



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI

FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

CONFRONTO TRA MODELLI NUMERICI PER L'ANALISI
SISMICA NON LINEARE DI EDIFICI IN MURATURA.
APPLICAZIONE AD UN CASO PRATICO

Relatore:
Chiar.^{mo} Prof. MARIO GIORGI

Candidato:
MARCO DI SETTIMI
Matr. N°: STA06979/LM23

ANNO ACCADEMICO

2017/2018

INDICE

1. Introduzione	- 1 -
2. Comportamento meccanico della muratura e principali tipologie di collasso sismico	- 3 -
2.1. Proprietà meccaniche della muratura	- 3 -
2.1.1. Resistenza a compressione	- 7 -
2.1.2. Resistenza a taglio.....	- 24 -
2.1.3. Resistenza a trazione	- 36 -
2.1.4. Stati tensionali composti	- 37 -
2.2. Proprietà deformative della muratura	- 41 -
3. Analisi sismica prevista dalle NTC 2008	- 46 -
3.1. Analisi strutturale	- 46 -
3.2. Analisi Statica Lineare	- 49 -
3.3. Analisi Dinamica Lineare.....	- 50 -
3.4. Analisi Statica Non Lineare	- 52 -
3.5. Analisi Dinamica Non Lineare	- 55 -
3.6. Analisi Strutturale in campo Non Lineare	- 57 -
4. Modelli e metodi numerici per l'analisi degli edifici in muratura	- 60 -
4.1. Metodo POR.....	- 60 -
4.2. Metodo PEFV	- 74 -
4.2.1. Confronto tra metodo PEFV e metodo POR-	81 -
4.3. Metodo a telaio equivalente (SAM).....	- 83 -
4.4. Metodo 3MURI	- 92 -

4.5. Metodo RAN	- 106 -
5. Casi di studio	- 135 -
5.1. Caso di esempio	- 135 -
5.1.1. Modello POR	- 140 -
5.1.2. Modello 3MURI	- 144 -
5.1.3. Modello PRO_SAP (telaio equivalente SAM)-	149 -
5.1.4. Risultati.....	- 153 -
5.2. Caso reale	- 160 -
5.2.1. Individuazione del sito	- 160 -
5.2.2. Parametri sismici	- 165 -
5.2.3. L'edificio.....	- 168 -
5.2.4. Assunzioni per i modelli.....	- 168 -
5.2.5. Modello POR	- 169 -
5.2.6. Modello 3MURI	- 175 -
5.2.7. Modello PRO_SAP (telaio equivalente SAM)-	180 -
5.2.8. Risultati.....	- 185 -
6. Conclusioni	- 190 -
7. Bibliografia	- 192 -

ABSTRACT

L'analisi non lineare statica riveste una notevole importanza nell'ambito dello studio della risposta sismica delle strutture. L'analisi non lineare statica equivalente al sisma (denominata 'pushover analysis') è riconosciuta da diversi anni come un efficace strumento di previsione della risposta sismica delle strutture, nel campo di validità di determinate ipotesi iniziali. Il nostro Paese è stato ed è tuttora sede di numerosi e qualificati studi nell'ambito della modellazione delle strutture murarie, in particolare in ambito sismico. Negli ultimi venti anni sono stati proposti numerosi modelli per il calcolo della risposta sismica di pareti murarie e di edifici, basati su presupposti teorici diversi e livelli di dettaglio di indagine differenti, legati a forme costruttive che possono differire considerevolmente per materiali, tessitura, concezione d'insieme del sistema strutturale e dettagli costruttivi.

Il presente lavoro si concentra sostanzialmente sull'analisi comparata delle risposte ottenute mediante analisi statica non lineare con diversi modelli di calcolo. Si sono analizzati alcuni dei principali modelli a macroelementi impiegati nella pratica ingegneristica attuale (mediante codici di calcolo commerciali esistenti): il metodo POR (POR2000 della NewSoft), il metodo SAM a telaio equivalente (PRO_SAP della 2S.I.) ed il metodo 3MURI (3MURI della S.T.A. DATA).

Lo studio è stato ripetuto su un caso di esempio, di geometria semplice e simmetrica e su un caso reale, al fine di poter valutare criticamente i risultati ed astrarli dalla particolarità del caso oggetto di studio.

Complessivamente dagli studi svolti si evince che con la modellazione POR la struttura mostra un comportamento più rigido (maggiore pendenza iniziale della curva pushover), in parte legata all'assunzione di impalcati rigidi; al contrario, il modello 3MURI, sostanzialmente basato su una modellazione monodimensionale, ma con l'introduzione di considerazioni su possibili cinematismi di ribaltamento e di scorrimento come nella modellazione bidimensionale, è quello che mostra una minore rigidità della struttura ed una maggiore duttilità. Il modello SAM a telaio equivalente si colloca a metà tra i precedenti, mostrando una rigidità intermedia ed una duttilità pure intermedia (ma in realtà variabile a seconda della geometria e della direzione del sisma).

La grande varietà di modelli esistenti è esplicitiva di per sé della difficoltà di modellare adeguatamente la risposta sismica di edifici in muratura. Lo studio condotto mostra che la risposta ottenuta con differenti approcci di modellazione fornisce una risposta differente; ne consegue che è richiesta una buona capacità da parte del professionista di interpretare correttamente i risultati ed in parte di prevedere il comportamento della struttura, al fine di mettere a punto una modellazione adeguata. Non si può individuare uno strumento o una metodologia univoca e migliore delle altre per lo svolgimento delle analisi e per la valutazione della capacità sismica degli edifici in muratura.

I modelli a macroelementi, quali quelli analizzati, possono essere un valido strumento ad ausilio dell'ingegnere, ma in tal maniera vanno considerati. L'ingegnere deve avere sempre ben chiaro che si tratta di modellazioni e matematizzazioni della realtà e che ogni

strumento impiegato ha i propri punti di forza ed i propri limiti: è pertanto necessario interpretare criticamente i risultati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

Norme tecniche per le costruzioni DM 14/01/2008

Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni Circolare n. 617/CSLLPP del 2 febbraio 2009

Carbone V. I., Pistone G., Fiore A., *Le costruzioni in muratura. Interpretazione del comportamento statico e tecniche di intervento*, Hoepli, 2001

D'Asdia P., Viskovic A., *L'analisi sismica degli edifici in muratura*, *Ingegneria Sismica*, Anno XI, N.1, 32-42, 1994

D'Asdia P., Viskovic A. & Brusaporci C., *Non linear step by step analysis for masonry structures using changing shape finite elements - new developments and implementations - Structural Analysis of Historical Constructions*, Modena, Lourenço & Roca 2005 Taylor & Francis Group, London

Croci G., D'Asdia P., Viskovic A., *Methods for the analysis and safety evaluation of masonry structures subjected to seismic actions*, *Built Environment* vol 15, 1995, WIT Press

D'Asdia P., Viskovic A., *Analyses of a masonry wall subjected to horizontal actions on its plane, employing a non-linear procedure using changing shape finite elements - Modelling and Simulation* vol 10, 1995, WIT Press

Hendry A. W., *Statica delle strutture in muratura di mattoni*, Patron Editore, 1986

Magenes G., Della Fontana A., *Verifica di edifici in muratura ordinaria ed armata con metodi di analisi statica, lineare e non lineare*

Magenes G., Bolognini D., Braggio C., *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*

Betti M., Bartoli G., Corazzi R., Kovačević V., *Strumenti Open Source per l'ingegneria strutturale. Modellazione meccanica non lineare di edifici in muratura*, Bollettino degli ingegneri. LX, 2012

Dolce M., *Schematizzazione e modellazione per azioni nel piano delle pareti - Corso sul consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica*, Ordine degli Ingegneri, Potenza, 1989

Augenti N., *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, UTET Libreria, 2004

Calderoni B., Cordasco E. A., Sandoli A., Onotri V., Tortoriello G., *Problematiche di modellazione strutturale di edifici in muratura esistenti soggetti ad azioni sismiche in relazione all'utilizzo di software commerciali*, Conference: ANIDIS, At L'Aquila, 2015

Galasco A., Lagomarsino S., *Analisi sismica non lineare a macroelementi di edifici in muratura*, X Congresso Nazionale 'L'ingegneria Sismica in Italia', Potenza-Matera 9-13 settembre 2001

POR2000 Progetto e verifica di edifici in muratura, Versione 9.x, Manuale d'uso, NewSoft

3MURI Manuale d'uso, Versione 11.4.0, S.T.A. Data

PRO_SAP Manuale dell'utente, Versione per Windows, Release: Marzo 2017, 2S.I.