

10. Modello strutturale e criteri di calcolo

■ Analisi statica lineare

L'analisi statica può essere applicata nei casi previsti dalle NTC, e quindi a tutti gli edifici regolari in altezza e con periodo proprio T non superiore a $2,5 T_C$ e a T_D .

La determinazione delle forze equivalenti al sisma applicate ai vari piani dell'edificio segue le regole generali già illustrate nel paragrafo 6 online dell'unità E1, che si richiamano brevemente.

● Componenti della forza sismica equivalente

Coincidono con quelle del taglio alla base dell'edificio. Per esempio, la componente F_{hx} della forza sismica equivalente nella direzione principale x vale (►1):

$$F_{hx} = S_d(T)_x \cdot \lambda \cdot \frac{W_x}{g}$$

dove:

- $S_d(T)_x$ è la componente orizzontale dello spettro di progetto nella direzione considerata;
- $W_x = G_k + \sum_{ix} \psi_{2i} Q_{ki}$ è il carico gravitazionale totale nella direzione considerata.

● Ripartizione della forza sismica ai vari piani

Viene eseguita nell'ipotesi di distribuzione lineare lungo l'altezza dell'edificio. La forza in direzione x in corrispondenza del piano i -esimo dell'edificio vale:

$$F_{hx i} = F_{hx} \cdot \frac{z_i W_i}{\sum_i z_i W_{xi}}$$

● Ripartizione della forza sismica di piano sui singoli muri

Occorre ora distribuire sui singoli muri le componenti $F_{hx i}$ e $F_{hy i}$ della forza sismica di piano. La ripartizione avviene in funzione delle rispettive rigidità k_{0i} , calcolate nel piano del muro stesso (la rigidità nel piano ortogonale è convenzionalmente considerata nulla). Ne consegue che la componente $F_{hx i}$ sarà ripartita tra i setti resistenti in direzione x , mentre la componente $F_{hy i}$ sarà ripartita tra i setti resistenti in direzione y (►FIGURA 1).

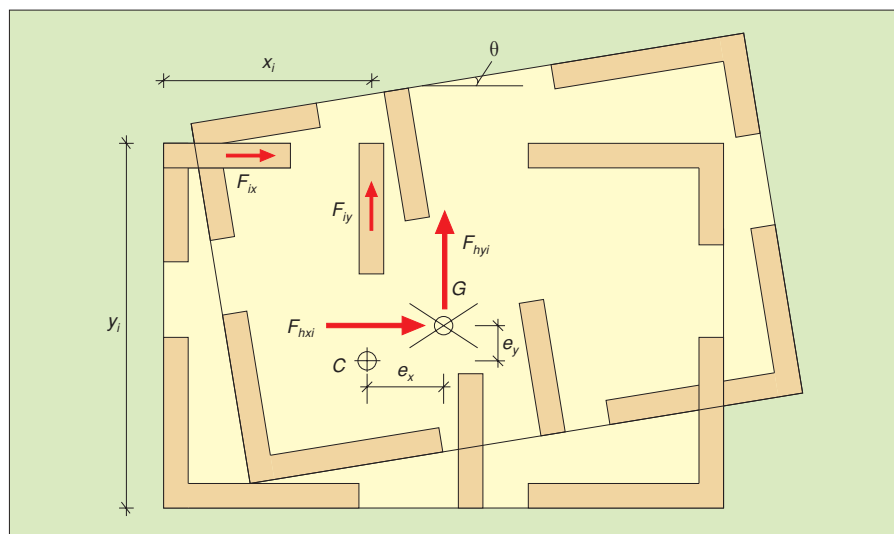
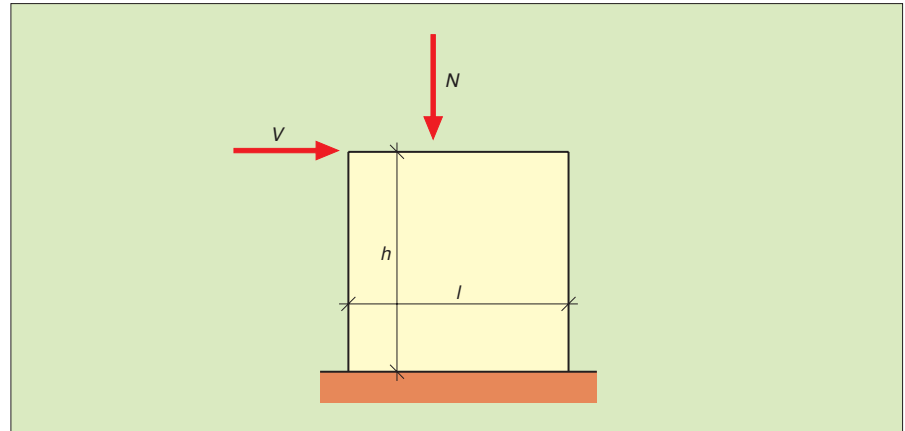


FIGURA 1 Ripartizione della forza sismica di piano sui singoli muri.



►1 Si ricorda che $\lambda = 0,85$ è un coefficiente riduttivo che si può applicare nell'analisi statica di edifici con più di tre piani. Nel caso degli edifici in muratura la norma consente di applicare l'analisi statica lineare anche nel caso di edifici irregolari in altezza, purché si ponga comunque $\lambda = 1$.

FIGURA 2 Forze agenti nel piano del muro.

L'analisi restituisce quindi le forze agenti nel piano del muro, verticali (N) e orizzontali (V) (► FIGURA 2).

Le rigidzze «sono calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliante; è da preferirsi l'utilizzo di *rigidezze fessurate* che, in assenza di valutazioni più accurate, possono essere assunte pari alla metà di quelle non fessurate».

La rigidzza flesso-tagliante alla traslazione di un elemento murario è data dalla seguente espressione:

$$k = \frac{1}{\frac{1,2h}{GA} + \frac{h^3}{nEI}}$$

dove:

- A è l'area della sezione resistente;
- h è l'altezza del muro;
- I è il momento d'inerzia longitudinale $tl^3/12$ (► 2);
- E è il modulo elastico normale;
- G è il modulo elastico tangenziale;
- $n = 12$ per vincolo a doppio incastro;
- $n = 3$ per comportamento a mensola.

Dell'eccentricità accidentale si tiene conto moltiplicando le forze sismiche per il coefficiente correttivo δ (v. paragrafo 3, unità E1).

Spesso accade, come in figura, che il centro delle masse G , cioè il baricentro dell'impalcato, non coincida con il centro delle rigidzze C , di coordinate:

$$x = \frac{\sum_i k_{yi} x_i}{\sum_i k_{yi}}$$

$$y = \frac{\sum_i k_{xi} y_i}{\sum_i k_{xi}}$$

Si ha in questo caso un'eccentricità effettiva, che obbliga a eseguire la ripartizione mettendo in conto anche l'effetto torsionale dell'azione sismica e quindi le rigidzze torsionali dei singoli setti.

La ripartizione delle forze sismiche di piano è la tipica operazione laboriosa e ripetitiva da affidare con vantaggio a un programma di calcolo. I software struttu-

► 2 La rigidzza trasversale dei muri è convenzionalmente considerata nulla.

rali eseguono la ripartizione con lo stesso criterio del metodo manuale, restituendo risultati del tutto controllabili.

APPLICAZIONE

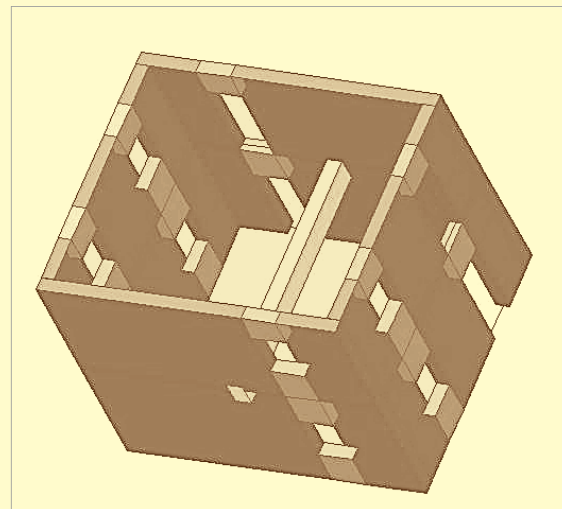
La ►FIGURA 3a rappresenta la vista tridimensionale, restituita dal modulo Murature di *Trivilog Titanium*, di un edificio in muratura ordinaria.

Si tratta di un edificio regolare, ma non *semplice* ai sensi delle NTC. Infatti non è rispettata la regola i) del paragrafo 6: la distanza (5,6 m) tra le due pareti resistenti in direzione x supera il 75% della dimensione dell'edificio ortogonale alle pareti stesse ($0,75 \cdot 7 = 5,25$ m). Occorre quindi procedere a calcolo esteso.

Dal disegno della struttura ai vari piani, che comprende muri, aperture, pilastri e travi in CA, solai, il programma riconosce automaticamente i setti resistenti ai vari piani (►FIGURA 3b, c).

FIGURA 3 Vista tridimensionale e piante dell'edificio in muratura considerato nell'esempio. Le restituzioni sono fornite dal modulo Murature di *Trivilog Titanium*.

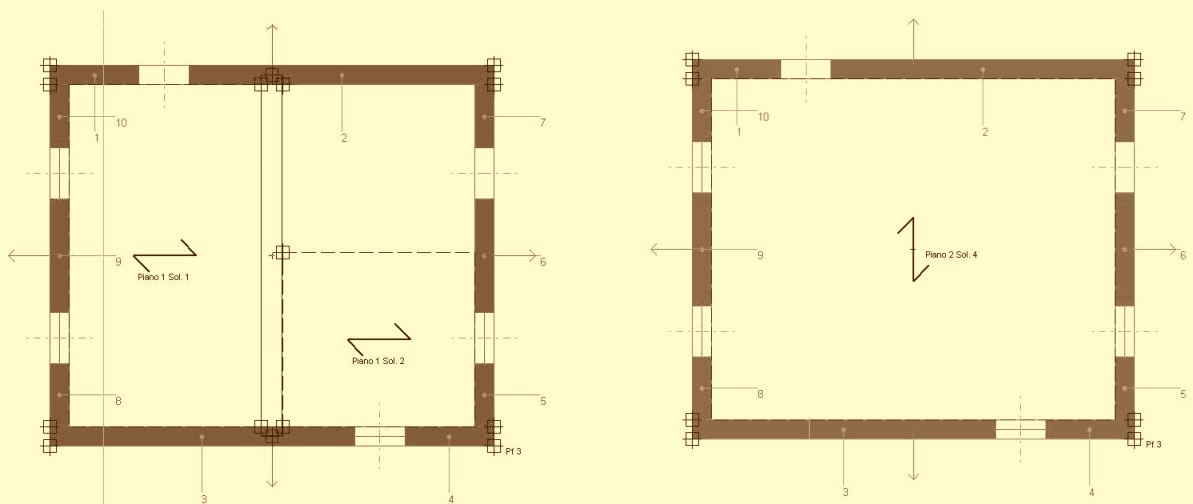
Le restituzioni sono fornite dal modulo Murature di *Trivilog Titanium*.



$h_{\text{interpiano}}: 2,80$ m

$h_{\text{solaio}}: 20 + 4$ cm

(a) Vista tridimensionale dell'edificio



(b) Setti resistenti (piano 1°)

(c) Setti resistenti (piano 2°)

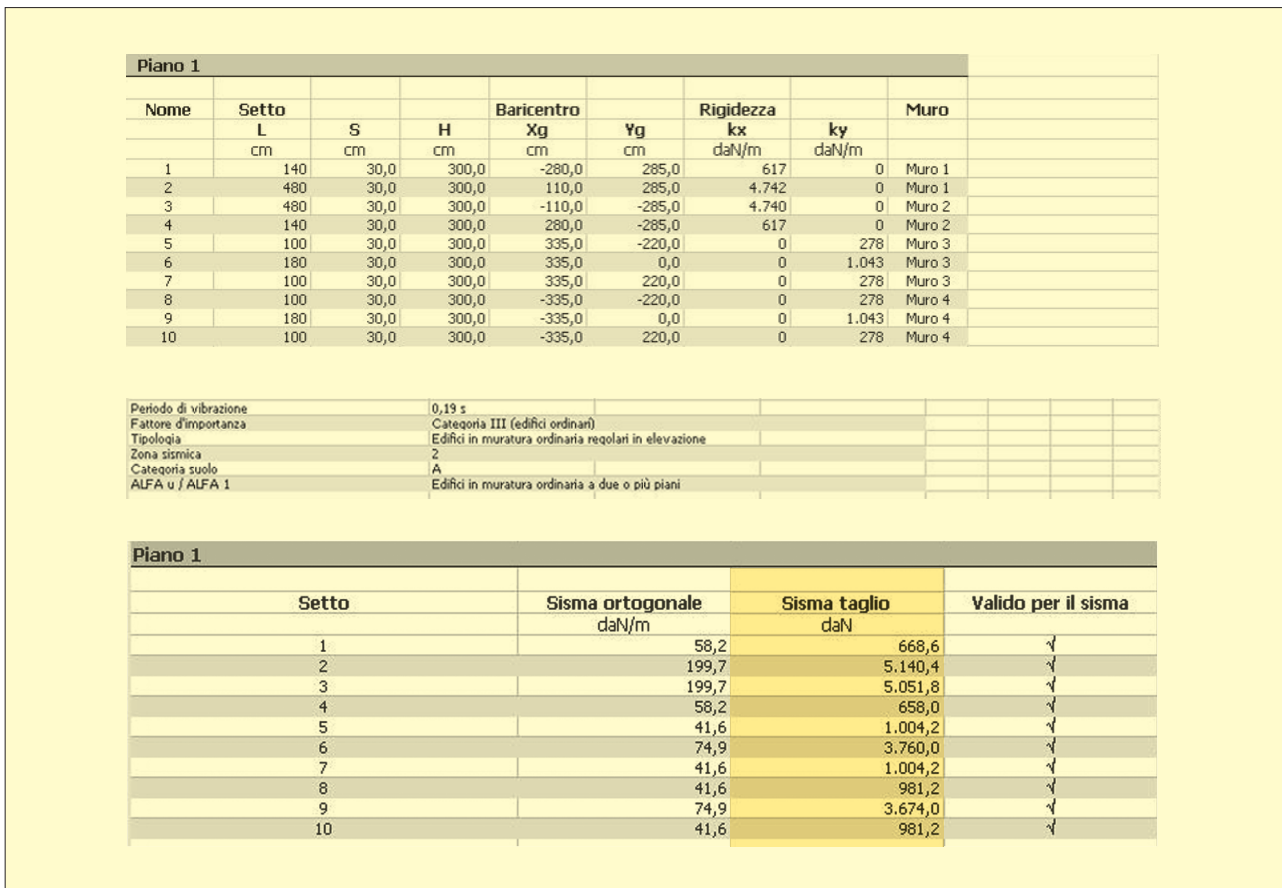


FIGURA 4 Geometria, parametri sismici e carichi sismici sui setti restituiti dal modulo Murature di *Travilog Titanium*.

►3 Il calcolo può essere condotto con diverse normative di riferimento, alcune sorpassate. Si può scegliere tra:

- MTA:
 - DM 87 → verifica non sismica
 - DM 81 (metodo POR) → verifica sismica
- MSL:
 - DM 96 → verifica sismica
 - NTC 2005 → verifica sismica
 - NTC 2008 → verifica sismica.

Si tratta comunque di un procedimento utile perché dà la possibilità di controllare la progettazione di edifici esistenti, calcolati con quei metodi.

Scegliendo di procedere secondo le NTC (►3), sono richiesti i *parametri sismici*. In funzione di questi parametri e della rigidezza dei setti resistenti sono restituite a ogni piano e per ogni setto le forze equivalenti al sisma agente nella direzione del muro (sisma parallelo o *sisma a taglio*), cioè le forze $F_{hx i}$ e $F_{ky i}$ (►FIGURA 4).

Ritrovare manualmente qualcuna di queste forze può costituire un utile esercizio.