

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](http://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 IV. Interventi di rinforzo

### Interventi di rinforzo

Per risolvere i problemi dovuti all'eccentricità trasversale basta eliminare le spinte statiche, per esempio con tiranti o cordoli in sommità. La verifica a presso-flessione trasversale viene verificata di conseguenza, a meno che non vi siano problemi legati ai limiti meccanici della muratura.

I presidi idonei ad evitare la presso-flessione trasversale sismica sono, con diversi livelli di efficienza, i tiranti e i cordoli in sommità. L'edificio in muratura oggetto di studio è esistente, quindi l'inserimento di cordoli può avvenire per mezzo di piatti metallici opportunamente disegnati ed ancorati alla muratura. Per evitare interventi economicamente impegnativi e per impegni di verifica leggermente superiori all'unità, l'inserimento di tiranti può ridurre l'impatto ed il costo dell'intervento.

Per le criticità dovute al ribaltamento delle pareti non efficacemente ammortate i presidi idonei consistono nell'inserimento di tiranti. Ovviamente i cordoli in sommità vincolando la parete rappresentano un presidio efficiente. Anzi, in genere, i meccanismi di presso-flessione e ribaltamento vengono risolti entrambi con l'inserimento di cordoli ben ammortati.

Si procede all'inserimento di tiranti definendo i parametri geometrici e meccanici utili per la determinazione dell'effetto del presidio.

id	Nome	Pannelli	Xi	Xj	f	Fe	Txn	de	Ancoraggio	Ba	Ha
1	#16 con piastra	2 8	30,0	30,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
2	#16 con piastra	2 8	410,0	410,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
3	#16 con piastra	5 7	30,0	30,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
4	#16 con piastra	5 7	430,0	430,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
5	#16 con piastra	1 3	30,0	30,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
6	#16 con piastra	3 6	30,0	30,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
7	#16 con piastra	1 3	500,0	500,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0
8	#16 con piastra	4 6	30,0	650,0	16	B450C	5000	500,0	Piastra metallica	30,0	30,0

Figura 21: Tabella dati tiranti

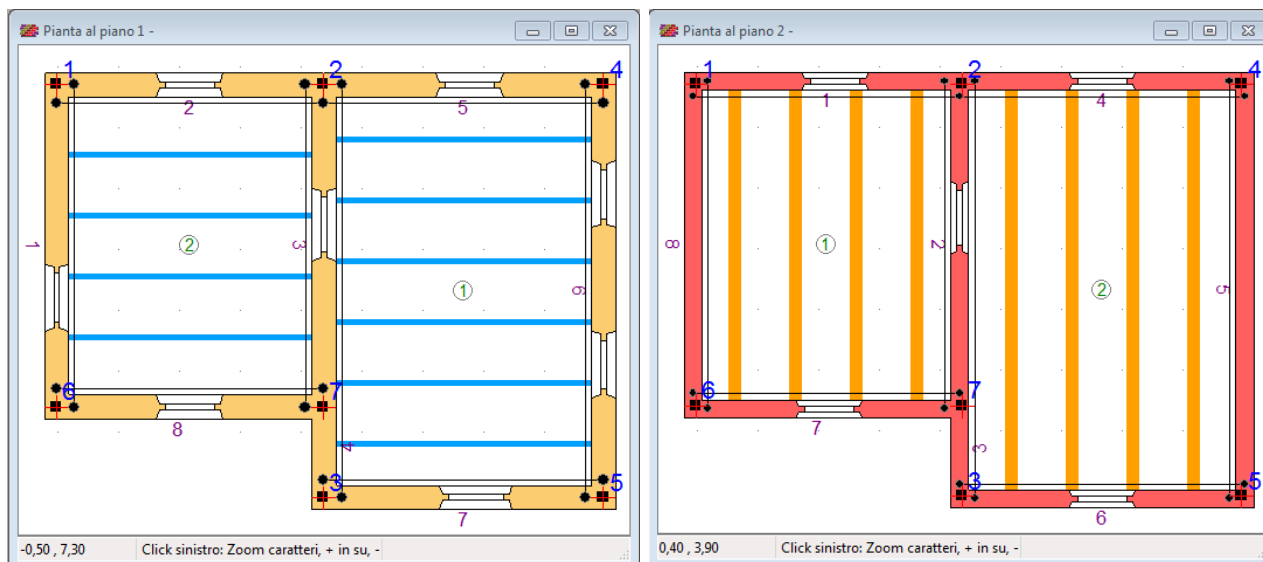


Figura 22: Vista piante con inserimento dei tiranti.

Nella tabella tiranti (Fig. 21), a parte le informazioni geometriche relative alle coordinate di inserimento, al diametro e tipo di ferro, le informazioni sul tipo di ancoraggio e l'indice dei pannelli collegati, è possibile definire il tiro massimo nominale ( $T_{xn}$ ), in funzione del diametro, del tipo di acciaio e quindi del coefficiente di sicurezza del materiale, da inserire nella cella corrispondente. Il tiro massimo di calcolo corrisponde al minimo tra il valore nominale ( $T_{xn}$ ) e il valore limite fornito dalla verifica a punzonamento del capochiave. Pertanto l'inserimento delle dimensioni della piastra intervengono nella limitazione del tiro utile del tirante. In questo modo, una volta soddisfatte le verifiche locali risulta implicitamente soddisfatta la verifica a punzonamento del capochiave.

L'effetto del tirante sulle parete si smorza a partire dal punto di applicazione del tirante fino alla distanza di estinzione  $d_e$  dell'effetto di ritegno, questo parametro viene settato dall'utente in funzione del particolare costruttivo adoperato. Pertanto alla distanza  $d_e$  l'effetto del tirante si annulla.

Quadro verifiche statiche	
Fattori di impegno delle verifiche statiche locali	
Verifica	SLU
Snellezza	<b>0,85</b>
Eccentricità trasversale	<b>0,61</b>
Eccentricità longitudinale	<b>0,00</b>
Pressoflessione trasversale	<b>0,47</b>
Pressoflessione longitudinale	<b>0,41</b>
Taglio longitudinale	<b>0,00</b>
Ribaltamento pareti	<b>0,00</b>
Portanza fondazioni	<b>0,70</b>

Quadro verifiche sismiche				
Fattori di sicurezza per verifiche sismiche locali				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
Pressoflessione trs.	---	---	<b>0,34</b>	---
Ribaltamento pareti	---	---	<b>2,37</b>	---
Portanza fondazioni	---	---	<b>2,72</b>	---
Fattori di sicurezza per verifiche sismiche globali (pushover)				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
Pga: capacità [g]	<b>0,19</b>	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>	<b>0,36</b>
Pga: domanda [g]	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,25</b>	<b>0,34</b>
Fattore di sicurezza	<b>3,29</b>	<b>3,03</b>	<b>1,28</b>	<b>1,05</b>
Fattori di struttura del sistema equivalente (pushover)				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
F.struttura ( $f_e/f_y \leq 3$ )	<b>0,44</b>	<b>0,58</b>	<b>1,51</b>	<b>1,83</b>

Figura 23: Tabelle di sintesi delle verifiche statiche e sismiche dopo l' inserimento dei tiranti.

I risultati dell'analisi dopo l'inserimento dei tiranti mostrano il completo soddisfacimento delle verifiche statiche, mentre per le verifiche sismiche locali si evidenziano ancora criticità per la pressoflessione fuori piano.

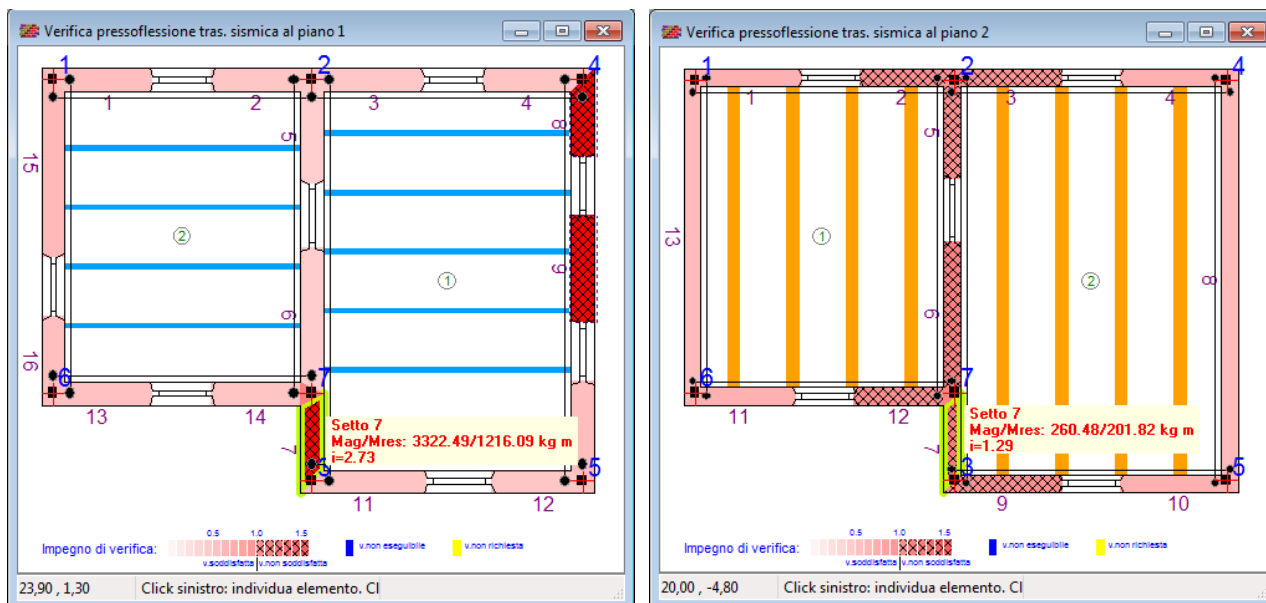


Figura 24: Vista piante con rappresentazione delle zone critiche e del tipo di collasso.

Nelle piante (Fig. 24) si mostrano le criticità della verifica a presso-flessione trasversale sismica. Nei setti del piano terra “collassano i collegamenti” intesi come vincolo di ritegno in testa e che nell’esempio sono rappresentati dai tiranti. Questo evento viene mostrato dal programma che disegna sui lati del setto una linea tratteggiata. Come conseguenza del “collasso del collegamento”, per la verifica del setto si ipotizza lo schema statico più restrittivo, del tipo a mensola e con la sezione critica al piede (fig. 7). Per migliorare l'effetto di ritegno si può intervenire sui parametri descritti in precedenza e quindi aumentare il tiro utile con  $T_{xn}$  maggiore o con piastre di maggiore dimensione per limitare il punzonamento della parete, qualora questo sia il meccanismo critico. Si può anche aumentare la distanza di estinzione dell'effetto con un particolare esecutivo coerente, come ad esempio un cordolo. In questo esempio, per evitare il “collasso del collegamento” e quindi migliorare le condizioni di verifica dei setti al piano terra, si può intervenire contro la crisi per punzonamento del capochiave (meccanismo critico) aumentando per esempio le dimensioni delle piastre con un efficace disegno esecutivo del particolare.

Al piano primo i collegamenti risultano essere efficaci (nessuna crisi nei tiranti, né per tiro massimo né per punzonamento del capochiave in testa ai martelli) e quindi per la verifica a presso-flessione si ipotizza lo schema statico appoggio-appoggio (fig. 7). Nonostante la condizione di vincolo in testa per le pareti evidenziate la verifica non risulta soddisfatta.

Viste le carenze e l'entità si opta per l'inserimento di opportuni cordoli a livello di piano che ammorsano le pareti e le vincolano in testa passando da uno schema a mensola ad uno schema del tipo appoggiato, eventualmente con una certa rigidità rotazionale.

id	Nome	Tipo	B	H	Str	Ammorsamento	Vincolo
1	Assente	nullo					
2	CA continuo	CA rett.	30,0	20,0	1000	aderenza	Appoggio
3	CA ammorsato	CA rett.	30,0	20,0	3000	svasature	30% Incastro
4	FE L ammorsato	FE a L	15,0	15,0	1000	perforazioni	Appoggio
5	FE p. ammorsato	FE piatto	15,0	15,0	1500	perforazioni	30% Incastro

Figura 25: Tabella dei cordoli

Nella tabella *tipi di cordoli* (Fig.25), a parte le informazioni geometriche di rappresentazione grafica, è possibile definire lo sforzo massimale trasversale di ritegno, in funzione del particolare esecutivo dell'ammorsamento adottato, nonché il grado di efficacia del vincolo per il muro. Nel caso di studio, per le caratteristiche di esecuzione delle pareti, il buono stato di conservazione e per il particolare cordolo adoperato (es. doppio piatto metallico collegato con perforazioni alla muratura) è lecito tenere in conto un certo grado di ammorsamento del cordolo per evitare di penalizzare eccessivamente le verifiche.

Un ragionamento analogo viene seguito dalle NTC 2008 per il coefficiente di sicurezza della muratura relativo alle verifiche statiche che comprende le incertezze di modello e di geometria. Esso varia da 2 a 3 per tener conto dell'alta disomogeneità del materiale (caratteristiche e tessitura), della categoria degli elementi (I o II) e della classe di esecuzione (1 o 2).

I risultati dell'analisi dopo l'inserimento dei cordoli mostrano il completo soddisfacimento delle verifiche statiche e sismiche.

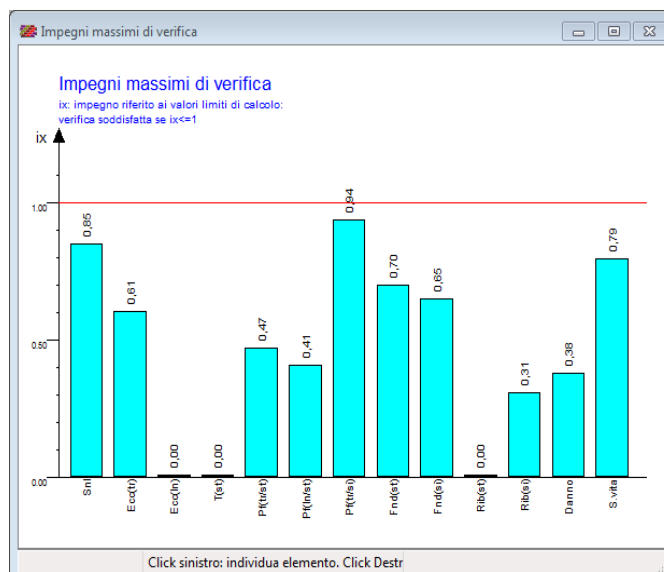
Fattori di impegno delle verifiche statiche locali	
Verifica	SLU
Snellezza	<b>0,85</b>
Eccentricità trasversale	<b>0,61</b>
Eccentricità longitudinale	<b>0,00</b>
Pressoflessione trasversale	<b>0,47</b>
Pressoflessione longitudinale	<b>0,41</b>
Taglio longitudinale	<b>0,00</b>
Ribaltamento pareti	<b>0,00</b>
Portanza fondazioni	<b>0,70</b>

Fattori di sicurezza per verifiche sismiche locali				
Verifica	SLD	SLD	SLV	SLC
Pressoflessione trs.	---	---	<b>1,07</b>	---
Ribaltamento pareti	---	---	<b>3,22</b>	---
Portanza fondazioni	---	---	<b>2,72</b>	---
Fattori di sicurezza per verifiche sismiche globali (pushover)				
Verifica	SLD	SLD	SLV	SLC
Pga: capacità [g]	<b>0,19</b>	<b>0,24</b>	<b>0,31</b>	<b>0,35</b>
Pga: domanda [g]	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>
Fattore di sicurezza	<b>2,74</b>	<b>2,63</b>	<b>1,26</b>	<b>1,07</b>
Fattori di struttura del sistema equivalente (pushover)				
Verifica	SLD	SLD	SLV	SLC
F.struttura ( $f_e/f_y < 3$ )	<b>0,53</b>	<b>0,68</b>	<b>1,56</b>	<b>1,85</b>

Figura 26: Tabelle di sintesi delle verifiche statiche e sismiche con inserimento di cordoli.

L'inserimento di cordoli perimetrali idonei in quanto a grado di ammorsamento, migliorando il comportamento fuori piano delle pareti, consente il soddisfacimento completo delle verifiche, come si riporta nell'istogramma sintetico di verifica (Fig. 27).



**Figura 27:** La visualizzazione degli istogrammi di verifica consente un controllo veloce e globale delle verifiche eseguite.

I valori tabellati nel quadro delle verifiche sismiche contengono per ognuna delle verifiche i rapporti tra l'accelerazione che innesca il meccanismo (*capacità*) e quella propria della zona per lo stato limite di salvaguardia della vita (*domanda*). Tale rapporto, noto come fattore di sicurezza in termini di accelerazione rappresenta un indice, di rilevante significato fisico, della vulnerabilità della struttura. Quest'ultimo, spesso menzionato come fattore di accelerazione, è l'indice richiesto dalle varie ordinanze di ricostruzione al fine di giustificare l'importo dei contributi pubblici necessari alla ricostruzione nelle zone colpite dal sisma. Lo stesso, inoltre rappresenta l'indice richiesto per la compilazione delle schede per la verifica di vulnerabilità degli edifici esistenti secondo i modelli della Protezione Civile (Scheda Aedes).