

POR 2000

Analisi di un edificio in muratura

**Calcolo, Controllo dei Risultati Globali, Verifiche dei
Meccanismi Locali e Proposte di Interventi di
Miglioramento Sismico
secondo le Ntc**

NEWSOFT

www.newsoft-eng.it

Premessa

Nel presente documento si affrontano le problematiche connesse alla valutazione della capacità portante di un edificio esistente in muratura e ai possibili interventi di miglioramento sismico. La struttura dell'edificio viene modellata con Por 2000, software specifico per il calcolo, l'analisi e la verifica di strutture in muratura ordinaria e armata soggette all'azione sismica. Il software effettua l'analisi pushover, le verifiche sismiche per gli stati limite di danno, salvaguardia della vita e collasso e tutte le verifiche locali delle murature in accordo con le NTC 2008.

Per la diversità dei contenuti presentati il documento viene suddiviso nelle seguenti parti:

- ✓ Analisi di un edificio esistente con Por2000;
- ✓ Risultati analisi statica;
- ✓ Risultati Analisi sismica;
- ✓ Interventi di rinforzo.

Parte III. Risultati Analisi Sismica

Analisi dei risultati

Verifiche sismiche

Dai risultati di sintesi delle verifiche sismiche visualizziamo in pianta le criticità sommarie delle tabelle riportate in fig. 5.

Pressoflessione trasversale sismica: non verificata

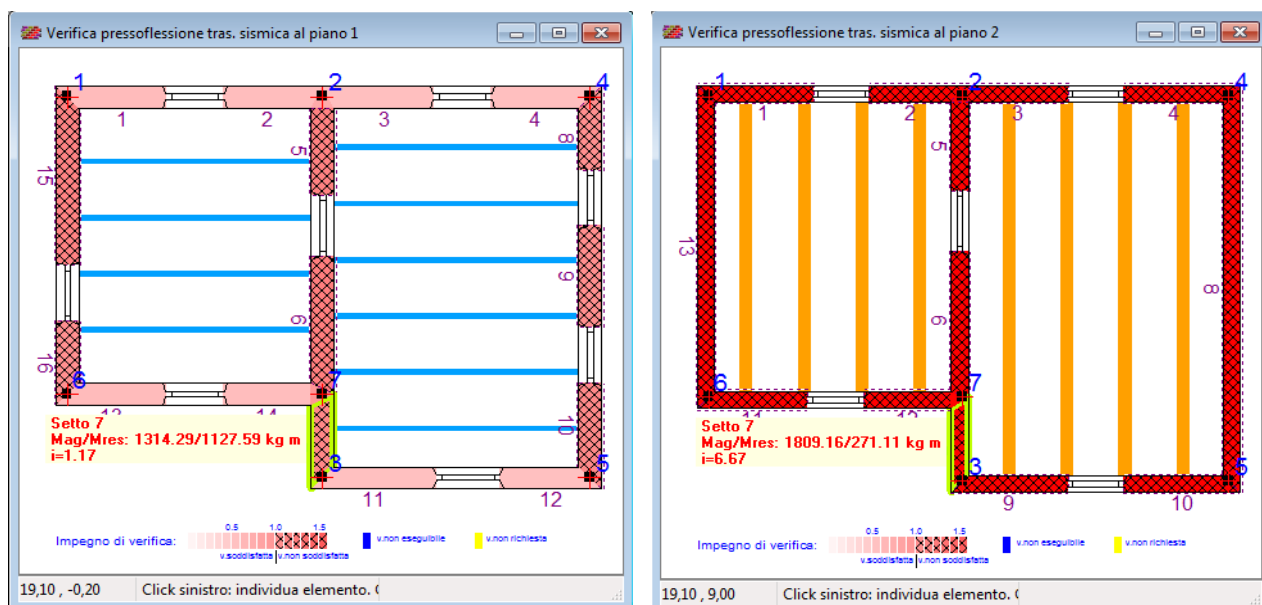


Figura 13: Mappe di impegno relative alla verifica a pressoflessione trasversale sismica ai piani.

Si applica nella verifica la combinazione delle azioni *Sismica locale*, valutando le azioni di verifica con i coefficienti massimi e minimi e conservando il risultato per il caso che maggiormente impegna la muratura.

Per entrambe le sotto-combinazioni massima e minima, il programma determina lo sforzo normale nel setto e l'eccentricità associata e , prodotta dalle forze orizzontali trasversali al setto.

Il valore dell'eccentricità è definito come:

$$e = \frac{M_a}{N_v}$$

in cui:

- M_a è il massimo momento prodotto dalle forze orizzontali trasversali al setto;
- N_v è lo sforzo normale nel setto.

Nella valutazione di M_a si tiene conto dello schema statico per l'inflessione trasversale del setto (rif. Fig. 7), stabilito in base al vincolo offerto dal cordolo, secondo il seguente schema:

- libero M_{sis} massimo al piede;
- appoggiato M_{sis} massimo in mezzeria;
- semi-incastro al 30% M_{sis} massimo in mezzeria;
- semi-incastro al 50% M_{sis} massimo in mezzeria.

Le azioni che intervengono nella valutazione del momento M_{fo} sono le seguenti:

- spinta sismica d'inerzia dovuta al peso proprio delle murature, distribuita sull'altezza h , definita in accordo col punto 7.8.1.5.2 come: $q_s = p_{mur} S_a / q_a$
- spinta sismica d'inerzia dovuta al peso proprio dei solai se non efficacemente ammortati, concentrata in testa, definita in accordo col punto 7.8.1.5.2 come: $F_s = N_{ps} S_a / q_a$
- spinta statica in testa prodotta dal carico permanente ed accidentale di falde inclinate non efficacemente ammortate, calcolata secondo lo schema statico mostrato nel precedente paragrafo (fig. 8) come: $F_t = \frac{1}{2} p L^2 \tan\alpha / (\tan\alpha H + L) = \frac{1}{2} p L \sin\alpha \cos\alpha$

in cui:

p_{mur} è il peso della muratura distribuito sull'altezza,

S_a è l'accelerazione sismica locale, ottenuta in frazioni di g con l'espressione Ntc08 7.2.2, valutando il periodo proprio dell'elemento in base alle sue condizioni di vincolo e considerando l'accelerazione al suolo per lo stato limite SLV,

q_a è il fattore di struttura dell'elemento (assunto pari a 3),

N_{ps} è lo scarico verticale del solaio.

In questa verifica si trascurano le eccentricità derivanti dai carichi verticali e quelle derivanti da tolleranze di esecuzione.

La verifica a pressoflessione è condotta confrontando il momento agente trasversale col valore del momento resistente a collasso M_{ru} .

Il momento resistente a collasso M_{ru} viene calcolato assumendo un diagramma delle compressioni rettangolare, un valore della resistenza pari a $k \cdot f_d$ e trascurando la resistenza a trazione della muratura, secondo l'espressione:

$$M_{ru} = N \cdot e = N \left(\frac{t-a}{2} \right) = \frac{N \cdot t}{2} \left(1 - \frac{N}{k \cdot f_d \cdot B \cdot t} \right)$$

Ottenuta imponendo l'equilibrio alla rotazione sfruttando l'equazione di l'equilibrio alla traslazione nella forma:

$$a = \frac{N}{k \cdot f_d \cdot t} \quad \text{con} \quad f_u = k \cdot f_d \quad e \quad k = 0.85$$

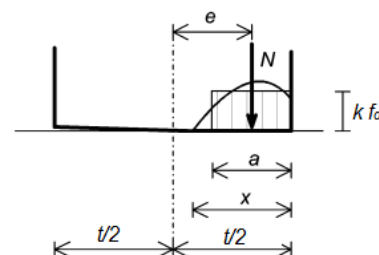
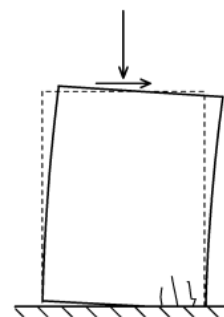


Figura 14: Schema del meccanismo resistente a pressoflessione fuori piano.

La verifica manuale del calcolo delle azioni sismiche sul setto interessato per il secondo livello è in linea con i risultati del programma.

Definizione geometria falda

ΔH	L _{trav}	$\tan \alpha = \Delta H/L$
1,2	4,4	0,2727

Coeff. Combinazione			Determinazione spinta statica falda									
γ_g	γ_q	ψ_{2j}	p _{sol}	q	q _{sol}	B	L _{long}	L _{trav}	f _t	N _{sol}	F _h	
1	1	0,3	230	100	260	1,5	6,6	4,4	0,25	214,5	54,45	

Stima del periodo proprio della parete								
Schema	t	B	H	g _{mur}	μ	E	J	Ta
Mensola	0,3	1,5	3	1225	551,25	3,00E+08	0,003375	0,119

$T = 0.569 H^2 \sqrt{\frac{\mu}{EJ}}$

$S_a = \frac{a_g S}{g} \left[\frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_x/T_1)^2} - 0.5 \right] \geq \frac{a_g S}{g}$

Parametri definizione azione sismica al 2° livello										Azioni sismiche				Sollecitazioni		Verifica, Impegno, Fattore di accelerazione					
Schema	Suolo	z	H	Ta	T1	ag	S	Sa	qa	pmur	qs	Fsol	Fh	N	M _s	k	f _u	M _{ru}	Impegno	a	Fa
Mensola	C	4,5	6	0,119	0,108	0,25	1,35	1,5833	3	551,25	290,93	113,21	54,45	-1868	1812	0,85	12,96	270,75	6,69	0,016	0,05

Figura 15: Foglio di calcolo per la verifica manuale della pressoflessione trasversale sismica del setto 7 al secondo piano.

set	pan	Area	sez	N	Ma	Mru	fss
1	1	0,54	piede	2640	1496,4	378,6	0,19
2	1	0,48	piede	2819	2455,4	400,5	0,13
3	4	0,54	piede	3405	3122,2	481,7	0,11
4	4	0,54	piede	2919	1712,0	416,6	0,18
5	2	0,50	piede	2614	2174,9	373,4	0,16
6	2	0,77	piede	3868	3364,3	553,8	0,15
7	3	0,45	piede	1879	1809,2	271,1	0,05
8	5	2,04	piede	5562	2610,9	813,6	0,20
9	6	0,54	piede	3405	3122,2	481,7	0,11
10	6	0,54	piede	2919	1712,0	416,6	0,18
11	7	0,51	piede	2500	1391,0	358,4	0,20
12	7	0,51	piede	2961	2598,2	421,0	0,13
13	8	1,59	piede	4174	1882,4	611,2	0,23

Una sintesi dei risultati viene mostrata nella tabella Verifiche sismiche a pressoflessione fuori piano a livello 2 dove si riportano, per il setto interessato, l'indice del pannello, l'area (A = l · t), la sezione di verifica (al piede per schema libero ovvero assenza di cordoli), lo sforzo normale amplificato con i coefficienti della combinazione Sismica locale (rif. Tab. 5), il valore del momento agente, il valore del momento resistente ultimo e il fattore di sicurezza in termini di accelerazione.

Figura 16: Tabella di sintesi della verifica a pressoflessione trasversale sismica al piano 2 e commenti sulla verifica del setto 7 (rif. Fig. 13 a destra).

Verifica a ribaltamento sismico: non verificata

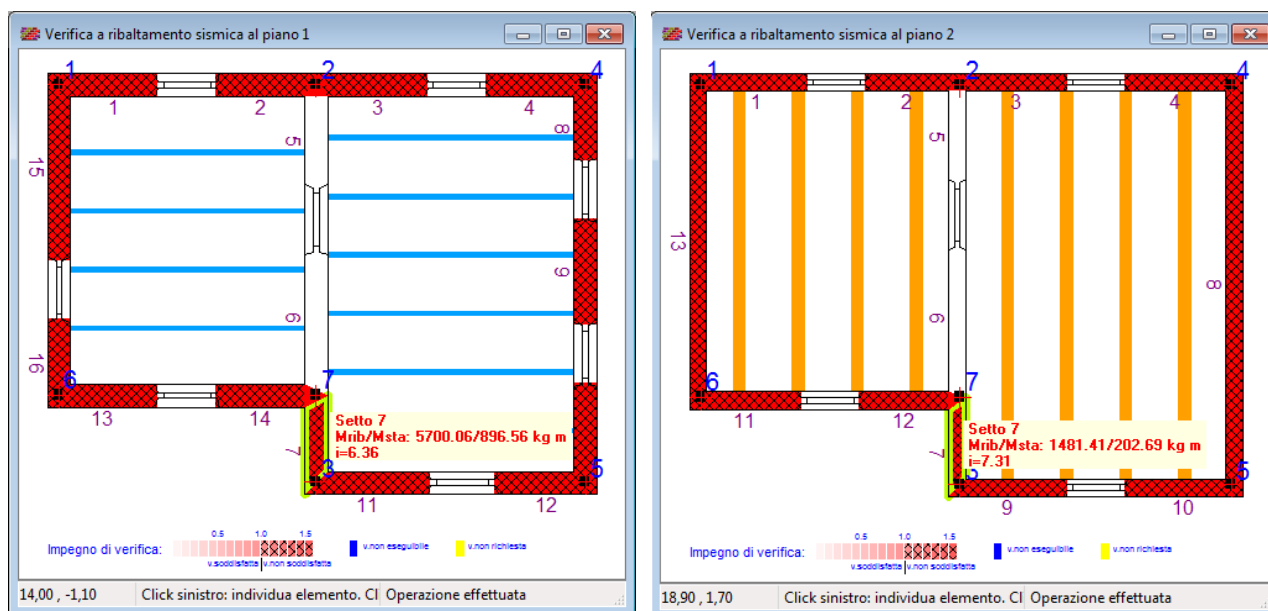


Figura 17: Mappe di impegno relative alla verifica di ribaltamento sismico ai piani.

La verifica viene eseguita per due diverse combinazioni di carico: *Statica locale* e *Sismica locale*, valutando le azioni di verifica con i coefficienti massimi e minimi e conservando il risultato per i due casi più gravosi.

La verifica consiste nel confrontare che nelle pareti perimetrali, supposte incernierate al piede di ogni piano, il momento delle azioni stabilizzanti sia maggiore di quello delle azioni ribaltanti, per le due combinazioni di carico assegnate. Il polo per la valutazione dei momenti è ipotizzato al piede del piano in corrispondenza della facciata esterna.

Il programma prevede l'individuazione automatica delle sezioni da sottoporre a verifica, ma l'utente può comunque intervenire aggiungendo altre sezioni o spostando quelle già predisposte. Per ogni sezione il programma valuta, relativamente ad 1m. di lunghezza trasversale, l'azione stabilizzante o instabilizzante del carico verticale in funzione delle eccentricità di scarico dovute ai solai e ai disassamenti delle murature. Valuta l'azione instabilizzante dovuta alla spinta sismica di inerzia e alla spinta sismica di solai non bene ammortati sulla muratura, in funzione della resistenza trasversale dei cordoli e dei tiranti presenti e secondo le indicazioni già esposte nei paragrafo precedente relativo alla pressoflessione trasversale, salvo considerare un fattore di struttura pari a 2, come indicato nella Tabella 7.2.1 delle Ntc08.

Per le coperture a falda non efficacemente ammortate, mette in conto l'effetto instabilizzante della spinta statica orizzontale. Come azioni stabilizzanti, oltre all'eventuale azione del carico verticale, il programma valuta l'effetto dei tiranti disposti alle quote dei solai e l'azione di ammortamento esplicata dai cordoli stessi (rif. Fig. 18).

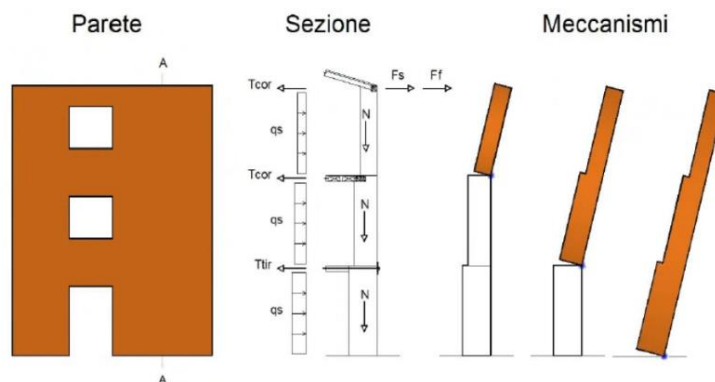


Figura 18: Schema di calcolo per la verifica dei cinematici di ribaltamento ai piani.

La verifica manuale del calcolo delle azioni sismiche sul setto interessato, limitatamente a 1m di lunghezza trasversale, per il secondo livello è in linea con i risultati del programma.

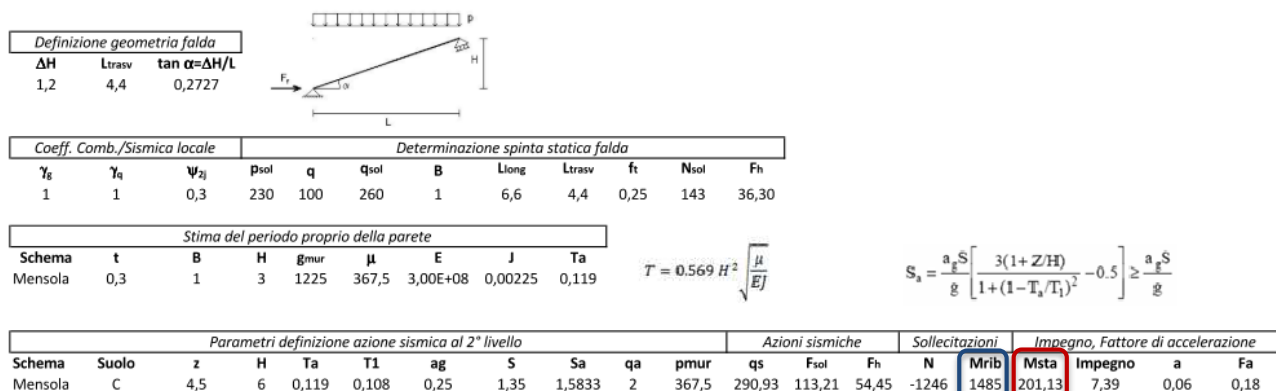


Figura 19: Foglio di calcolo per la verifica manuale del ribaltamento sismico del setto 7 al secondo piano, limitatamente ad 1m. di lunghezza trasversale (B=1m).

id	Nome	Par	X	cc1	liv	Msta	Mrib	cc2	liv	Msta	Mrib	fss
1	Par. 1 x=85	1	0,85	statica	1	1093,2	0,0	sismica	2	156,7	1144,0	0,14
2	Par. 1 x=354	1	3,54	statica	1	1163,0	0,0	sismica	2	199,1	2170,8	0,09
3	Par. 1 x=535	1	5,35	statica	1	1185,4	0,0	sismica	2	203,9	2449,3	0,08
4	Par. 1 x=814	1	8,14	statica	1	1131,0	0,0	sismica	2	163,9	1298,2	0,13
5	Par. 2 x=605	2	6,05	statica	1	1303,4	-207,4	sismica	2	202,7	1481,4	0,20
6	Par. 3 x=65	3	0,65	statica	1	1131,9	-175,8	sismica	2	107,2	427,2	0,35
7	Par. 3 x=320	3	3,20	statica	1	1242,1	-175,8	sismica	2	107,2	427,2	0,35
8	Par. 3 x=594	3	5,94	statica	1	1085,9	-175,8	sismica	2	107,2	427,2	0,35
9	Par. 4 x=97	4	0,97	statica	1	1208,5	0,0	sismica	1	899,3	7491,0	0,12
10	Par. 4 x=382	4	3,82	statica	1	1218,5	0,0	sismica	1	898,4	4947,9	0,18
11	Par. 5 x=85	5	0,85	statica	1	1102,0	0,0	sismica	1	819,3	4479,7	0,18
12	Par. 5 x=354	5	3,54	statica	1	1154,5	0,0	sismica	1	856,9	6855,2	0,12
13	Par. 6 x=150	6	1,50	statica	2	183,2	99,5	sismica	2	130,6	522,7	0,16
14	Par. 6 x=464	6	4,64	statica	2	183,2	99,5	sismica	2	130,6	522,7	0,16

Una sintesi dei risultati viene mostrata nella tabella "Verifiche a ribaltamento" dove si riportano, per il setto interessato, l'indice della parete, la combinazione di verifica e il livello del pannello, il momento stabilizzante, il momento ribaltante e il fattore di sicurezza sismico. Il valore M_{rib} , ricavato in modo analogo a quanto visto per la pressoflessione trasversale, si differenzia in quanto riferito ad una lunghezza unitaria ed ottenuto con $q_a=2$.

Figura 20: Tabella di sintesi della verifica a ribaltamento sismico al piano 2 e commenti sulla verifica della sezione a ribaltamento del setto 7 (rif. Fig. 17 a destra). Nell'ultima colonna, il fattore di sicurezza viene espresso in termini di accelerazione (Pga) come rapporto di tra la capacità e la domanda.