

Relazione tecnica e di calcolo

I fattori influenzanti il comportamento dell'intera struttura sono stati individuati e valutati in conformità con quanto stabilito dalle disposizioni vigenti e, in particolare, dalle seguenti:

Legge 02/02/74, n.64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche."

D.M. 02/07/81, "Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia."

D.M. 20/11/87, "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento."

D.M. 16/01/96, "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche."

Circolare Min. LL.PP. 30/07/81, n°21745, "Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma."

Circolare Min. LL.PP. 04/01/1989, "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione, e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento."

Circolare Min. LL.PP. 15/10/1996, "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica»."

D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. Marche 2153/98 in attuazione Legge 61/98 «Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi»

Parametri sismici di riferimento alla situazione di progetto

coefficiente di intensità sismica:	0,07
coefficiente di risposta:	1,00
coefficiente di protezione sismica:	1,00
coefficiente di fondazione:	1,00
coefficiente di struttura	4,00

D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. Marche 2153/98 in attuazione Legge 61/98
coefficiente riduttivo **0,65**

Per avere un quadro completo del comportamento si è costruito un modello numerico dell'intera struttura del complesso.

La verifica sismica viene condotta per mezzo di questo modello di calcolo POR dove la capacità portante della struttura è affidata alla resistenza al taglio dei singoli setti murari.

Come ipotesi di base si assume che i solai siano sufficientemente rigidi e resistenti nel loro piano per ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controventamento e che fra le pareti sussista un sufficiente grado di ammorsamento tale da garantire un comportamento scatolare dell'insieme. In questo contesto la presenza dei muri trasversali impedisce la rotazione delle sezioni terminali e il maschio può essere schematizzato con vincoli di incastro scorrevole. In questo caso si sono schematizzati i solai a volta (non previsti dal metodo di calcolo) con solai di varie dimensioni confinati da cordoli aventi

caratteristiche meccaniche variabili anche in considerazione del consolidamento realizzato.

Ciascun elemento murario esibisce un comportamento elasto-plastico a duttilità limitata con resistenza limite espressa in termini di tensione tangenziale, valutata considerando meccanismi di crisi di puro taglio, nonché crisi di schiacciamento per pressoflessione. I valori limiti della duttilità, alla fessurazione e al collasso, dipendono dalla tipologia e geometria del maschio di murario e determinano rispettivamente il raggiungimento dello stato fessurato e dello stato di collasso. Una volta che il maschio arriva alla duttilità ultima, è considerato collassato e pertanto non fornisce più alcun contributo alla resistenza di insieme.

La struttura è analizzata piano per piano con una analisi incrementale al passo protratta in campo nonlineare fino al raggiungimento del limite di collasso e facendo di volta in volta variare l'angolo di incidenza del sisma da 0 a 360 gradi secondo una scansione di incidenza sismica a passo di 30 gradi, tale da campionare in modo esauriente il comportamento strutturale della struttura sotto sisma. (vedi allegato numerico).

Per ogni direzione sismica, l'analisi incrementa gradualmente il carico sismico, controllando in ogni passo il livello tensionale e deformativo nei maschi e confrontando la duttilità raggiunta con i valori limiti definiti per il tipo di muratura.

La soluzione incrementale è ottenuta imponendo l'equilibrio tra il tagliante di piano, quale risultante delle forze sismiche cumulate sino al piano considerato, e la risultante degli sforzi di taglio distantesi in ciascun setto, ottenuti in funzione dello scorrimento di interpiano e del legame elasto-plastico ad essi associato.

Col procedere del processo di carico, si raggiungono in progressione

- il limite elastico quando si ha la plasticizzazione del primo setto,
- il limite di fessurazione quando in almeno un setto lo stato deformativo è pari alla duttilità di fessurazione,
- il limite ultimo quando il collasso progressivo dei maschi rende impossibile l'equilibrio con le forze esterne.

I corrispondenti moltiplicatori dei carichi assumono il significato di coefficienti di sicurezza e sono registrati per ogni piano al variare dell'angolo di incidenza del sisma.

Si eseguono anche eseguite le verifiche locali a pressoflessione richieste dal punto C.9.5.3. dell'attuale norma sismica, considerando l'effetto della spinta sismica ortogonale al piano del muro e tenendo conto dei vincoli laterali di controventamento offerto dalle pareti ortogonali, in quanto efficaci.

I carichi verticali sono stati computati mediante un cumulo progressivo dei carichi dei solai ai piani, dei pesi propri delle murature, dell'influenza dei disassamenti prodotti da riseghe di spessore e dai meccanismi di trasmissione dei carichi in

corrispondenza delle aperture ed infine dei sovrasforzi generati dal sisma.

Nella valutazione degli sforzi normali si è tenuto conto dell'azione non contemporanea dei carichi accidentali riducendo il carico accidentale gravante ai piani sovrastanti; si è assunto un fattore riduttivo del 0% per il piano immediatamente sovrastante a quello considerato e del 15% per i piani superiori.

Le verifiche degli elementi murari sono state condotte col metodo degli stati limite in accordo con le disposizioni del punto 2.4 del citato D.M. 20/11/1987.

In particolare si sono eseguite le seguenti verifiche:

Verifica della <u>snellezza</u> dei setti	secondo il D.M. 20/11/87.
Verifica a <u>taglio convenzionale</u>	secondo il D.M. 20/11/87.
Verifica della <u>compressione eccentrica trasversale</u>	secondo la C.M. 30/07/81.
Verifica a <u>pressoflessione</u>	secondo la C.M. 30/07/81.
Analisi sismica Por con verifica del <u>limite elastico</u>	secondo la C.M. 30/07/81.
Analisi sismica Por con verifica del <u>limite fessurazione</u>	secondo la C.M.
30/07/81.	
Analisi sismica Por con verifica del <u>limite ultimo</u>	secondo la C.M. 30/07/81.
Verifica a <u>ribaltamento</u> secondo i Criteri di calcolo	in attuazione L.61/98.
Verifica dei <u>collegamenti</u> secondo i Criteri di calcolo	in attuazione L.61/98.

Riassumiamo i risultati trovati rimandando, per una lettura completa, al tabulato numerico presentato in allegato ed a parziale modifica di quanto già presentato esplicitando le ipotesi introdotte nel modello numerico con attenuazione delle letture eccessivamente cautelative dei parametri significativi, che avevano portato a non mettere in conto una serie di risorse, rendendo più esplicito e visibile il miglioramento funzionale della struttura nella sua globalità.

Quadro delle sicurezze sui meccanismi di collasso

Meccanismo	Coefficienti di sicurezza	
	C _{fin}	C _o
Azioni ortogonali al piano della muratura	0,0042	0,0031
Azioni nel piano della muratura	0,0343	0,0238
Ribaltamento e crisi dei collegamenti	0,0527	0,0449

Incrementi percentuali

Azioni ortogonali al piano della muratura

$$\frac{C_{fin} - C_o}{C_o} \cdot 100 = 35.5\%$$

Azioni nel piano della muratura

$$\frac{C_{fin} - C_o}{C_o} \cdot 100 = 30.5\%$$

Ribaltamento e crisi dei collegamenti

$$\frac{C_{fin} - C_o}{C_o} \cdot 100 = 17.5\%$$

Il progettista delle strutture
Prof. Ing. Enrico Baroni
Prof. Arch. Alberto Bove