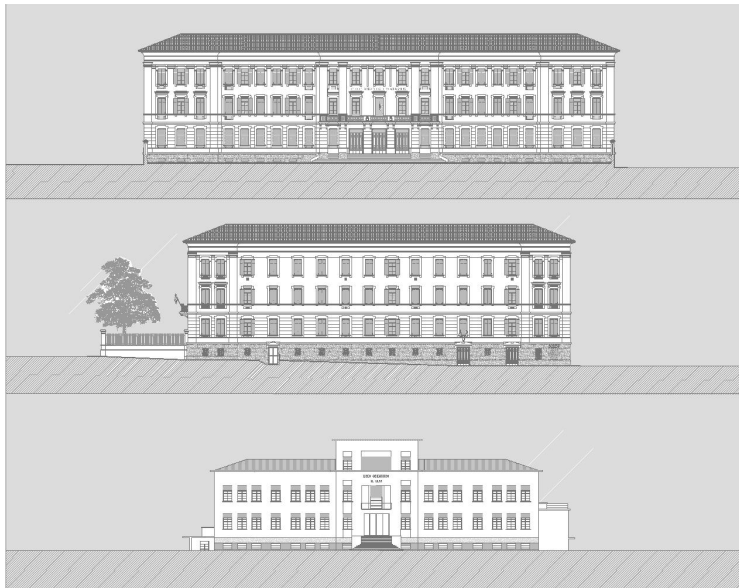


Alessandro Di Stasi

**La vulnerabilità sismica di edifici storici in muratura:
il caso del Liceo Classico Romagnosi
e del Liceo Scientifico Ulivi di Parma**

VOLUME 1



Tutore: Prof. Ing. Roberto Cerioni
Co-tutore: Prof.ssa Ing. Beatrice Belletti

Coordinatore del Dottorato: Prof. Ing. Paolo Mignosa



Università degli Studi di Parma
Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile – XXI Ciclo

A mio figlio Lorenzo.

*Quelli che s'innamoran di pratica senza scienza
sono come 'l nocchiere,
ch'entra in navilio senza timone o bussola
che mai ha certezza dove si vada.
Sempre la pratica dev'essere edificata
sopra la bona teorica.*

Leonardo da Vinci

Indice

Prefazione - Per una visione olistica della diagnostica strutturale

Capitolo 1 - Le indagini sugli edifici esistenti in muratura e la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale

1.1 Dati necessari e livello di conoscenza	5
1.2 Geometria	5
1.3 Dettagli costruttivi	5
1.4 Proprietà dei materiali	6
1.5 I livelli di conoscenza	8
1.6 Valori di riferimento dei parametri meccanici delle murature esistenti	9

Capitolo 2 - La vulnerabilità sismica

2.1 Premessa	
2.2 Correlazione Danno – Azione – Vulnerabilità	13
2.3 Classificazione dei metodi di stima	14
2.4 Vulnerabilità a posteriori	15
2.5 Metodologia semplificata per la valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico di edifici esistenti in muratura	16
2.5.1 Individuazione dei meccanismi di collasso possibili	16
2.5.2 Modello di comportamento	17
2.5.3 Vulnerabilità sismica e rischio di raggiungimento dei limiti di Danno Limitato e di Danno Severo	18
2.5.4 Tagli di piano	19
2.5.5 Accelerazioni al suolo	19
2.5.6 Coefficiente di duttilità	21
2.5.7 Determinazione del livello prestazionale di Danno Limitato	22
2.5.8 Accelerazioni al suolo	23
2.6 Affidabilità delle stime ed aspetti connessi	23

Capitolo 3 - La valutazione della sicurezza per edifici esistenti in muratura

3.1 Generalità	25
3.2 Analisi e verifiche	27

Capitolo 4 - Stati Limite e criteri di verifica

4.1 Premessa	29
4.2 Gli Stati Limite	29
4.3 Criteri di verifica degli elementi strutturali	30
4.3.1 Verifica con lo spettro elastico	30
4.3.2 Verifica con il fattore di struttura q	31
4.4 Valutazione degli effetti dell'azione sismica sugli elementi strutturali	31
4.5 Valutazione delle capacità degli elementi strutturali	32

Capitolo 5 - Le informazioni necessarie per il calcolo analitico

5.1 Premessa	33
5.2 I dati richiesti	34
5.2.1 I livelli di conoscenza	35
5.2.2 La geometria dell'edificio	36
5.2.3 I dettagli costruttivi	37
5.2.4 Le proprietà dei materiali	37
5.3 L'individuazione delle caratteristiche della struttura e dei dettagli costruttivi	38
5.3.1 Il programma delle indagini	38
5.3.2 Gli elaborati di progetto disponibili	40
5.3.3 La campagna di rilievo	41
5.3.4 Saggi e prove per individuare dimensioni e dettagli costruttivi	43
5.3.5 Individuazione delle armature e dei dettagli costruttivi	44
5.3.6 Il progetto simulato	45
5.3.7 Le principali fonti normative delle strutture in c. a.	48
5.3.8 La manualistica di uso comune per le strutture in c.a.	51
5.3.8.1 Solai in c.a.	51
5.3.8.2 Travi in c.a.	51
5.3.8.3 Pilastrini in c.a.	52
5.3.8.4 Scale in c.a.	53

Capitolo 6 - Le tecniche di indagine diagnostica non distruttiva

6.1 Premessa	55
6.2 Indagini conoscitive	55
6.2.1 Indagine storica	56
6.2.2 Rilievo geometrico e tipologico	56
6.2.3 Indagini sulle caratteristiche strutturali dei materiali (diagnostica)	57
6.2.4 Analisi e verifiche statiche	57
6.2.5 Diagnostica strutturale	57
6.3 Indagini non distruttive su murature e strutture in c.a.	61
6.3.1 L'impiego dei martinetti piatti nello studio delle murature	61
6.3.1.1 Prova con martinetto singolo	62
6.3.1.2 Prova con martinetto doppio	64
6.3.2 Indagini termografiche	65
6.3.3 Indagini endoscopiche	66
6.3.4 Indagini microsismiche ed ultrasoniche	67
6.3.5 Tomografia sonora	70
6.3.6 Tecniche Ground Penetrating Radar Multifold per rilievi Ultra-High Resolution (UHR) su opere murarie	71
6.3.7 Indagini sclerometriche	72
6.3.8 Prove di pull-out	73
6.3.9 Indagini pacometriche	74

Capitolo 7 - Azioni sismiche di progetto e caratterizzazione dei materiali: il caso del liceo classico romagnosi

7.1 Introduzione	77
7.2 Quadro normativo I - calcolo agli SLU secondo il D.M. 14/01/2008 e la Direttiva 12/10/2007 – metodo Pushover – edifici storici in muratura facenti parte del patrimonio culturale	77
7.2.1 Valutazione dell'azione sismica di progetto relativa al I° quadro normativo	80
7.2.2 Valutazione delle caratteristiche dei materiali nel caso del I° quadro normativo	88
7.3 Quadro normativo II - calcolo agli SLU secondo il D.M. 14/01/2008 – metodo Pushover – edifici esistenti in muratura	93

7.3.1 Valutazione dell'azione sismica di progetto nel caso del II° quadro normativo	93
7.3.2 Valutazione delle caratteristiche dei materiali nel caso del II° quadro normativo	96
7.4 Quadro normativo III - calcolo alle Tensioni Ammissibili secondo il D.M. 20/11/1987 ed il D.M. 16/01/1996 – metodo POR – edifici esistenti in muratura	96
7.4.1 Valutazione dell'azione sismica di progetto nel caso del III° quadro normativo	97
7.4.2 Valutazione delle caratteristiche dei materiali nel caso del III° quadro normativo	97
7.5 Diagrammi di flusso e tabella riassuntiva dei tre metodi di calcolo analizzati	100

Capitolo 8 - Valutazione dell'azione sismica per gli edifici in muratura

8.1 Dinamica delle strutture	103
8.2 Richiami di ingegneria sismica	106
8.2.1 Generalità	106
8.2.2 Prestazioni attese dalle strutture per edifici soggetti a sisma	106
8.2.3 Valutazione delle azioni sismiche - Spettri di risposta	107
8.2.4 Duttilità	109
8.3 Azione sismica di progetto	110
8.3.1 Terreni di fondazione	110
8.3.2 Zone sismiche secondo l'OPCM 3431 e le NTC 2008	111
8.3.3 Descrizione dell'azione sismica - Spettro di risposta elastico	112
8.3.4 Fattori di struttura	113
8.3.5 Spettri di progetto	115
8.3.6 Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni	117
8.3.7 Combinazione delle componenti dell'azione sismica	117
8.3.8 Valutazione degli spostamenti	117

Capitolo 9 - Metodi di analisi sismica per gli edifici in muratura

9.1 Premessa	119
9.2 Modellazione della struttura	120
9.3 Analisi statica lineare	120
9.3.1 Generalità	120
9.3.2 Forze ai piani	123
9.3.3 Analisi della struttura (metodo "por")	123
9.4 Analisi statica non lineare	127
9.4.1 Generalità	127
9.4.2 Analisi Pushover	128
9.4.2.1 Fase "1" dell'analisi Pushover	128
9.4.2.2 Fase "2" dell'analisi Pushover	131
9.4.2.3 Fase "3" dell'analisi Pushover	133
9.4.2.4 Fase "4" dell'analisi Pushover	133
9.4.3 Problemi di modellazione	134
9.5 Analisi dinamica modale	136
9.5.1 Generalità	136
9.5.2 Modello ad n gradi di libertà	136
9.5.3 Analisi sismica modale per edifici con struttura in muratura	142
9.6 Analisi dinamica non lineare	145

Capitolo 10 - Cerifiche di sicurezza per gli edifici in muratura

10.1 Premessa	147
10.2 Verifiche di sicurezza per edifici studiati a mezzo di analisi lineare - Stato Limite Ultimo	147
10.2.1 Pressoflessione nel piano	147
10.2.2 Verifiche a taglio per scorrimento	148
10.2.3 Verifica a taglio per crisi da trazione	149
10.2.4 Pressoflessione fuori del piano	152
10.2.5 Travi in muratura	153
10.3 Verifiche di sicurezza per edifici studiati a mezzo di analisi lineare - Stato Limite di Danno	154
10.4 Verifiche di sicurezza per edifici studiati a mezzo di analisi statica non lineare - Stato Limite Ultimo	155
10.4.1 Premessa	155
10.4.2 Crisi per pressoflessione nel piano	156
10.4.3 Crisi da taglio per scorrimento	156
10.4.4 Crisi da taglio per fessurazione diagonale	157
10.5 Verifiche di sicurezza per edifici studiati a mezzo di analisi non lineare - Stato Limite di Danno	157

Capitolo 11 - Analisi cinematica lineare e non lineare

11.1 Premessa	159
11.2 Analisi cinematica lineare	160
11.3 Analisi cinematica non lineare	163
11.4 Meccanismi di 1° modo. Analisi cinematica lineare	165
11.4.1 Ribaltamento di parete monopiano	165
11.4.2 Cinematismo per rottura interna in parete incatenata	168
11.4.3 Ribaltamento di parete con due piani	171
11.5 Meccanismi di 2° modo. Analisi cinematica lineare	173
11.5.1 Generalità	173
11.5.2 Pannello murario soggetto a forze complanari	174
11.6 Considerazioni conclusive sull'analisi cinematica	176

Conclusioni

12.1 Analisi eseguite sul complesso "Romagnosi-Parmigianino-Corridoni"	177
12.1.1 Struttura	177
12.1.2 Materiali strutturali	177
12.1.3 Rispondenza delle strutture portanti alle Norme vigenti	177
12.1.4 Scale	178
12.1.5 Cornicione	178
12.1.6 Quadro fessurativo	178
12.1.7 Interventi da realizzare	178
12.1.8 Possibilità di realizzare cinque nuove aule a livello del piano sottotetto del liceo classico "Romagnosi"	179
12.1.9 Conclusioni	179
12.2 Analisi eseguite sull'edificio del Liceo Scientifico "Ulivi"	179

Bibliografia