

## Indice

|   |    |
|---|----|
| Premessa .....  | 11 |
| Capitolo 1  |    |
| PROFILO STORICO DELL'ANALISI STRUTTURALE E DELLA NORMATIVA<br>TECNICA IN ZONA SISMICA ..... | 15 |
| 1. Una "rivoluzione" all'inizio del nuovo millennio.....                                    | 15 |
| 2. Evoluzione storica del concetto di sicurezza .....                                       | 16 |
| 3. Evoluzione storica della strategia di difesa dai terremoti .....                         | 19 |
| 4. Evoluzione del quadro normativo nazionale.....   | 22 |
| Capitolo 2  |    |
| ELEMENTI BASE DI INGEGNERIA SISMICA .....   | 25 |
| 1. Premessa .....   | 25 |
| 2. Natura dei terremoti.....  | 26 |
| 3. Pericolosità sismica.....  | 30 |
| 4. Il sistema ad un grado di libertà .....  | 34 |
| 5. Comportamento elastico del sistema ad un grado di libertà.....                           | 36 |
| 5.1. Oscillazioni libere in assenza di smorzamento.....                                     | 36 |
| 5.2. Oscillazioni libere in presenza di smorzamento .....                                   | 38 |
| 5.3. Oscillazioni forzate .....   | 39 |
| 5.4. Risposta sismica e spettro di risposta elastico .....                                  | 43 |
| 5.5. Spettri di risposta elastica di normativa .....  | 50 |
| 6. Comportamento di un sistema elasto-plastico ad un grado di libertà.....                  | 51 |
| 6.1. Duttilità.....   | 51 |
| 6.2. Risposta sismica di sistemi elasto-plastici.....                                       | 53 |
| 6.3. Spettri di progetto di normativa .....   | 55 |
| 7. Sistemi continui e sistemi a più gradi di libertà .....                                  | 56 |
| 8. Comportamento elastico dei sistemi a più gradi di libertà .....                          | 57 |
| 8.1. Oscillazioni libere e modi principali di oscillazione .....                            | 57 |
| 8.2. Risposta sismica.....  | 62 |
| 8.3. Analisi modale con spettro di risposta.....  | 63 |
| 8.4. Analisi statica .....  | 65 |
| 9. Comportamento inelastico dei sistemi a più gradi di libertà.....                         | 67 |

|  |    |
|--|----|
| 10. Comportamento di sistemi tridimensionali ..... | 69 |
| 11. Analisi statica non lineare .....              | 73 |
| 12. Considerazioni conclusive.....                 | 77 |
| Bibliografia essenziale.....                       | 78 |

### Capitolo 3

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PRESCRIZIONI DELLA NORMATIVA SISMICA .....</b>            | <b>79</b> |
| 1. Norme Tecniche per le Costruzioni .....                   | 79        |
| 2. Principi e regole applicative .....                       | 81        |
| 3. Obiettivi della progettazione antisismica .....           | 82        |
| 4. L'azione sismica .....                                    | 85        |
| 4.1. Zone sismiche e pericolosità sismica .....              | 85        |
| 4.2. Categorie di terreno e condizioni topografiche .....    | 86        |
| 4.3. Spettri di risposta elastici della normativa .....      | 88        |
| 4.4. Spettri di progetto della normativa.....                | 97        |
| 4.5. Fattore di struttura .....                              | 100       |
| 5. Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni..... | 104       |
| 6. Analisi strutturale .....                                 | 107       |
| 6.1. Tipi di analisi .....                                   | 107       |
| 6.2. Analisi statica .....                                   | 107       |
| 6.3. Analisi modale e statica: un esempio numerico.....      | 109       |
| 6.4. Analisi statica non lineare.....                        | 111       |
| 6.5. Analisi dinamica non lineare.....                       | 113       |
| 7. Regolarità strutturale.....                               | 113       |
| 7.1. Regolarità in pianta .....                              | 114       |
| 7.2. Regolarità in altezza .....                             | 115       |
| 8. Classi di rischio sismico.....                            | 117       |

### Capitolo 4

|  |            |
|--|------------|
| <b>CONCEZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO .....</b>              | <b>121</b> |
| 1. Evoluzione storica dell'edificio ad uso abitativo .....     | 121        |
| 2. Gli elementi che costituiscono l'edificio.....              | 124        |
| 2.1. L'impalcato e i solai .....                               | 124        |
| 2.2. Le travi e i pilastri .....                               | 127        |
| 2.3. La struttura della scala .....                            | 130        |
| 2.4. Il sistema fondale.....                                   | 133        |
| 3. Principi fondamentali della progettazione strutturale ..... | 134        |

### Capitolo 5 .....

|   |            |
|---|------------|
| <b>DIMENSIONAMENTO DELLA STRUTTURA .....</b>  | <b>139</b> |
| 1. Collocazione del progetto strutturale nel processo edilizio .....                                  | 139        |
| 2. Impostazione della carpenteria .....   | 140        |
| 2.1. Problematiche generali.....  | 140        |
| 2.2. Criteri per l'impostazione della carpenteria .....   | 141        |
| 3. Criteri generali per il dimensionamento delle sezioni .....  | 146        |
| 4. Stima iniziale delle caratteristiche di sollecitazione e dimensionamento di travi e pilastri ..... | 156        |

|   |     |
|---|-----|
| 5. Previsione più accurata delle caratteristiche di sollecitazione e controllo del dimensionamento..... | 163 |
| 6. Un ulteriore approccio progettuale .....   | 169 |

#### Capitolo 6

|   |            |
|---|------------|
| <b>RISOLUZIONE DELLO SCHEMA STRUTTURALE.....</b>  | <b>171</b> |
| 1. Analisi da svolgere.....   | 171        |
| 1.1. In assenza di sisma.....   | 172        |
| 1.2. In presenza di sisma con alto periodo di ritorno .....                                       | 172        |
| 1.3. In presenza di sisma con basso periodo di ritorno.....                                       | 175        |
| 2. Carichi verticali e masse .....  | 176        |
| 2.1. Carichi unitari .....  | 176        |
| 2.2. Carichi sulle travi .....  | 179        |
| 2.3. Massa dell'impalcato.....  | 181        |
| 2.4. Baricentro delle masse .....   | 183        |
| 2.5. Eccentricità accidentale.....  | 184        |
| 3. Organizzazione delle condizioni di carico .....  | 184        |
| 4. Definizione dello schema geometrico .....  | 185        |
| 4.1. Evoluzione dei modelli di calcolo.....   | 186        |
| 4.2. Problematiche di modellazione più recenti.....   | 190        |
| 4.3. Elementi principali e secondari.....   | 195        |
| 4.4. Modellazione delle tamponature .....   | 196        |
| 5. Analisi dei risultati degli schemi base .....  | 199        |
| 5.1. Carichi verticali .....  | 199        |
| 5.2. Forze orizzontali – analisi statica .....  | 200        |
| 5.3. Analisi modale.....  | 201        |
| 5.4. Effetto dell'eccentricità accidentale .....  | 203        |
| 5.5. Considerazioni sull'effetto della contemporanea presenza delle due componenti del sisma..... | 204        |
| 6. Combinazione degli schemi base .....   | 205        |
| 7. Analisi critica e revisione dell'impostazione strutturale.....                                 | 207        |
| Appendice: risoluzione del telaio spaziale .....  | 210        |

#### Capitolo 7

|   |            |
|---|------------|
| <b>PROGETTO DELLE ARMATURE .....</b>                                  | <b>219</b> |
| 1. Considerazioni generali .....                                      | 219        |
| 2. Gerarchia delle resistenze (o progettazione in capacità).....      | 219        |
| 3. Travi: armature a flessione .....                                  | 221        |
| 3.1. Caratteristiche di sollecitazione.....                           | 221        |
| 3.2. Calcolo dell'area di armatura necessaria.....                    | 223        |
| 3.3. Disposizione delle barre longitudinali .....                     | 223        |
| 4. Travi: armature a taglio .....                                     | 225        |
| 4.1. Caratteristiche di sollecitazione.....                           | 225        |
| 4.2. Verifica a taglio e calcolo dell'area di staffe necessaria ..... | 227        |
| 4.3. Consigli pratici per l'armatura a taglio .....                   | 229        |
| 5. Travi: duttilità.....  | 230        |

|  |     |
|--|-----|
| 6. Pilastri: armature a flessione composta.....                      | 231 |
| 6.1. Caratteristiche di sollecitazione.....                          | 231 |
| 6.2. Progetto dell'armatura .....                                    | 234 |
| 7. Pilastri: armatura a taglio.....                                  | 236 |
| 8. Nodi trave-pilastro.....  | 237 |
| Appendice: procedura approssimata per la pressoflessione retta ..... | 242 |

#### Capitolo 8

|  |     |
|--|-----|
| VERIFICA DEGLI IMPALCATI.....  | 245 |
| 1. Prescrizioni della normativa .....                                | 245 |
| 2. Modellazione dell'impalcato .....                                 | 246 |
| 2.1. L'impalcato nel modello globale della struttura.....            | 246 |
| 2.2. Modellazione per la verifica dell'impalcato.....                | 248 |
| 3. Schemi per l'analisi dell'impalcato.....                          | 249 |
| 3.1. Ossatura intelaiata priva di tamponature.....                   | 249 |
| 3.2. Ossatura intelaiata con tamponature.....                        | 251 |
| 3.3. Schemi limite di comportamento in presenza di tamponature ..... | 253 |
| 4. Verifica di rigidezza .....                                       | 255 |
| 5. Verifica di resistenza e armatura dell'impalcato.....             | 257 |

#### Capitolo 9

|   |     |
|---|-----|
| IL SISTEMA FONDALE E LA SUA INTERAZIONE CON LA STRUTTURA IN<br>ELEVAZIONE ..... | 261 |
| 1. Introduzione .....   | 261 |
| 2. Scelta del sistema fondale .....   | 264 |
| 3. Dimensionamento delle fondazioni .....                                       | 267 |
| 3.1. Travi rovesce e reticolo di travi.....                                     | 267 |
| 3.2. Plinti diretti .....   | 268 |
| 3.3. Plinti su pali.....  | 269 |
| 4. Modellazione .....   | 269 |
| 4.1. Travi rovesce e reticolo di travi.....                                     | 270 |
| 4.2. Plinti diretti .....   | 271 |
| 4.3. Plinti su pali.....  | 272 |
| 4.4. Considerazioni sulla modellazione.....                                     | 273 |
| 5. Una verifica globale "a vista" della struttura .....                         | 275 |

#### Capitolo 10

|   |     |
|---|-----|
| ESEMPIO: DIMENSIONAMENTO DELLA STRUTTURA .....              | 277 |
| 1. Introduzione .....                                       | 277 |
| 2. Caratteristiche dell'edificio.....                       | 277 |
| 3. Impostazione della carpenteria .....                     | 283 |
| 4. Analisi preliminari: effetto dei carichi verticali ..... | 286 |
| 5. Dimensionamento di travi e pilastri .....                | 289 |
| 5.1. Spettro di risposta elastico .....                     | 289 |
| 5.2. Fattore di struttura e spettro di progetto .....       | 290 |
| 5.3. Valutazione dell'azione sismica.....                   | 292 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.4. Caratteristiche della sollecitazione.....  | 292 |
| 5.5. Dimensionamento delle sezioni.....   | 294 |
| 6. Disegno esecutivo della carpenteria.....   | 295 |
| 7. Previsione più accurata delle caratteristiche di sollecitazione e controllo del dimensionamento..... | 300 |
| 8. Spostamenti per stato limite di danno.....   | 302 |
| 9. Modifiche al dimensionamento della struttura.....  | 303 |
| 10. Considerazioni finali sul dimensionamento della struttura.....                                      | 304 |

#### Capitolo 11

|   |     |
|---|-----|
| ESEMPIO: RISOLUZIONE DELLO SCHEMA.....  | 305 |
| 1. Carichi.....   | 305 |
| 1.1. Carichi unitari.....   | 305 |
| 1.2. Carichi sulle travi.....   | 306 |
| 1.3. Massa dell'impalcato.....  | 309 |
| 1.4. Eccentricità accidentali.....  | 311 |
| 2. Condizioni di carico.....  | 311 |
| 3. Schema geometrico.....   | 315 |
| 4. Analisi dei risultati degli schemi base – soluzione iniziale.....                              | 316 |
| 4.1. Carichi verticali.....   | 316 |
| 4.2. Analisi modale.....  | 316 |
| 4.3. Effetto dell'eccentricità accidentale.....   | 320 |
| 4.4. Considerazioni sull'effetto della contemporanea presenza delle due componenti del sisma..... | 321 |
| 5. In alternativa: analisi statica.....   | 322 |
| 6. Analisi dei risultati – soluzione migliorata.....  | 324 |
| 7. Combinazione degli schemi base.....  | 327 |
| 8. Considerazioni sulla modellazione.....   | 331 |

#### Capitolo 12

|   |     |
|---|-----|
| ESEMPIO: PROGETTO DELLE ARMATURE.....                                       | 333 |
| 1. Travi: armatura a flessione.....   | 333 |
| 2. Travi: armatura a taglio.....  | 335 |
| 3. Pilastri: armatura a pressoflessione.....                                | 339 |
| 4. Pilastri: armatura a taglio.....   | 346 |
| 5. Nodi trave-pilastro.....   | 347 |
| 6. Dettagli costruttivi.....  | 348 |
| Appendice – Relazione secondo le indicazioni del capitolo 10 delle NTC..... | 350 |

#### Capitolo 13

|  |     |
|--|-----|
| ESEMPIO: RELAZIONE GENERALE.....   | 351 |
| 1. La relazione generale secondo le indicazioni del capitolo 10 delle Norme Tecniche per le Costruzioni..... | 351 |
| 2. Organizzazione della relazione generale.....  | 352 |
| 3. Relazione generale – schema migliorato.....   | 353 |

## Capitolo 14

|   |     |
|---|-----|
| ALTRI PROGETTI .....  | 371 |
| 1. Progetto di un primo edificio intelaiato in c.a.....   | 371 |
| 1.1. Introduzione .....   | 371 |
| 1.2. Dati generali .....  | 371 |
| 1.3. Impostazione della carpenteria e primo dimensionamento delle sezioni<br>dei pilastri ..... | 372 |
| 1.4. Prima verifica, armatura dei pilastri e dimensionamento delle travi.....                   | 373 |
| 1.5. Analisi della struttura con un modello traslante .....                                     | 373 |
| 1.6. Verifica finale della struttura in elevazione.....   | 375 |
| 1.7. Il sistema fondale.....  | 378 |
| 1.8. Considerazioni finali.....   | 378 |
| 2. Progetto di un secondo edificio intelaiato in c.a. ....                                      | 380 |
| 2.1. Introduzione e dati generali .....   | 380 |
| 2.2. La rappresentazione grafica del progetto strutturale esecutivo.....                        | 380 |
| 2.3. Le principali tavole strutturali.....  | 382 |
| 3. Altri progetti .....   | 383 |