

Salvatore Lombardo



Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato

[Scheda sul sito >](#)

Dario Flaccovio Editore



Controlli distruttivi · Controlli non distruttivi · Interpretazione delle fessurazioni
Analisi del degrado · Consolidamento strutturale

SALVATORE LOMBARDO

**VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ
SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI
IN CEMENTO ARMATO**

**Controlli distruttivi – Controlli non distruttivi
Interpretazione delle fessurazioni – Analisi del degrado
Consolidamento strutturale**



Dario Flaccovio Editore

Salvatore Lombardo

VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Controlli distruttivi – Controlli non distruttivi – Interpretazione delle fessurazioni – Analisi del degrado – Consolidamento strutturale

ISBN 978-88-579-0152-7

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: ottobre 2012

Lombardo, Salvatore <1962->

Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato : controlli distruttivi, controlli non distruttivi, interpretazioni delle fessurazioni, analisi del degrado, consolidamento strutture / Salvatore Lombardo. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0152-7

1. Edifici in cemento armato – Zone sismiche – Prove tecniche

624.1762 CDD-22

SBN Pal0247105

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, ottobre 2012

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

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.

INDICE

Prefazione

Parte Prima I criteri generali

1. La valutazione della sicurezza per gli edifici esistenti

1.1. La definizione di costruzione esistente	»	3
1.1.1. L'inquadramento generale	»	4
1.1.2. L'obbligatorietà delle indagini strutturali	»	6
1.1.3. I danni strutturali causati dalle azioni sismiche	»	7
1.1.4. I crolli di edifici non dovuti ad azioni sismiche	»	9
1.1.4.1. L'aspetto geotecnico. Le carenti indagini geotecniche	»	10
1.1.4.2. Gli edifici costruiti prima della legge sismica	»	11
1.2. I criteri generali	»	12
1.3. Le condizioni	»	13
1.3.1. Le finalità	»	13
1.3.2. I presupposti	»	14
1.3.3. La relazione sui livelli di sicurezza della costruzione prima e dopo l'intervento	»	15
1.3.4. Le categorie di situazioni per le quali è obbligatoria la verifica di sicurezza.	»	15
1.3.4.1. Le categorie	»	15
1.3.4.2. Le modalità di verifica	»	16
1.3.4.2.1. Le situazioni escluse	»	16
1.3.4.2.2. Gli esiti delle verifiche	»	16
1.3.4.2.3. Le verifiche per le opere pubbliche strategiche con finalità di protezione civile	»	16
1.3.4.2.4. La necessità dei provvedimenti di valutazione della sicurezza	»	16
1.3.4.3. Gli interventi di miglioramento sui beni tutelati	»	17
1.3.5. Gli edifici a struttura mista	»	17
1.3.6. L'intervento riguardante porzioni limitate della costruzione	»	18
1.3.7. Le fasi del processo di valutazione della sicurezza	»	18
1.3.8. Il piano di manutenzione strutturale	»	18

Parte Seconda L'individuazione delle caratteristiche e dei dettagli costruttivi

1. Le indagini

1.1. Le fasi	»	23
1.2. L'analisi storica e la raccolta degli elaborati progettuali originali	»	23
1.2.1. Le fonti da considerare	»	24

1.2.2.	I dati da acquisire	»	24
1.2.3.	L'identificazione della struttura.....	»	25
1.2.3.1.	L'identificazione delle strutture di fondazione.....	»	26
1.2.3.2.	L'acquisizione di informazioni sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti.....	»	27
1.2.3.3.	Le informazioni sui possibili difetti locali dei materiali.....	»	28
1.2.3.4.	Informazioni sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate	»	28
1.2.3.5.	Le informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore adottato per il fattore di riduzione q , se applicabile.....	»	29
1.3.	Il piano delle indagini per la caratterizzazione meccanica dei materiali e loro degrado.....	»	35
1.4.	I livelli di conoscenza della struttura	»	35
1.4.1.	Il livello di conoscenza limitata (LC1).....	»	37
1.4.2.	Livello di conoscenza adeguata (LC2).....	»	39
1.4.3.	Livello di conoscenza accurata (LC3).....	»	41
1.4.4.	Gli elaborati progettuali esecutivi	»	42
1.4.5.	I dettagli costruttivi e i difetti.....	»	43
1.4.6.	I fattori di confidenza e le resistenze dei materiali.....	»	45
1.5.	Il progetto simulato.....	»	47
1.5.1.	Le date di progettazione e di costruzione	»	51
1.5.2.	L'individuazione e lo studio dello schema strutturale.....	»	51
1.5.2.1.	I telai e l'individuazione dell'orditura dei solai	»	52
1.5.2.2.	La scelta del modello di calcolo	»	52
1.5.2.2.1.	Il dimensionamento di massima o calcolo semplificato	»	56
1.5.2.2.1.1.	Primo procedimento	»	57
1.5.2.2.1.2.	Secondo procedimento.....	»	59
1.5.2.2.1.3.	Terzo procedimento.....	»	62
1.5.2.2.1.4.	Il metodo della fascia flessionale per le travi.....	»	63
1.5.2.2.1.5.	Altro modello di calcolo travi sull'ipotesi di trave continua.....	»	65
1.5.2.2.1.6.	La valutazione dei carichi permanenti e di esercizio	»	66
1.5.2.2.1.6.1.	I carichi agenti sulle travi.....	»	66
1.5.2.2.1.6.2.	I carichi agenti sui pilastri.....	»	67
1.5.2.2.1.7.	La verifica a compressione dei pilastri.....	»	67
1.5.2.3.	Il modello di calcolo per i solai.....	»	69
1.5.2.4.	Il progetto delle armature e la verifica degli elementi strutturali	»	76
1.5.2.4.1.	Il progetto delle armature delle travi.....	»	77
1.5.2.4.1.1.	Le dimensioni geometriche.....	»	80
1.5.2.4.1.1.1.	La larghezza delle travi rispetto alla sezione trasversale dei pilastri di attacco	»	81
1.5.2.4.1.1.2.	Le travi a spessore di solaio	»	82
1.5.2.4.1.2.	Le armature	»	84
1.5.2.4.1.2.1.	La sezione rettangolare a semplice armatura	»	84
1.5.2.4.1.2.2.	La sezione rettangolare a doppia armatura.....	»	85
1.5.2.4.1.2.3.	La sezione a T	»	87
1.5.2.4.1.2.4.	La disposizione.....	»	88
1.5.2.4.1.2.4.1.	Le armature con ferri sagomati	»	89
1.5.2.4.1.2.4.2.	Le armature con ferri dritti.....	»	91

1.5.2.4.2. Il progetto delle armature dei pilastri.....	»	95
1.5.2.4.3. Il progetto delle armature dei solai gettati in opera....	»	99
1.5.2.4.3.1. Il calcolo.....	»	105
1.5.2.4.3.2. La disposizione delle armature.....	»	107
1.5.2.4.4. Gli acciai per c.a. impiegati in passato.....	»	110
1.5.2.4.4.1. Le armature costituite da barre lisce	»	110
1.5.2.4.4.2. Stralci normativi.....	»	111
1.5.2.4.5. La verifica delle armature degli elementi strutturali .	»	132
1.5.2.4.6. La revisione del progetto simulato sulla base sulla base dei risultati delle indagini	»	133
1.6. La verifica del rispetto dei criteri di regolarità strutturale	»	133
1.6.1. Interventi correttivi della regolarità strutturale	»	133
1.6.2. La regolarità in pianta	»	134
1.6.3. La regolarità in altezza	»	139
1.6.4. La regolarità strutturale secondo il D.M. 16 gennaio 1996.....	»	144
1.6.5. La distanza tra costruzioni contigue. I giunti tecnici	»	146
1.6.6. Il rispetto dell'altezza in funzione della larghezza stradale	»	147
2. Il rilievo del quadro fessurativo		
2.1. I sopralluoghi	»	148
2.1.1. Le finalità.....	»	148
2.1.2. Le ispezioni visive delle strutture.....	»	148
2.1.3. I dissesti in atto.....	»	149
2.1.4. Il rilievo geometrico-strutturale	»	149
2.1.5. Il quadro fessurativo	»	150
2.1.5.1. Il rilievo delle fessurazioni.....	»	151
2.1.5.1.1. Le biffe.....	»	151
2.1.5.1.2. La misura da caposaldi.....	»	152
2.1.5.1.2.1. Il caso particolare di spostamento in una specifica direzione.....	»	156
2.1.5.1.3. I fessurimetri	»	157
2.1.5.1.3.1. I fessurimetri angolari	»	158
2.1.5.1.3.2. I fessurimetri lineari	»	158
2.1.5.1.3.3. I fessurimetri tridirezionali.....	»	161
2.1.5.1.4. I deformometri	»	163
2.1.5.1.4.1. Il deformometro meccanico	»	163
2.1.5.1.5. L'identificazione delle lesioni	»	165
2.1.5.1.6. L'evoluzione della fessurazione	»	166
2.1.5.1.7. Il rilievo della profondità delle fessure	»	167
2.1.5.1.7.1. L'ampiezza delle fessure	»	167
2.1.5.1.7.2. La stima della profondità di fessure con metodo ultrasonico indiretto	»	168
2.1.5.1.7.2.1. Primo metodo.....	»	168
2.1.5.1.7.2.2. Secondo metodo.....	»	169
2.1.5.1.7.2.3. Terzo metodo.....	»	170
2.1.5.1.7.2.4. Quarto metodo.....	»	171
2.1.5.1.7.3. Le particolari applicazioni con il metodo diretto .	»	173
3. Le fessurazioni nelle strutture non dovute a sollecitazioni esterne		
3.1. Generalità.....	»	174
3.2. Le fessure nel calcestruzzo plastico.....	»	175

3.2.1.	Il ritiro plastico	»	175
3.2.1.1.	Le condizioni ambientali.....	»	177
3.2.1.2.	I provvedimenti preventivi.....	»	179
3.2.1.3.	Le caratteristiche delle fessure.....	»	179
3.2.1.4.	Le cause del ritiro plastico	»	180
3.2.2.	La deformazione della cassaforma.....	»	181
3.2.3.	Le fessure da assestamento plastico.....	»	182
3.3.	Le fessure nel calcestruzzo indurito	»	186
3.3.1.	La fessurazione per ritiro comportanti variazioni dimensionali.....	»	186
3.3.1.1.	Il ritiro per essiccamento.....	»	186
3.3.1.1.1.	I fattori che influenzano il ritiro idraulico	»	188
3.3.1.1.2.	Il ritiro nei calcestruzzi ad alta resistenza	»	192
3.3.1.1.3.	I valori ammissibili per il ritiro	»	193
3.3.1.2.	Il ritiro autogeno	»	195
3.3.1.2.1.	Il ritiro nel calcestruzzo ad alta resistenza	»	195
3.3.1.3.	Il ritiro da carbonatazione	»	196
3.3.1.4.	Le fessure per espansione e/o ritiro termico	»	196
3.3.1.4.1.	Le fessure da espansione termica.....	»	196
3.3.1.4.2.	Le fessure da ritiro termico	»	197
3.3.1.5.	Le fessurazioni per gli effetti viscosi (<i>creep</i>).....	»	199
3.3.1.5.1.	Il recupero del <i>creep</i>	»	201
3.3.1.5.2.	Le prescrizioni progettuali	»	202
3.3.2.	Le fessurazioni per reazioni tra alcali e aggregati.....	»	203
3.3.3.	Le fessurazioni per attacco solfatico	»	205
3.3.4.	Le micro e le macro lesioni per l'esposizione alle alte temperature.....	»	206
3.3.5.	Le indagini petrografiche sul calcestruzzo	»	206
4. I dissesti in fase di esercizio			
4.1.	Generalità.....	»	208
4.2.	I cedimenti delle fondazioni superficiali e profonde	»	208
4.2.1.	I tipi di cedimento delle fondazioni.....	»	208
4.2.1.1.	La previsione empirica dei cedimenti assoluti e cedimenti differenziali	»	210
4.2.1.2.	I valori ammissibili dei cedimenti differenziali	»	211
4.2.1.3.	Le componenti del cedimento totale di una fondazione superficiale	»	215
4.2.2.	La disuniformità degli strati compressibili.....	»	216
4.2.3.	La sovrapposizione degli effetti tra fondazioni vicine.....	»	219
4.2.3.1.	Le indicazioni progettuali per le fondazioni realizzate in prossimità di strutture esistenti.....	»	221
4.2.4.	Le fondazioni realizzate su aree sedi di discariche	»	223
4.2.5.	I cedimenti dovuti a variazione del livello della falda freatica	»	223
4.2.6.	I cedimenti nelle fondazioni compensate.....	»	224
4.2.7.	I cedimenti nei muri di sostegno	»	225
4.2.8.	I cedimenti delle palificate	»	226
4.2.8.1.	L'effetto dell'attrito negativo nei pali di fondazione.....	»	226
4.2.9.	L'influenza delle rigidità delle strutture in elevazione e di fondazione	»	231
4.2.10.	Gli effetti del cedimento differenziale sulla struttura in elevazione.....	»	232
4.2.11.	Le fessurazioni strutturali causate dal ritiro e dal rigonfiamento del terreno	»	236
4.2.12.	Il fenomeno della liquefazione nei terreni non coesivi saturi	»	240
4.3.	Le fessurazioni negli edifici molto alti	»	245

4.3.1.	Le fessurazioni nelle travi a causa di accorciamenti differenziali dei pilastri	»	245
4.3.2.	Le fessurazioni nelle travi a causa di allungamenti differenziali dei pilastri	»	246
4.4.	Le fessurazioni nelle travi	»	247
4.4.1.	La fessurazione per torsione	»	251
4.5.	Le fessurazioni nei pilastri	»	253
4.6.	Le fessurazioni e il collasso per punzonamento	»	255
4.6.1.	Il punzonamento di plinti bassi e platee di fondazione	»	258
4.7.	Le fessurazioni nelle strutture a sbalzo e nelle mensole corte	»	261
4.8.	La variazione dello schema strutturale originario. La ridondanza strutturale	»	262
4.8.1.	I meccanismi di studio nel caso di rimozioni di elementi verticali	»	263
4.8.2.	La resistenza della struttura nel caso di rimozioni di elementi verticali	»	266
4.8.3.	Il comportamento a membrana dei solai	»	268
4.9.	Le fessurazioni nei tamponamenti	»	270
4.9.1.	Le lesioni da ritiro nelle sezioni di collegamento con travi e pilastri	»	270
4.9.2.	Le lesioni di tompagni su elementi strutturali a sbalzo	»	271
4.9.3.	Le fessurazioni per effetto di cedimenti di pilastri	»	273
4.10.	Le fessurazioni nei tramezzi dovute alla deformabilità dei solai o travi	»	273
4.11.	I solai	»	276
4.11.1.	I solai contigui e le brusche variazioni di altezza	»	276
4.11.2.	L'interazioni ai bordi	»	278
4.11.3.	Gli sbalzi non in continuità con l'orditura del solaio	»	279
4.11.4.	L'effetto piastra	»	280
4.11.5.	Carichi concentrati	»	281
4.11.6.	Lo sfondellamento dei solai	»	282
4.11.7.	Le fessure nei solai a travetti precompressi e blocchi di laterizi	»	284
5. I danni causati da azioni sismiche			
5.1.	Le azioni sismiche. I carichi ripetuti o a basso numero di cicli	»	285
5.2.	Il rilevamento del livello dei danni strutturali	»	288
5.2.1.	La compilazione della scheda per gli edifici in c.a.	»	293
5.3.	L'elemento pilastro	»	298
5.3.1.	I danni subiti dai pilastri per effetto di azioni cicliche	»	299
5.3.1.1.	La valutazione dell'entità dei danni	»	300
5.3.2.	Il rilievo delle armature effettivamente presenti	»	304
5.3.3.	Il confinamento del calcestruzzo	»	310
5.3.3.1.	L'efficacia del confinamento del calcestruzzo nei pilastri	»	315
5.3.3.2.	La resistenza in presenza di confinamento	»	319
5.3.3.3.	La resistenza effettiva dei pilastri privi di copriferro	»	320
5.3.4.	La ripresa dei ferri longitudinali e la variazione di sezione dei pilastri	»	324
5.3.4.1.	La fessurazione e lo scorrimento per carenze nella ripresa del getto	»	327
5.3.5.	I pilastri dei piani soffici	»	328
5.3.6.	I pilastri tozzi	»	330
5.3.6.1.	Le situazioni progettuali o determinanti	»	330
5.3.6.2.	La maggiore rigidezza del pilastro tozzo	»	332
5.3.6.3.	I danni	»	333
5.3.6.4.	La prevenzione dei meccanismi dovuti al taglio nei nuovi edifici	»	335
5.3.6.4.1.	Le disposizioni dell'armatura	»	336
5.3.6.5.	Gli interventi di adeguamento	»	338
5.4.	L'elemento trave	»	339
5.5.	I nodi trave-pilastro	»	343

5.5.1.	Il confinamento del nodo.....	»	343
5.5.2.	Il danneggiamento per azioni sismiche.....	»	345
5.5.2.1.	Il trasferimento delle azioni sismiche.....	»	346
5.5.2.2.	I nodi non interamente confinati.....	»	347
	5.5.2.2.1. Gli ancoraggi delle armature longitudinali delle travi nei pilastri.....	»	351
	5.5.2.3. I nodi interamente confinati.....	»	354
5.6.	Il collasso per taglio degli elementi strutturali: ulteriori considerazioni.....	»	355
5.6.1.	Generalità.....	»	355
5.6.2.	La capacità di resistenza disponibile degli elementi strutturali.....	»	355
5.6.3.	Le fessurazioni trascurabili.....	»	357
5.6.4.	Le fessurazioni da taglio negli elementi strutturali.....	»	357
	5.6.4.1. I pilastri.....	»	357
	5.6.4.2. Il nodo trave-pilastro.....	»	359
	5.6.4.3. La trave.....	»	360
	5.6.4.4. L'attacco trave-pilastro.....	»	360
5.7.	Le fessurazioni nei tamponamenti.....	»	361
5.7.1.	Il ruolo dei tamponamenti nella risposta sismica.....	»	361
5.7.2.	I meccanismi di rottura delle tamponature.....	»	367
5.7.3.	Il comportamento del pannello in presenza di aperture.....	»	369
5.7.4.	La classificazione dei danni in tramezzi e tompagnature.....	»	371
5.8.	Le pareti di taglio.....	»	372
5.8.1.	Le tipologie.....	»	372
5.8.2.	Le modalità di collasso delle pareti snelle singole e accoppiate.....	»	373
5.8.3.	Le modalità di collasso delle pareti tozze o squat walls.....	»	376
5.9.	Le scale.....	»	377
5.9.1.	La trave a ginocchio.....	»	379
5.9.2.	La manualistica sul calcolo delle scale.....	»	380
5.9.3.	Gli errori nelle armature delle scale.....	»	382
5.9.4.	Il quadro fessurativo e il livello di danno.....	»	384
5.10.	I danni da martellamento.....	»	388

Parte Terza
La valutazione del degrado

1. Il degrado delle strutture in calcestruzzo armato

1.1.	La durabilità.....	»	393
1.1.1.	La durabilità e la vita in servizio.....	»	394
	1.1.1.1. La durabilità potenziale ed effettiva del calcestruzzo.....	»	394
	1.1.1.2. I processi a rischio e gli agenti aggressivi.....	»	395
	1.1.1.3. Il calcestruzzo armato in ambiente marino.....	»	399
1.2.	La vita in servizio.....	»	399
1.3.	La permeabilità.....	»	402
1.3.1.	Le cause della permeabilità.....	»	402
	1.3.1.1. La interruzione anticipata della stagionatura protetta.....	»	402
	1.3.1.2. Il controllo della permeabilità: la penetrazione all'acqua sotto pressione.....	»	402
	1.3.1.3. Il controllo della permeabilità: l'assorbimento dell'acqua alla pressione atmosferica.....	»	403

1.4.	I processi connessi alle proprietà di trasporto.....	»	405
1.4.1.	I meccanismi di trasporto.....	»	405
1.4.1.1.	Il ruolo della permeabilità.....	»	405
1.4.1.2.	La velocità di penetrazione dell'agente aggressivo.....	»	406
1.4.1.3.	Il tipo di cemento e le aggiunte minerali.....	»	407
1.4.1.4.	La durabilità potenziale.....	»	407
1.4.1.5.	L'innesco e la propagazione della corrosione.....	»	408
1.4.2.	La carbonatazione.....	»	409
1.4.2.1.	La depassivazione da carbonatazione.....	»	409
1.4.2.2.	Il meccanismo elettrochimico di corrosione.....	»	410
1.4.2.3.	Le profondità di carbonatazione.....	»	412
1.4.2.4.	Le cause di influenza della carbonatazione.....	»	413
1.4.2.4.1.	L'umidità relativa del calcestruzzo.....	»	413
1.4.2.4.2.	Lo spessore del copriferro.....	»	414
1.4.2.4.3.	La temperatura.....	»	415
1.4.2.4.4.	Il rapporto acqua/cemento.....	»	415
1.4.2.4.5.	L'alcalinità del calcestruzzo.....	»	415
1.4.2.4.6.	La concentrazione dell'anidride carbonica.....	»	415
1.4.2.5.	La misura della profondità di carbonatazione.....	»	416
1.4.2.5.1.	Generalità.....	»	416
1.4.2.5.2.	Il prelievo dei campioni.....	»	416
1.4.2.5.3.	L'esecuzione della prova.....	»	417
1.4.3.	L'azione corrosiva dei cloruri.....	»	418
1.4.3.1.	La depassivazione da penetrazione di cloruri.....	»	418
1.4.3.2.	La penetrazione dei cloruri.....	»	420
1.4.3.3.	Il meccanismo di corrosione dell'armatura.....	»	420
1.4.3.4.	L'analisi quantitativa dello ione-cloro.....	»	421
1.4.3.4.1.	Generalità.....	»	421
1.4.3.4.2.	Il prelievo dei campioni.....	»	421
1.4.3.4.3.	L'esecuzione della prova.....	»	422
1.4.4.	L'attacco dei solfati.....	»	422
1.5.	I processi non collegabili alle proprietà di trasporto.....	»	424
1.5.1.	La resistenza all'abrasione.....	»	424
1.5.2.	L'azione da cicli di gelo e disgelo.....	»	425
1.5.3.	La resistenza allo scaling (sfaldamento superficiale).....	»	426
1.6.	Il degrado indotto dalla corrosione delle armature.....	»	427
1.6.1.	Generalità.....	»	427
1.6.2.	Le basi dei processi corrosivi.....	»	429
1.6.3.	Lo spalling nelle strutture soggette ad incendio.....	»	430
1.6.4.	La corrosione sotto sforzo.....	»	431
1.6.5.	La mappatura del potenziale di corrosione delle armature.....	»	431
1.6.5.1.	La strumentazione.....	»	432
1.6.5.2.	La procedura.....	»	433
1.6.5.3.	Le limitazioni.....	»	434
1.6.5.4.	Le condizioni della superficie della struttura.....	»	435
1.6.6.	La resistenza di polarizzazione lineare.....	»	436
1.6.6.1.	L'esecuzione della prova.....	»	438
1.6.6.2.	L'interpretazione dei risultati.....	»	440
1.6.6.3.	Le limitazioni.....	»	440
1.6.7.	La resistività del calcestruzzo.....	»	441

Parte Quarta

La valutazione delle proprietà meccaniche dei materiali

1. Le finalità

1.1. Le proprietà meccaniche dei materiali	447
1.2. La programmazione delle indagini	» 447
1.2.1. Generalità	» 447
1.2.2. La definizione del programma delle indagini.....	» 448
1.2.3. La classificazione dei controlli del calcestruzzo in opera	» 449
1.3. Le indagini sulle strutture in opera	» 451
1.3.1. Le finalità	» 451
1.3.2. L'individuazione delle aree di calcestruzzo omogenee.....	» 451
1.3.3. Le aree e le regioni di prova.....	» 452
1.3.4. La preparazione delle aree di prova	» 453
1.3.5. La scelta degli elementi strutturali	» 454
1.3.6. La variazione delle proprietà del calcestruzzo in opera	» 455
1.3.7. I campioni minimi da prelevare	» 456
1.3.8. Le percentuali e il numero di elementi strutturali da indagare.....	» 457
1.3.8.1. Le indicazioni per l'esecuzione dei controlli distruttivi nei pilastri.	» 460
1.3.8.2. Le indicazioni per l'esecuzione dei controlli distruttivi nelle travi	» 461

2. L'esito dei controlli d'accettazione del calcestruzzo

2.1. I controlli durante l'esecuzione dell'opera	» 464
2.2. La conformità tra il calcestruzzo prelevato prima del getto e quello in opera	» 465
2.3. Il valore di resistenza a compressione in opera accettabile	» 466
2.4. I controlli in fase di esercizio.....	» 466

3. I controlli distruttivi

3.1. Le finalità	467
3.2. I metodi distruttivi	» 467
3.2.1. I saggi sulle strutture	» 467
3.2.2. Il rilevamento della posizione delle armature	» 468
3.2.3. Il prelievo di spezzoni d'armatura.....	» 471
3.2.4. Il carotaggio.....	» 472
3.2.4.1. L'estrazione delle carote e il rilevamento delle armature	» 473
3.2.4.1.1. L'etichettatura e l'identificazione delle carote	» 476
3.2.4.1.2. Il ripristino delle zone di estrazione	» 478
3.4.4.2. Le carote da scartare.....	» 478
3.2.4.3. Il numero di carote e la variabilità dei valori di resistenza	» 480
3.2.4.4. Il verbale di prelievo	» 480
3.2.4.5. La resistenza a compressione delle carote	» 480
3.2.4.6. I coefficienti correttivi per la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera	» 481
3.2.4.6.1. Il rapporto acqua/cemento.....	» 482
3.4.4.6.2. La porosità del calcestruzzo	» 483
3.2.4.6.3. La direzione di carotaggio rispetto a quella del getto ...	» 484
3.4.4.6.4. Il rapporto lunghezza/diametro delle carote e la dimensione massima dell'aggregato	» 486
3.2.4.6.5. Le condizioni di umidità del campione	» 487
3.2.4.6.6. Il disturbo (o tormento) determinato dal prelievo	» 487

3.2.4.6.6.1. La cappatura	»	488
3.2.4.6.7. L'effetto della compattazione e della temperatura di maturazione del calcestruzzo in opera	»	490
3.2.4.6.8. L'effetto dell'età della carota	»	491
3.2.4.6.9. L'effetto delle barre d'armature	»	491
3.2.4.7. Il certificato di prova a compressione	»	493
3.3. La stima della resistenza a compressione in opera del calcestruzzo	»	493
3.3.1. Le prescrizioni normative	»	493
3.3.2. La metodologia della UNI EN 13791	»	497
3.3.2.1. L'approccio A	»	498
3.3.2.2. L'approccio B	»	500
4. I controlli non distruttivi e semidistruttivi		
4.1. Le finalità e le limitazioni	»	503
4.1.1. Le curve di correlazione	»	505
4.1.1.1. I tipi	»	505
4.1.1.2. I metodi statistici per le curve di correlazione	»	506
4.1.1.2.1. Il metodo dei minimi quadrati. Regressione lineare	»	506
4.1.1.2.2. La linearizzazione dei dati	»	508
4.1.1.2.3. Il metodo di Mandel	»	509
4.1.1.2.4. La regressione polinomiale	»	510
4.1.1.3. I parametri statistici	»	510
4.1.1.4. L'intervallo di confidenza	»	511
4.1.2. La sensibilità dei diversi metodi di indagine non distruttivi	»	512
4.1.3. La taratura delle curve di correlazione di riferimento o di base	»	513
4.1.4. I limiti e le precauzioni nell'applicazione dei metodi indiretti	»	514
4.2. La determinazione dell'indice di rimbalzo	»	515
4.2.1. La classificazione dei metodi sclerometrici	»	517
4.2.1.1. Il metodo della curva di taratura	»	517
4.2.1.2. Il metodo dei coefficienti di influenza non corretti	»	517
4.2.1.3. Il metodo dei coefficienti d'influenza corretti	»	520
4.2.1.4. Il metodo della curva unica	»	521
4.2.2. L'esecuzione della prova sclerometrica	»	522
4.2.2.1. Il trattamento delle superfici e lo spessore minimo dell'elemento strutturale	»	522
4.2.2.2. Il posizionamento dello strumento	»	523
4.2.2.3. Il numero minimo delle battute e le cause di influenza dei risultati	»	524
4.2.2.4. Le diverse condizioni di influenza dell'indice di rimbalzo	»	524
4.2.2.5. Il verbale di prova	»	526
4.2.2.6. Le limitazioni	»	528
4.3. La velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici	»	529
4.3.1. Generalità	»	529
4.3.2. L'apparecchiatura	»	530
4.3.3. La taratura dello strumento	»	530
4.3.4. La modalità d'esecuzione	»	531
4.3.5. Le modalità di trasmissione dell'impulso ultrasonico	»	533
4.3.6. La misura della velocità di propagazione	»	535
4.3.7. I fattori che influenzano la velocità di propagazione degli impulsi	»	536
4.3.7.1. L'effetto della temperatura del calcestruzzo	»	536
4.3.7.2. L'età del calcestruzzo	»	537

4.3.7.3.	Il rapporto acqua/cemento.....	»	537
4.3.7.4.	Il tipo di cemento	»	538
4.3.7.5.	La forma e l'assortimento degli aggregati	»	538
4.3.7.6.	Il caso delle strutture danneggiate dal fuoco.....	»	538
4.3.7.7.	Il tenore di umidità.....	»	539
4.3.7.8.	La lunghezza del percorso di misura	»	539
4.3.7.9.	La presenza di fessurazioni e di vuoti.....	»	540
4.3.7.10.	L'influenza delle armature	»	541
4.3.7.10.1.	Le barre d'armatura con direzione parallela alla direzione di propagazione delle onde.....	»	541
4.3.7.10.1.1.	Il coefficiente correttivo proposto dalla BS 1881: part 203.....	»	542
4.3.7.10.2.	Le barre d'armatura ortogonali alla direzione di propagazione delle onde.....	»	544
4.3.7.10.2.1.	Il coefficiente correttivo proposto dalla BS 1881: part 203	»	545
4.3.8.	La stima della resistenza a compressione	»	546
4.3.8.1.	La curva di correlazione costruita su provini prelevati in cantiere	»	547
4.3.8.2.	La curva di correlazione costruita su carote prelevate dalle strutture in opera	»	547
4.3.8.3.	La stima del modulo elastico dinamico.....	»	548
4.3.9.	Le particolari applicazioni del metodo indiretto	»	549
4.3.9.1.	La stima della profondità degli strati degradati.....	»	550
4.3.9.2.	La verifica dell'omogeneità del calcestruzzo in elementi strutturali	»	552
4.3.10.	Il verbale di prova	»	552
4.4.	L'impact-echo	»	553
4.4.1.	Generalità	»	553
4.4.2.	I principi del metodo	»	554
4.4.3.	La metodologia.....	»	556
4.4.3.1.	Le procedure previste dalla norma ASTM C 1383	»	557
4.4.4.	L'impiego nelle strutture in c.a.p.....	»	559
4.5.	La prova di estrazione (pull-out)	»	562
4.5.1.	Generalità	»	562
4.5.1.1.	La taratura della attrezzatura.....	»	562
4.5.1.2.	La prova capo-test.....	»	562
4.5.1.2.1.	La modalità di esecuzione per gli inserti post-inseriti ..	»	564
4.5.2.	La prova pull-out secondo la norma UNI 10157.....	»	565
4.5.2.1.	I punti di prova	»	566
4.5.2.2.	L'esecuzione della prova.....	»	566
4.5.3.	Il meccanismo di rottura del calcestruzzo.....	»	568
4.5.3.1.	La tensione media di estrazione	»	569
4.5.4.	Il resoconto della prova pull-out	»	571
4.5.5.	La curva di correlazione.....	»	571
4.6.	La prova di aderenza (pull-off).....	»	572
4.6.1.	Generalità	»	572
4.6.2.	L'esecuzione della prova.....	»	573
4.6.3.	Le limitazioni	»	574
4.7.	La profondità di penetrazione di sonde d'acciaio (sonda Windsor)	»	575
4.7.1.	La modalità d'esecuzione.....	»	575
4.7.2.	L'elaborazione delle misure	»	577

4.8.	La stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo con i metodi combinati	»	580
4.8.1.	Il metodo Sonreb	»	580
4.8.1.1.	La procedura esecutiva	»	581
4.8.1.1.1.	La scheda prove di qualità del calcestruzzo	»	582
4.8.1.2.	La stima della resistenza a compressione in opera del calcestruzzo	»	586
4.8.1.3.	Il grado di approssimazione	»	590
4.9.	Relazione delle valutazioni sulle caratteristiche dei materiali	»	590
4.10.	L'elaborazione e l'interpretazione dei risultati di prova	»	591

Parte Quinta

I metodi di analisi strutturale

1. L'analisi globale della struttura

1.1.	Considerazioni	»	595
1.2.	Il ricorso ai soli SLU per la valutazione della sicurezza	»	596
1.2.1.	Gli stati limite e le relative probabilità di superamento	»	597
1.2.1.1.	Verifica dello stato limite di collasso	»	599
1.2.1.2.	Verifica dello stato limite di salvaguardia della vita	»	599
1.2.1.3.	Verifica dello stato limite di esercizio	»	599
1.2.2.	La vita nominale di un'opera strutturale	»	599
1.2.3.	Le classi d'uso delle costruzioni	»	600
1.2.4.	I periodi di riferimento e di ritorno dell'azione sismica	»	601
1.2.5.	L'azione sismica	»	601
1.2.6.	La combinazione delle azioni	»	602
1.3.	I metodi di analisi strutturale	»	603
1.3.1.	I criteri di modellazione della struttura e l'azione sismica	»	603
1.3.2.	L'analisi lineare	»	604
1.3.2.1.	L'analisi statica lineare con spettro elastico	»	604
1.3.2.1.1.	Le condizioni di applicabilità	»	606
1.3.2.1.2.	La verifica degli elementi strutturali	»	607
1.3.2.2.	L'analisi statica lineare con fattore q	»	608
1.3.2.2.1.	La scelta del valore del fattore di struttura	»	608
1.3.2.2.2.	La verifica degli elementi strutturali	»	609
1.3.2.3.	L'analisi lineare dinamica	»	610
1.3.2.4.	L'analisi semplificata con stima delle rigidità dei pilastri	»	611
1.3.3.	L'analisi non lineare	»	614
1.3.3.1.	L'analisi non lineare dinamica	»	614
1.3.3.2.	L'analisi non lineare statica o push-over	»	615
1.3.3.2.1.	La curva di capacità reale della struttura	»	616
1.3.3.2.2.	La curva bi-lineare equivalente	»	618
1.3.3.2.3.	La domanda massima in spostamento del sistema equivalente	»	619
1.3.3.2.4.	I criteri di verifica elementi/meccanismi sia duttili che fragili	»	620
1.4.	La duttilità strutturale	»	621
1.4.1.	Generalità	»	621
1.4.2.	I livelli di duttilità, la duttilità richiesta e disponibile	»	622
1.4.3.	La duttilità della sezione trasversale. Il legame momento-curvatura	»	623

1.4.3.1.	Il diagramma momento-curvatura.....	»	624
1.4.3.2.	La duttilità della sezione di una trave e un pilastro.....	»	626
1.4.4.	La duttilità degli elementi strutturali.....	»	627
1.4.5.	La duttilità globale della struttura.....	»	631
1.4.6.	L'attivazione dei meccanismi resistenti duttili o fragili.....	»	634
1.4.6.1.	L'effetto $P-\Delta$	»	637
1.4.6.2.	Gli elementi strutturali duttili e fragili.....	»	639
1.4.7.	La verifica dei meccanismi strutturali duttili. La rotazione rispetto alla corda.....	»	640
1.4.7.1.	La capacità di rotazione nello stato limite di salvaguardia della vita.....	»	643
1.4.7.2.	La capacità di rotazione totale nello stato limite di esercizio.....	»	643
1.4.7.3.	La capacità di rotazione ultima in condizioni di collasso.....	»	645
1.4.7.4.	Il controllo in termini di deformazioni.....	»	648
1.4.8.	La verifica dei meccanismi fragili: taglio in travi, pilastri e pareti.....	»	648
1.4.8.1.	La resistenza flessionale in termini taglianti.....	»	649
1.4.8.2.	Conclusioni e considerazioni.....	»	653
1.4.8.3.	La sintesi dei criteri di verifica dei meccanismi duttili e fragili.....	»	654
1.4.8.4.	La verifica dei nodi trave-pilastro non interamente confinati.....	»	655
1.4.9.	Il quadro fessurativo.....	»	657
1.5.	Gli elementi non strutturali.....	»	657
1.5.1.	Le indicazioni per gli elementi non strutturali e gli impianti soggetti ad azioni sismiche.....	»	657
1.5.2.	L'individuazione dei componenti non strutturali che richiedono una valutazione sismica.....	»	658
1.5.3.	I criteri di progettazione e le azioni di verifica.....	»	659
1.5.4.	Le raccomandazioni per la limitazione del rischio di fuoriuscite incontrollate di gas a causa del sisma.....	»	659
2. Gli interventi strutturali di adeguamento e di miglioramento			
2.1.	Le categorie di intervento strutturale.....		665
2.2.	I criteri e i tipi d'intervento di consolidamento.....	»	665
2.3.	I contenuti del progetto dell'intervento.....	»	667
2.4.	La definizione degli interventi edilizi sugli edifici esistenti nel T.U. sull'edilizia.....	»	668
2.4.1.	L'intervento di adeguamento.....	»	668
2.4.2.	L'intervento di miglioramento.....	»	669
2.4.2.1.	I pannelli di muratura in blocchi.....	»	670
2.4.2.2.	Le pareti in c.a. gettato.....	»	671
2.4.2.3.	Le pareti in lastre di c.a. prefabbricate.....	»	671
2.4.2.4.	L'allargamento dei pilastri con "muri ad ala".....	»	671
2.4.2.5.	I controventi reticolari metallici.....	»	672
2.4.3.	La riparazione o l'intervento locale.....	»	672
2.4.4.	L'obbligatorietà del collaudo statico degli interventi di adeguamento e di miglioramento.....	»	673
2.4.5.	Le definizioni del Fib bollettino n. 24.....	»	674
2.4.5.1.	Gli interventi strutturali di adeguamento sismico.....	»	674
2.5.	Gli interventi sugli elementi strutturali.....	»	676
2.5.1.	I materiali.....	»	676
2.5.2.	L'incamiciatura in c.a.....	»	676
2.5.2.1.	L'incamiciatura di pilastri.....	»	676
2.5.2.1.1.	Le incamiciature di tipo aperto.....	»	678

2.5.2.2.	L'incamiciatura di travi	»	679
2.5.2.2.1.	Gli interventi in zona compressa	»	682
2.5.2.3.	La valutazione delle resistenza degli elementi incamiciati	»	683
2.5.3.	L'incamiciatura in acciaio	»	684
2.5.3.1.	L'incamiciatura di pilastri	»	684
2.5.3.2.	L'aumento della resistenza a taglio	»	686
3.5.3.3.	L'azione di confinamento	»	686
2.5.3.4.	Il miglioramento della giunzioni per aderenza	»	688
2.5.3.5.	Il beton plaqu�	»	688
2.5.3.5.1.	Il beton plaqu� per incollaggio diretto	»	688
2.5.3.5.2.	Il beton plaqu� per iniezione	»	690
2.5.4.	La fasciatura in materiali fibrorinforzati (FRP)	»	690
2.5.4.1.	Generalit�	»	690
2.5.4.2.	I componenti dei materiali compositi	»	692
2.5.4.2.1.	Le fibre	»	692
2.5.4.2.2.	Le matrici	»	692
2.5.4.2.3.	Gli adesivi	»	692
2.5.4.3.	Le categorie di sistemi di rinforzo strutturale	»	692
2.5.4.4.	Il controllo dei materiali	»	693
2.5.4.5.	Le specifiche tecniche dei laminati fibrorinforzati	»	693
2.5.4.5.1.	I materiali fibrorinforzati pultrusi	»	693
2.5.4.5.2.	I laminati prodotti in situ	»	694
2.5.4.6.	I controlli di accettazione dei materiali in cantiere	»	695
2.5.4.7.	Il rinforzo a flessione	»	696
2.5.4.7.1.	Generalit�	»	696
2.5.4.7.2.	La verifica delle frecce	»	696
2.5.4.7.3.	La duttilit� per gli elementi inflessi	»	696
2.5.4.7.4.	I limiti del rinforzo FRP nel caso di esposizione al fuoco	»	697
2.5.4.7.5.	La tecnica esecutiva	»	697
2.5.4.8.	Il rinforzo a taglio	»	698
2.5.4.8.1.	Generalit�	»	698
2.5.4.8.2.	Le configurazioni per il rinforzo a taglio	»	698
2.5.4.8.2.1.	Le limitazioni e i dettagli costruttivi	»	703
2.5.4.9.	Il rinforzo a torsione	»	704
2.5.4.9.1.	Generalit�	»	704
2.5.4.9.2.	Le configurazioni per il rinforzo a torsione	»	705
2.5.4.9.3.	Le limitazioni e i dettagli costruttivi	»	705
2.5.4.10.	Il confinamento	»	705
2.5.4.10.1.	Generalit�	»	705
2.5.4.10.2.	La resistenza a compressione centrata	»	706
2.5.4.10.2.1.	La stima della pressione laterale di confinamento ...	»	707
2.5.4.10.2.1.1.	Le sezioni circolari	»	707
2.5.4.10.2.1.2.	Le sezioni quadrate e rettangolari	»	709
2.5.4.10.3.	La duttilit� di elementi pressoinflessi confinati con FRP	»	711
2.5.4.11.	Gli interventi in zona sismica	»	711
2.5.4.11.1.	I principi generali di intervento	»	711
2.5.4.11.1.1.	Gli obiettivi della progettazione	»	711
2.5.4.11.1.2.	I criteri per la scelta dell'intervento con FRP	»	711
2.5.4.11.2.	Le strategie di intervento	»	712
2.5.4.11.2.1.	L'eliminazione dei meccanismi di collasso di tipo fragile. Gli interventi sui nodi non confinati	»	712

2.5.4.11.2.1.1. L'incremento di resistenza a taglio dei nodi....	»	713
2.5.4.11.2.1.2. L'incremento di resistenza a taglio del pannello di nodi	»	714
2.5.4.11.2.1.3. Il confinamento delle estremità dei pilastri	»	715
2.5.4.11.2.2. L'eliminazione dei meccanismi di collasso di piano	»	716
2.5.4.11.2.3. L'incremento della capacità deformativa globale di una struttura.....	»	717
2.5.4.11.2.3.1. L'incremento della capacità deformativa locale degli elementi.....	»	717
2.5.4.11.2.3.2. L'applicazione del criterio della gerarchia delle resistenze	»	717
2.5.4.12. L'installazione, il monitoraggio e il controllo	»	717
2.5.4.12.1. Il controllo e preparazione del substrato	»	718
2.5.4.12.1.1. La valutazione del deterioramento del substrato...	»	718
2.5.4.12.1.2. La rimozione e la ricostruzione del substrato e l'eventuale trattamento delle barre metalliche	»	718
2.5.4.12.1.3. La preparazione del substrato.....	»	719
2.5.4.12.2. Le raccomandazioni per l'esecuzione a regola d'arte	»	719
2.5.4.12.2.1. Le condizioni di umidità e di temperatura dell'ambiente e del substrato.....	»	720
2.5.4.12.2.2. I particolari costruttivi e le norme di esecuzione ..	»	720
2.5.4.12.3. Il controllo di qualità dell'esecuzione	»	720
2.5.4.12.3.1. Le prove semi-distruttive	»	721
2.5.4.12.3.1.1. La prova di strappo normale	»	721
2.5.4.12.3.1.2. La prova di strappo a taglio.....	»	721
2.5.4.12.3.2. Le prove non distruttive	»	721
2.5.4.12.3.2.1. Le prove di tipo acustico stimolato	»	722
2.5.4.12.3.2.2. Le prove ultrasoniche ad alta frequenza	»	722
2.5.4.12.3.2.3. Le prove termografiche	»	722
2.5.4.12.3.2.4. Le prove in emissione acustica	»	722
2.5.4.12.4. Il monitoraggio dell'intervento di rinforzo	»	723
2.5.4.13. La modalità di rottura per delaminazione	»	723
2.5.4.13.1. Gli accorgimenti per prevenire la delaminazione	»	727
2.5.4.13.2. La modellazione del legame di aderenza tra rinforzo e calcestruzzo	»	728
2.5.5. Il sistema CAM.....	»	730
2.5.5.1. Le modalità esecutive.....	»	730
2.5.5.2. L'incremento della resistenza dei nodi.....	»	731
2.5.5.3. L'incremento della resistenza a taglio delle estremità delle travi ..	»	733
2.5.5.4. Il confinamento delle estremità dei pilastri	»	734
2.5.6. La riparazione delle fessure con resina epossidica.....	»	735
2.5.6.1. Le iniezioni sotto pressioni con miscele leganti	»	736
2.5.6.2. La riparazione di fessure mediante sigillatura a spatola	»	738
2.5.6.3. La riparazione di fessure con resina mediante colaggio	»	738
2.5.7. Il ripristino localizzato con conglomerati	»	738
2.5.8. Il ripristino e il rinforzo dell'armatura metallica	»	739
2.5.8.1. Il rinforzo dei nodi trave-pilastro	»	739
2.5.8.2. L'ancoraggio e la saldatura delle barre	»	740
2.5.9. I provvedimenti per le strutture di fondazione	»	741
2.5.10. Il consolidamento dei solai.....	»	742

2.5.11. La sostituzione integrale di un pilastro danneggiato.....	»	744
2.5.12. Gli interventi su elementi non strutturali.....	»	744
2.5.12.1. Il collegamento delle tamponature alla cornice strutturale	»	745
2.5.12.1.1. Gli interventi di collegamento perimetrale a pilastri e travi emergenti	»	745
2.5.12.1.2. Gli interventi di collegamento perimetrale a pilastri e travi a spessore	»	751
2.5.12.2. Gli interventi di collegamento trasversale delle tamponature a doppia fodera.....	»	753
2.5.12.2.1. L'esecuzione di diatoni con apertura passante	»	755
2.5.12.2.2. L'esecuzione di diatoni con apertura non passante	»	756
2.5.12.2.3. Gli interventi con rete per prevenire rotture fragili di murature	»	756
2.5.12.2.4. Gli interventi di collegamento perimetrale a pilastri e travi/solai.....	»	757
2.6. I criteri per migliorare le caratteristiche delle prestazioni sismiche	»	761
2.7. Interventi sui capannoni industriali e commerciali.....	»	763
2.7.1. La valutazione della vulnerabilità e interventi per le costruzioni ad uso produttivo in zona sismica.....	»	765
 Indice analitico.....	»	 775

PREFAZIONE

Questo testo vuole costituire una riflessione sull'aspetto della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti (scuole, ospedali, edifici per civile abitazione ecc.) in riferimento al cap. 8 delle Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), problema di grande attualità anche alla luce dei recenti eventi sismici che hanno interessato alcune regioni italiane.

Un aspetto significativo è che per effetto del sisma hanno subito danni più o meno rilevanti anche edifici relativamente recenti e non progettati per resistere a soli carichi verticali o con procedimenti di calcolo approssimati, facendo emergere molteplici aspetti di ordine esecutivo rispetto a quello progettato per esempio la non corretta piegatura delle estremità delle staffe nei pilastri, l'insufficiente armatura a taglio di pilastri normali e di quelli tozzi o resi tozzi, l'interazione della tompagnatura con il telaio, l'insufficiente armatura nei nodi non interamente confinati, l'insufficiente ancoraggio delle armature longitudinali delle travi nei nodi, infine la non conformità del calcestruzzo impiegato rispetto alle previsioni progettuali. La manifestazione ripetitiva dei danni strutturali è la dimostrazione che alcuni difetti esecutivi delle strutture in c.a. sembrano rispettare delle vere e proprie regole costruttive; a tal fine è consigliabile che disegni originali di carpenteria siano sempre verificati con il costruito.

La situazione non è facile perché ci si trova ad operare su edifici costruiti in epoche e con norme tecniche diverse, a volte caratterizzati da particolari irregolarità strutturali in pianta e in elevazione, non di rado a causa di sopraelevazioni o ampliamenti abusive, successivamente "regolarizzate". Esprimere un giudizio di vulnerabilità sismica su un edificio esistente di una certa età di servizio (per esempio di 30-40-50 anni), si dimostra lavoro non semplice per i conseguenti aspetti legali in caso di diverso comportamento o risposta sismica dell'edificio durante il sisma reale rispetto a quello ipotizzato nella fase di verifica della vulnerabilità sismica. Si fa rilevare che non esiste un imminente pericolo di crollo della struttura ma il livello di danneggiamento di alcuni elementi strutturali potrebbe comprometterne l'agibilità e quindi l'uso; il comportamento di una struttura progettata per resistere a soli carichi verticali, prescindendo solitamente dall'interazione delle tamponature, non può essere uguale a quello della stessa progettata

con criteri antisismici anche se oggi superati da norme di tipo prettamente prestazionali e non prescrittivi.

Le norme tecniche al cap. 8 integrato con la C.M. n. 617/2009 danno precise indicazioni sui criteri da adottare per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti; aspetti questi che nel campo privato si scontrano con gli elevati costi di indagine sulle strutture in opera per rispettare le percentuali minime in relazione al livello di conoscenza da adottare (LC1, LC2 e LC3) per acquisire informazioni sulla geometria, dettagli costruttivi e proprietà dei materiali in base al tipo di analisi strutturale globale e dei valori dei fattori di confidenza; le indagini sono fondamentali per il tecnico incaricato al fine di potere esprimere un giudizio e predisporre gli eventuali interventi di consolidamento o di adeguamento necessari soprattutto per pilastri, travi e nodi non interamente confinati. Una questione rilevante è data dall'interpretazione delle prove distruttive e non distruttive per la stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo o meglio dei calcestruzzi posti in opera ai fini della verifica globale. Le forze sismiche danneggiano sempre le parti più deboli delle strutture: non correttamente realizzate o in idonee dal punto vista della risposta sismica come si è verificato, per esempio, per alcuni capannoni prefabbricati per uso industriale e commerciale.

PARTE PRIMA
I criteri generali

1. LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA PER GLI EDIFICI ESISTENTI

1.1. La definizione di costruzione esistente

Il paragrafo 8.1 delle Norme tecniche per le costruzioni definisce costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura portante completamente realizzata, quindi anche costruzioni recenti, per esempio:

- edifici per civile abitazione;
- edifici per uffici;
- edifici commerciali;
- scuole;
- teatri;
- università;
- caserme;
- ospedali;
- alberghi;
- musei;
- impianti sportivi;
- edifici industriali, ecc.

Uno studio del Censis (1999) ha individuato due categorie principali di vulnerabilità fisica degli edifici esistenti:

- degrado per vetustà, dipendente dal periodo di costruzione;
- degrado per ragioni costruttive, dipendente dalla modalità di costruzione.

Per gli edifici in c.a. aventi più di 40 anni di vita i controlli sulle strutture e gli interventi di manutenzione si rendono necessari per prevenire ed evitare crolli o dissesti. Il tecnico si troverà ad operare su edifici costruiti negli anni '50, '60, '70, '80, '90 del secolo passato fino ai giorni nostri, con norme tecniche via via più complesse, escluse le opere abusive. Una particolare attenzione va posta agli edifici costruiti durante il cosiddetto "boom edilizio" della fine degli anni Sessanta poiché caratterizzati da esecuzioni poco controllate e, quindi, con alte probabilità di impiego di materiali strutturali di qualità e

resistenza a volte discutibili fidandosi troppo dei miracoli delle strutture in calcestruzzo armato ma trascurando il rischio sismico del territorio nazionale; pertanto ora molti edifici si trovano in zone sismiche senza avere i requisiti antisismici. Si premette che le prime norme tecniche per le zone sismiche sono state emanate in applicazione della legge n. 64/1974.

Si ricorda che con l'art. 4 della legge n. 1086/1971 per le strutture in c.a. si ha la denuncia delle opere all'Ufficio del Genio Civile competente per territorio, quindi il tecnico, a partire da tale data, potrà reperire gli elaborati progettuali architettonici e strutturali degli edifici regolarmente progettati e di quelli abusivamente realizzati per i quali è stata presentata richiesta di sanatoria, oggetto di verifica della vulnerabilità sismica. Su documenti acquisiti riguardanti gli immobili abusivi però non conviene fare molto affidamento, poiché è sempre preferibile rilevare lo stato di fatto strutturale e architettonico; i documenti acquisiti tuttavia sono sempre utili come parametro di riferimento.

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole di ordine generale; di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, tenendo conto delle indicazioni generali previste dalle Norme tecniche e dalla C.M. n. 617/2009.

La C.M. n. 617/2009 chiarisce che il problema della sicurezza delle costruzioni esistenti è di fondamentale importanza in Italia, da un lato per l'elevata vulnerabilità, soprattutto rispetto alle azioni sismiche, dall'altro per il valore storico-architettonico-artistico-ambientale di gran parte del patrimonio edilizio esistente. A ciò si aggiunge la notevole varietà di tipologie e sub-tipologie strutturali, quali, per esempio nell'ambito delle strutture murarie, quelle che scaturiscono dalle diversificazioni delle caratteristiche dell'apparecchio murario e degli orizzontamenti, e dalla presenza di catene, tiranti e altri dispositivi di collegamento.

Ne deriva una particolare complessità delle problematiche coinvolte e una difficile standardizzazione dei metodi di verifica e di progetto e dell'uso delle numerose tecnologie di intervento tradizionali e moderne oggi disponibili. Per questo, più che nelle altre parti delle Norme tecniche, è stato seguito un approccio prestazionale, con l'adozione di poche regole di carattere generale e alcune indicazioni importanti per la correttezza delle diverse fasi di analisi, progettazione, esecuzione.

1.1.1. L'inquadramento generale

Le Norme tecniche per le costruzioni individuano tre categorie di intervento strutturale sugli edifici esistenti:

- adeguamento;
- miglioramento;
- riparazione,

stabilendo altresì le condizioni per le quali si rende necessario l'intervento di adeguamento e l'obbligatorietà del collaudo statico, sia per gli interventi di adeguamento che per quelli di miglioramento.

Vengono definiti alcuni passaggi fondamentali delle procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti, individuati:

- nell'analisi storico-critica;
- nel rilievo geometrico-strutturale;
- nella caratterizzazione meccanica dei materiali;
- nella definizione dei livelli di conoscenza (LC) e dei conseguenti fattori di confidenza (FC);
- nella definizione delle azioni;
- nella relativa analisi strutturale.

Si definiscono poi i criteri di utilizzazione dei materiali, tradizionali e non, per la riparazione e il rafforzamento delle strutture esistenti.

Vengono, inoltre, definiti:

- alcuni fondamentali criteri di intervento, comuni a tutte le tipologie, quali la regolarità e l'uniformità di applicazione degli interventi, la delicatezza e l'importanza della fase esecutiva e le priorità da assegnare agli interventi, conseguentemente agli esiti

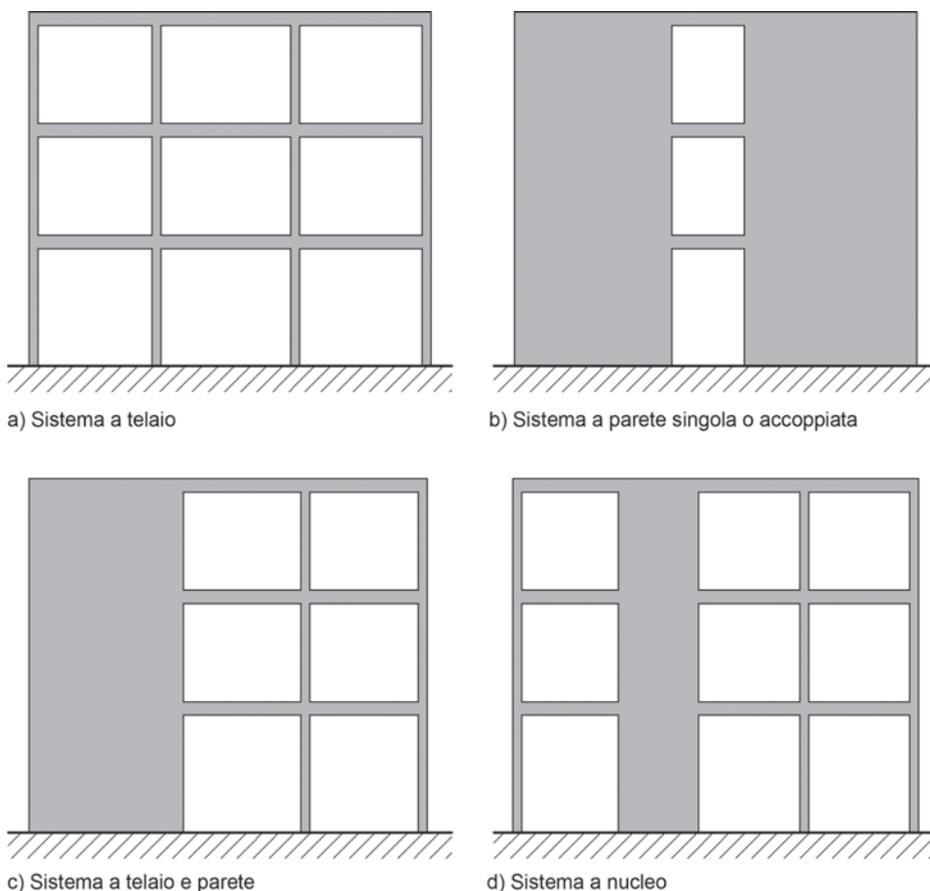


Figura 1.1. Tipologie di strutture in c.a.

della valutazione, per contrastare innanzitutto lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili;

- i passi principali di un progetto di adeguamento o di miglioramento sismico, che, partendo dalla verifica della struttura prima dell'intervento, con identificazione delle carenze strutturali e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo stato limite ultimo (e lo stato limite di esercizio, se richiesto), procede con la scelta dell'intervento e delle tecniche da adottare, con il dimensionamento preliminare, l'analisi strutturale e la verifica finale con la determinazione del nuovo livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo stato limite ultimo (e lo stato limite di esercizio, se richiesto).

Vengono poi individuati gli interventi specifici per le tipologie strutturali precedentemente individuate.

Nella figura 1.1 sono illustrati i sistemi strutturali più impiegati in edilizia:

- telai resistenti a momento;
- sistemi a parete singola o accoppiate pareti in c.a.;
- sistemi telaio-parete in c.a.;
- sistemi a nucleo in c.a.

1.1.2. L'obbligatorietà delle indagini strutturali

La C.M. n. 617/2009, come premesso, ripropone, fra gli altri, i concetti di livello di conoscenza (relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali) e di fattore di confidenza che modificano i parametri di capacità in ragione del livello di conoscenza.

In pratica, per eseguire la verifica sismica globale o locale di un edificio esistente è opportuno raccogliere precise informazioni sulle strutture in elevazione e in fondazione, ai fini di una loro approfondita identificazione e in particolare acquisire dati relativi a:

- livello di degrado del calcestruzzo e delle armature;
- resistenza a compressione attuale del calcestruzzo in opera o meglio delle diverse miscele impiegate, stimate con indagini distruttive e non distruttive o metodi combinati;
- caratteristiche geometriche (diametro, superficie liscia o ad aderenza migliorata) e meccaniche (tensione di snervamento, tensione di rottura) dell'acciaio per c.a. impiegato;
- dettagli costruttivi degli elementi strutturali in elevazione e in fondazione, in particolare:
 - armature delle travi e dei pilastri;
 - armatura dei nodi travi-pilastri, soprattutto dei nodi non interamente confinati;
 - armature delle solette rampanti/travi a ginocchio delle scale;
 - ancoraggio delle estremità delle armature, specialmente se è stato impiegato ferro liscio, ecc.
- comportamento a flessione di alcuni elementi strutturali (travi, solai e sbalzi) mediante l'esecuzione di prove di carico;
- rilievo degli eventuali danneggiamenti subiti dalle strutture per diverse cause (ecces-

so di carichi verticali di servizio, scosse sismiche, incendi in appartamenti, perdita di liquami dalle colonne di scarico, materiali corrosivi, degrado in generale, ecc.).

1.1.3. I danni strutturali causati dalle azioni sismiche

L'entità dei danni, più o meno gravi, dipende oltre dall'intensità dell'azione sismica anche da vari fattori come, per esempio, la progettazione dell'edificio per resistere ai soli carichi verticali, gli errori esecutivi riguardanti le disposizione delle armature, la modesta resistenza a compressione del calcestruzzo impiegato rispetto a quello previsto dall'eventuale progetto, ecc.

Naturalmente devono essere condotte anche le necessarie indagini geotecniche, fondamentali per le considerazioni di ordine globale, soprattutto in caso di evidenti cedimenti differenziali desumibili dall'analisi del quadro fessurativo dell'intero edificio.

Si premette che l'evento sismico si può sovrapporre anche a situazioni di carenze strutturali riguardanti alcuni elementi strutturali o a cedimenti differenziali di fondazione. L'azione sismica, in particolari casi, può avere accelerato l'evidenziazione del difetto costruttivo o progettuale di alcuni elementi strutturali che nella fase di esercizio della struttura non sono stati riparati o consolidati alle prime manifestazioni del problema di degrado o di dissesto.

È stato fatto rilevare che durante l'azione sismica la compartecipazione degli elementi non strutturali (tamponamenti, muri divisorii interni, pavimenti, ecc.) provoca un comportamento d'insieme ed effetti locali diversi da quelli assunti per lo schema statico di calcolo, ridotto al solo scheletro portante. In genere, il calcolo per soli carichi verticali è a vantaggio di sicurezza, ma la risposta della struttura reale al sisma sarebbe diversa se si trovasse realmente priva degli elementi edilizi non strutturali nelle stesse condizioni dello schema usato per il calcolo.

In sintesi, deve essere sempre condotta un'analisi globale del danno per avere informazioni sulla risposta della struttura reale all'azione sismica, per valutare le residue capacità di resistenza della struttura e stabilire i necessari interventi di riparazione, consolidamento o di adeguamento¹. L'analisi globale di danno deve appurare anche l'eventuale formazione di deformazioni permanenti d'insieme come per esempio il fuori piombo di pilastri per effetto dello spostamento rigido di un solaio nel suo piano. In alcuni casi il fuori piombo di pilastri può essere causato dall'azione di biella di tamponamenti².

Negli edifici esistenti, progettati prevalentemente per carichi verticali, le cause di collasso per effetto delle azioni sismiche possono essere del tipo³:

- rottura fragile:
 - rottura a taglio delle sezioni di pilastri e travi;

¹ AA.VV., *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti. Analisi, riparazione e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 1981, p. 19.

² AA.VV., *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti. Analisi, riparazione e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 1981, p. 19.

³ Ghersi A., *Verifica sismica di edifici esistenti in c.a., 5 – Comportamento dell'edificio; rottura fragile*, Corso di aggiornamento. Progettazione strutturale sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, Spoleto, 25-27 febbraio 2010.

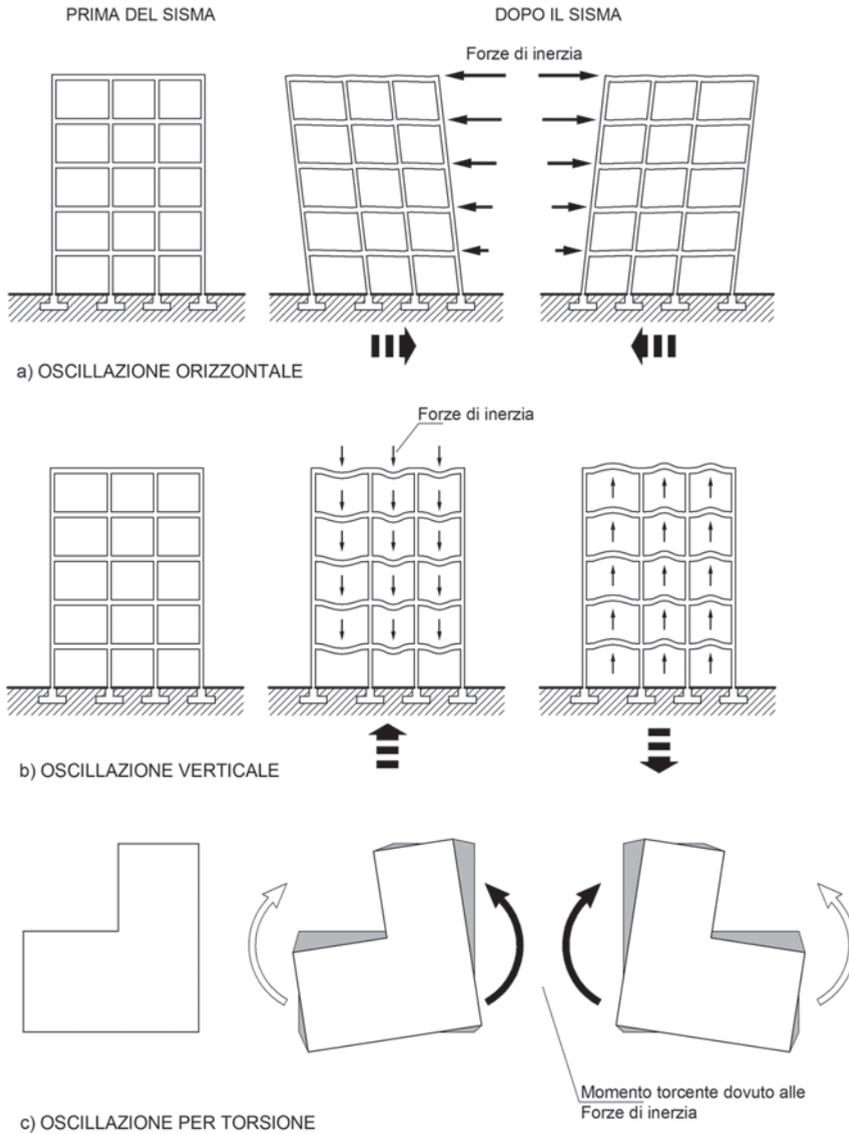


Figura 1.2. Oscillazioni che può subire un edificio per effetto del sisma

- rotture a taglio dei nodi;
- scorrimento tra testa pilastro e trave in corrispondenza alle riprese di getto.
- rottura per esaurimento della duttilità:
 - formazione di estese plasticizzazioni alle estremità delle travi o di pilastri, fino al raggiungimento della rotazione ultima di una sezione.

La rottura di tipo fragile può manifestarsi anche per modeste accelerazioni orizzontali a_g : si può verificare in termini di resistenza, con analisi lineare, senza fattore di struttura (σ)

con valore molto basso). Nella valutazione si deve tenere conto anche degli elementi non strutturali, tramezzi e tamponature molto resistenti, che hanno un ruolo rilevante per basse azioni sismiche. Il rischio di rottura fragile si può ridurre attuando questi interventi⁴:

- cerchiatura dei nodi non intermente confinati;
- staffatura efficace alle estremità dei pilastri;
- cucitura tra pilastri e travi.

L'esaurimento della duttilità si può manifestare nel caso specifico dei meccanismi di piano; si può verificare in termini di resistenza, con analisi lineare, con basso fattore di struttura, oppure in termini di deformazioni, con analisi lineare o non lineare⁵.

Nella figura 1.2 sono riportate le oscillazioni che può subire un edificio durante un sisma.

1.1.4. I crolli di edifici non dovuti ad azioni sismiche

È stato rilevato che gli edifici in c.a. costruiti negli anni '50 e '60 prima della legge n. 1086/1971 richiedono frequentemente e diffusamente interventi di risanamento per travi e pilastri, infatti non è raro il caso di crolli non dovuti ad azioni sismiche⁶.

Gli interventi di consolidamento devono essere preceduti da analisi statiche dell'intero edificio, in quanto a volte i crolli parziali o totali sono imputabili a interventi corretti ma eseguiti male; nello specifico i crolli possono essere causati dall'indebolimento contemporaneo delle sezioni trasversali di un certo numero di pilastri centrali in c.a. solitamente a piano terra o a piano seminterrato, già soggetti a fenomeni di degrado del calcestruzzo e delle armature e progettati per resistere a soli carichi verticali. Il collasso è agevolato anche dalla mancanza della doppia orditura dei telai e, quindi, di non sufficiente ridondanza in caso di cedimento di pilastri specialmente interni. Gli interventi di consolidamento devono interessare un pilastro alla volta, utilizzando apposite opere provvisoriale.

La riduzione della sezione trasversale dei pilastri (soprattutto interni) per effetto dello spalling a causa degli inevitabili fenomeni di degrado, e dell'armatura longitudinale e trasversale con la sezione dei tondini notevolmente ridotta (figura 1.3) a causa della corrosione determina una sezione resistente del pilastro sottodimensionata che può provocare il collasso per compressione pura o per presso-flessione e, quindi, con rotture istantanee di tipo fragile. A volte il crollo o le fessurazioni in travi sono evitati dall'azione dei tamponamenti molto resistenti, quindi, più che di strutture in c.a., si dovrebbe parlare di strutture miste c.a. e muratura portante. I tamponamenti solitamente non sono considerati nel calcolo del telaio piano come carico distribuito sulla trave. Per gli edifici

⁴ Ghersi A., *Verifica sismica di edifici esistenti in c.a., 5 – Comportamento dell'edificio; rottura fragile*, Corso di aggiornamento. Progettazione strutturale sulla base delle Norme tecniche per le costruzioni 2008, Spoleto, 25-27 febbraio 2010.

⁵ Ghersi A., *Verifica sismica di edifici esistenti in c.a., 4 – Valutazione del comportamento e verifiche*, Corso di aggiornamento. Progettazione strutturale sulla base delle Norme tecniche per le costruzioni 2008, Spoleto, 25-27 febbraio 2010.

⁶ Occhiuzzi A. e Fabbrocino G., *Crolli e affidabilità delle strutture*, Atti del Convegno Internazionale organizzato da Nicola Augenti e Gaetano Manfredi, Napoli, 15-16 maggio 2003, p. 28.

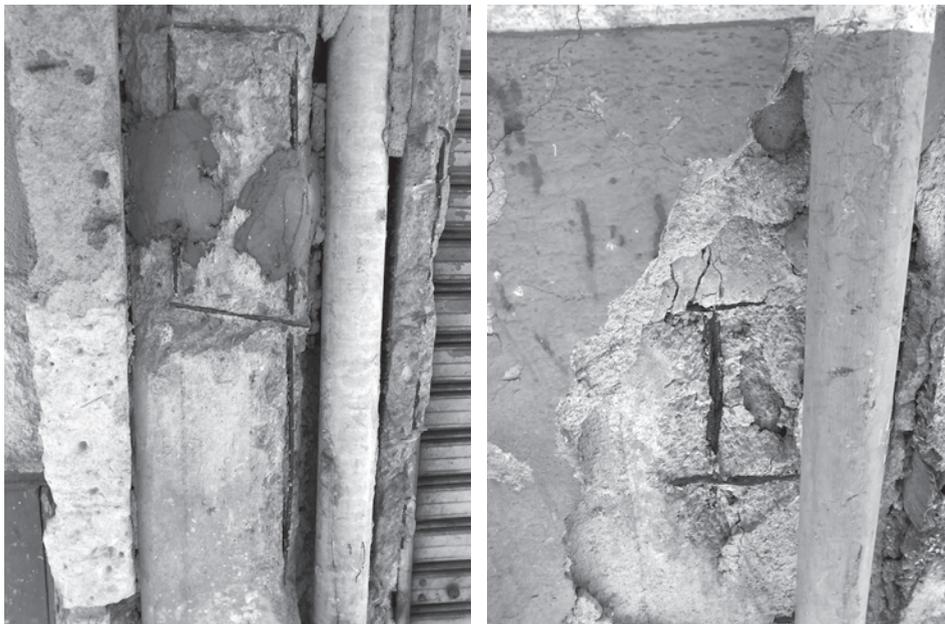


Figura 1.3. Esempio di corrosione e riduzione della sezione dell'armatura longitudinale e trasversale di un pilastro perimetrale in c.a. di un edificio per civile abitazione anteriore agli anni '70, sito in Palermo. Si noti il diametro sottile dei ferri longitudinali e il passo e il diametro sottile delle staffe

costruiti fino a un certo periodo, per esempio fino alla prima metà degli anni '70, è difficile valutare l'effettiva capacità di dissipazione delle tamponature per l'incertezza dell'aspetto collaborativo nei telai soggetti ad azione sismica, tuttavia se regolarmente distribuite in pianta e in elevazione si può avere una significativa riduzione dell'azione sismica, ma si possono registrare seri danni nei nodi non interamente confinati o fessure da taglio all'estremità dei pilastri come si vedrà in seguito.

1.1.4.1. L'aspetto geotecnico. Le carenti indagini geotecniche

I dissesti che si verificano nelle strutture intelaiate in elevazione in c.a. a causa di cedimenti differenziali del piano di fondazione sono imputabili a errati progettazione e calcolo del sistema di fondazione (per esempio: impiego di fondazioni dirette al posto di quelle indirette, scarsa rigidità delle travi rovesce; mancato collegamento dei plinti, assenza del reticolo di travi rovesce, mancata previsione di giunti strutturali in fondazione e in elevazione nel caso di edifici molto articolati in pianta e in altezza, ecc.) non supportati da approfondite indagini geotecniche e geologiche all'epoca della costruzione. Si premette che i cedimenti differenziali di pilastri perimetrali (intermedi o d'angolo) o interni provocano lesioni localizzate all'intradosso delle travi in prossimità del pilastro che cede e all'estradosso del pilastro opposto; il cedimento differenziale innesca anche la formazione di fessure di taglio sui tompagnamenti e sulle tramezzature collocate tra i pilastri e le travi interessate dal cedimento.

In tali casi gli interventi di consolidamento sono molto complessi e costosi poiché richie-

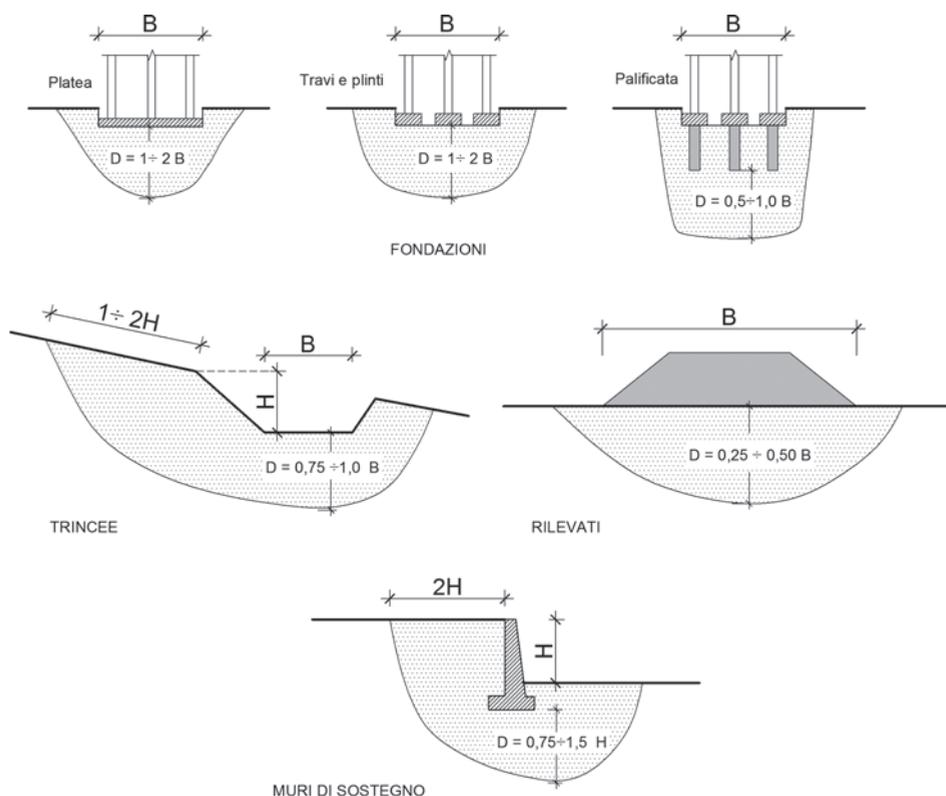


Figura 1.4. Indicazioni sul volume significativo del sottosuolo a seconda del tipo e delle dimensioni del manufatto, nel caso di terreno omogeneo (fonte: Associazione Geotecnica Italiana, *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*, 1977, ridisegno)

dono un ampio studio delle caratteristiche geotecniche del terreno esteso anche alle aree limitrofe al fine di stabilire dei criteri di accettabilità dei cedimenti differenziali e quindi la sicurezza strutturale⁷. L'aspetto da esaminare diventa anche quello dell'interazione terreno-struttura in elevazione attraverso l'analisi del quadro fessurativo e della sua evoluzione nel tempo attraverso idoneo monitoraggio. Non è raro riscontrare in edifici nuovi appena ultimati segni di cedimenti differenziali che non dovrebbero essere trascurati ma monitorati per potere intervenire tempestivamente qualora non tendessero a stabilizzarsi.

1.1.4.2. 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)*⁸, emanate dalla Regione Toscana nel 2004, rilevano che i risultati di tali indagini, finalizzate alla determinazione della qualità del calcestruzzo, hanno evidenziato nella maggior

⁷ Occhiuzzi A. e Fabbrocino G., *Crolli e affidabilità delle strutture*, Atti del Convegno Internazionale organizzato da Nicola Augenti e Gaetano Manfredi, Napoli, 15-16 maggio 2003, p. 242.

⁸ Le istruzioni sono state approvate con Decreto dirigenziale n. 4301 del 21 luglio 2004.

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:

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

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

Negli edifici per civile abitazione, a carattere speculativo, la ripresa dei lavori dopo una prolungata sospensione non esclude la possibilità di impiego di un calcestruzzo con composizione e resistenza a compressione certamente diverse da quello delle strutture preesistenti; per tale ragione i controlli sulla vulnerabilità sismica devono essere estesi a tutte le parti della struttura e non essere circoscritti solo alle zone più agevoli al fine di individuare le zone omogenee di calcestruzzo.

Riguardo all'acciaio delle armature non è escluso di trovare in uno stesso edificio elementi strutturali in c.a. realizzati con l'impiego di armature lisce e altri realizzati con acciaio ad aderenza migliorata; nella fattispecie in caso di esecuzione di interventi successivi per sopraelevazione, ampliamento, naturalmente applicando le prescrizioni delle Norme tecniche del momento escluse le sopraelevazioni di natura abusiva. In generale, per accertarne le caratteristiche meccaniche è opportuno procedere all'estrazione di campioni di barre rappresentativi dei tipi di acciaio realmente impiegati, per confrontarne la resistenza a trazione con le prescrizioni normative e per l'esecuzione del progetto simulato.

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 fosse incompleta o peggio inattendibile si dovranno eseguire 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, alla natura e alle caratteristiche dei terreni e all'ispezione e al rilievo delle strutture fondali, indagini chiaramente costose.

1.2. I criteri generali

Il paragrafo 8.2 delle Norme tecniche stabilisce che per quanto non diversamente specificato le disposizioni di carattere generale contenute nelle Norme tecniche stesse costituiscono il riferimento anche per le costruzioni esistenti.

Nel caso di interventi non dichiaratamente strutturali (impiantistici, redistribuzione de-

gli spazi, ecc.) dovrà essere valutata la loro possibile interazione con gli SLU e gli SLE della struttura o parti di essa.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti, in parte già evidenziati dall'O.P.C.M. n. 3274/2003, ora trasfusa nelle Norme tecniche per le costruzioni e nella C.M. n. 617/2009:

- la costruzione deve riflettere lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.

Nella definizione dei modelli strutturali si dovrà, inoltre, tenere conto che:

- la geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive;
- la conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse;
- i carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati "fattori di confidenza", che modificano i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

1.3. Le condizioni

1.3.1. *Le finalità*

Il paragrafo C8.3 della C.M. n. 617/2009 chiarisce che per valutazione della sicurezza si intende un procedimento quantitativo volto a:

- stabilire se una struttura esistente è in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle Norme tecniche, oppure
- determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle Norme tecniche, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

Le Norme tecniche forniscono gli strumenti per la valutazione di specifiche costruzioni e i risultati non sono estendibili a costruzioni diverse, pur appartenenti alla stessa tipologia. Nell'effettuare la valutazione sarà opportuno tener conto delle informazioni, ove disponibili, derivanti dall'esame del comportamento di costruzioni simili sottoposte ad

azioni di tipo simile a quelle di verifica. Ciò vale particolarmente quando si effettuano verifiche di sicurezza rispetto alle azioni sismiche.

I requisiti di sicurezza devono fare riferimento allo stato di danneggiamento della struttura, mediante gli stati limite definiti al:

- § 2.2 delle Norme tecniche, per le combinazioni di carico non sismiche (stati limite ultimi e stati limite di esercizio);
- § 3.2.1 delle Norme tecniche, per le combinazioni di carico che includono il sisma (stato limite di collasso, stato limite di salvaguardia della vita e stato limite di esercizio, a sua volta distinto in stato limite di danno e stato limite di operatività).

1.3.2. I presupposti

Il paragrafo 8.3. delle Norme tecniche stabilisce anche che le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento e uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto strutturale o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidezza.

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 è data dalle *Istruzioni tecniche. Criteri per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato* (Regione Toscana, luglio 2004), naturalmente da coordinare con le disposizioni delle Norme tecniche.

Nella tabella 1.1 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.

Tabella 1.1. Motivazioni per la valutazione dell'idoneità di una struttura esistente

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 causati da: <ul style="list-style-type: none"> – incendio; – esplosioni; – sisma; – fatica; – sovraccarichi.

3	Utilizzo o adeguamento di elementi strutturali che possono essere risultati non conformi alle specifiche o dei 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 Sopraelevazione

1.3.3. La relazione sui livelli di sicurezza della costruzione prima e dopo l'intervento

La C.M. n. 617/2009 evidenzia che la valutazione della sicurezza di un edificio dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali e si dovrà determinare il livello di sicurezza della costruzione prima e dopo l'intervento che può essere di adeguamento, di miglioramento e di riparazione.

Il progettista dovrà esplicitare, in un'apposita relazione, i livelli di sicurezza già presenti e quelli raggiunti con l'intervento strutturale, nonché le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione. Tale aspetto richiede l'esecuzione di indagini in opera non indifferenti con aggravio di costi perché il progettista dovrà necessariamente supportare le proprie determinazioni sulla valutazione della sicurezza dell'edificio oggetto di analisi.

La valutazione della sicurezza, per le costruzioni esistenti, potrà essere eseguita con riferimento ai soli stati limite ultimi.

Una guida può essere data dalla Deliberazione n. 1168 del 26 luglio 2010 della Regione Marche, *Linee di indirizzo per la stesura della relazione tecnica per le verifiche di vulnerabilità di edifici esistenti ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 e della circolare n. 617/2009.*

1.3.4. Le categorie di situazioni per le quali è obbligatoria la verifica di sicurezza

1.3.4.1. Le categorie

Il paragrafo C8.3 della C.M. n. 617/2009 evidenzia che le Norme tecniche individuano due grandi categorie di situazioni nelle quali è obbligatorio effettuare la verifica di sicurezza, essendo entrambe le categorie comunque riconducibili a un significativo peggioramento delle condizioni di sicurezza iniziali o di progetto secondo la normativa dell'epoca della costruzione:

- variazioni, improvvise o lente, indipendenti dalla volontà dell'uomo (per esempio: danni dovuti al terremoto, a carichi verticali eccessivi, a urti, ecc., danni dovuti a cedimenti fondali, degrado delle malte nella muratura, corrosione delle armature nel c.a., ecc., errori progettuali o esecutivi, incluse le situazioni in cui i materiali o la geometria dell'opera non corrispondono ai dati progettuali);
- variazioni dovute all'intervento dell'uomo, che incide direttamente e volontariamente sulla struttura (v. § 8.4 delle Norme tecniche) oppure sulle azioni (per esempio:

aumento dei carichi verticali dovuto a cambiamento di destinazione d'uso), o che incide indirettamente sul comportamento della struttura (per esempio gli interventi non dichiaratamente strutturali, già discussi nel § 8.2 delle Norme tecniche).

1.3.4.2. Le modalità di verifica

Le modalità di verifica di sicurezza dipendono dal modo in cui le variazioni strutturali si riflettono sul comportamento della struttura:

- variazioni relative a porzioni limitate della struttura, che influiscono solo sul comportamento locale di uno o più elementi strutturali o di porzioni limitate della struttura (v. anche § 8.4 delle Norme tecniche);
- variazioni che implicano sostanziali differenze di comportamento globale della struttura.

Nel caso *a*) la verifica potrà concernere solamente le porzioni interessate dalle variazioni apportate (per esempio la verifica relativa alla sostituzione, al rafforzamento o alla semplice variazione di carico su un singolo campo di solaio potrà concernere solo quel campo e gli elementi che lo sostengono).

Nel caso *b*), invece, la verifica sarà necessariamente finalizzata a determinare l'effettivo comportamento della struttura nella nuova configurazione, per esempio conseguente a un danneggiamento, a un intervento, ecc.

1.3.4.2.1. Le situazioni escluse

Dall'obbligatorietà della verifica di sicurezza è normalmente esclusa la situazione determinata da una variazione delle azioni che interviene a seguito di una revisione della normativa, per la parte che definisce l'entità delle azioni, o delle zonazioni che differenziano le azioni ambientali (sisma, neve, vento) nelle diverse parti del territorio italiano.

1.3.4.2.2. Gli esiti delle verifiche

Gli esiti delle verifiche di sicurezza dovranno permettere di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle Norme tecniche.

Le alternative sono sintetizzabili nella continuazione dell'uso attuale, nella modifica della destinazione d'uso o nell'adozione di opportune cautele e, infine, nella necessità di effettuare un intervento di aumento o ripristino della capacità portante, che può ricadere nella fattispecie del miglioramento dell'adeguamento.

1.3.4.2.3. Le verifiche per le opere pubbliche strategiche con finalità di protezione civile

Per le opere pubbliche strategiche con finalità di protezione civile o suscettibili di conseguenze rilevanti in caso di collasso, date le possibili implicazioni economiche e sociali degli esiti delle verifiche, è opportuno che le stesse siano anche esaminate da revisori non intervenuti nella valutazione.

1.3.4.2.4. La necessità dei provvedimenti di valutazione della sicurezza

Nella C.M. n. 617/2009 si aggiunge che è evidente che i provvedimenti di valutazione della sicurezza sono necessari e improcrastinabili nel caso in cui non siano soddisfatte le

verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio; più complessa è la situazione che si determina nel momento in cui si manifesti l'inadeguatezza di un'opera rispetto alle azioni ambientali, non controllabili dall'uomo e soggette ad ampia variabilità nel tempo e incertezza nella loro determinazione.

Per le problematiche connesse, non si può pensare di imporre l'obbligatorietà dell'intervento o del cambiamento di destinazione d'uso o, addirittura, la messa fuori servizio dell'opera, non appena se ne riscontri l'inadeguatezza.

Le decisioni da adottare dovranno necessariamente essere calibrate sulle singole situazioni (in relazione alla gravità dell'inadeguatezza, alle conseguenze, alle disponibilità economiche e alle implicazioni in termini di pubblica incolumità). Saranno i proprietari o i gestori delle singole opere, siano essi enti pubblici o privati o singoli cittadini, a definire il provvedimento più idoneo, eventualmente individuando uno o più livelli delle azioni, commisurati alla vita nominale restante e alla classe d'uso, rispetto ai quali si rende necessario effettuare l'intervento di incremento della sicurezza entro un tempo prestabilito.

1.3.4.3. Gli interventi di miglioramento sui beni tutelati

Per i beni tutelati, la C.M. n. 617/2009 evidenzia che gli interventi di miglioramento devono essere in linea di principio in grado di conciliare le esigenze di conservazione con quelle di sicurezza, ferma restando la necessità di valutare quest'ultima.

Tuttavia, per la stessa ragione, su tali beni devono essere evitati interventi che insieme li alterino in modo evidente e che richiedano l'esecuzione di opere invasive, come può avvenire nel caso di ampliamenti o di sopraelevazioni, o l'attribuzione di destinazioni d'uso particolarmente gravose.

1.3.5. *Gli edifici a struttura mista*

Il paragrafo 8.7.3 delle Norme tecniche prende in considerazione alcune tipologie di edifici esistenti che possono essere classificate come strutture miste; le situazioni più ricorrenti sono:

- edifici i cui muri perimetrali siano in muratura portante e la cui struttura verticale interna sia costituita da pilastri (per esempio, in c.a. o acciaio);
- edifici in muratura che abbiano subito sopraelevazioni, il cui sistema strutturale sia, per esempio, in c.a. o acciaio, o edifici in c.a. o acciaio sopraelevati in muratura;
- edifici che abbiano subito ampliamenti in pianta, il cui il sistema strutturale (per esempio in c.a. o in acciaio) sia interconnesso con quello esistente in muratura.

Per queste situazioni è necessario prevedere modellazioni che tengano in considerazione le particolarità strutturali identificate e l'interazione tra elementi strutturali di diverso materiale e rigidità, ricorrendo, ove necessario, a metodi di analisi non lineare di comprovata validità.

Il paragrafo C8.7.3 della C.M. n. 617/2009 rileva che gli edifici a struttura mista sono molto presenti nel panorama degli edifici esistenti. L'interpretazione del loro comportamento e la relativa modellazione sono in generale più complicate di quelle degli edifici

con struttura di caratteristiche omogenee, a causa delle interazioni tra i diversi comportamenti dei materiali costitutivi degli elementi strutturali.

La chiamata in causa dei comportamenti in campo non lineare implica interazioni non gestibili attraverso modelli e metodi semplificati, a meno di non trascurare completamente il contributo alla capacità resistente sismica di un'intera categoria di elementi dello stesso materiale, assunti come elementi secondari. Tale operazione, peraltro, è ammissibile solo a condizione che le interazioni degli elementi trascurati siano favorevoli al comportamento sismico della struttura mista.

1.3.6. L'intervento riguardante porzioni limitate della costruzione

Al paragrafo 8.3 delle Norme tecniche è disposto che qualora le problematiche riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

È consigliabile, prima di esprimere qualsiasi giudizio strutturale, acquisire informazioni ed eseguire controlli sull'intera struttura.

1.3.7. Le fasi del processo di valutazione della sicurezza

Sulla base delle considerazioni precedenti il processo di valutazione della sicurezza degli edifici esistenti è articolabile nelle seguenti fasi:

- conoscenza della struttura: geometria, caratteristiche dei materiali strutturali impiegati, condizioni di conservazione;
- definizioni delle prestazioni richieste in termini di pericolosità sismica del sito e livello di protezione sismica accertato;
- valutazione della struttura esistente applicando modelli di calcolo e metodi di analisi e verifica compatibili con il comportamento sismico delle strutture esistenti progettate in assenza di normative specifiche;
- progetto di adeguamento e miglioramento sismico della struttura in funzione dei vincoli e delle prestazioni richieste;
- valutazione di sicurezza della struttura esistente dopo l'adeguamento sismico.

1.3.8. Il piano di manutenzione strutturale

Un utile strumento ai fini delle indagini, almeno per i nuovi edifici, può essere costituito dal piano di manutenzione della parte strutturale, previsto dal paragrafo 10.1 delle Norme tecniche per le costruzioni.

Il piano di manutenzione delle strutture è il documento complementare al progetto strutturale che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi dell'intera opera, l'attività di manutenzione degli interventi al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico. Il piano di manutenzione delle strutture – coordinato con quello generale della costruzione – costituisce parte essenziale della progettazione strutturale. Esso deve essere corredato, in ogni caso, dal manuale d'uso, dal manuale di manutenzione e dal programma di manutenzione delle strutture.

PARTE SECONDA
L'individuazione delle caratteristiche
e dei dettagli costruttivi

1. LE INDAGINI

1.1. Le fasi

La programmazione delle indagini strutturali sugli edifici esistenti pubblici o privati, come stabilito dalle norme tecniche per le costruzioni e dalla C.M. n. 617/2009, si dovrebbe svolgere secondo le fasi trattate nei successivi paragrafi che riflettono gli specifici aspetti normativi secondo il tipo di analisi strutturale da applicare. Per un edificio esistente, totalmente completato anche nelle rifiniture e abitato, le indagini sulle strutture possono essere difficili e complesse per i notevoli costi di esecuzione e di ripristino degli elementi strutturali soggetti a controlli distruttivi come il carotaggio, specialmente se riguardanti i piani destinati ad abitazione, per i piani cantinati o seminterrati le indagini sono solitamente meno complicate anche la facilità di accesso ai locali. Le norme tecniche, come si vedrà in seguito, prescrivono delle percentuali minime di indagine in funzione del livello di conoscenza.

Chiaramente ogni edificio esistente costituisce un caso particolare, quindi il tecnico verificatore deve affidarsi anche al suo intuito per cogliere gli aspetti strutturali più significativi o critici, ora facilitati dai numerosi studi sulle modalità realizzative e di calcolo delle strutture esistenti in linea di massima fino ad un certo periodo normativo. Gli aspetti sulle indagini, i tipi di indagine, gli elementi strutturali da indagare e l'interpretazione dei risultati per il valore da adottare per le caratteristiche meccaniche dei materiali (calcestruzzo e acciaio per c.a.) che, soprattutto in caso di contenzioso strutturale, possono influenzare il giudizio sulla vulnerabilità sismica dell'edificio in questione.

1.2. L'analisi storica e la raccolta degli elaborati progettuali originali

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato (paragrafo 8.5.1, Norme tecniche).

Al paragrafo C8.5.1 della C.M. n. 617/2009 si aggiunge che generalmente, quando si trattano costruzioni esistenti, può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva. Per le costruzioni, e in particolare per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica, è talvolta possibile, attraverso una ricerca archivistica, raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire e interpretare le diverse fasi edilizie.

In ogni caso, soprattutto nel caso di edifici in muratura, sia in assenza sia in presenza di documentazione parziale, prima di procedere alle indispensabili operazioni di rilievo geometrico, è opportuno svolgere delle considerazioni sullo sviluppo storico del quartiere in cui l'edificio è situato (a meno che si tratti di edifici isolati), basandosi su testi specialistici, cercando di acquisire informazioni sugli aspetti urbanistici e storici che ne hanno condizionato e guidato lo sviluppo, con particolare riferimento agli aspetti di interesse per l'edificio in esame.

La ricostruzione della storia edificatoria dell'edificio, o della costruzione più in generale, consentirà anche di verificare quanti e quali terremoti esso abbia subito in passato. Questo sorta di valutazione sperimentale della vulnerabilità sismica dell'edificio rispetto ai terremoti passati è di notevole utilità, perché consente di valutarne il funzionamento, a patto che la sua configurazione strutturale e le caratteristiche dei materiali costruttivi non siano stati, nel frattempo, modificati in maniera significativa.

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.).

1.2.1. Le fonti da considerare

Il paragrafo C8A.1.B.1 della C.M. n. 617/2009 indica che le fonti da considerare per la acquisizione dei dati necessari sono:

- i documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- l'eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- il rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- le prove in situ e in laboratorio.

Si aggiunge che devono essere acquisiti, qualora possibile, gli atti relativi al collaudo statico delle strutture o alla certificazione di idoneità statica per le opere abusive per le quali è stata presentata domanda di sanatoria.

1.2.2. I dati da acquisire

In generale, il paragrafo C8A.1.B.2 della C.M. n. 617/2009 stabilisce che dovranno essere acquisiti i dati relativi a:

- identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità indicati al § 7.2.2 delle Norme tecniche; quanto sopra viene ottenuto sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati con indagini in situ, oppure con un rilievo ex novo;
- identificazione delle strutture di fondazione;
- identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato al § 3.2.2 delle Norme tecniche;
- informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
- 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 eventuali azioni sismiche di progetto;
- descrizione della classe d'uso, della categoria e dalla vita nominale secondo il § 2.4 delle Norme tecniche;
- 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.

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

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 (ferri piegati, ferri rettilinei) e delle staffe, le proprietà meccaniche dei materiali utilizzati e le caratteristiche dei collegamenti e dei particolari costruttivi.

Nelle *Linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici strategici e rilevanti* (Regione Basilicata – Cris, 2005) si indica, per ogni edificio (o corpo di fabbrica), di ricercare le seguenti informazioni:

- descrizione della struttura (geometria generale, tipologia della struttura, materiali costituenti le strutture verticali e orizzontali);
- descrizione dello stato generale di conservazione e dell'eventuale quadro fessurativo rilevato;
- anno o epoca di progettazione;
- anno o epoca di inizio lavori;
- anno o epoca di completamento lavori;
- anno e tipo degli interventi successivi al completamento dell'opera, con particolare attenzione agli interventi che hanno variato la struttura, rafforzandola (miglioramento, adeguamento sismico) o indebolendola (sopraelevazioni, creazione di piani porticati, riorganizzazione delle aperture nelle pareti murarie, apertura di vani nelle pareti murarie portanti, ecc.);
- storia sismica dell'edificio con riferimento agli eventi subiti e agli eventuali dati e ai danni rilevati.

1.2.3. L'identificazione della struttura

L'identificazione dell'organismo strutturale può essere effettuata, in caso di disponibilità dei documenti di progetto originali, attraverso lo studio degli stessi e verificando le eventuali modificazioni intervenute nel tempo. In caso contrario è necessario effettuare un rilievo ex novo della struttura.

Nelle *Linee guida finalizzate alla mitigazione del rischio sismico. Verifica strutturale degli edifici in cemento armato in attuazione dell'O.P.C.M. 3274/2003*, emanate dalla Regione Campania, si legge che la valutazione della sicurezza delle strutture esistenti deve essere strettamente correlata al livello di conoscenza raggiunto. Di conseguenza il

rilievo delle strutture portanti, ossia l'identificazione strutturale, rappresenta un passo di fondamentale importanza nel processo di verifica.

La procedura di indagine è costituita da una fase preliminare di rilievo e da un programma dettagliato di campionamento e di prove finalizzato alla ricostruzione dei dettagli costruttivi e alla caratterizzazione meccanica dei materiali. La fase preliminare, oltre a individuare la struttura dal punto di vista geometrico, ha lo scopo di verificare l'esistenza di un'eventuale situazione patologica, di descriverne la natura e darne una prima valutazione sommaria per quanto riguarda i possibili effetti sulle prestazioni, sulla vita residua e sulla sicurezza della struttura. Fondamentale in questa fase è la capacità di riconoscere eventuali danni e deficienze statiche che possano prefigurare situazioni di crisi imminente e, quindi, la predisposizione tempestiva di opportuni interventi di rinforzo. Questa fase dovrebbe essere supportata da informazioni riguardanti la "storia" dell'edificio. In particolare, sono utili i documenti di progetto originali ovvero qualsiasi documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione attraverso cui è possibile risalire al periodo (o ai periodi) di costruzione, che permettono, dunque, di caratterizzare l'edificio attraverso le tecniche costruttive dell'epoca o, per gli edifici più recenti, le normative vigenti all'epoca della costruzione.

Dallo studio dei documenti progettuali originali è possibile inoltre individuare eventuali interventi eseguiti sull'edificio non previsti nel progetto originale, quali ampliamenti, sopraelevazioni e/o variazioni delle destinazioni d'uso che potrebbero aver influito o influire sulla statica dello stesso e quindi sul suo comportamento globale.

L'ispezione dell'edificio e le informazioni preliminari raccolte consentono di programmare il tipo e il numero di indagini strumentali e di verificare, inoltre, la fattibilità tecnica delle indagini programmate.

Stabiliti la tipologia e il numero di prove, il piano di campionamento costituisce una fase estremamente delicata, in quanto deve cercare di riflettere al meglio le caratteristiche di variabilità della struttura. La pianificazione delle indagini strumentali è infatti un processo interattivo nel senso che le ipotesi di lavoro sulle quali si basa la campagna sperimentale possono e devono essere revisionate e aggiornate man mano che si acquisiscono ulteriori informazioni, sia in relazione alla tipologia di indagine da eseguire, in funzione della natura del problema, sia in relazione al numero di saggi da effettuare, in funzione della dimensione dello stesso.

1.2.3.1. L'identificazione delle strutture di fondazione

In caso di disponibilità dei documenti di progetto originali, dall'esame degli stessi è possibile identificare la tipologia e la geometria delle strutture di fondazione. Devono essere raccolte le informazioni relative alle caratteristiche geotecniche dei terreni delle aree di sedime, alla stabilità delle stesse, all'eventuale presenza di falda idrica.

Al fine di valutare le reali condizioni di sito, è necessario verificare la presenza di eventuali fenomeni superficiali che potrebbero interessare o aver interessato l'area di sedime della costruzione quali:

- frane;
- cedimenti del terreno/sprofondamenti;
- crolli;
- erosione.

Inoltre, le condizioni di sito devono essere descritte rilevando la presenza e l'eventuale

modificazione dei siti che potrebbe essere intervenuta successivamente alla costruzione in relazione a:

- pendii, rilevati, dirupi, scarpate, scavi;
- cavità;
- presenza di falde acquifere;
- opere di sostegno rilevanti;
- opere strutturali interrato;
- opere infrastrutturali interrato (condotte, sottoservizi, ecc.);
- spinte di terrapieni.

Nel caso in cui si siano verificate una o più modificazioni nell'interno dell'area di sedime è necessario valutare l'influenza diretta o indiretta di queste sulla costruzione.

In caso di non reperibilità dei documenti originali di progetto devono raccogliersi informazioni sugli edifici circostanti ed effettuare indagini per la determinazione delle strutture di fondazione attraverso prove dirette (per esempio scavi) ovvero indirette (metodo georadar o ancora, nel caso di fondazioni di tipo indiretto, attraverso prove soniche).

1.2.3.2. L'acquisizione di informazioni sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti

In caso di incompletezza o mancata disponibilità dei documenti di progetto originali si perviene all'identificazione delle strutture principali, dei quantitativi di armatura, delle proprietà meccaniche dei materiali per mezzo di prove di tipo diretto e indiretto. La quantità degli elementi da indagare viene individuata sulla base del livello di conoscenza che si intende perseguire. Per la caratterizzazione dei dettagli costruttivi, oltre alle indagini in situ, è necessario anche effettuare un progetto simulato secondo la pratica dell'epoca della costruzione.

Le zone da indagare sono da individuare prioritariamente in corrispondenza degli elementi strutturali che hanno maggior influenza sulla risposta strutturale, per esempio pilastri corti, pilastri pilotis, attacco in fondazione dei pilastri, travi di accoppiamento delle pareti, ecc.

Si osserva che in genere alcune zone sono difficili da indagare, come l'armatura superiore delle travi, la chiusura delle staffe solitamente posizionata all'estradosso, la presenza di ferri piegati, le lunghezze di sovrapposizione e le armature nei nodi trave pilastro, a meno di estese demolizioni. Pertanto, sarebbe opportuno, tenendo conto della pratica dell'epoca della costruzione, limitarsi a saggi campione e all'uso di tecniche non distruttive.

Per una corretta esecuzione delle indagini distruttive, l'individuazione degli elementi e delle parti di questi oggetti di prova dovrà essere programmata in considerazione della funzione statica degli elementi strutturali, dell'accessibilità, del tasso di lavoro degli stessi, delle tipologie presenti di sezione strutturale e della complessità della struttura nel suo insieme.

In generale, è necessario considerare i seguenti aspetti:

- per l'elemento pilastro:

- evitare di scegliere elementi con elevati tassi di lavoro (analisi della tensione media nei confronti dei carichi verticali effettuata attraverso l'individuazione delle aree di influenza);
- scegliere zone soggette a modeste sollecitazioni flessionali (ad esempio zona ad $h/2$);
- evitare gli estremi dell'elemento in quanto potrebbero dare luogo a risultati falsati dalla segregazione dei componenti del getto;
- effettuare prelievi passanti al fine di ottenere campioni il più possibile indisturbati;
- rispettare le norme UNI sul rapporto $\Phi_{\text{carota}}/\Phi_{\text{inerte max}} > 3$.
- per l'elemento trave:
 - eseguire preferibilmente prove non distruttive;
 - nel caso di prove distruttive: scegliere zone soggette a modeste sollecitazioni flessionali: zona a $l/5$ dai nodi;
 - rispettare le norme UNI sul rapporto $\Phi_{\text{carota}}/\Phi_{\text{inerte max}} > 3$.

Come detto, particolare attenzione dovrà essere posta alle ipotesi sulla possibile distribuzione delle armature nei nodi dove risulta difficile procedere a indagini conoscitive sia di tipo distruttivo che non distruttivo.

Di norma, ai fini della caratterizzazione geometrica e meccanica delle strutture principali è possibile eseguire prove distruttive e non distruttive.

1.2.3.3. Le informazioni sui possibili difetti locali dei materiali

È necessario individuare e descrivere i possibili difetti originali dei materiali o quelli che si sono manifestati nel tempo, quali per esempio:

- nidi di ghiaia;
- corrosione delle armature;
- espulsione copriferri;
- lesioni da ritiro nell'elemento strutturale c.a.;
- carbonatazione del calcestruzzo;
- attacco da cloruri del calcestruzzo;
- disgregazione del calcestruzzo.

Nel caso di corrosione delle armature si deve valutare l'effetto del fenomeno sulle condizioni di aderenza, sulla riduzione della sezione resistente, sulla velocità di avanzamento del fenomeno.

1.2.3.4. Informazioni sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate

È necessario individuare la presenza di dissesti sia sulle parti strutturali che non strutturali. In particolare, per gli elementi strutturali, bisogna porre particolare attenzione alle seguenti problematiche:

- possibilità di martellamento con strutture adiacenti;
- ridotta aderenza per fenomeni di ossidazione;

- fuori piombo costruttivi;
- pilastri tozzi;
- carenze di controventamento in una o più direzioni;
- presenza di lesioni verticali nei pilastri che potrebbero indicare schiacciamenti;
- fessurazioni dovute a taglio/flessione;
- marcata inflessione degli orizzontamenti;
- lesioni su elementi non strutturali indotte da cedimenti fondali;
- danni dovuti ad eventi sismici precedenti o ad azioni accidentali;
- infiltrazioni;
- umidità;
- fessurazioni nei tompagni esterni;
- fessurazioni nelle pareti divisorie;
- imperfetta chiusura degli infissi e delle porte.

Dal rilievo dei dissesti che interessano la struttura è possibile individuare eventuali condizioni di manifesto pericolo strutturale. In particolare, bisogna porre particolare attenzione ai fenomeni di schiacciamento degli elementi strutturali verticali, di marcata inflessione dei solai, di cedimenti differenziali o di fuori piombo considerevoli, di possibili crolli di elementi o parti di elementi strutturali e non strutturali.

È necessario inoltre individuare e descrivere gli eventuali interventi di riparazione o rinforzo effettuati sulla costruzione nell'arco della vita della stessa, tra cui:

- placcaggio/cerchiatura o ringrosso degli elementi verticali;
- placcaggio delle travi;
- placcaggio dei nodi;
- rifacimento dei copriferri con ripristino delle armature;
- risarcitura di lesioni;
- sostituzione della copertura con solai latero-cementizi;
- creazione di nuove strutture di controvento;
- consolidamento delle fondazioni.

L'individuazione degli interventi effettuati sulle strutture può essere eseguita attraverso l'accertamento diretto dello stato di fatto e dal confronto di questo con i documenti progettuali originali ove disponibili.

1.2.3.5. Le informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore adottato per il fattore di riduzione q , se applicabile

In caso di disponibilità dei documenti di progetto strutturale originali e in considerazione delle normative vigenti all'epoca di costruzione del fabbricato, è necessario verificare quali sono stati i criteri adottati nel progetto originale, individuando le carenze rispetto alle attuali filosofie di progetto in zona sismica e l'evoluzione della classificazione sismica dell'area di sedime della costruzione.

È necessario, inoltre, valutare il coefficiente di struttura più rappresentativo della tipologia strutturale oggetto di studio ovvero verificare quello adottato nel progetto originale. Si osserva che generalmente le strutture esistenti non sono progettate secondo i moderni criteri antisismici:

- nel rispetto del criterio della gerarchia delle resistenze (o *capacity design*) e
- non posseggono adeguata duttilità,

pertanto per tali strutture vanno adottati valori cautelativi del coefficiente di struttura; si suggerisce di adottare il minimo valore suggerito dalle norme nei casi in cui non si conducono analisi non lineari finalizzate alla valutazione di q .

Il tecnico deve conoscere le norme tecniche applicate o vigenti all'epoca per la progettazione e la costruzione dell'edificio, per l'eventuale collaudo statico, chiaramente questo aspetto è applicabile agli edifici regolarmente costruiti.

Un caso a parte costituiscono gli edifici in c.a. abusivamente costruiti in economia e senza il supporto ufficio di un progettista strutturale, fermo restando l'oscuro aspetto esecutivo sulla qualità e resistenza a compressione delle diverse miscele di calcestruzzo e del tipo di acciaio per c.a. (liscio, ad aderenza migliorata o entrambi) impiegati. Sulla qualità del calcestruzzo si possono avere dubbi specialmente se è stato fornito da terzi a prezzo molto conveniente per il committente o per l'appaltatore. Gli aspetti delle armature degli elementi strutturali sono trattati successivamente. In tali casi le indagini distruttive e non distruttive dovrebbero essere molto approfondite, non trascurando però gli aspetti geologici e geotecnici. Non è raccomandato fare molto affidamento sull'esito positivo della certificazione di idoneità statica o del progetto strutturale simulato redatti ai fini della regolarizzazione dell'edificio abusivo poiché tali documenti, il più delle volte, hanno una valenza prettamente amministrativa, ma non riflettono fedelmente la realtà della struttura effettivamente realizzata.

Sulle strutture in c.a. sono state emanate le seguenti norme tecniche:

1907

R.D. 10 gennaio 1907, All. B – Prescrizioni per l'esecuzione delle opere in cemento armato.

1925

D.P. 15 maggio 1925 – Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato.

1927

R.D.L. 4 settembre 1927, n. 1981-2325 – Nuove norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato.

1928

R.D.L. 7 giugno 1928 – Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato.

1929

R.D.L. 4 aprile 1929 n. 592 – Norme per l'accettazione di cementi speciali.

1930

R.D.L. 18 luglio 1930 n. 1133 – Norme per le prove di accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio.

1932

R.D.L. 23 maggio 1932, n. 832 – Norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio.

Legge 22 dicembre 1932, n. 1830 – Conversione in legge del R.D.L. 23 maggio 1932 n. 832, recante norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio.

1933

R.D.L. 29 luglio 1933, n. 1213 – Norme per l'accettazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio.

1937

R.D.L. 22 novembre 1937, n. 2105 – Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti.

1939

R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2228 – Accettazione dei leganti idraulici.

R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2229 – Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato.

R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2233 – Accettazione dei materiali laterizi.

1947

Decreto Provvisorio del Capo dello Stato 20 dicembre 1947, n. 1516 – Norme per l'esecuzione e l'impiego delle strutture di cemento armato precompresso.

1957

C.M. 23 maggio 1957, n. 1472 – Armature delle strutture in c.a.

1962

Legge 25 novembre 1962, n. 1684 – Elenco delle località sismiche di prima e seconda categoria.

1965

C.M. 17 maggio 1965, n. 1547 – Caratteristiche e modalità d'impiego nel cemento armato degli acciai ad aderenza migliorata.

Legge 26 maggio 1965, n. 595 – Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici.

1967

C.M. 11 settembre 1967, n. 3525 – Caratteristiche e modalità d'impiego nel cemento armato degli acciai ad aderenza migliorata. Carichi di snervamento e di rottura.

1968

D.M. 3 giugno 1968 – Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi.

1971

Legge 5 novembre 1971, n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e a struttura metallica.

1972

D.M. 30 maggio 1972 – Norme tecniche alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio normale e precompresso.

D.M. 31 agosto 1972 – Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche.

1974

Legge 2 febbraio 1974, n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

C.M. 14 febbraio 1974, n. 11951 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. Istruzioni per l'applicazione.

D.M. 30 maggio 1974 – Norme tecniche alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio normale e precompresso.

1976

D.M. 16 giugno 1976 – Norme tecniche per la esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

1978

D.M. 3 ottobre 1978 – Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.

1980

C.M. 9 gennaio 1980, n. 20049 – Legge 5 novembre 1971 n. 1086 – Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

D.M. 26 marzo 1980 – Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.

C.M. 9 gennaio 1980, n. 20049 – Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

1981

D.M. 21 gennaio 1981 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i 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. 2 luglio 1981 – Normativa per le riparazioni e il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania, Puglia.

C.M. 30 luglio 1981, n. 21745 – Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione e il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati da sisma.

C.M. 12 dicembre 1981, n. 22120 – Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione e il rafforzamento degli edifici in cemento armato e a struttura metallica danneggiati dal sisma.

1983

D.M. 1° aprile 1983 – Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.

1984

D.M. 20 novembre 1984 – Modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1968 recante norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi.

1985

D.M. 27 luglio 1985 – Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

1987

D.M. 20 novembre 1987 – Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.

1988

D.M. 11 marzo 1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

C.M. 24 settembre 1988, n. 30483 – Legge 2 febbraio 1974, n. 64, art. 1. D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

1989

C.M. 4 gennaio 1989, n. 30787 – Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo degli edifici in muratura e per il consolidamento.

C.M. 16 marzo 1989, n. 31104 – Legge 2 febbraio 1974, n. 64, art. 1. Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.

1992

D.M. 14 febbraio 1992 – Norme tecniche per l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

1993

D.P.R. 21 aprile 1993, n. 246 – Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione.

C.M. 24 giugno 1993, n. 37406 – Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 13 settembre 1993 – Abrogazione di alcune disposizioni contenute nel decreto ministeriale 3 giugno 1968 concernente nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi.

1996

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 per le costruzioni in zone sismiche.

D.M. 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.

C.M. 4 luglio 1996, n. 156 AA.GG./STC – Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi, di cui al D.M. 16 gennaio 1996.

C.M. 15 ottobre 1996, n. 252 AA.GG./S.T.C. – Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 9 gennaio 1996.

C.M. 29 ottobre 1996 – Istruzioni generali per la redazione dei progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica.

1997

C.M. 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. – Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche, di cui al D.M. 16 gennaio 1996.

Linee guida sul calcestruzzo strutturale – Consiglio Superiore dei LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale, 1997.

1999

D.M. 12 luglio 1999, n. 314 – Regolamento recante norme per il rilascio dell'attestato di conformità per i cementi destinati alle opere di ingegneria strutturale e geotecnica per i quali è di prioritaria importanza il rispetto del requisito essenziale n. 1 di cui all'allegato A (resistenza meccanica e stabilità) al decreto del presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246.

C.M. 14 dicembre 1999, n. 346/STC – Legge 5 novembre 1971, n. 1086, art. 20. Concessione ai laboratori per prove sui materiali da costruzione.

2001

Linee guida su calcestruzzi strutturali ad alta resistenza ($75 \text{ N/mm}^2 \leq R_{ck} \leq 115 \text{ N/mm}^2$) (2001) – Consiglio Superiore dei LL.PP. – Servizio Tecnico Centrale.

2002

Linee guida sul calcestruzzo preconfezionato – Consiglio Superiore dei LL.PP. – Servizio Tecnico Centrale.

2003

Ord.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.

2005

D.M. 14 settembre 2005 – Norme tecniche per le costruzioni.

2007

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007 – Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

2008

D.M. 14 gennaio 2008 – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

D.M. 6 maggio 2008 – Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

2009

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.

D.M. 16 novembre 2009 – Applicazione della direttiva n. 89/106/CE sui prodotti da costruzione, recepita con decreto del Presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246,

relativa alla individuazione dei prodotti e dei relativi metodi di controllo della conformità di aggregati.

1.3. Il piano delle indagini per la caratterizzazione meccanica dei materiali e loro degrado

Il paragrafo 8.5.3 delle Norme tecniche stabilisce che per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali e del loro degrado ci si deve basare:

- sulla documentazione già disponibile o acquisibile presso gli uffici del Genio civile competente per territorio;
- su verifiche visive in situ;
- su indagini sperimentali.

Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di beni culturali e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione del bene. Il paragrafo C8.5.3 della C.M. n. 617/2009 afferma che il piano delle indagini deve comunque fare parte sia della fase diagnostica che del progetto vero e proprio e dovrà essere predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse.

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali devono essere valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e devono prescindere dalle classi discretizzate previste nelle Norme per le nuove costruzioni (come per esempio quelle del calcestruzzo di cui al § 4.1 delle stesse Norme tecniche). La C.M. n. 617/2009 aggiunge che nel caso in cui vengano effettuate prove sulla struttura, attendibili e in numero statisticamente significativo, i valori delle resistenze meccaniche dei materiali devono essere desunti da queste.

Un aiuto, non esaustivo, ai fini della definizione delle resistenze dei materiali può ricavarsi dalle prescrizioni delle eventuali norme tecniche vigenti all'epoca della costruzione.

1.4. I livelli di conoscenza della struttura

Le strutture esistenti, in quanto tali, sono affette da un grado di incertezza differente da quello tipico delle strutture di nuova concezione e quindi necessitano di specifici criteri e procedure di verifica, definiti in funzione del livello di conoscenza delle stesse.

Le strutture esistenti, per di più, riflettono lo stato delle conoscenze e della normativa al tempo della costruzione e possono contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non immediatamente visibili.

Le tipiche deficienze di tali strutture, spesso realizzate in assenza di norme antisismiche, sono individuabili sia nella carenza di resistenza e di duttilità che nella fragilità degli elementi strutturali o dei meccanismi di collasso che si possono realizzare sotto sisma violento. Gli edifici realizzati prima degli anni '80 del secolo scorso sono infatti generalmente progettati per soli carichi verticali e, di conseguenza, difficilmente sono dotati di un adeguato sistema di controvento alle azioni orizzontali in entrambe le direzioni principali e, in alcuni casi, possono essere caratterizzati da forti irregolarità in pianta.

Inoltre, gli edifici esistenti possono essere stati soggetti a terremoti o ad altre azioni accidentali, i cui effetti non sono visibilmente manifesti, e/o possono presentare problemi

di degrado dei materiali dovuto alla vetustà o alle condizioni ambientali sfavorevoli, a fenomeni di infiltrazione e umidità, ovvero alla carenza o cattiva manutenzione degli stessi durante la loro vita.

La difficoltà ad operare sul costruito consiste pertanto nella *non conoscenza* dello stesso e nella difficoltà ad individuare eventuali cause di patologie già per i carichi verticali di servizio. Al fine di non inficiare le valutazioni di sicurezza che si vanno a condurre è quindi di fondamentale importanza il ruolo che gioca l'identificazione della struttura nel suo complesso.

Sulla base delle precedenti considerazioni, il livello di conoscenza della struttura acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà meccaniche dei materiali da utilizzare nel calcolo. Il paragrafo C8A.1.8.3 della C.M. n. 617/2009 individua tre livelli di conoscenza perseguibili (LC1, LC2, LC3), che impongono l'impiego nelle verifiche di sicurezza di adeguati fattori di confidenza definiti in considerazione del livello di conoscenza raggiunto (o livello di approfondimento delle indagini sulle strutture) e, quindi, della completezza e dell'affidabilità delle informazioni disponibili:

- LC1: livello di conoscenza limitata;
- LC2: livello di conoscenza adeguata;
- LC3: livello di conoscenza accurata.

Sulla base della precedente classificazione, maggiore è il livello di conoscenza della costruzione, minore sarà il corrispondente valore del fattore di confidenza (FC). È consigliabile, in generale, conseguire attraverso le indagini in sito un livello di conoscenza sufficientemente elevato in maniera tale da non penalizzare eccessivamente, con l'impiego di fattori di confidenza più onerosi, le verifiche da condurre. In termini economici, si traduce in un impegno di spesa maggiore finalizzato all'esecuzione di una più vasta campagna di indagini sulle strutture in opera che consentirà però di valutare meglio il costo dell'eventuale intervento di adeguamento o di miglioramento. Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono riportati nella tabella 1.1.

Le procedure per ottenere i dati richiesti sulla base dei disegni di progetto e/o di prove in situ sono descritte in seguito.

Tabella 1.1. Aspetti per la definizione dei livelli di conoscenza

Aspetti livello di conoscenza (LC)	Contenuti
Geometria	<ul style="list-style-type: none"> – Schema strutturale dell'edificio tramite disegni di carpenteria originali o rilievo dello stato di fatto, in particolare le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali (sezione trasversale, luce/altezza di travi e pilastri, spessore e orditura dei solai, orditura sbalzi, tipo di fondazioni, ecc.) – Gli eventuali disegni originali di carpenteria devono essere sempre verificati con l'effettivo stato di fatto mediante rilievo visivo e dimensionale per accertare la presenza di eventuali modifiche (sopraelevazioni, ampliamenti) non documentate e realizzate dopo l'ultimazione dell'edificio
Dettagli strutturali	<ul style="list-style-type: none"> – Le quantità e la disposizione delle armature longitudinali, ancoraggi, il passo delle staffe e la loro chiusura, per le strutture in calcestruzzo armato, ecc. – I collegamenti per le strutture in acciaio – I collegamenti tra elementi strutturali diversi – La consistenza degli elementi non strutturali collaboranti

Aspetti livello di conoscenza (LC)	Contenuti
Materiali strutturali	Le proprietà meccaniche dei materiali riscontrabili dagli elaborati progettuali originali ma da verificare sempre con indagini sulle strutture in opera (carotaggio e prelevamento di spezzoni di armature): – resistenza a compressione del calcestruzzo in opera; – resistenza a trazione del calcestruzzo in opera; – resistenza a trazione dell'acciaio, ecc.

1.4.1. Il livello di conoscenza limitata (LC1)

La valutazione della sicurezza nel caso di livello di conoscenza limitata viene in genere eseguita mediante metodi di analisi lineare statici o dinamici.

Il livello di conoscenza limitato (LC1) è quello più basso e comporta l'applicazione di un fattore di confidenza più alto pari a 1,35; i contenuti dell'indagine riguardano quanto riportato di seguito.

GEOMETRIA

La geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali, se disponibili. In quest'ultimo caso il rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva conformità del costruito ai disegni esecutivi (dimensioni travi e pilastri, luce campate, ecc.).

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali devono essere tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo a un'analisi lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5 della C.M. n. 617/2009 riporta le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione della geometria, i dati raccolti devono includere i seguenti:

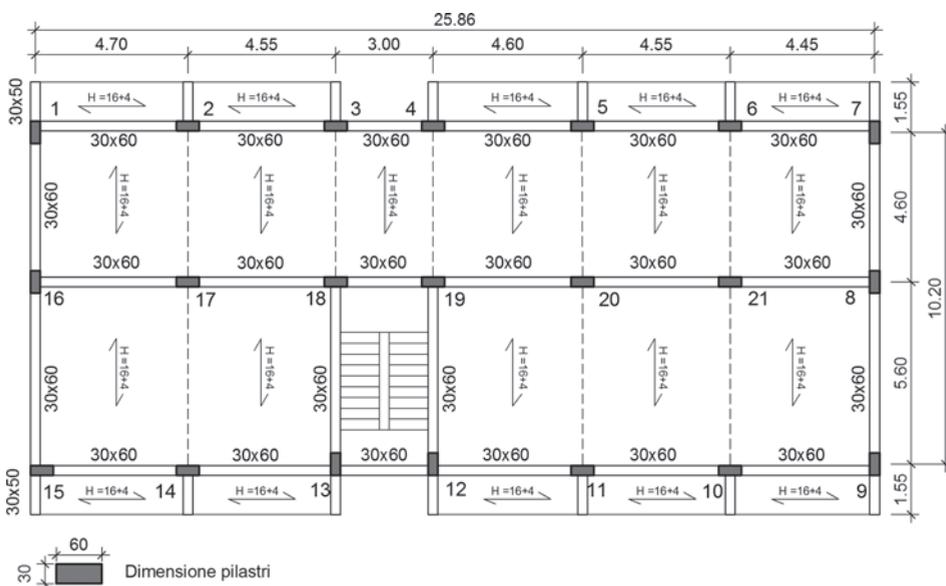


Figura I.1. Rilievo della carpenteria di piano tipo e tessitura dei solai

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

DETTAGLI COSTRUTTIVI

I dettagli costruttivi non sono disponibili da disegni costruttivi e devono venire ricavati sulla base di un progetto simulato eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione. È richiesta una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi strutturali più importanti.

I dati raccolti devono consentire le verifiche locali di resistenza.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- spessore del copriferro;
- quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;

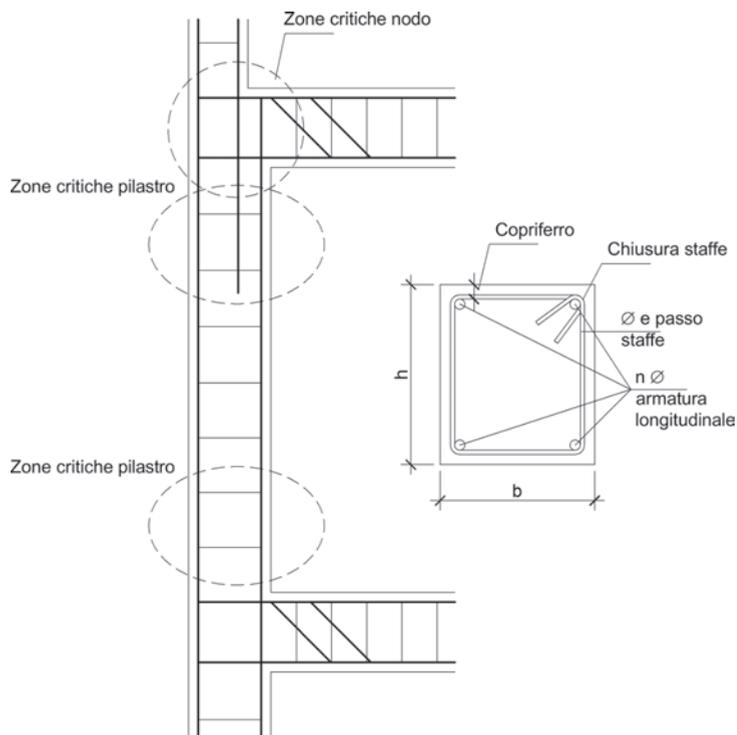


Figura 1.2
Rilievo
dei dettagli
costruttivi
dei pilastri

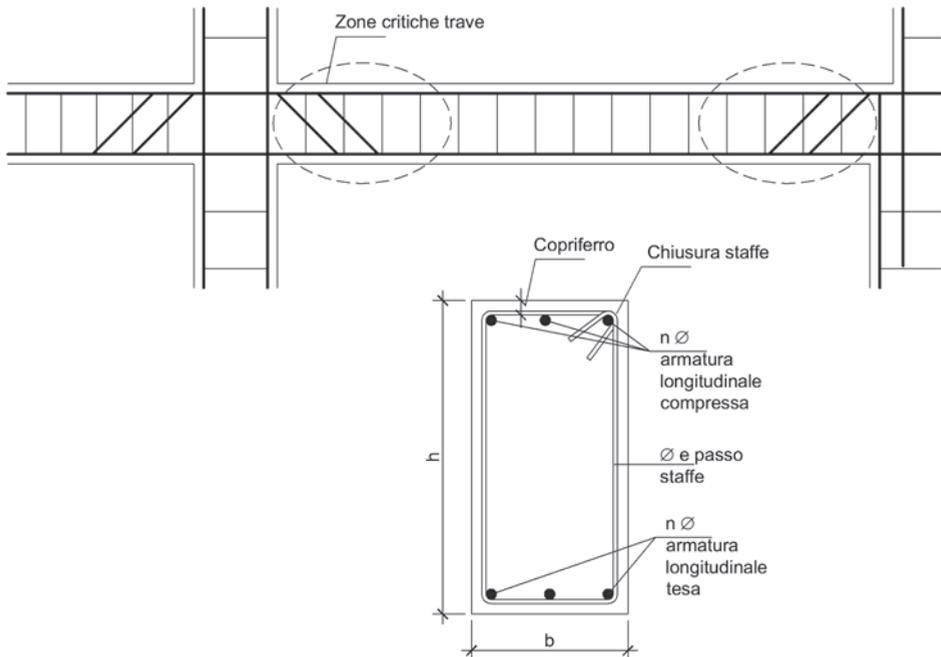


Figura 1.3. Rilievo dei dettagli costruttivi delle travi

- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Sulle proprietà dei materiali se non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova, si adotteranno i valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in situ sugli elementi strutturali più importanti.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- resistenza a compressione del calcestruzzo;
- resistenza a snervamento, rottura e deformazione ultima dell'acciaio.

1.4.2. Livello di conoscenza adeguata (LC2)

La valutazione della sicurezza nel caso di livello di conoscenza adeguata viene in genere eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici.

Il livello di conoscenza limitato è quello medio, infatti comporta l'applicazione di fattore di confidenza più alto pari a 1,20 i contenuti dell'indagine riguardano quando esposto di seguito.

GEOMETRIA

La geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso un rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo a un'analisi lineare o non lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione della geometria, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

DETTAGLI COSTRUTTIVI

I dettagli costruttivi sono noti da un'estesa verifica in situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso è richiesta una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi strutturali più importanti.

I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;
- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in situ. Nel primo caso dovranno anche essere eseguite limitate prove in situ; se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, dovranno essere eseguite estese prove in situ.

I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le

seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti includono i seguenti:

- resistenza a compressione del calcestruzzo;
- resistenza a snervamento, rottura e deformazione ultima dell'acciaio.

1.4.3. Livello di conoscenza accurata (LC3)

La valutazione della sicurezza nel caso di livello di conoscenza accurata viene in genere eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici.

Il livello di conoscenza limitato è quello più alto, infatti comporta l'applicazione di fattore di confidenza più alto pari a 1,00; i contenuti dell'indagine riguardano quanto esposto di seguito.

GEOMETRIA

La geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso un rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, devono essere tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo a un'analisi lineare o non lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione della geometria, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

DETTAGLI COSTRUTTIVI

I dettagli costruttivi devono essere noti o da un'esaustiva verifica in situ oppure dai disegni costruttivi originali. In quest'ultimo caso è comunque richiesta una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti.

I dati raccolti devono essere tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

L'allegato CA, appendice C8A, paragrafo C8A.1.B.5, della C.M. n. 617/2009 fornisce le seguenti indicazioni supplementari per gli edifici in calcestruzzo armato; per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;

- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali possono essere disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esaustive verifiche in situ. Nel primo caso dovranno anche essere eseguite estese prove in situ; se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, dovranno essere eseguite esaustive prove in situ.

I dati raccolti devono essere tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare. Per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti devono includere o determinare:

- la resistenza a compressione del calcestruzzo;
- la resistenza a snervamento, rottura e deformazione ultima dell'acciaio.

1.4.4. Gli elaborati progettuali esecutivi

Gli elaborati progettuali esecutivi o carpenterie devono riguardare (paragrafo C8A1.B.3, C.M. n. 617/2009) quanto di seguito esposto.

DISEGNI ORIGINALI DI CARPENTERIA

I disegni originali di carpenteria, se reperibili, servono a conoscere la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni e permettono di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali.

Tali disegni devono essere sempre riscontrati con il costruito poiché non è detto che la costruzione abbia rispettato fedelmente il progetto originario, pertanto non bisogna escludere eventuali varianti in corso d'opera.

DISEGNI COSTRUTTIVI O ESECUTIVI

I disegni costruttivi o esecutivi servono a conoscere in dettaglio la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni e permettere di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali.

In aggiunta essi devono contenere la descrizione della quantità, della disposizione e dei dettagli costruttivi di tutte le armature, nonché le caratteristiche nominali dei materiali usati.

Per l'identificazione della geometria, i dati raccolti devono includere:

- identificazione del sistema resistente laterale in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

RILIEVO VISIVO

Il rilievo visivo ha lo scopo di controllare la corrispondenza tra l'effettiva geometria della struttura ai disegni originali di carpenteria disponibili. Comprende il rilievo a campione della geometria (sezioni trasversali e altezza pilastri, sezioni trasversali e luce travi, ecc.) di alcuni elementi strutturali.

Nel caso di modifiche non documentate intervenute durante o dopo la costruzione, deve essere eseguito il rilievo completo descritto al punto seguente.

RILIEVO COMPLETO DELLO STATO DI FATTO

Il rilievo completo serve a produrre disegni completi di carpenteria nel caso in cui quelli originali siano mancanti o si sia riscontrata una non corrispondenza tra questi ultimi e l'effettiva geometria della struttura realizzata.

I disegni prodotti dovranno descrivere la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni e permettere di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali con lo stesso grado di dettaglio proprio dei disegni originali.

1.4.5. I dettagli costruttivi e i difetti

I dettagli costruttivi degli elementi strutturali devono prendere in considerazione l'esecuzione di un progetto simulato e le verifiche sulle strutture in opera (paragrafo C8A1.B.3, C.M. n. 617/2009). Gli aspetti da esaminare possono così riassumersi:

- pilastri: dimensioni, spessore del copriferro, passo, diametro e modalità di chiusura delle staffe, quantità e disposizione delle armature longitudinali, armature di ripresa;
- travi: dimensioni, spessore del copriferro, passo e diametro delle staffe, quantità e disposizione delle armature longitudinali e dei ferri piegati, lunghezza di sovrapposizione delle barre longitudinali; larghezza delle travi a spessore rispetto al pilastro;
- solai: spessore, orditura, interasse, armature travetti, armatura di ripartizione;
- tamponature: tipo e caratteristiche degli elementi utilizzati (laterizi forati, mattoni pieni, blocchi in calcestruzzo forato, ecc.), spessore, numero strati, intercapedine, posizione rispetto al telaio;
- fondazioni: tipologia, profondità piano di posa.

Ai fini delle indagini è consigliato suddividere tutti gli elementi strutturali in gruppi simili secondo la loro funzione nel sistema strutturale complessivo.

In fase di rilievo delle strutture è importante individuare gli eventuali difetti e/o errori di concezione, ponendo particolare attenzione ai seguenti aspetti:

- eccentricità travi-pilastro;
- eccentricità pilastro-pilastro;
- presenza di elementi verticali portanti in falso;
- presenza di pilastri tozzi;
- cattiva disposizione e vincolo di elementi prefabbricati.

Nelle figure 1.4 e 1.5 sono illustrate le zone critiche non visibili, ma prevedibili, negli elementi strutturali di un telaio in c.a. progettato per resistere a soli carichi verticali; tali

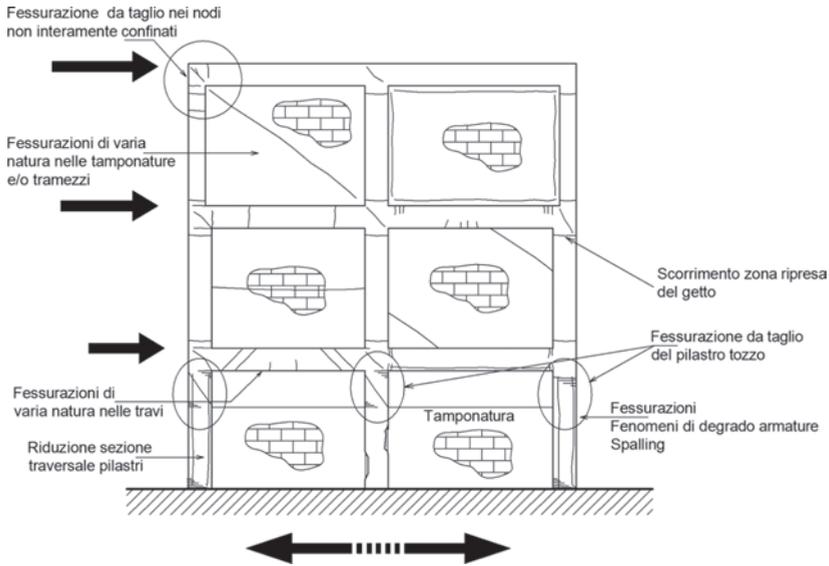


Figura 1.4. Schema dei danni e del degrado più o meno visibili negli elementi strutturali e non strutturali di un telaio in c.a. progettato per soli carichi verticali soggetto ad azioni sismiche

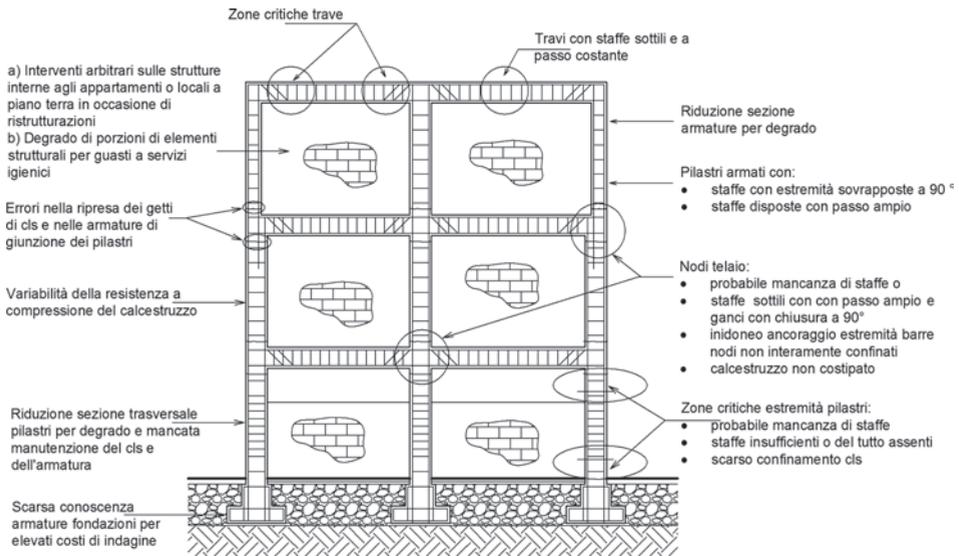


Figura 1.5. Schema delle zone critiche non visibili negli elementi strutturali di un telaio in c.a. progettato per soli carichi verticali soggetto ad azioni sismiche

zone critiche, essendo le più deboli, per effetto dell'azione sismica possono essere soggette a seri danni strutturali specialmente se sommati alle fessurazioni già in atto dovute a carenze progettuali o esecutive.