

*Maria Luisa Beconcini*

# Costruzioni in zona sismica

CON RIFERIMENTO ALLE NORME TECNICHE  
PER LE COSTRUZIONI D.M. 14.01.2008



# 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

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		
STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO		169
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

Il terremoto, cieca forza d'una maligna natura,  
è un doppio disastro, fisico e umano.  
Spazza via in pochi secondi secoli di storia, cultura, civiltà.  
Là dove erano focolari, rifugi per soste di riposo, coaguli di  
tenerezze, trame d'amore, dolore, eventi di vita e morte,  
accumuli di memoria, di colpo si fa il deserto, terreno nudo e  
vago. E puntualmente spuntano, su questi luoghi  
dalla malasorte azzerati, dalle selve della violenza  
e del disumano, dall'antistoria dell'opportunismo e del cinismo,  
spuntano i lupi e gli sciacalli. Ma è anche il momento, dopo il  
terremoto, di non perdersi nel mare della disperazione  
e dell'annientamento. E' il momento di ricominciare a costruire  
la storia. Ricostruire sulle pietre della consapevolezza e della  
ragione, e anche, perché no?, sulle pietre della bellezza. Niente  
è più entusiasmante della costruzione di una nuova città.

*Vincenzo Consolo, 1989*