

# INDICE

## Capitolo 1

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| LA TERRA TREMA                  | 1 |
| 1 Le costruzioni e il terremoto | 1 |
| 2 La situazione in Italia       | 4 |

## Capitolo 2

|   |    |
|---|----|
| I TERREMOTI   | 5  |
| 1 Origine dei terremoti   | 5  |
| 1.1 Costituzione interna della terra                                  | 6  |
| 1.2 La tettonica delle zolle  | 6  |
| 1.3 Le faglie   | 10 |
| 1.4 Teoria del rimbalzo elastico – Reid, 1910                         | 11 |
| 2 Onde sismiche   | 12 |
| 2.1 Onde di volume  | 13 |
| 2.2 Onde di superficie o lunghe                                       | 15 |
| 3 La misura dei terremoti   | 17 |
| 3.1 Le scale di intensità macrosismica                                | 17 |
| 3.2 Magnitudo   | 18 |
| 3.3 Correlazione tra intensità macrosismica e magnitudo               | 20 |
| 4 Misura strumentale del moto sismico                                 | 21 |
| 5 Rete Sismica Nazionale Centralizzata - RSNC                         | 21 |
| 6 Parametri di severità del moto sismico                              | 22 |
| 6.1 Valori di picco del moto ( $a_{\max}$ , $v_{\max}$ , $s_{\max}$ ) | 22 |
| 6.2 Altri parametri di severità                                       | 24 |
| 7 La mitigazione del rischio sismico                                  | 24 |
| 7.1 Pericolosità sismica  | 24 |
| 7.2 Rischio sismico   | 25 |
| 8 Classificazione sismica   | 25 |
| 8.1 Evoluzione storica  | 25 |
| 8.2 Criteri moderni di classificazione sismica                        | 26 |
| 8.3 Analisi di pericolosità – zonazione sismica                       | 26 |
| 8.4 Criteri per la definizione dei requisiti prestazionali            | 30 |
| 8.5 Micro-zonazione sismica   | 32 |

## Capitolo 3

|   |    |
|---|----|
| BASI DELLA PROGETTAZIONE SISMICA              | 35 |
| 1 Considerazioni generali                     | 35 |
| 2 Requisiti delle costruzioni in zona sismica | 36 |
| 3 Resistenza, duttilità, energia dissipata    | 38 |

## Capitolo 4

|  |    |
|--|----|
| RICHIAMI DI DINAMICA DELL'OSCILLATORE SEMPLICE       | 43 |
| 1 Caratteristiche essenziali di un problema dinamico | 43 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2   | Sistemi ad un grado di libertà (SDOF)   | 45 |
| 2.1 | Vibrazioni libere   | 46 |
| 2.2 | Determinazione sperimentale della frequenza propria e dello smorzamento: metodo delle oscillazioni libere | 51 |
| 3   | Risposta all'eccitazione armonica   | 52 |
| 3.1 | Sistema non smorzato  | 52 |
| 3.2 | Sistema smorzato  | 54 |
| 3.3 | Forza trasmessa alla fondazione   | 57 |
| 3.4 | Caratterizzazione dinamica delle strutture: metodo delle oscillazioni forzate                             | 59 |
| 4   | Risposta al moto del sostegno   | 61 |
| 4.1 | Risposta in termini di spostamento assoluto della massa   | 61 |
| 4.2 | Risposta in termini di spostamento relativo della massa rispetto al sostegno                              | 62 |
| 5   | Strumenti a riferimento inerziale (sismici)   | 64 |
| 6   | Risposta all'eccitazione periodica: serie di Fourier  | 65 |
| 7   | Risposta all'eccitazione non periodica  | 67 |
| 7.1 | Analisi nel dominio delle frequenze: integrale di Fourier   | 67 |
| 7.2 | Trasformata discreta di Fourier   | 68 |
| 7.3 | Analisi spettrale   | 68 |
| 7.4 | Analisi nel dominio del tempo: integrale di Duhamel   | 70 |
| 8   | Risposta al moto del suolo: analisi sismica   | 71 |
| 8.1 | Analisi time-history  | 71 |
| 8.2 | Spettri di risposta   | 72 |
| 8.3 | Trasformazione di un problema dinamico in uno statico:  | 75 |
| 9   | Risposta di sistemi anelastici  | 76 |
| 10  | Spettri di risposta inelastici  | 78 |

## Capitolo 5

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 1    | L'AZIONE SISMICA   | 85  |
| 1    | Lo spettro di risposta di riferimento                                  | 85  |
| 2    | Definizione dell'azione sismica  | 88  |
| 2.1  | Periodo di riferimento $V_R$   | 89  |
| 2.2  | Stati limite e relative probabilità di superamento $P_{VR}$            | 91  |
| 2.3  | Parametri spettrali  | 92  |
| 2.4  | Categorie di suolo di fondazione                                       | 93  |
| 2.5  | Condizioni topografiche  | 95  |
| 2.6  | Descrizione del moto sismico in superficie                             | 95  |
| 2.7  | Spettro di risposta elastico in accelerazione - componenti orizzontali | 96  |
| 2.8  | Spettro di risposta elastico in accelerazione - componenti verticali   | 98  |
| 2.9  | Spettro di risposta elastico dello spostamento                         | 99  |
| 2.10 | Spostamento e velocità orizzontali massimi                             | 100 |
| 3    | Spettri di progetto  | 100 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 3.1 | Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio | 101 |
| 3.2 | Spettri di progetto per gli stati limite ultimi       | 101 |
| 3.3 | Spettro di progetto dello spostamento                 | 104 |
| 4   | Rappresentazione temporale dell'azione sismica        | 104 |
| 5   | Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni  | 105 |
| 6   | Variabilità spaziale del moto                         | 106 |

## Capitolo 6

|  |   |     |
|--|---|-----|
| ANALISI DEI SISTEMI A MOLTI GRADI DI LIBERTÀ |   | 109 |
| 1  | Sistemi lineari MDOF – analisi modale                                 | 110 |
| 1.1  | Oscillazioni libere di un sistema MDOF non smorzato                   | 110 |
| 1.2  | Risposta dei sistemi lineari non smorzati ad una eccitazione generica | 112 |
| 1.3  | Risposta dei sistemi lineari smorzati ad una eccitazione generica     | 112 |
| 2  | Determinazione sperimentale delle caratteristiche dinamiche           | 113 |
| 3  | Risposta dei sistemi lineari all'eccitazione sismica                  | 114 |
| 3.1  | Analisi della risposta nel tempo (time history)                       | 115 |
| 3.2  | Analisi con spettro di risposta                                       | 116 |
| 4  | Sistemi a telaio  | 117 |
| 4.1  | Ipotesi di base della modellazione                                    | 117 |
| 4.2  | Analisi sismica   | 121 |
| 4.3  | Analisi modale con spettro di risposta                                | 123 |
| 4.4  | Analisi statica lineare   | 124 |
| 4.5  | Analisi statica secondo NTC 2008                                      | 125 |
| 4.6  | Predimensionamento delle strutture                                    | 125 |
| 5  | Modellazione della risposta non lineare                               | 128 |
| 5.1  | Modelli a plasticità concentrata                                      | 128 |
| 5.2  | Modelli a plasticità diffusa  | 129 |
| 5.3  | Procedure di soluzione  | 129 |
| 6  | Analisi statica non lineare – analisi push-over                       | 130 |
| 6.1  | Determinazione della curva di capacità                                | 130 |
| 6.2  | Metodo di verifica NTC 2008   | 132 |

## Capitolo 7

|                             |  |     |
|-----------------------------|--|-----|
| PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI |  | 135 |
| 1                           | Concetti di base della progettazione sismica | 135 |
| 1.1                         | Capacity design                              | 137 |
| 1.2                         | La gerarchia delle resistenze                | 138 |
| 1.3                         | Definizioni di resistenza                    | 140 |
| 1.4                         | Procedura del capacity design                | 142 |
| 2                           | Criteri generali di progettazione            | 142 |
| 3                           | Caratteristiche generali delle costruzioni   | 144 |
| 3.1                         | Interazione azione-sistema strutturale       | 144 |
| 3.2                         | Requisiti essenziali del sistema strutturale | 144 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 3.3  | Tipologie strutturali   | 145 |
| 4    | Regolarità strutturale  | 151 |
| 4.1  | Regolarità in pianta  | 152 |
| 4.2  | Regolarità in elevazione  | 155 |
| 4.3  | Rigidezza del solaio nel suo piano                                | 156 |
| 5    | Elementi strutturali secondari                                    | 157 |
| 6    | Modellazione della struttura                                      | 158 |
| 6.1  | Diaframmi orizzontali   | 158 |
| 6.2  | Eccentricità accidentale  | 159 |
| 6.3  | Rigidezza degli elementi strutturali                              | 160 |
| 6.4  | Fondazioni  | 161 |
| 7    | Metodi di analisi   | 161 |
| 7.1  | Analisi lineare   | 162 |
| 7.2  | Analisi dinamica lineare  | 163 |
| 7.3  | Analisi statica lineare   | 164 |
| 7.4  | Valutazione degli spostamenti                                     | 165 |
| 7.5  | Analisi non lineare   | 165 |
| 8    | Modellazione delle azioni   | 165 |
| 8.1  | Combinazione delle componenti dell'azione sismica                 | 166 |
| 9    | Criteri di verifica agli stati limite ultimi                      | 166 |
| 10   | Criteri di verifica agli stati limite di esercizio                | 167 |
| 10.1 | Verifiche in termini di resistenza                                | 167 |
| 10.2 | Verifiche di contenimento del danno agli elementi non strutturali | 167 |
| 10.3 | Elementi non strutturali e impianti                               | 168 |

## Capitolo 8

|                                    |   |            |
|------------------------------------|---|------------|
| <b>STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO</b> |   | <b>169</b> |
| 1                                  | Introduzione  | 169        |
| 2                                  | Tipologie strutturali                                 | 170        |
| 3                                  | Fattori di struttura                                  | 170        |
| 4                                  | Regole di gerarchia delle resistenze                  | 171        |
| 4.1                                | Regole di gerarchia delle resistenze per le travi     | 172        |
| 4.2                                | Regole di gerarchia delle resistenze per i pilastri   | 173        |
| 4.3                                | Regole di gerarchia delle resistenze per le pareti    | 174        |
| 5                                  | Comportamento dei materiali                           | 175        |
| 5.1                                | Il calcestruzzo                                       | 175        |
| 5.2                                | L'acciaio di armatura                                 | 182        |
| 5.3                                | Aderenza acciaio-calcestruzzo                         | 184        |
| 5.4                                | Requisiti dei materiali                               | 187        |
| 6                                  | Comportamento sismico delle travi                     | 188        |
| 6.1                                | Comportamento per carichi monotoni                    | 188        |
| 6.2                                | Comportamento per carichi ciclici                     | 192        |
| 6.3                                | Principali fattori che influenzano il degrado ciclico | 195        |
| 6.4                                | Travi soggette prevalentemente a taglio               | 199        |

|                         |  |     |
|-------------------------|--|-----|
| 6.5                     | Progettazione delle travi  | 199 |
| 7                       | Comportamento sismico dei pilastri   | 201 |
| 7.1                     | Comportamento per carichi monotoni   | 202 |
| 7.2                     | Comportamento per carichi ciclici  | 203 |
| 7.3                     | Progettazione dei pilastri   | 207 |
| 8                       | Nodi trave-pilastro  | 210 |
| 8.1                     | Meccanismi resistenti nel nodo trave-pilastro                                      | 210 |
| 8.2                     | Comportamento per carico ciclico   | 212 |
| 8.3                     | Progettazione dei nodi trave-pilastro  | 214 |
| 9                       | Comportamento sismico delle pareti   | 216 |
| 9.1                     | Comportamento per carichi monotoni   | 216 |
| 9.2                     | Comportamento per carichi ciclici.   | 217 |
| 9.3                     | Pareti con aperture  | 219 |
| 9.4                     | Progettazione delle pareti   | 221 |
| 10                      | Pannelli di tamponamento   | 222 |
| Capitolo 9              |  |     |
| COSTRUZIONI IN MURATURA |  | 225 |
| 1                       | Introduzione   | 225 |
| 2                       | Tipologie murarie  | 225 |
| 3                       | I materiali costituenti la muratura  | 228 |
| 3.1                     | La malta   | 228 |
| 3.2                     | Gli elementi resistenti  | 231 |
| 4                       | Comportamento meccanico della muratura   | 233 |
| 4.1                     | Comportamento alla prova monoassiale di trazione-compressione                      | 234 |
| 4.2                     | Compressione e taglio nel piano della parete                                       | 240 |
| 4.3                     | Comportamento a flessione fuori piano  | 242 |
| 4.4                     | Coefficienti di sicurezza  | 243 |
| 5                       | Stati limite di elementi strutturali   | 244 |
| 5.1                     | Elementi murari soggetti a carichi verticali e ad azioni ortogonali al piano medio | 244 |
| 5.2                     | Elementi murari sollecitati nel piano medio  | 251 |
| 6                       | Concezione strutturale dell'edificio in muratura                                   | 255 |
| 7                       | La modellazione  | 258 |
| 8                       | Analisi delle strutture in muratura  | 259 |
| 8.1                     | Azioni   | 259 |
| 8.2                     | Analisi per i carichi verticali  | 260 |
| 8.3                     | Pareti di controvento  | 266 |
| 8.4                     | Analisi delle pareti di controvento per azioni sismiche                            | 268 |
| 8.5                     | Meccanismi di danno per azioni fuori piano   | 270 |
| 9                       | Costruzioni in muratura armata   | 272 |
| Capitolo 10             |  |     |
| STRUTTURE IN ACCIAIO    |  | 275 |

|     |                                       |     |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 1   | Introduzione                          | 275 |
| 2   | Materiali                             | 275 |
| 3   | Tipologie strutturali                 | 276 |
| 3.1 | Fattori di struttura                  | 278 |
| 4   | Regole di progetto                    | 279 |
| 4.1 | Elementi strutturali dissipativi      | 279 |
| 4.2 | Strutture intelaiate                  | 280 |
| 4.3 | Strutture con controventi concentrici | 280 |

## Capitolo 11

|  |   |     |
|--|---|-----|
| INTERVENTI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI |   | 281 |
| 1                                      | Introduzione                                  | 281 |
| 2                                      | Generalità                                    | 282 |
| 3                                      | Prescrizioni normative                        | 283 |
| 3.1                                    | Valutazione della sicurezza                   | 283 |
| 3.2                                    | Classificazione degli interventi              | 283 |
| 3.3                                    | Livelli di conoscenza e fattori di confidenza | 284 |
| 3.4                                    | Azioni  | 285 |
| 3.5                                    | Verifiche                                     | 285 |
| 3.6                                    | Interventi                                    | 286 |

## Capitolo 12

|                                    |                                       |     |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----|
| COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO SISMICO |                                       | 289 |
| 1                                  | Introduzione                          | 289 |
| 2                                  | Basi teoriche dell'isolamento sismico | 291 |
| 3                                  | Progettazione delle strutture isolate | 295 |
| 3.1                                | Criteri progettuali                   | 295 |
| 3.2                                | Disposizioni costruttive              | 296 |
| 3.3                                | Modellazione                          | 296 |
| 3.4                                | Analisi                               | 297 |
| 3.5                                | Verifiche                             | 297 |