.

¹ Cons. Stato comm. spec., 22 giugno 1992, n. 295.

2

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 PRECOMPRESO 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 statico 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.

I

I 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 inherente 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 strutture.

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

1

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 implichino 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)*¹, 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.

¹ 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 permettere 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.²:

- 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;

² 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 vibratori 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 ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$; 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 perseguitibile 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 ridistribuzione 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 ritenerli 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 situ 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 definiti³:

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

³ 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 del 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 strutturali⁴

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

⁴ 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
	Pull-out	Meccanico
	Pull-off	Meccanico
	Break-off	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 ⁽¹⁾	Debole
Velocità di propagazione di ultrasuoni	Basso	Veloce	Nessuno	Buona Riguarda tutto lo spessore	Moderata ⁽²⁾
Estrazione di inserti	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona
Resistenza alla penetrazione	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Moderata

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

⁽²⁾ 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.