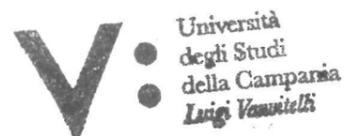


Un sentito ringraziamento va ad Antonio Lanza e Matteo Tacci per la loro instancabile disponibilità durante le fasi di preparazione, organizzazione e revisione di questo volume.

Si ringrazia inoltre Massimiliano Stucchi per i pertinenti suggerimenti riguardo ad alcune parti del testo, così come Matteo Moratti, Gerardo Verderame, Marco Di Ludovico e Gaetano Della Corte per la gentile concessione di materiale fotografico.

Infine, un riconoscimento particolare va anche a Nicola Scattarreggia, Stelios Antoniou, Antonio Lanza e Matteo Tacci per i loro contributi alla stesura di alcuni capitoli del libro.



© Copyright 2019 by Maggioli S.p.A.  
Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.  
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8  
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it  
e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.

Gli Autori e l'Editore declinano ogni responsabilità per eventuali errori e/o inesattezze relativi alla elaborazione dei testi normativi e per l'eventuale modifica e/o variazione degli schemi e della modulistica allegati.

Gli Autori, pur garantendo la massima affidabilità dell'opera, non rispondono di danni derivanti dall'uso dei dati e delle notizie ivi contenuti.  
L'Editore non risponde di eventuali danni causati da involontari refusi o errori di stampa.

Finito di stampare nel mese di maggio 2019  
nello stabilimento Maggioli S.p.A.  
Santarcangelo di Romagna

## Indice

Premessa .....	Pag.	9
<b>1. L'evoluzione della normativa nazionale e della classificazione sismica dal 1908 ad oggi .....</b>	»	11
1.1. Il terremoto di Messina e le prime normative sismiche .....	»	12
1.2. Le normative degli anni '70 e '80 e la prima classificazione sismica del territorio nazionale .....	»	16
1.3. Il terremoto del Molise, le normative prestazionali e la valutazione delle strutture esistenti .....	»	20
<b>2. Le principali normative internazionali e nazionali per la valutazione sismica delle strutture esistenti .....</b>	»	27
2.1. La normativa americana (ASCE 41-17, 2017) e la normativa europea (EC8, 2005) .....	»	29
2.2. Le Linee guida neozelandesi (NZSEE, 2017) .....	»	30
2.3. La normativa italiana (NTC, 2018) .....	»	32
2.3.1. La valutazione della sicurezza secondo le NTC 2018.....	»	32
2.3.2. Le Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni .....	»	33
2.3.2.1. Metodo convenzionale .....	»	34
2.3.2.2. Metodo semplificato.....	»	38
<b>3. La conoscenza delle strutture .....</b>	»	41
3.1. Livelli di conoscenza e dati necessari .....	»	41
3.1.1. Analisi storico-critica .....	»	44
3.1.2. Individuazione della geometria .....	»	44
3.1.3. Dettagli strutturali.....	»	45
3.1.4. Proprietà dei materiali .....	»	46
3.2. Prove in situ e di laboratorio sul calcestruzzo .....	»	48
3.2.1. Carotaggio .....	»	50
3.2.2. Metodo Windsor.....	»	51
3.2.3. Sclerometro .....	»	52
3.2.4. Prove ultrasoniche .....	»	54
3.2.5. Metodo SonReb.....	»	55
3.3. Estrazione delle barre e prove di laboratorio sulle armature in acciaio.....	»	58
<b>4. I metodi di analisi per le strutture esistenti .....</b>	»	61
4.1. Analisi statica lineare.....	»	63
4.1.1. Condizioni di applicabilità .....	»	63
4.1.2. Metodologia.....	»	67

4.2. Analisi dinamica lineare .....	Pag. 68
4.2.1. Condizioni di applicabilità .....	» 69
4.2.2. Metodologia .....	» 69
4.3. Analisi statica non lineare .....	» 72
4.3.1. Procedure di risoluzione di analisi non lineari .....	» 72
4.3.2. Metodologia .....	» 76
4.3.3. Condizioni di applicabilità .....	» 85
4.3.3.1. Distribuzione proporzionale alle forze statiche .....	» 85
4.3.3.2. Distribuzione proporzionale al modo fondamentale .....	» 86
4.3.3.3. Distribuzione proporzionale alle forze di piano .....	» 86
4.3.3.4. Distribuzione proporzionale alle masse .....	» 87
4.3.3.5. Distribuzione adattiva .....	» 88
4.3.3.6. Distribuzione multimodale .....	» 89
4.4. Analisi dinamica non lineare .....	» 91
4.4.1. Aspetti generali e requisiti da normativa .....	» 91
4.4.2. Metodologia .....	» 92
4.4.3. Scelta degli accelerogrammi .....	» 92
4.4.3.1. Accelerogrammi artificiali .....	» 93
4.4.3.2. Accelerogrammi sintetici .....	» 94
4.4.3.3. Accelerogrammi naturali .....	» 94
4.4.4. Cenni sulla valutazione degli effetti di sito .....	» 98
4.4.5. Definizione dello smorzamento viscoso equivalente .....	» 99
4.4.6. Scelta del metodo e del passo di integrazione numerica .....	» 101
4.5. Verifiche di sicurezza .....	» 102
4.5.1. Verifiche in termini di deformabilità/resistenza .....	» 102
4.5.1.1. Elementi/meccanismi duttili: travi, pilastri e pareti .....	» 104
4.5.1.2. Elementi/meccanismi fragili: travi, pilastri e pareti .....	» 108
4.5.1.3. Elementi fragili: nodi trave-pilastro .....	» 111
4.5.2. Verifiche in termini di rigidezza .....	» 115
<b>5. La modellazione non lineare delle strutture esistenti in cemento armato .....</b>	<b>» 117</b>
5.1. La non linearità geometrica .....	» 117
5.1.1. Effetti del secondo ordine $P-\Delta$ .....	» 117
5.1.2. Effetti del secondo ordine $P-\delta$ .....	» 119
5.1.3. Rotazione del riferimento locale .....	» 120
5.2. L'anelasticità dei materiali e i principali approcci di modellazione in campo non lineare .....	» 122
5.2.1. Modellazione a plasticità concentrata .....	» 122
5.2.2. Modellazione a plasticità diffusa .....	» 126
5.2.2.1. Modellazione della risposta a taglio .....	» 128
5.3. Modellazione di alcuni dettagli strutturali .....	» 130
5.3.1. Modellazione delle pareti strutturali .....	» 131

5.3.2. Modellazione dei vani scala/ascensore .....	Pag. 132
5.3.3. Modellazione delle scale .....	» 133
5.3.4. Modellazione delle tamponature esterne .....	» 135
5.3.5. Modellazione dei nodi trave-colonna .....	» 144
5.3.6. Modellazione dei solai .....	» 148
<b>6. Cenni sui principali interventi per gli edifici esistenti in cemento armato .....</b>	<b>» 151</b>
6.1. Categorie di interventi secondo le NTC 2018 .....	» 151
6.1.1. Interventi di riparazione o locali .....	» 151
6.1.2. Interventi di miglioramento .....	» 152
6.1.3. Interventi di adeguamento .....	» 153
6.2. Tecniche di riparazione .....	» 154
6.2.1. Iniezioni di resine epossidiche .....	» 154
6.2.2. Ripristino del copriferro e trattamento delle armature .....	» 155
6.3. Interventi che aumentano la capacità degli elementi esistenti .....	» 156
6.3.1. Inserimento di nuove armature senza aumento di sezione .....	» 156
6.3.2. Incamiciatura in c.a. .....	» 158
6.3.3. Incamiciatura in acciaio .....	» 163
6.3.3.1. Incamiciatura con angolari e calastrelli .....	» 164
6.3.3.2. Metodo CAM .....	» 165
6.3.3.3. Incamiciatura in acciaio corrugato o liscio .....	» 167
6.3.4. Placcatura e fasciatura in materiali compositi (FRP) .....	» 168
6.4. Inserimento di nuovi elementi strutturali .....	» 173
6.4.1. Pareti strutturali .....	» 173
6.4.2. Controventi metallici .....	» 177
6.5. Isolamento sismico .....	» 183
6.6. Esempio di modellazione di interventi di rinforzo .....	» 194
6.6.1. Modellazione e analisi della struttura esistente .....	» 194
6.6.2. Modellazione della struttura rinforzata con differenti tecniche di intervento .....	» 197
6.6.2.1. Incamiciatura in c.a. dei pilastri del piano terra .....	» 197
6.6.2.2. Fasciatura mediante materiali compositi (FRP) dei pilastri del piano terra .....	» 198
6.6.2.3. Inserimento di pareti strutturali .....	» 200
6.6.2.4. Inserimento di controventi metallici .....	» 201
6.6.2.5. Isolamento sismico .....	» 202
6.6.3. Analisi e confronto dei risultati ottenuti per le diverse tecniche di intervento .....	» 202
6.6.3.1. Incamiciatura in c.a. dei pilastri del piano terra .....	» 203
6.6.3.2. Fasciatura mediante materiali compositi (FRP) dei pilastri del piano terra .....	» 203
6.6.3.3. Inserimento di pareti strutturali .....	» 206
6.6.3.4. Inserimento di controventi metallici .....	» 210
6.6.3.5. Isolamento sismico .....	» 211

<b>7. Esempio pratico - Valutazione della sicurezza di un edificio multipiano in c.a. mediante analisi non lineari e proposta di un intervento ...</b>	Pag. 215
7.1. Descrizione dell'edificio .....	» 215
7.2. Conoscenza dell'edificio e caratterizzazione dei materiali .....	» 219
7.2.1. Geometria .....	» 220
7.2.2. Dettagli strutturali .....	» 221
7.2.3. Proprietà dei materiali .....	» 223
7.3. Livello di conoscenza e fattore di confidenza .....	» 224
7.4. Azione sismica .....	» 224
7.5. Valutazione dei carichi gravitazionali e sovraccarichi .....	» 226
7.5.1. Calcolo dei carichi unitari .....	» 226
7.5.1.1. Solai .....	» 226
7.5.1.2. Tamponature .....	» 227
7.5.1.3. Carichi agenti sulla scala .....	» 228
7.6. Calcolo dei pesi sismici .....	» 229
7.7. Modellazione strutturale .....	» 229
7.7.1. Caratterizzazione dei materiali .....	» 230
7.7.2. Modellazione degli elementi strutturali primari .....	» 230
7.7.3. Ulteriori dettagli di modellazione .....	» 232
7.7.4. Modellazione delle masse .....	» 236
7.8. Proprietà dinamiche dell'edificio (analisi modale) .....	» 236
7.9. Analisi statica non lineare (pushover) .....	» 239
7.9.1. Distribuzioni di carico .....	» 239
7.9.2. Punto di controllo .....	» 241
7.9.3. Curve di capacità .....	» 243
7.9.4. Valutazione delle domande di spostamento .....	» 245
7.10. Analisi dinamica non lineare .....	» 249
7.10.1. Selezione degli accelerogrammi .....	» 249
7.10.1.1. Storie temporali artificiali (7 coppie di accelerogrammi) .....	» 250
7.10.1.2. Storie temporali naturali (7 coppie di accelerogrammi) .....	» 252
7.10.1.3. Storie temporali naturali aggiustate (7 coppie di accelerogrammi) .....	» 254
7.10.1.4. Storie temporali naturali (3 coppie di accelerogrammi) .....	» 256
7.11. Verifiche di sicurezza mediante analisi non lineari .....	» 256
7.11.1. Verifiche sismiche .....	» 257
7.11.1.1. Verifiche allo SLV .....	» 257
7.11.1.2. Verifiche allo SLD .....	» 267
7.11.2. Verifiche allo SLU per carichi statici .....	» 268
7.12. Determinazione dei livelli di sicurezza mediante i parametri $\zeta_E$ e $\zeta_V$ .....	» 269
7.12.1. Calcolo del parametro $\zeta_E$ .....	» 269
7.12.1.1. Calcolo del parametro $\zeta_E$ mediante analisi statica non lineare .....	» 270
7.12.1.2. Calcolo del parametro $\zeta_E$ mediante analisi dinamica non lineare .....	» 273

7.12.2. Calcolo del livello di sicurezza statico: $\zeta_V$ .....	Pag. 275
7.13. Applicazione delle Linee guida per la classificazione del rischio sismico .....	» 276
7.14. Proposta di un intervento di rinforzo strutturale .....	» 279
7.15. Risultati delle analisi non lineari a confronto .....	» 285
<i>Riferimenti bibliografici</i> .....	» 289