

METODI DI ANALISI DELLE STRUTTURE ESISTENTI IN MURATURA

Prof. Ing. Flora Faleschini
Dipartimento Ingegneria
Civile, Edile e Ambientale
VMSSE 2023/2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

NTC2018

Le Norme Tecniche prescrivono due tipologie di verifiche, nei confronti dei meccanismi di collasso locale e globale negli edifici esistenti in muratura.

- **L'analisi della risposta globale** di un edificio **ha significato solo** quando **sono impediti i meccanismi di collasso locali** fuori dal piano (presenza di catene, cordoli...).
 - La risposta globale dell'edificio è governata dalla **resistenza nel piano delle pareti**.
 - In **edifici inseriti in un aggregato**, il significato dell'analisi è convenzionale, a causa dell'interazione con gli edifici adiacenti.
 - Quando la **costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme**, ma tende a reagire al sisma come un insieme di **sottosistemi** (macroelementi), la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali.
-
- ANALISI LINEARE STATICA
 - ANALISI DINAMICA MODALE
 - **ANALISI NON LINEARE STATICA → PUSHOVER**
 - ANALISI DINAMICA NON LINEARE

RISPOSTA GLOBALE

Analisi da condurre SOLO se è garantito il comportamento scatolare. → altrimenti non ha senso

Si può procedere considerando **singoli setti murari** sottoposti alle azioni di competenza in base ad una suddivisione **per aree di influenza** oppure tramite un **modello globale** capace di ripartire le sollecitazioni sismiche su tutti i setti del fabbricato.

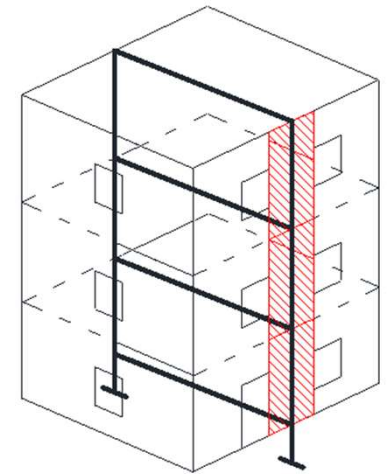
AZIONI

Verticali: pesi propri delle pareti murarie: costituiscono una quota importante dei carichi verticali
pesi propri e portati dei solai e della copertura

Orizzontali da vento: agiscono ortogonalmente alle pareti direttamente investite

Orizzontali da sisma: costituite dalle forze di inerzia generate dalla massa delle pareti a livello dei solai per le masse proprie e portate

RISPOSTA GLOBALE

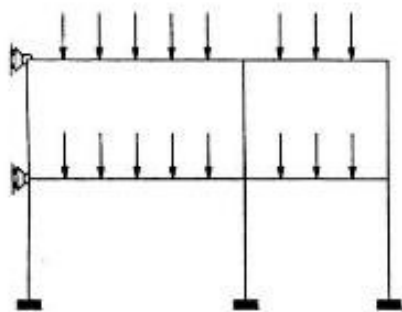


Ai **carichi verticali**: fluiscono alle fondazioni attraverso i maschi murari.

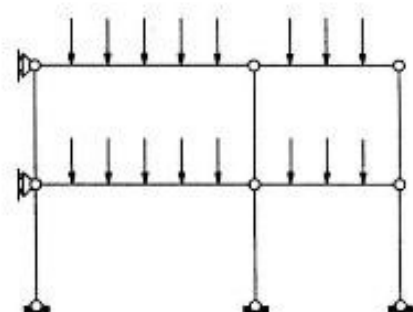
La struttura può essere vista come un insieme di telai in cui i **maschi murari costituiscono i ritzi ed i solai i traversi**.

Di solito si adotta **lo schema con articolazioni**, salvo poi tener conto in maniera convenzionale di quella che è l'effettiva situazione

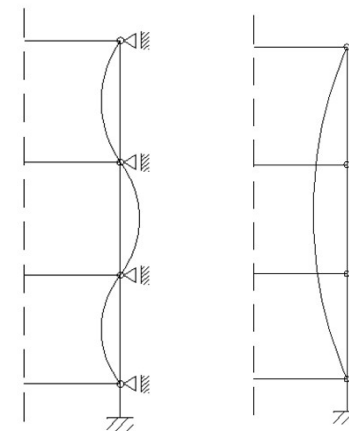
Negli edifici esistenti → nella modellazione del telaio occorrerà inserire **vincoli laterali più o meno cedevoli**.
Se i vincoli sono molto cedevoli o addirittura inesistenti, la parete è libera di traslare orizzontalmente ed i momenti flettenti fuori piano saranno molto grandi, così come la sua snellezza: difficilmente la parete sarà verificata.



Schema della continuità



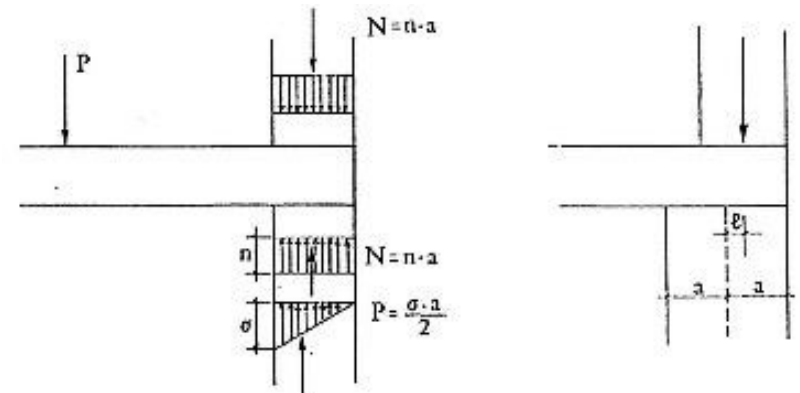
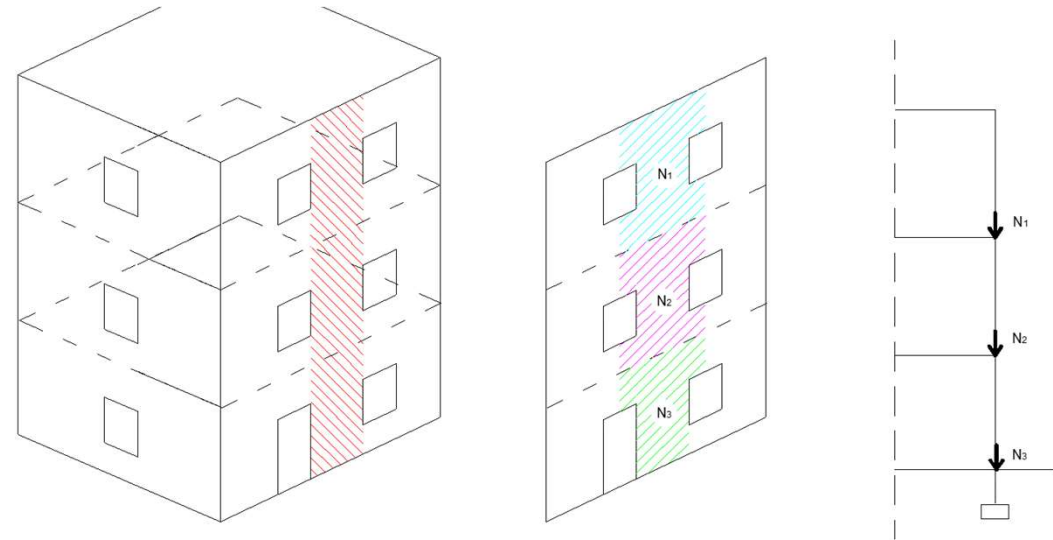
Schema delle articolazioni



RISPOSTA GLOBALE

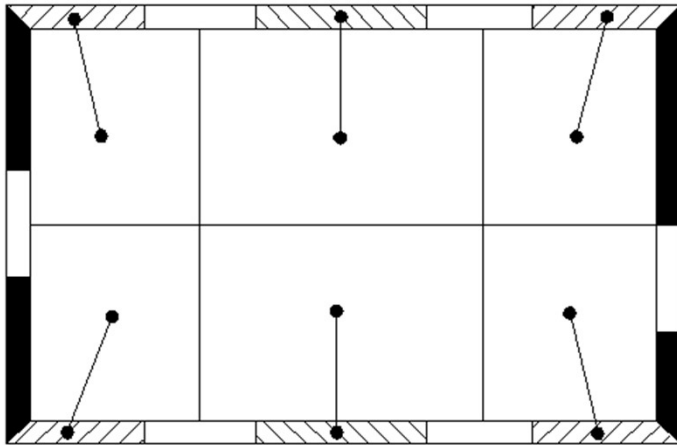
Peso sulle pareti: a livello di ciascun solaio può essere riportato il carico della parete dell'interpiano sovrastante e del sottopiano di competenza.

NB: Le murature portanti sono sollecitate, oltre che dallo sforzo normale, **dalla flessione in direzione ortogonale al loro piano medio**, generata dalle **eccentricità** dei carichi verticali rispetto al piano medio.

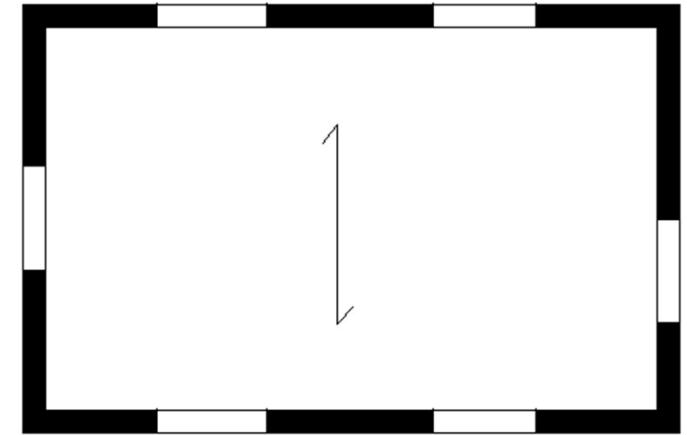


RISPOSTA GLOBALE

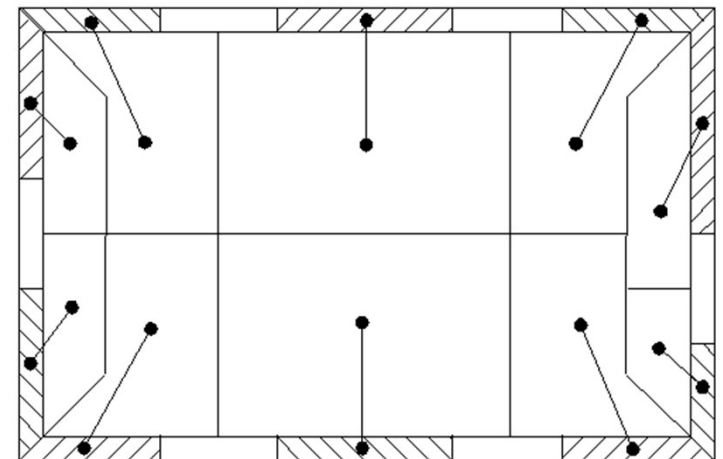
Carichi portati dai solai:



Altrimenti, si può pensare che una quota vada **anche sulle pareti parallele alla direzione di orditura**

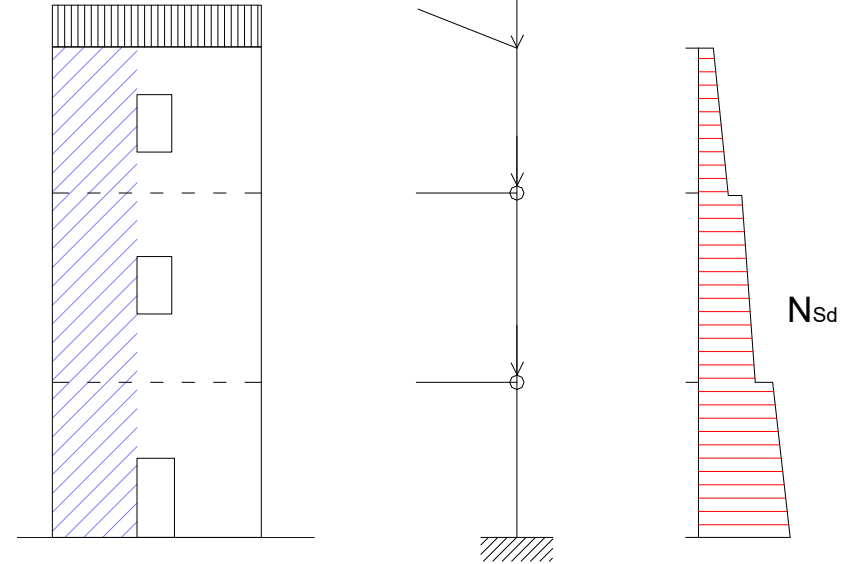


Se non esiste alcun dispositivo ripartitore (soletta armata in due direzioni, ecc) il peso del solaio fluisce solo sulle pareti su cui poggia



RISPOSTA GLOBALE

La schematizzazione a telaio nell'ipotesi dell'articolazione, in definitiva conduce allo studio di **strisce verticali di parete**, continue da terra a tetto, **più o meno vincolate lateralmente a seconda dell'affidabilità del comportamento scatolare.**



In realtà però le pareti sono anche soggette a taglio e flessione fuori piano, dovute a varie quote di eccentricità:

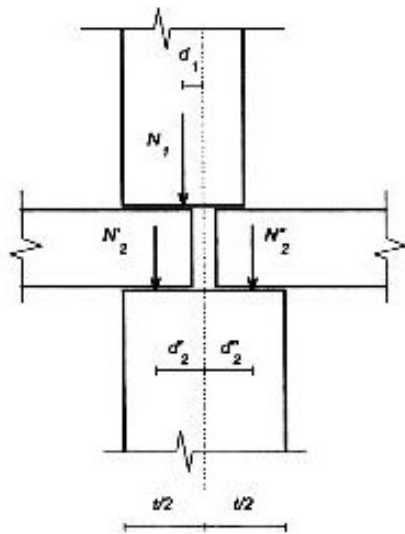
- eccentricità strutturale, e_s
- eccentricità accidentale, e_a
- eccentricità dovuta alla pressione del vento ortogonalmente alla parete, e_v

RISPOSTA GLOBALE

Eccentricità strutturale: $e_s = e_{s1} + e_{s2}$

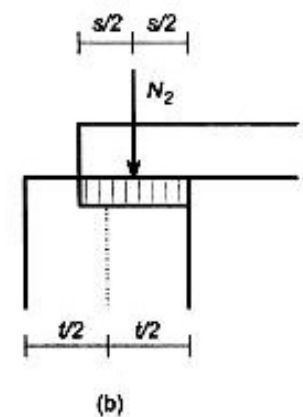
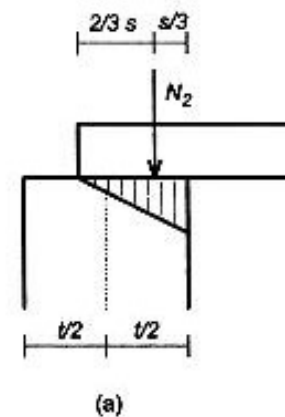
e_{s1} = eccentricità della quota dovuta alla eventuale posizione eccentrica del muro del piano superiore rispetto a quello che si deve verificare

e_{s2} = eccentricità della quota dovuta alla eccentricità delle reazioni di appoggio dei solai



$$e_{s1} = \frac{N_1 d_1}{N_1 + \sum N_2}$$

$$e_{s2} = \frac{\sum N_2 d_2}{N_1 + \sum N_2}$$



RISPOSTA GLOBALE

Eccentricità accidentale

$$e_a = h/200$$

Eccentricità dovuta alla pressione del vento ortogonalmente alla parete

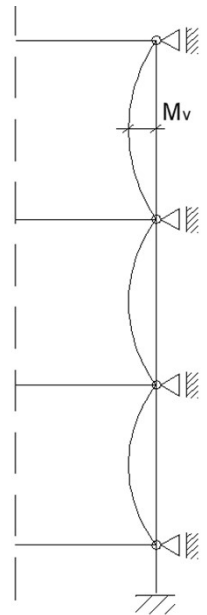
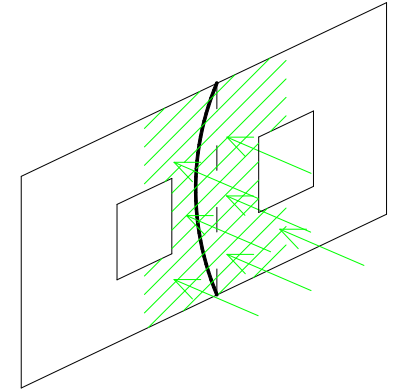
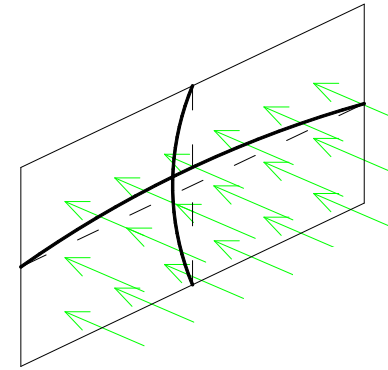
$$e_v = M_v/N$$

In ciascun pannello si dovranno verificare **le sezioni di estremità e quella di mezzeria**, ciascuna per lo sforzo normale che gli compete e per valori di eccentricità pari a:

- sezioni di estremità $e_1 = |e_s| + |e_a|$

- sezioni di mezzeria $e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v| \geq e_a$

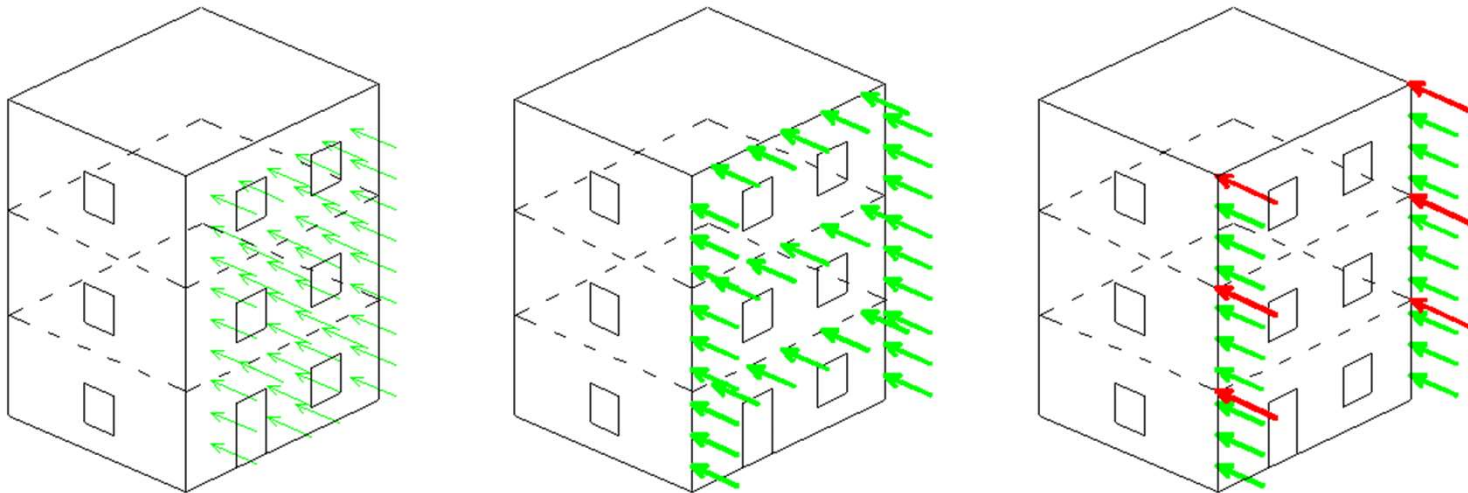
$$\left. \begin{array}{l} e_1/t \\ e_2/t \end{array} \right\} \leq 0,33$$



RISPOSTA GLOBALE

Ai carichi orizzontali (**vento**):

Le azioni da vento vengono trasmesse dalle pareti direttamente investite alle pareti trasversali (pareti di controvento) ed ai solai e da questi ancora alle pareti di controvento. In genere si considerano **le azioni concentrate a livello dei solai**.

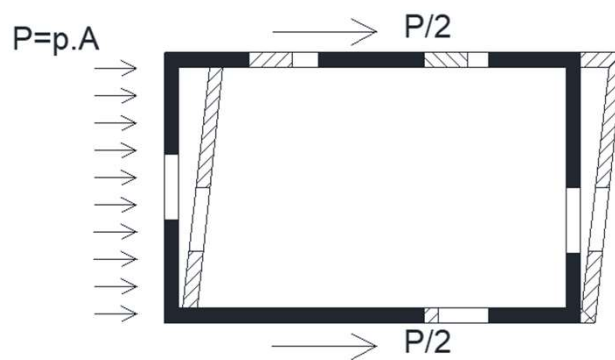


RISPOSTA GLOBALE

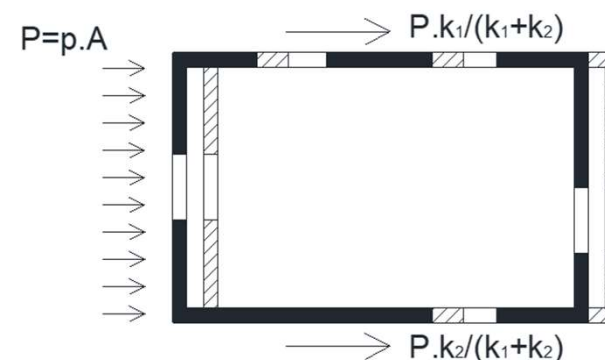
Ai carichi orizzontali (sismica): conviene utilizzare **an. statica non lineare** per tenere conto delle risorse post-elastiche della struttura. Le azioni sismiche si generano nella massa delle pareti e dei solai. Generalmente si valutano le azioni globali e **si considerano applicate a livello dei solai**.

Ripartizione delle azioni orizzontali:

In assenza di diaframmi orizzontali rigidi che collegano le diverse pareti, le forze orizzontali impegnano le pareti di controvento in relazione alla quota effettivamente trasmessa dai solai e dalle pareti direttamente investite (**aree di competenza**).



solai deformabile

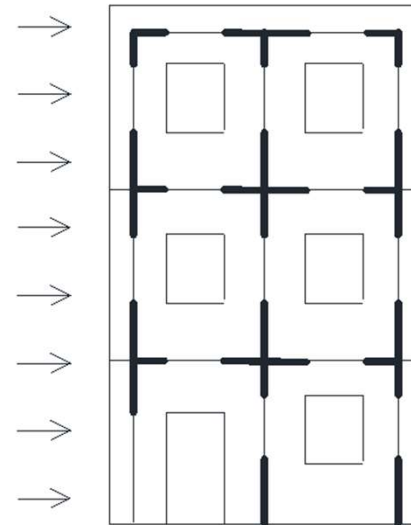
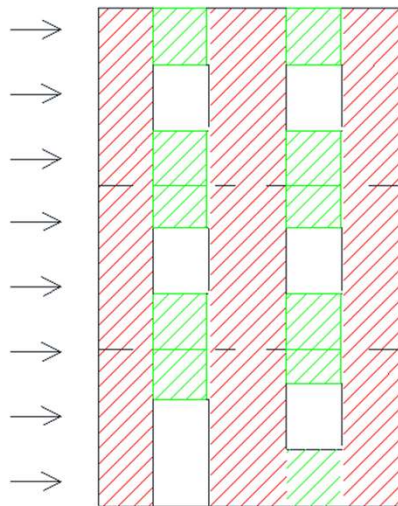


solai rigido

RISPOSTA GLOBALE

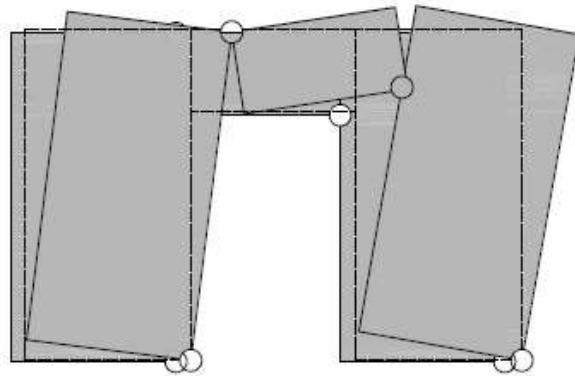
La parete può essere modellata come **un telaio in cui i ritti sono i maschi murari ed i traversi le fasce di piano**. Normalmente, le zone di **nodo** vengono considerate **come infinitamente rigide ed infinitamente resistenti**.

Le verifiche vengono effettuate quindi per i maschi murari e per le fasce di piano.

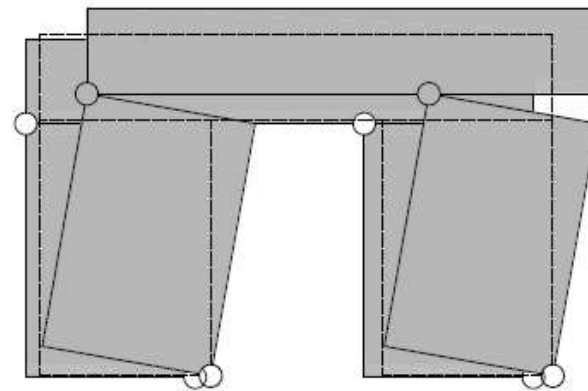


RISPOSTA GLOBALE

L'accoppiamento che può essere fornito dalle fasce è principalmente funzione della compressione a cui sono soggette in direzione orizzontale. Fondamentale **la presenza di elementi resistenti a trazione disposti a livello delle fasce – catene, cordoli in c.a. –** che si oppongono al meccanismo di ribaltamento, impedendo la dilatazione globale della parete in senso orizzontale



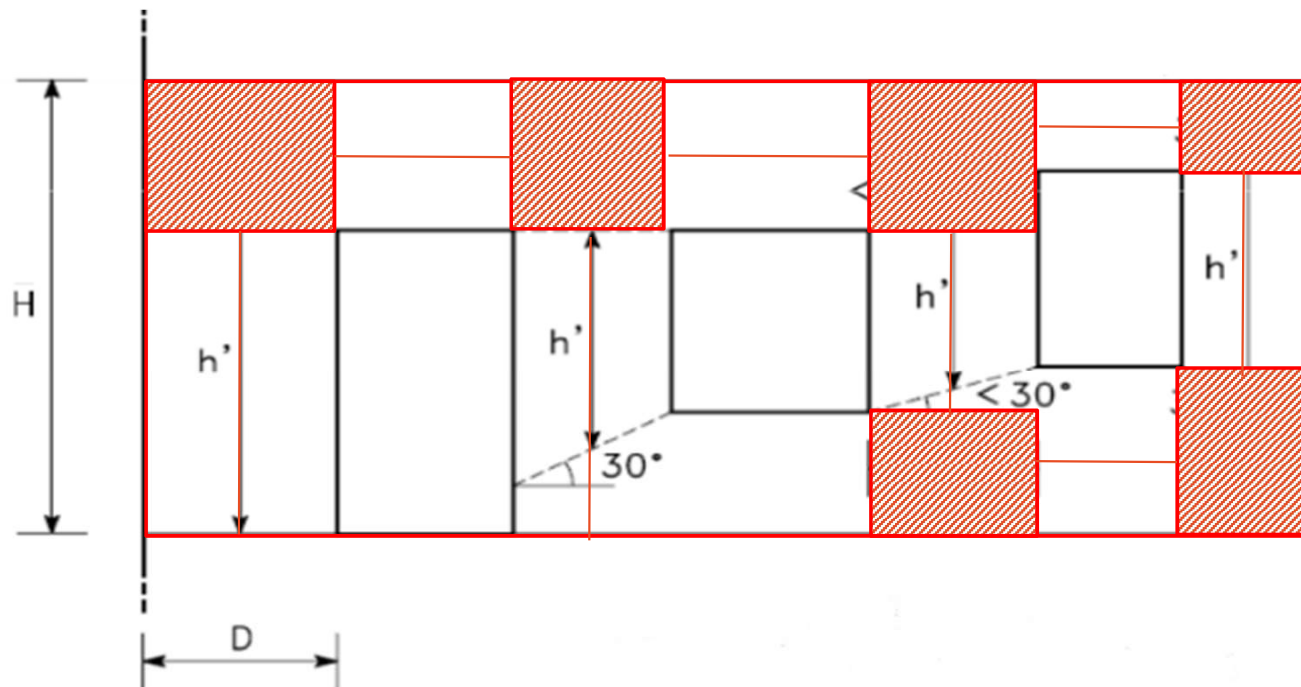
Fasce deboli



Fasce forti

RISPOSTA GLOBALE

Quando nella parete le **aperture sono disposte in modo irregolare**, la definizione dei tratti rigidi è più incerta. Si può fare riferimento allo schema [Dolce 1989]



RISPOSTA GLOBALE

Nelle **analisi sismiche statiche lineari** si adotta un fattore di struttura:

$$q = 2,0 \alpha_u / \alpha_1 \quad (\text{str. regolare in elevazione, in pietra o mattoni pieni})$$

$$q = 1,75 \alpha_u / \alpha_1 \quad (\text{str. regolare in elevazione, con blocchi artificiali e forature > 15\%})$$

α_1 : moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, il primo pannello murario raggiunge la sua resistenza ultima (a taglio o a pressoflessione)

α_u : 90% del moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, la costruzione raggiunge la massima forza resistente

riduzione del 15% se edificio non regolare in elevazione

$$\rightarrow q = 1,4 \div 1,8$$