

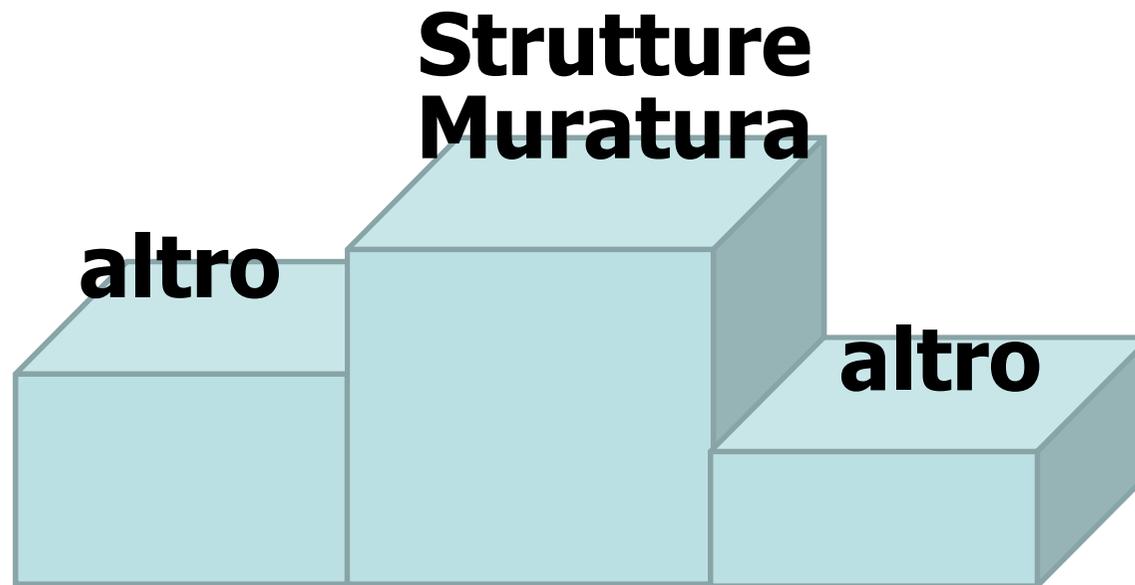
Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Alcune particolarità per le strutture murarie

Prof. Ing. Liborio Cavaleri

Contributi di G. Di Carlo, F. Di Trapani, G. Macaluso

Durabilità



Articolazione della Norma

- 1.** Oggetto della norma
- 2.** Sicurezza e prestazioni attese
- 3.** Azioni sulle costruzioni
- 4.** Costruzioni civili e industriali
- 5.** Ponti
- 6.** Progettazione geotecnica
- 7.** Progettazione in presenza di azioni sismiche
- 8.** Costruzioni esistenti
- 9.** Collaudo statico
- 10.** Norme per le redazioni dei progetti esecutivi e delle relazioni di calcolo
- 11.** Materiali e prodotti per uso strutturale
- 12.** Riferimenti tecnici
 - Allegati A e B (pericolosità sismica)

Metodi di analisi e criteri di verifica

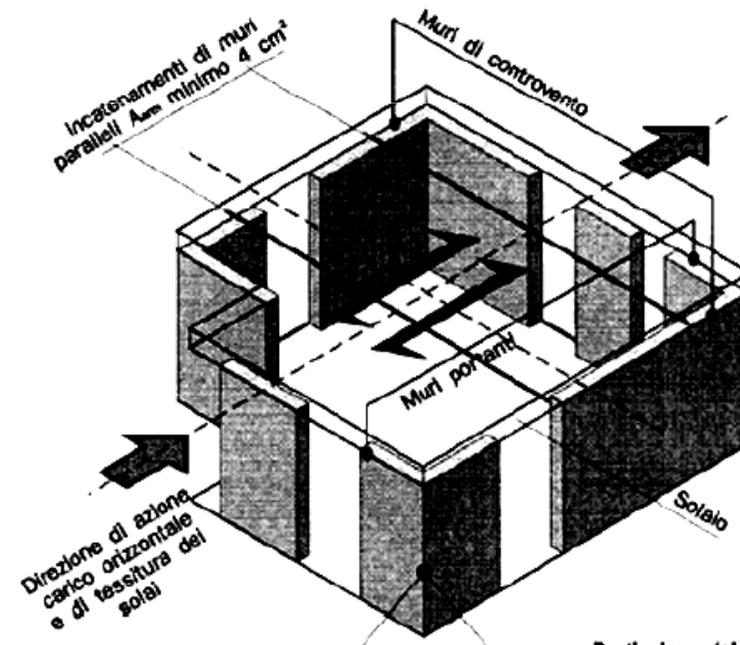
Metodi di analisi e criteri di verifica

Analisi globale (sollecitazioni nel piano dei muri e spostamenti degli impalcati)

Analisi locale (sollecitazioni fuori piano)

Analisi lineari

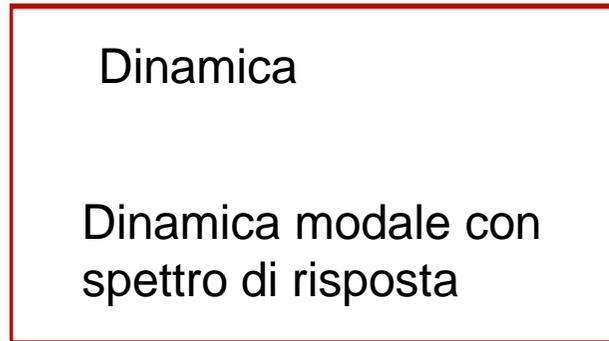
Analisi non lineari



Metodi di analisi e criteri di verifica

Spettro ridotto allo SLU e spettro allo SLD

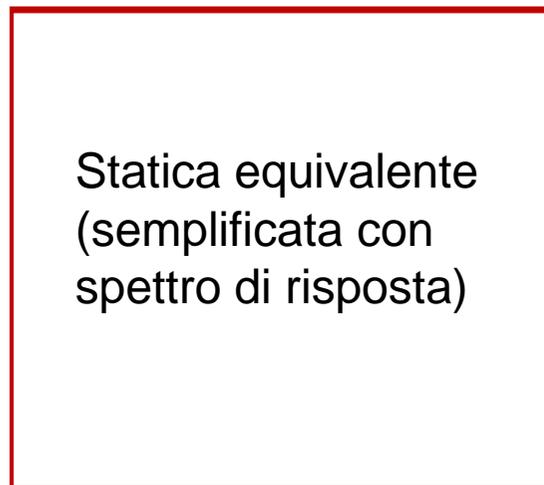
Tipologie di analisi lineari



Modello spaziale

Restrizioni

nessuna



Modello spaziale

$$T < 2.5 T_c$$

$$T < T_D$$

$$T = C_1 H^{3/4}$$

$$C_1 = 0.05$$

$\lambda = 1$ per strutture irregolari in altezza

Metodi di analisi e criteri di verifica

Tipologie di analisi lineari

Fattori di struttura q per azione sismica orizzontale

Fattori di struttura

$$q = q_0 \times K_R$$

q_0 dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale;

$K_R = 1$ per costruzioni regolari in altezza; 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

TIPOLOGIA STRUTTURALE	q_0
Costruzioni in muratura ordinaria	2,0 α_u/α_1

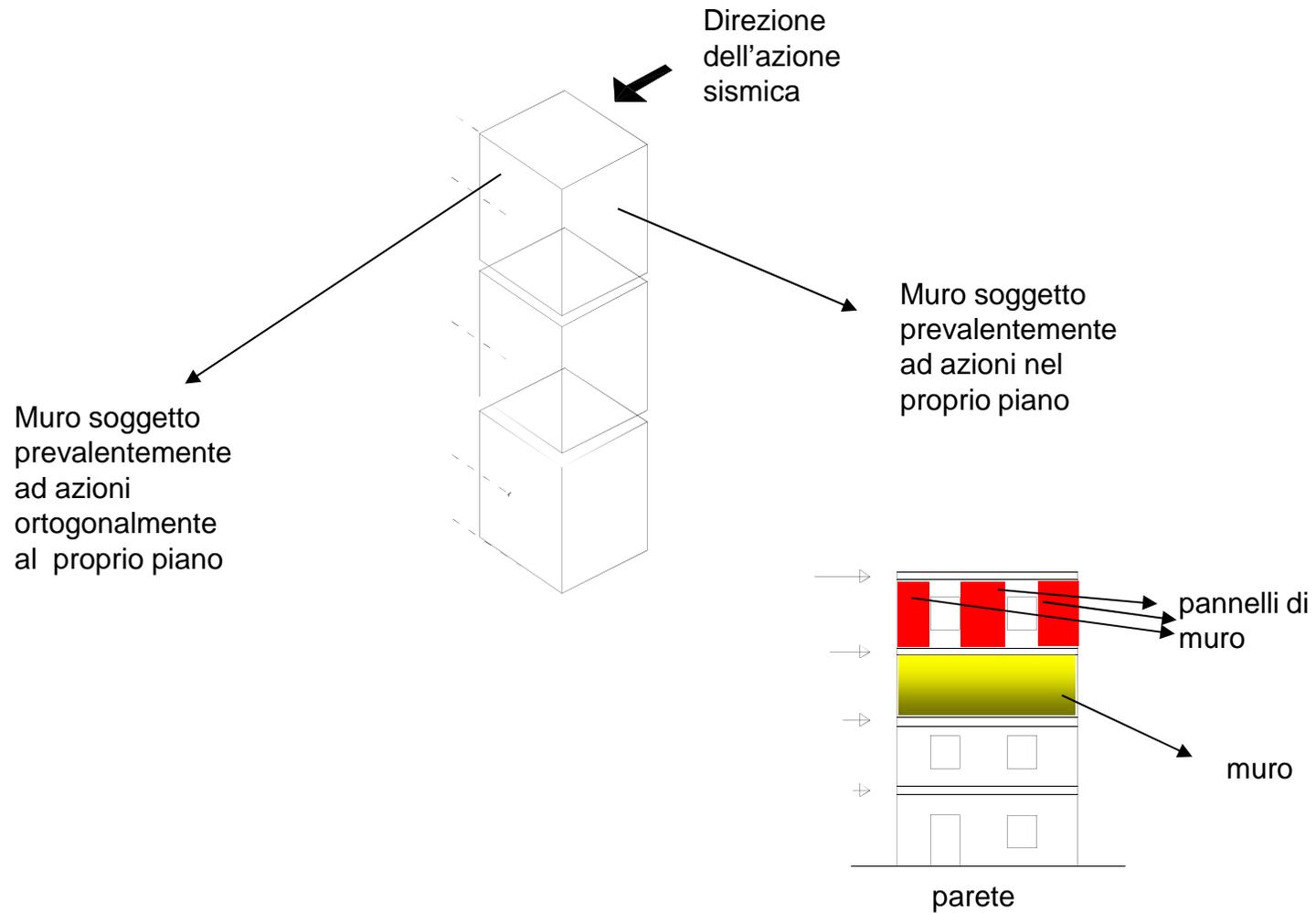
Per costruzioni regolari in pianta

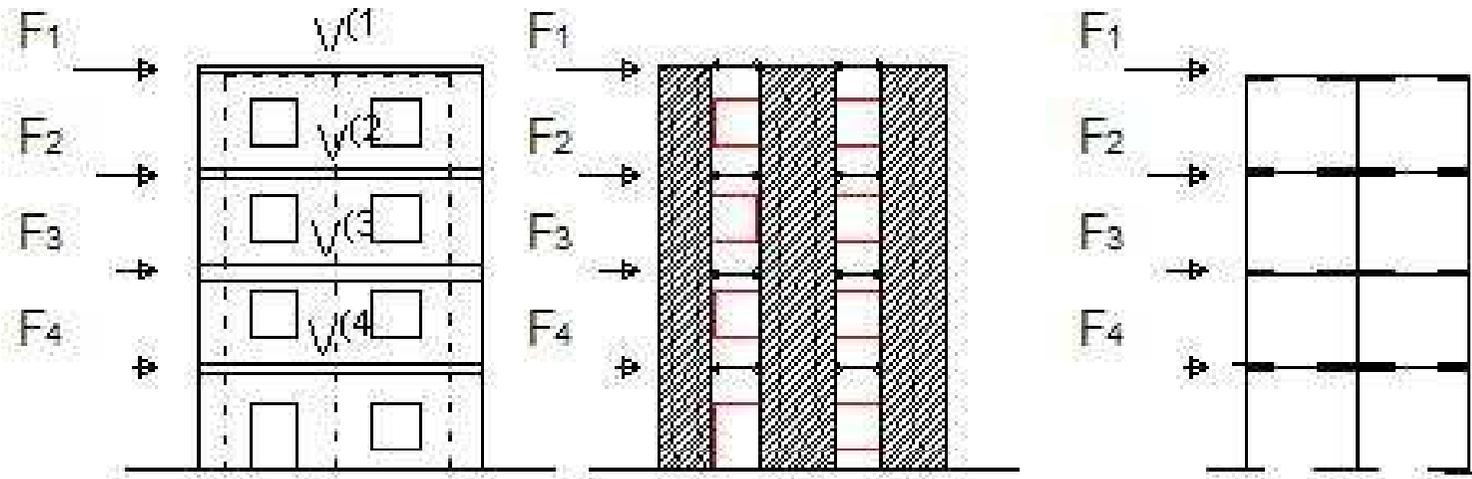
- costruzioni in muratura ordinaria ad un piano $\alpha_u / \alpha_1 = 1,4$
- costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani $\alpha_u / \alpha_1 = 1,8$

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

Il modello a telai equivalenti

Metodi di analisi e criteri di verifica





$$F_1 = V^{(1)}$$

$$F_2 = V^{(2)} - V^{(1)}$$

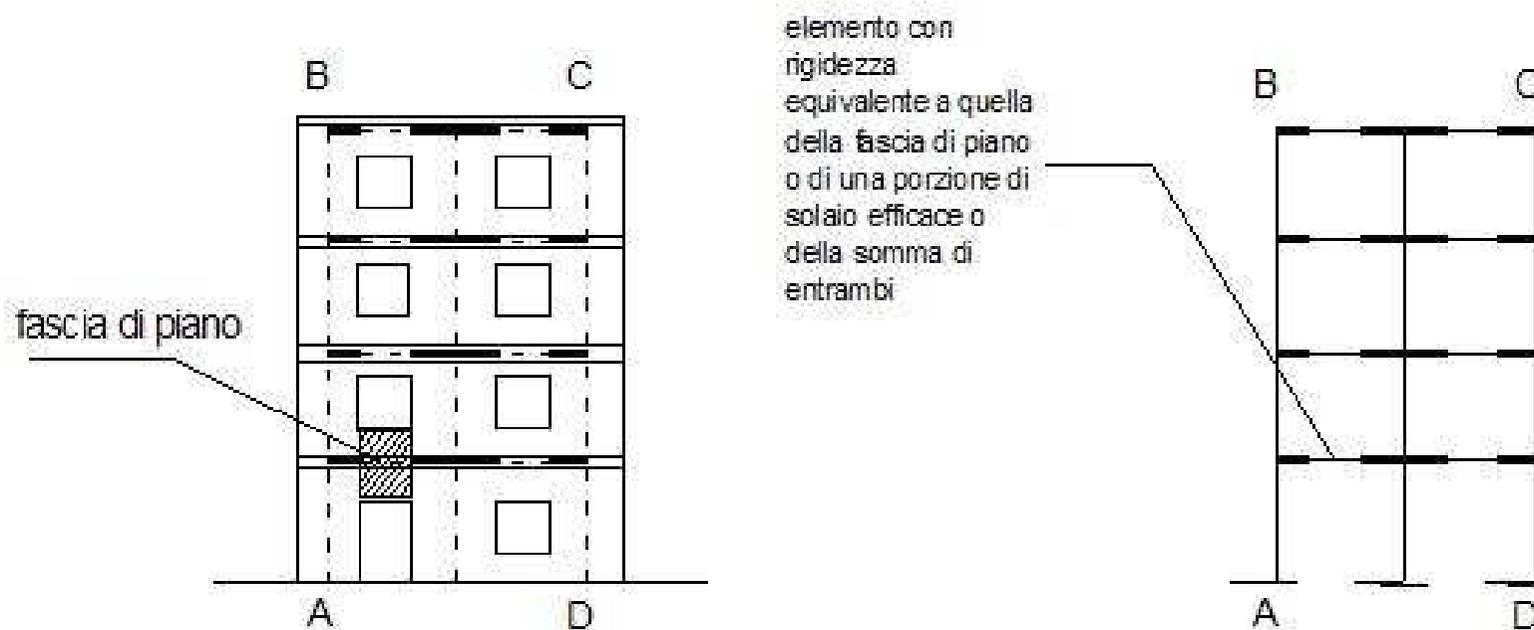
$$F_3 = V^{(3)} - V^{(2)}$$

$$F_4 = V^{(4)} - V^{(3)}$$

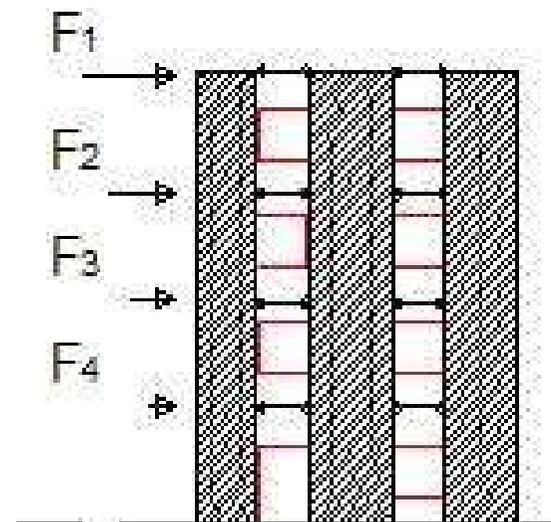
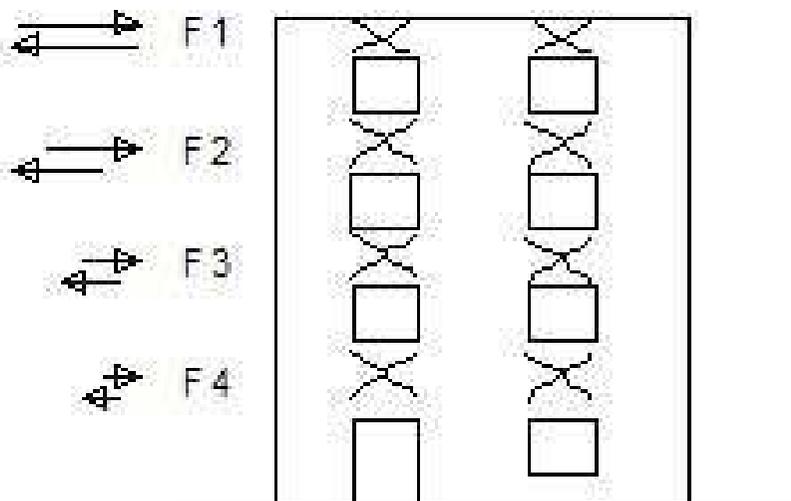
Il sistema a strisce a sviluppo verticale collegate da bielle

Il telaio propriamente detto

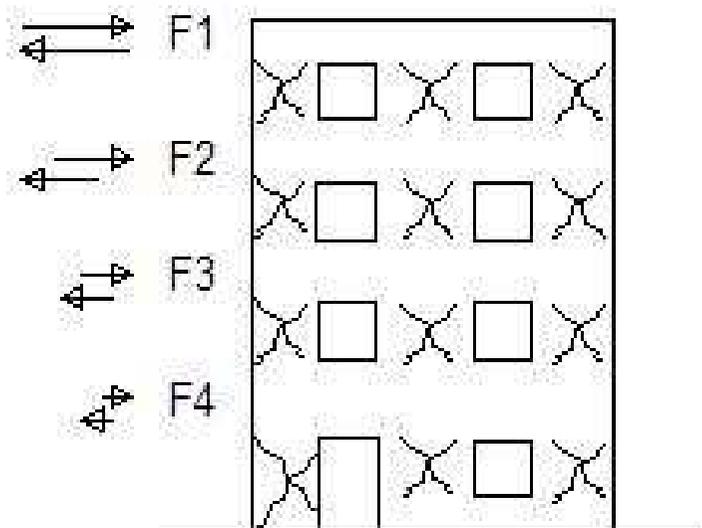
La fascia di piano resistente



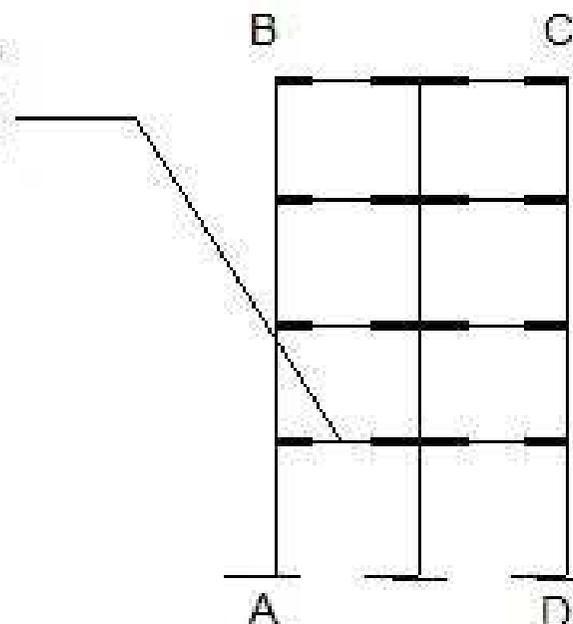
La fascia di piano non resistente

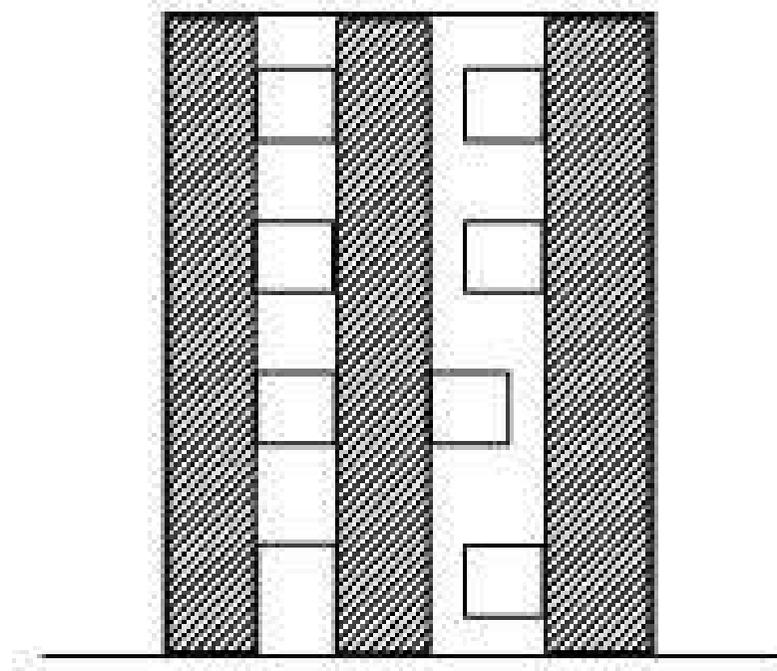


Dimensioni per la fascia di piano

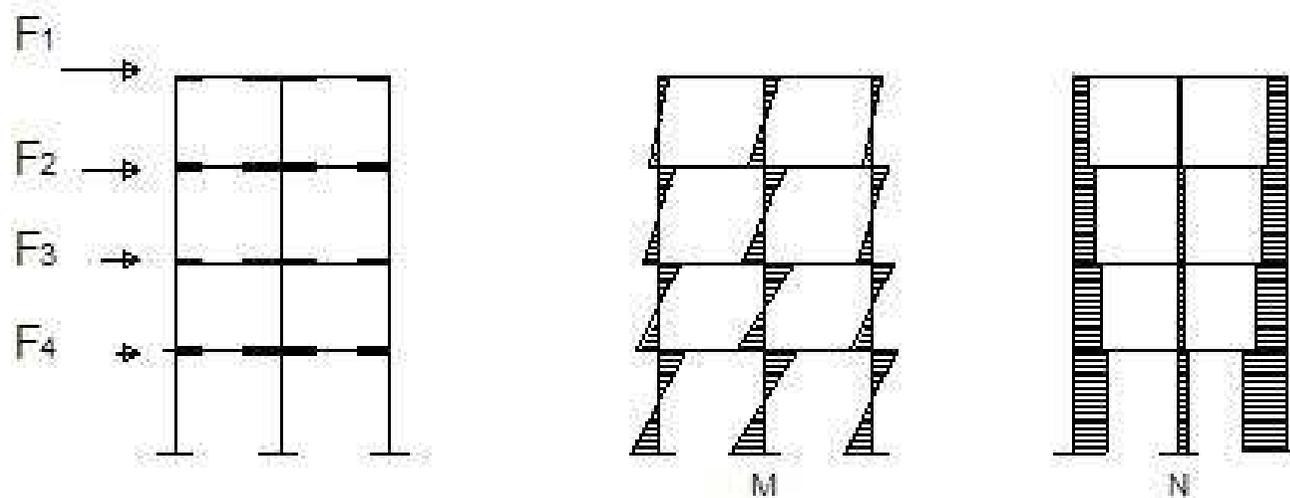
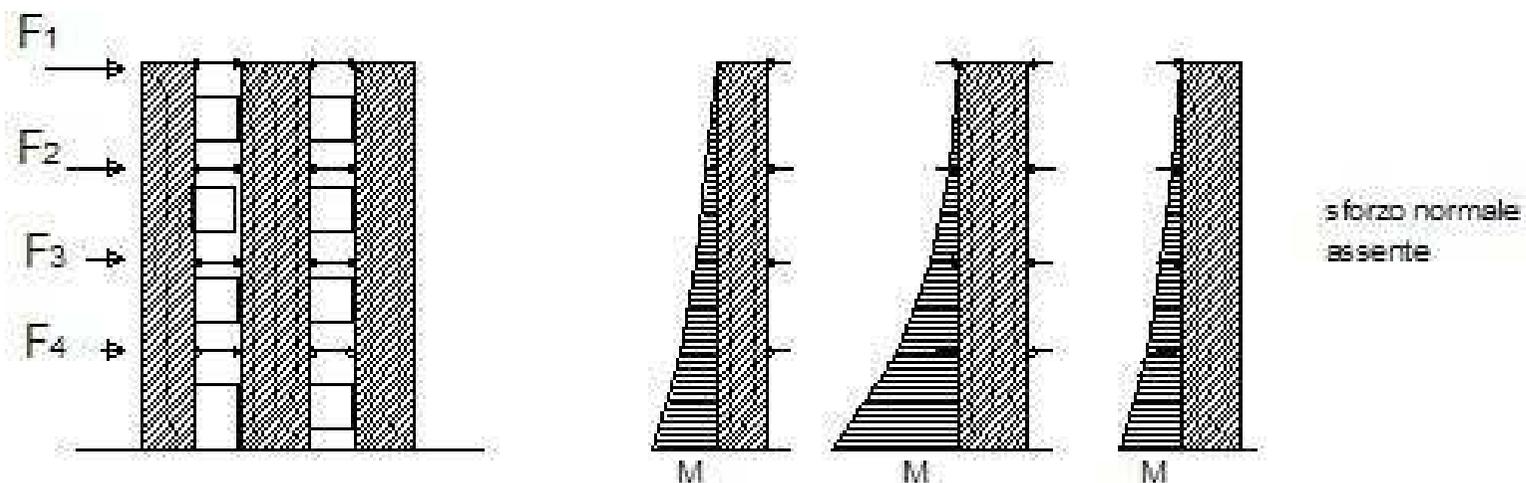


elemento con
rigidezza
equivalente a quella
della fascia di piano
o di una porzione di
soffitto efficace o
della somma di
entrambi

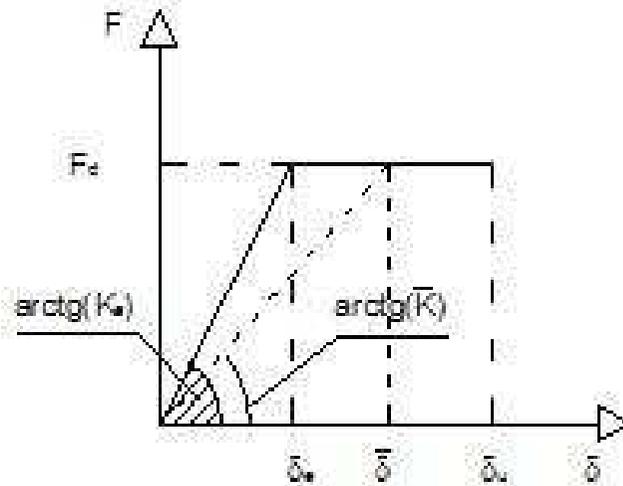




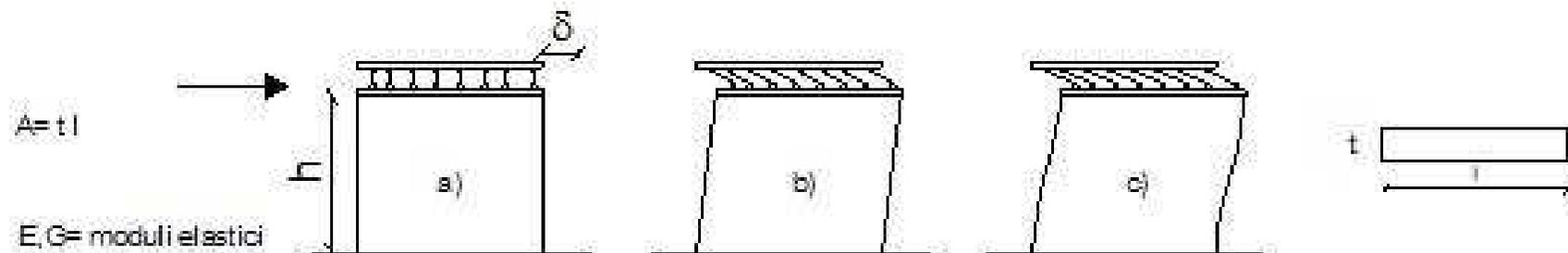
Sollecitazioni



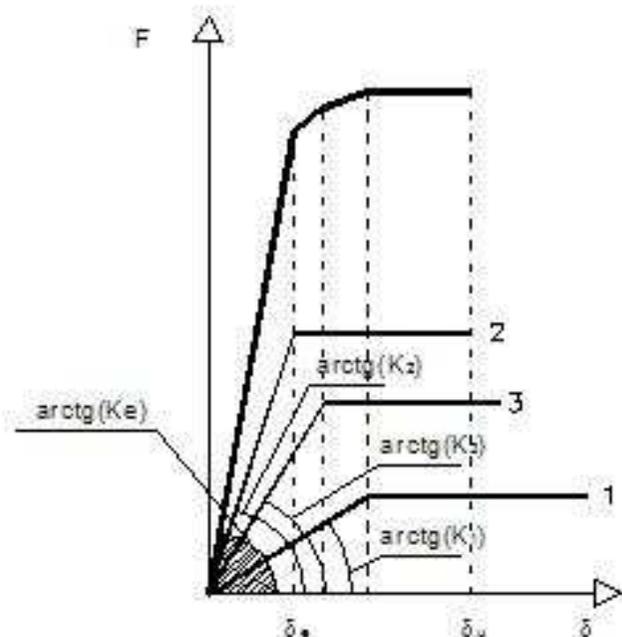
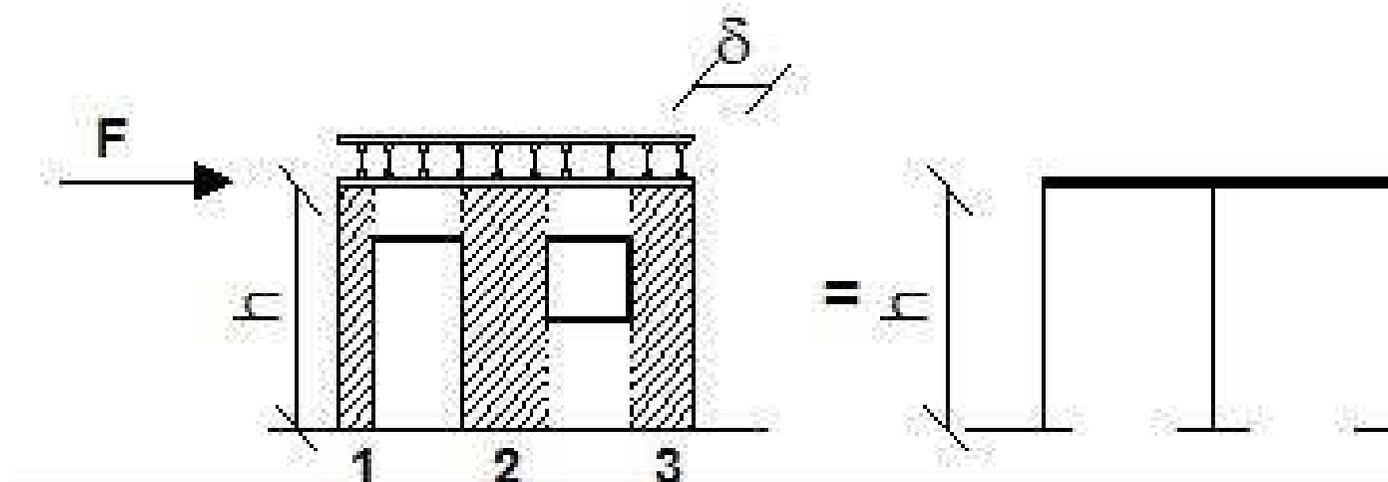
Determinazione delle rigidezze



$$K_e = \left(\frac{h^3}{12EI} + 1.2 \frac{h}{GA} \right)^{-1}$$

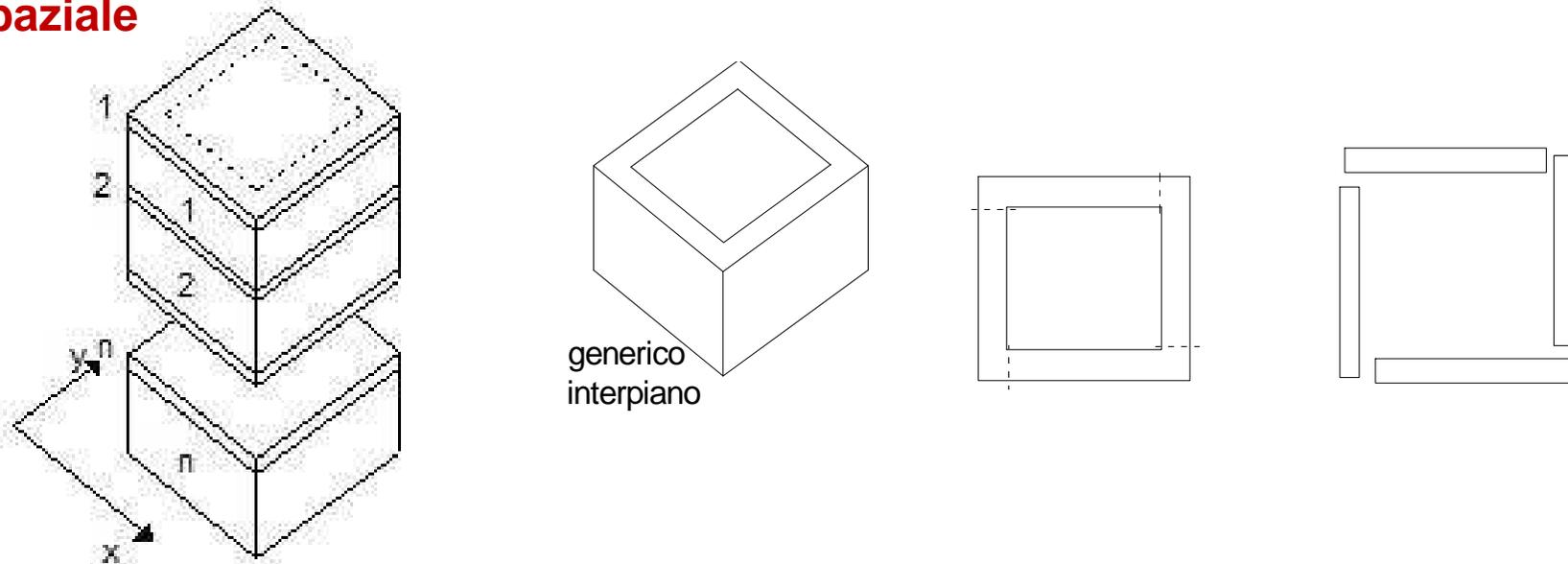


Determinazione delle rigidità



$$K_e = K_1 + K_2 + K_3$$

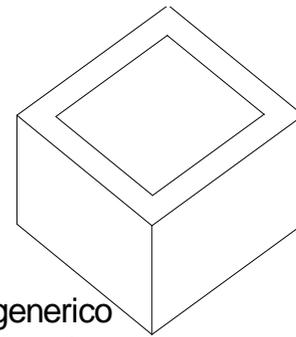
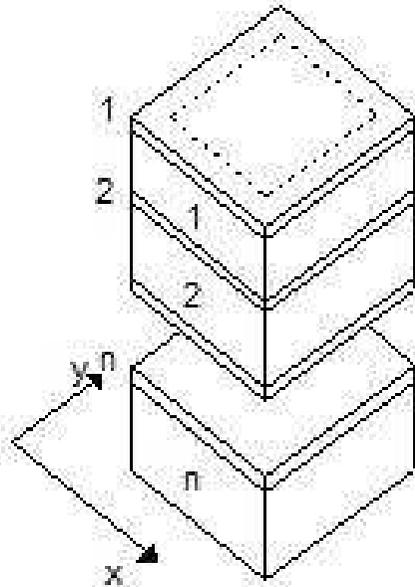
Ipotesi implicite nel sistema spaziale



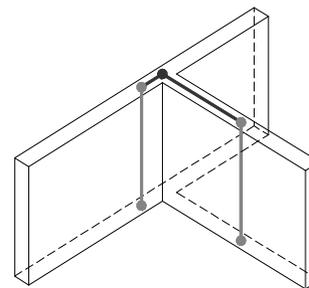
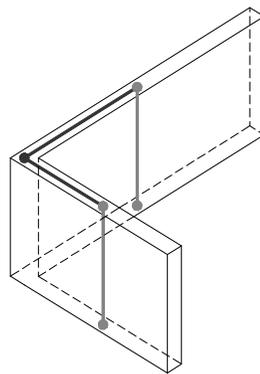
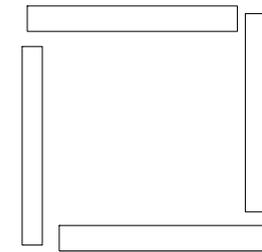
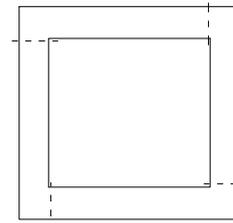
Le ipotesi di base sono:

- 1) i **solai si considerano infinitamente rigidi** rispetto ad azioni giacenti nel proprio piano ed in grado di distribuire le azioni orizzontali statiche equivalenti al sisma fra i muri in relazione alla loro rigidezza in quanto solidali ai muri stessi;
- 2) **si trascurano le deformazioni assiali dei muri**;
- 3) i **muri ortogonali si considerano non collegati fra di loro**; ciò semplifica il calcolo delle rigidezze che entrano in gioco nella distribuzione delle forze in quanto sono quelle di elementi a sezione rettangolare (vedi Figura 6 riferita ai muri di perimetro della scatola muraria) (tale ipotesi, comoda dal punto di vista computazionale, potrebbe non rispondere del tutto alla realtà fisica);

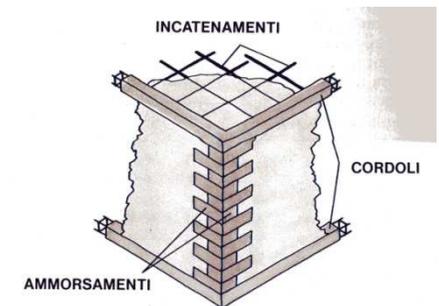
Ipotesi implicite nel sistema spaziale



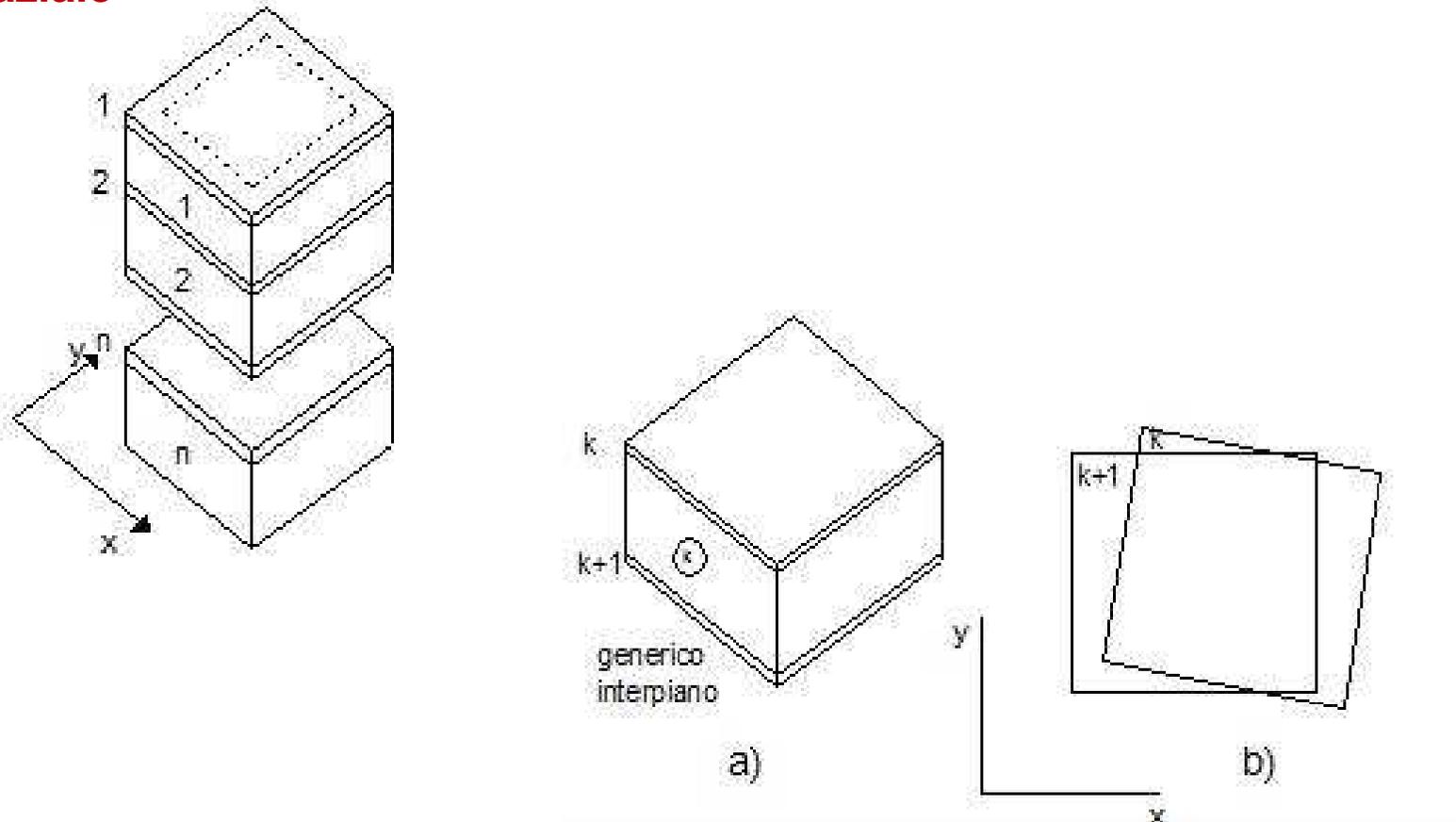
generico interpiano



Legenda
— Maschio verticale
— Braccio rigido



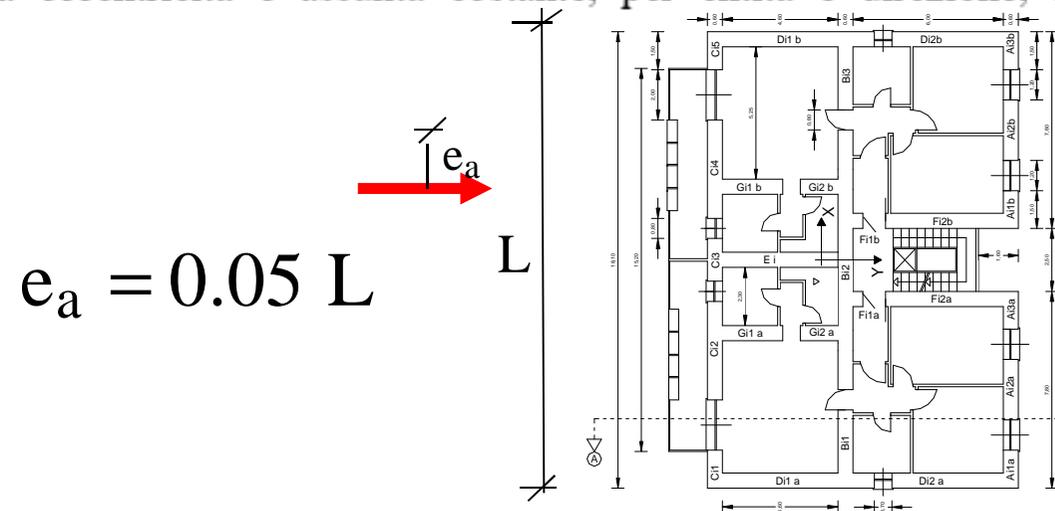
Ipotesi implicite nel sistema spaziale



Dalle ipotesi 1-2 deriva che ogni impalcato ha 3 gradi di libertà

Eccentricità accidentale

Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, al centro di massa deve essere attribuita una eccentricità accidentale rispetto alla sua posizione quale deriva dal calcolo. Per i soli edifici ed in assenza di più accurate determinazioni l'eccentricità accidentale in ogni direzione non può essere considerata inferiore a 0,05 volte la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica. Detta eccentricità è assunta costante, per entità e direzione, su tutti gli orizzontamenti.



Per gli edifici, se le rigidezze laterali e le masse sono distribuite simmetricamente in pianta, gli effetti torsionali accidentali di cui al § 7.2.6 possono essere considerati amplificando le sollecitazioni su ogni elemento resistente, calcolate con la distribuzione fornita dalla formula (7.3.6), attraverso il fattore (δ) risultante dalla seguente espressione:

$$\delta = 1 + 0,6 x / L_e \quad (7.3.7)$$

dove:

x è la distanza dell'elemento resistente verticale dal baricentro geometrico di piano, misurata perpendicolarmente alla direzione dell'azione sismica considerata;

L_e è la distanza tra i due elementi resistenti più lontani, misurata allo stesso modo.

Combinazione delle azioni

Il simbolo “+” ha il significato di combinato con

COMBINAZIONE BASE ALLO SLU (carichi verticali)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

COMBINAZIONE SISMICA (per SLU e SLE connessi all'azione sismica)

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

$$1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z$$

Componente verticale E_z

- in zona 1-2
- elementi con luce superiore a 20 m, precompressi (tranne solai con $l < 8m$), mensole con luce superiore a 4 m, strutture spingenti ...

Verifiche in caso di analisi lineare

Verifiche a presso flessione nel piano medio (le verifiche vanno effettuate nella sezione di piede ed in quella di testa)

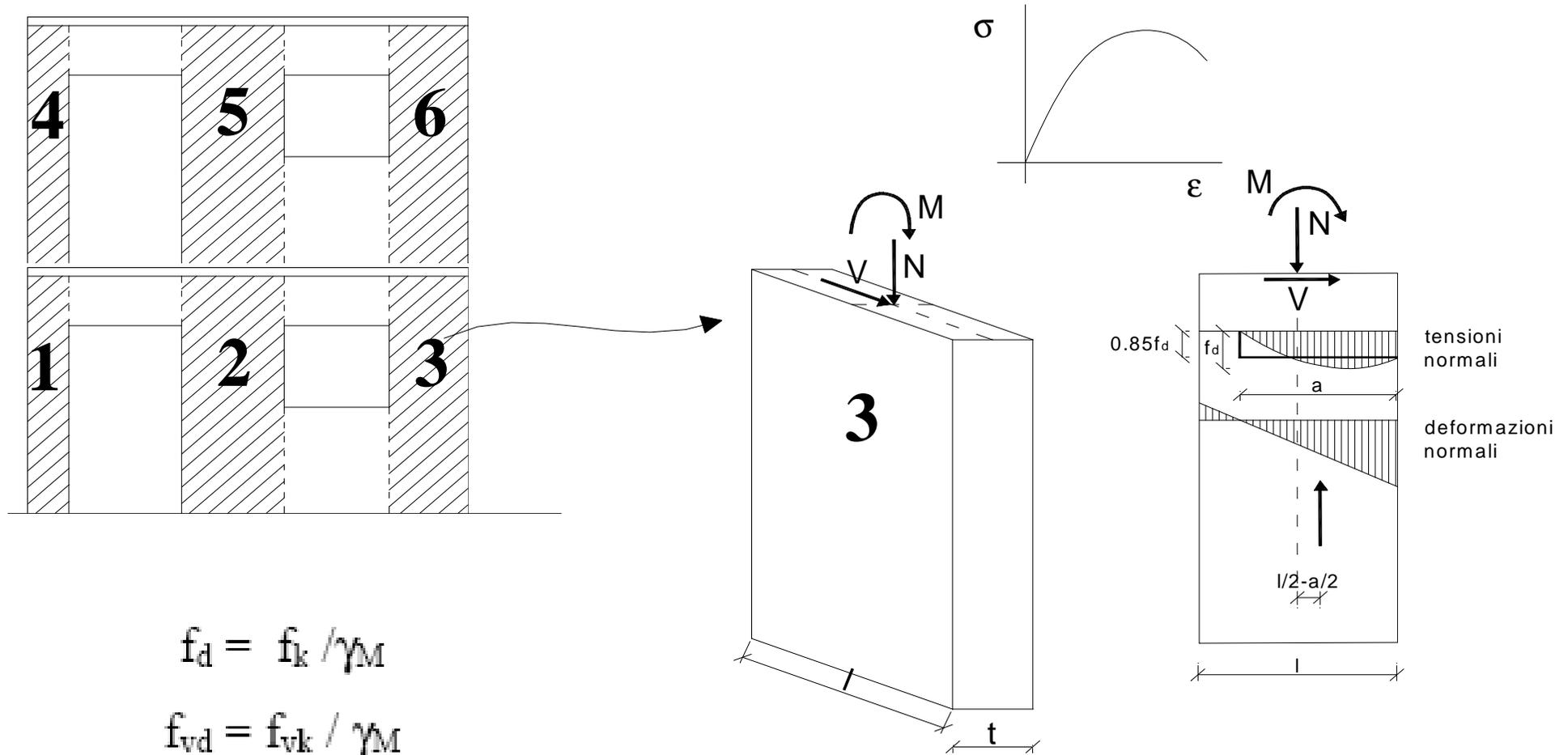


Tabella 4.5.II. Valori del coefficiente γ_M in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

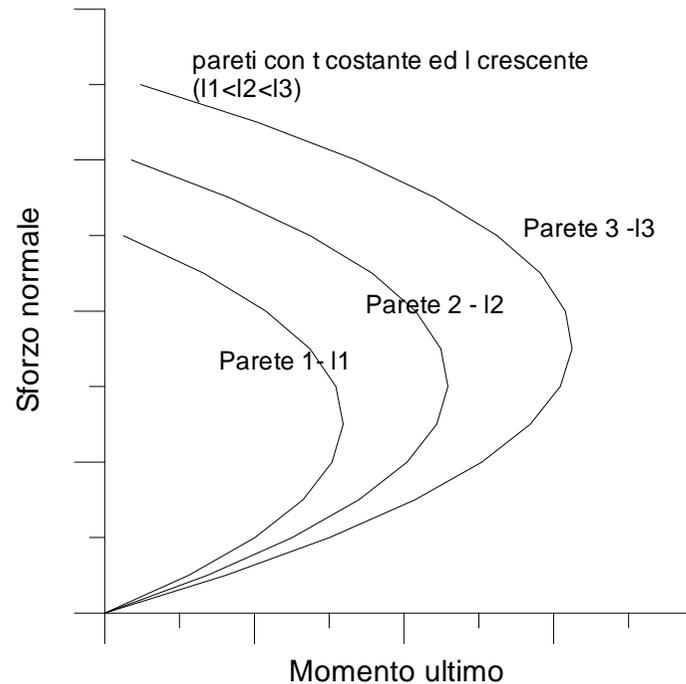
Verifiche a presso flessione nel piano medio

$$M_u = \left(l^2 t \frac{\sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d} \right)$$

- M_u è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione
- l è la lunghezza complessiva della parete (inclusiva della zona tesa)
- t è lo spessore della zona compressa della parete
- σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione (= N/lt , con N forza assiale agente positiva se di compressione). Se N è di trazione, $M_u = 0$

Verifiche a presso flessione nel piano medio

$$M_u = \left(I^2 t \frac{\sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d} \right)$$

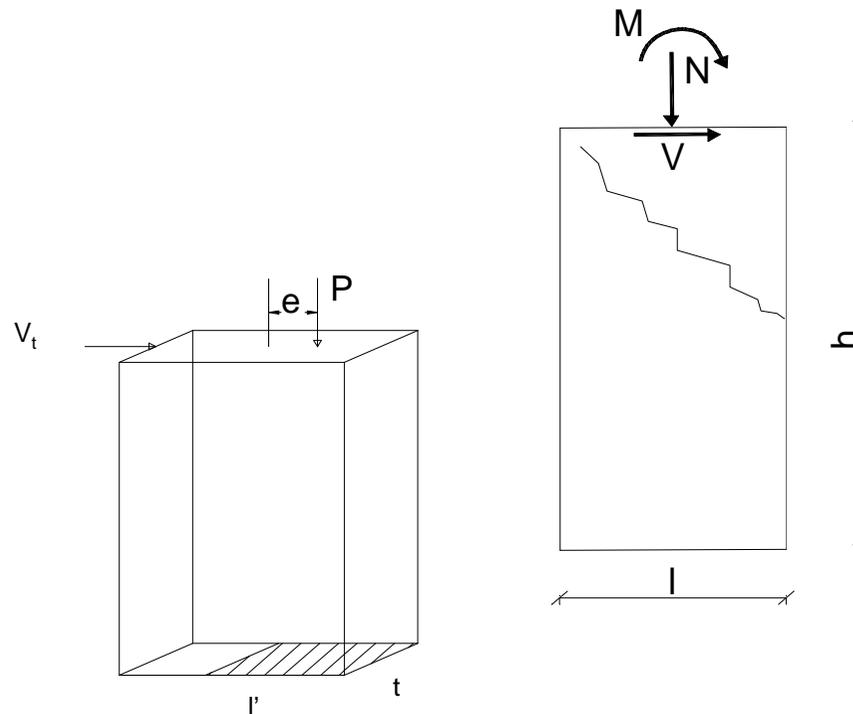


Verifiche a taglio

(le verifiche vanno effettuate nelle sezioni di testa dove lo sforzo normale è minore)

$$M_u = \left(l^2 t \frac{\sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d} \right)$$

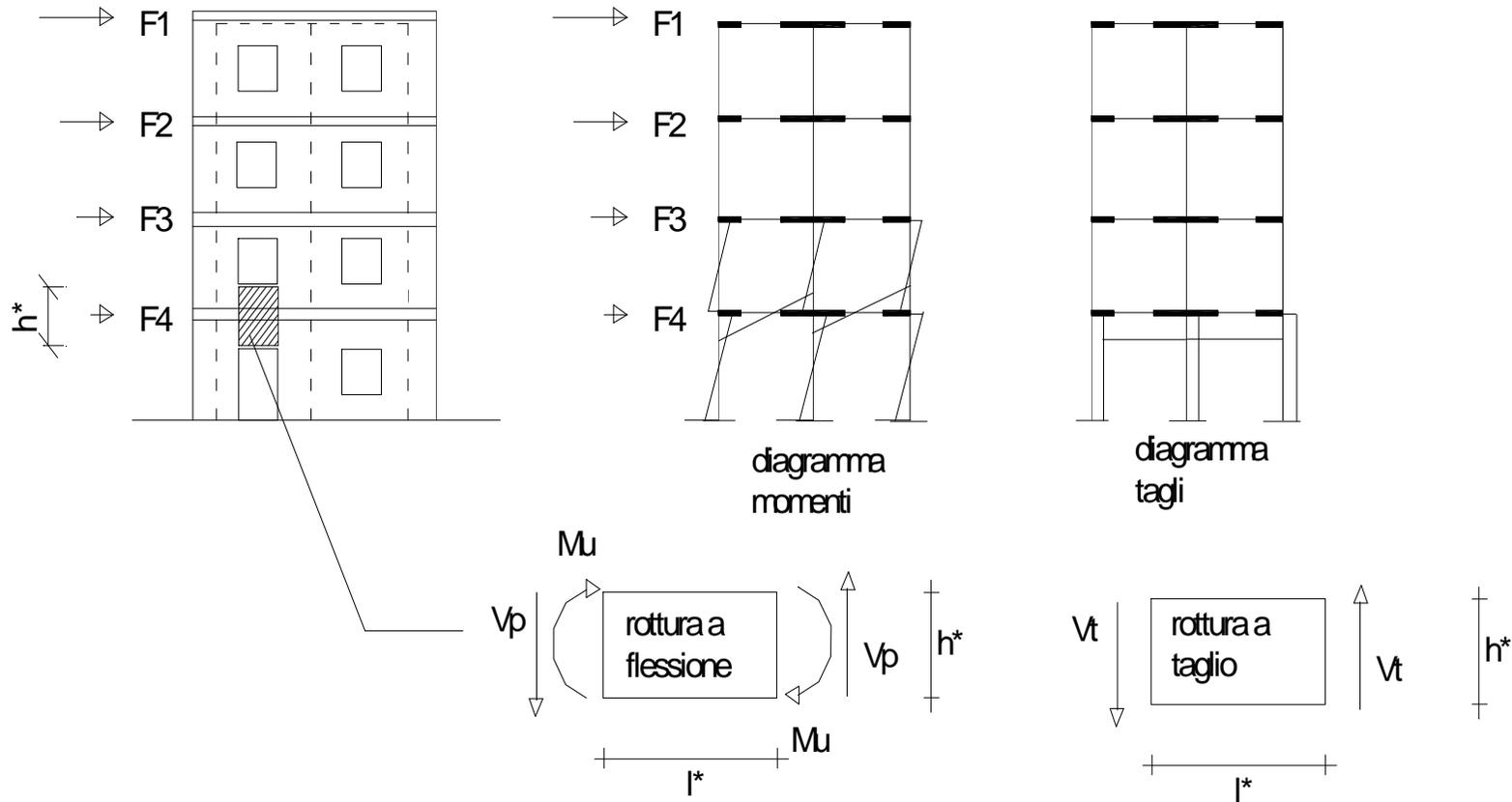
$$V_t = l' t f_{vd}$$



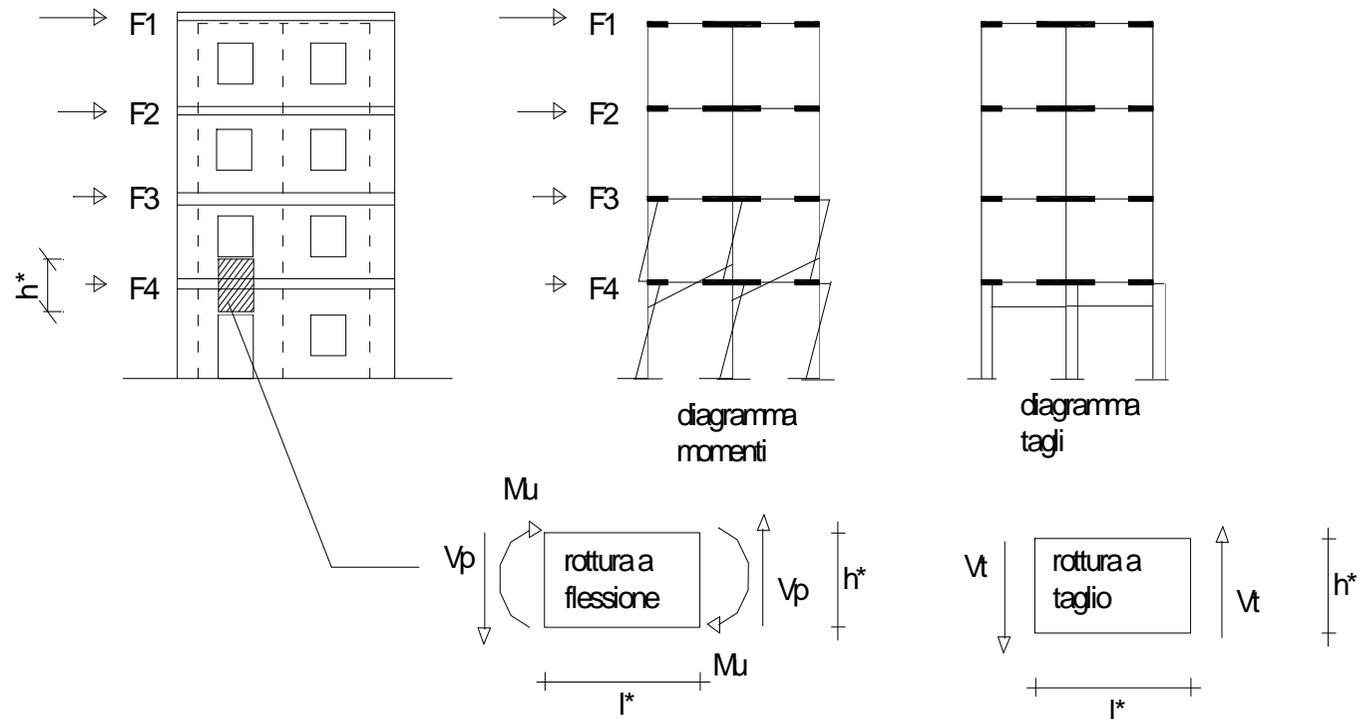
$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ è definito al § 4.5.6.1, calcolando la tensione normale media (indicata con σ_n nel paragrafo citato) sulla parte compressa della sezione ($\sigma_n = P / (l't)$).

Il valore di f_{vk} non può comunque essere maggiore di $1,4 \bar{f}_{bk}$, dove \bar{f}_{bk} indica la resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione di applicazione della forza, né maggiore di 1,5 MPa.

Verifiche travi in muratura



Verifiche travi in muratura

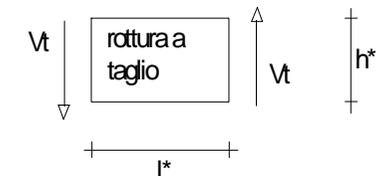
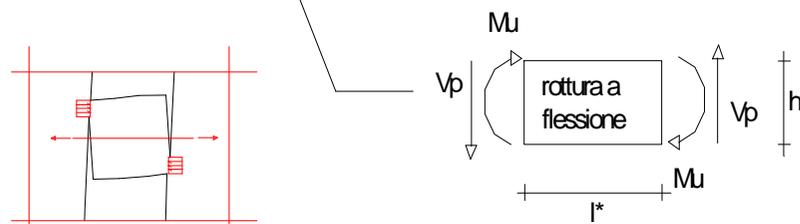
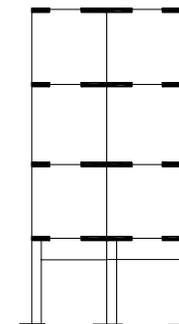
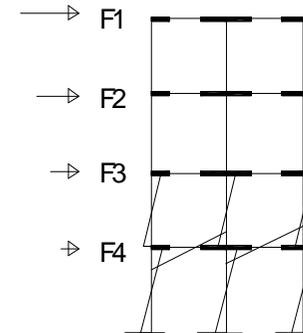
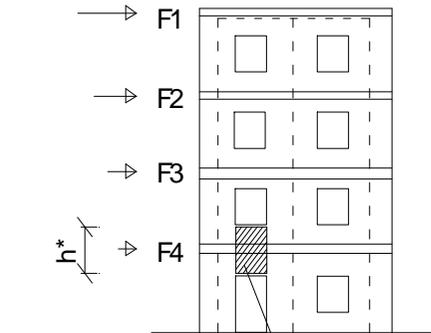
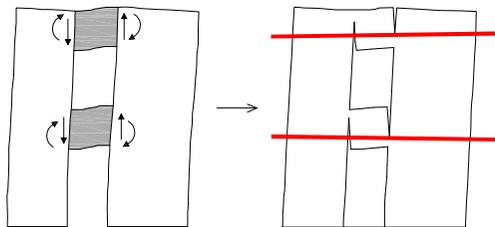


$$V_t = h^* \cdot t \cdot \tau_{d0}$$

Verifiche travi in muratura

$$M_u = H_p \frac{h^*}{2} \left[1 - \frac{H_p}{0.85 f_{hd} h^* t} \right]$$

$$V_p = 2M_u / l^*$$



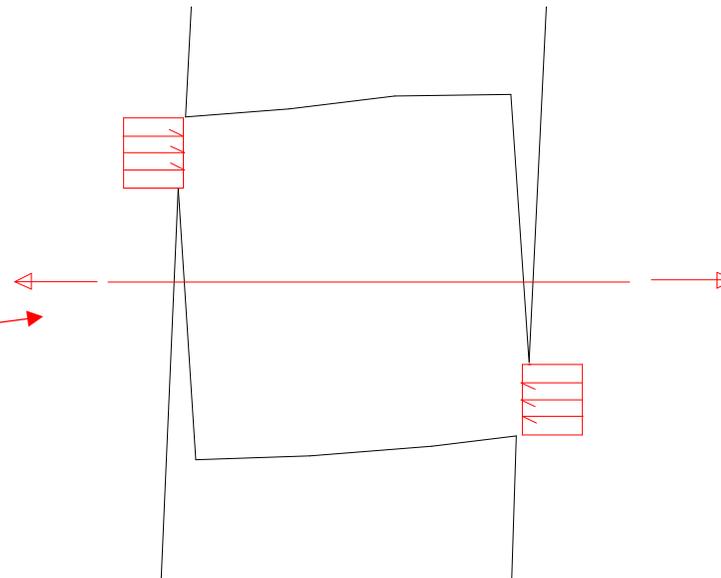
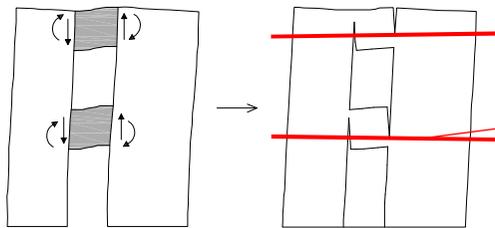
dove

- H_p è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente ed il valore $0.4f_{hd}h^*t$
- f_{hd} è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete).

Verifiche travi in muratura

$$M_u = H_p \frac{h^*}{2} \left[1 - \frac{H_p}{0.85 f_{hd} h^* t} \right]$$

$$V_p = 2M_u / l^*$$



dove

- H_p è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente ed il valore $0.4f_{hd}h^*t$
- f_{hd} è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete).

Verifiche travi in muratura

$$M_u = H_p \frac{h^*}{2} \left[1 - \frac{H_p}{0.85 f_{hd} h^* t} \right]$$

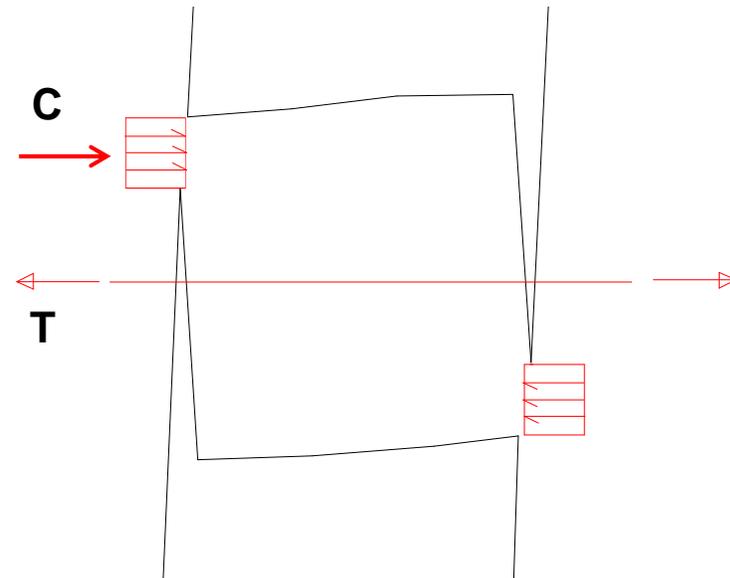
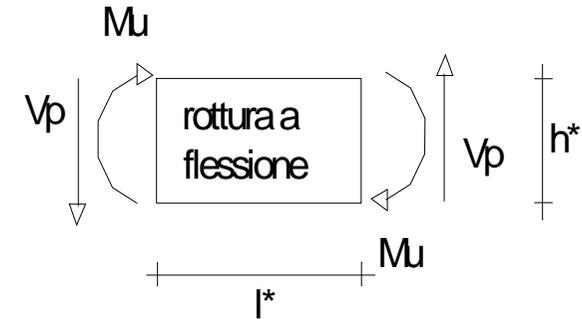
Eq. di equilibrio

$$H_p = 0.85 f_{hd} \alpha h^* t ; \quad \alpha h^* = x_c$$

$$\frac{H_p}{0.85 f_{hd} h^* t} = \alpha \xrightarrow{\alpha \leq 1/2} H_p \leq 0.4 f_{hd} h^* t$$

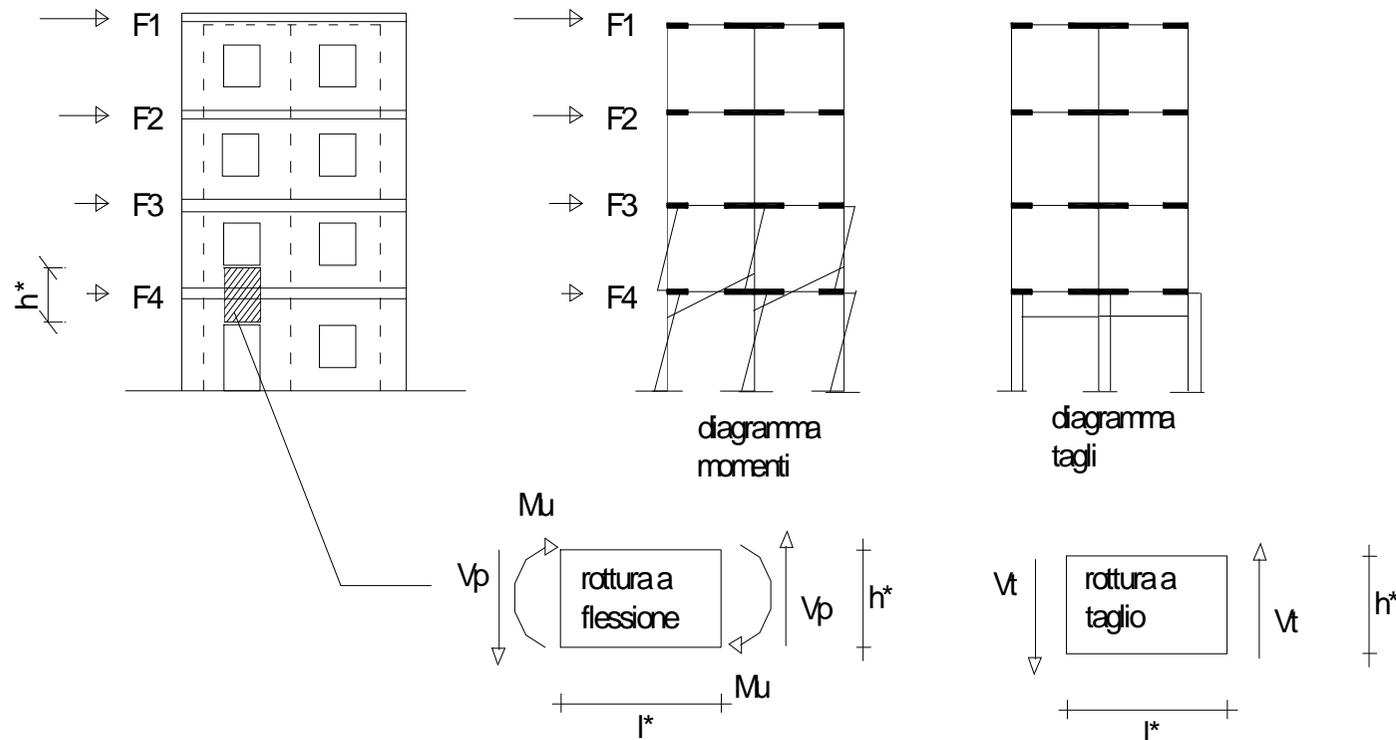
$$M_u = H_p \frac{h^* - \alpha h^*}{2} t = H_p \frac{h^*}{2} (1 - \alpha) t$$

$$M_u = H_p \frac{h^*}{2} \left(1 - \frac{H_p}{0.85 f_{hd} h^* t} \right) t$$



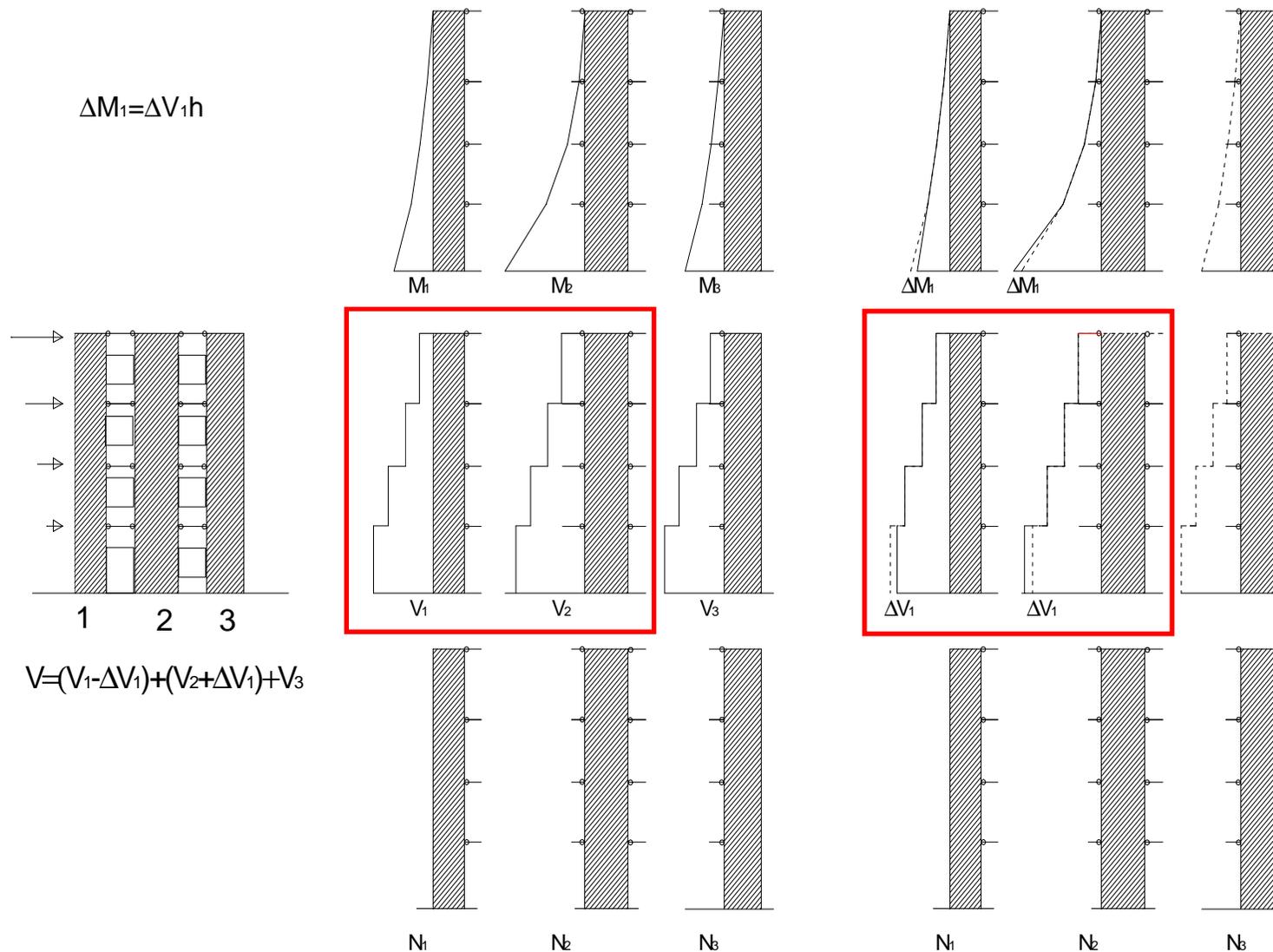
Si può pensare che il massimo sforzo di compressione nella muratura sia quello che si ottiene per $\alpha \cong 1/2$ da cui la limitazione normativa

Verifiche travi in muratura



$$V_u = \min(V_t, V_p)$$

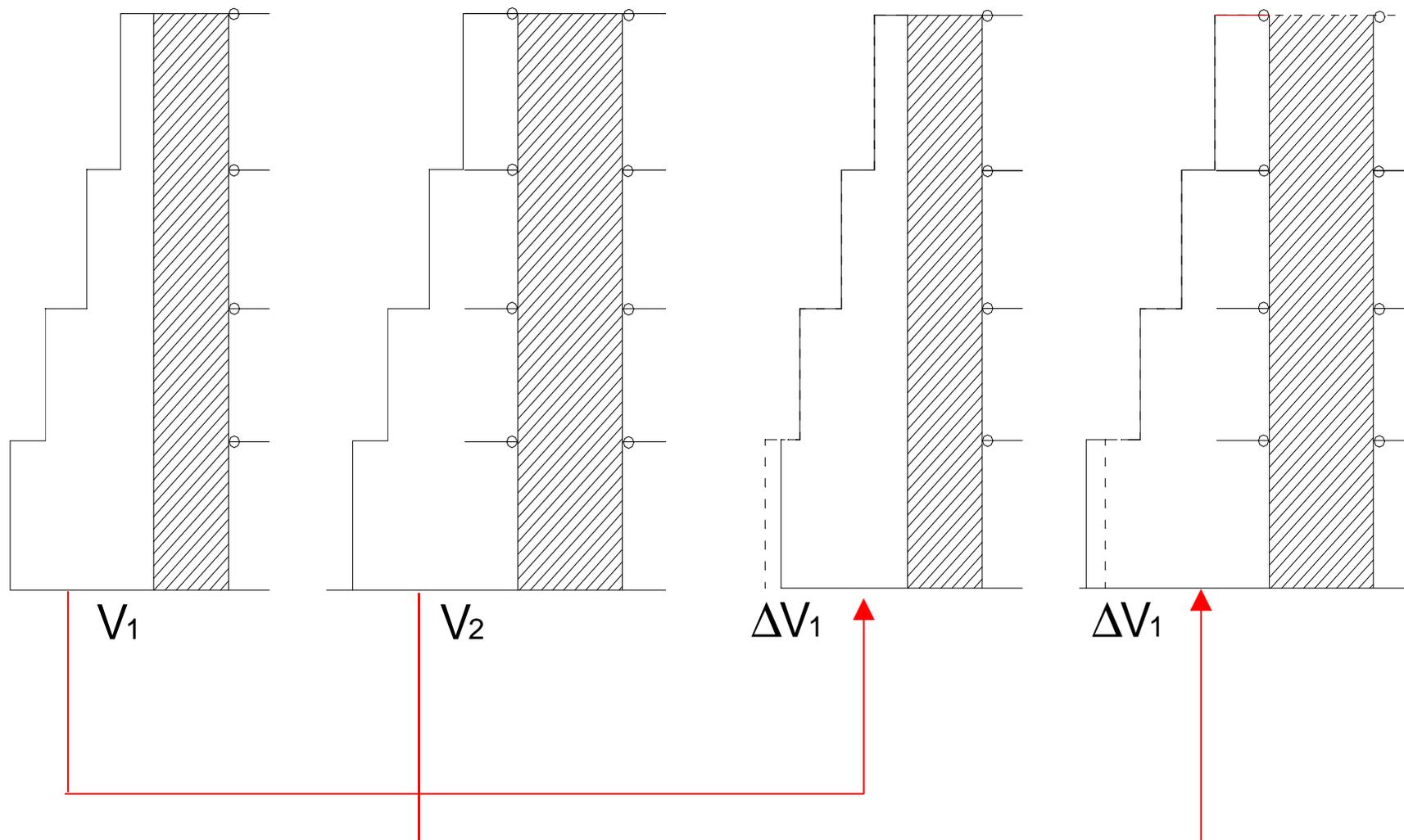
Ridistribuzione delle sollecitazioni nell'ambito dei telai (modello a strisce)



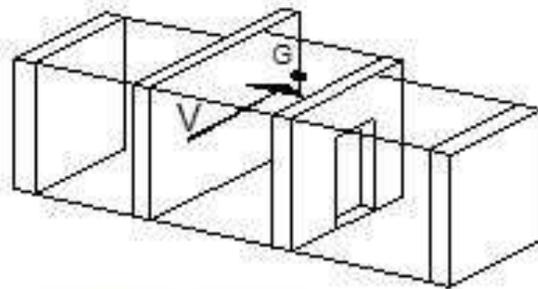
$$\Delta V \leq \max\{0.25|V|, 0.1|V_{\text{piano}}|\}$$

dove V è il taglio nel pannello e V_{piano} è il taglio totale al piano nella direzione parallela al pannello.

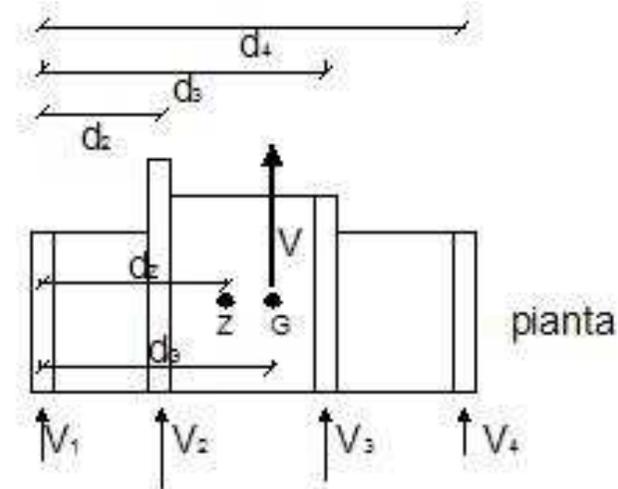
Ridistribuzione delle sollecitazioni nell'ambito dei telai (modello a strisce)



Ridistribuzione delle sollecitazioni fra telai nello spazio (può essere effettuata solo nell'ipotesi di impalcati infinitamente rigidi alternativamente si può ridistribuire solo nell'ambito del singolo telaio)



vista assonometrica

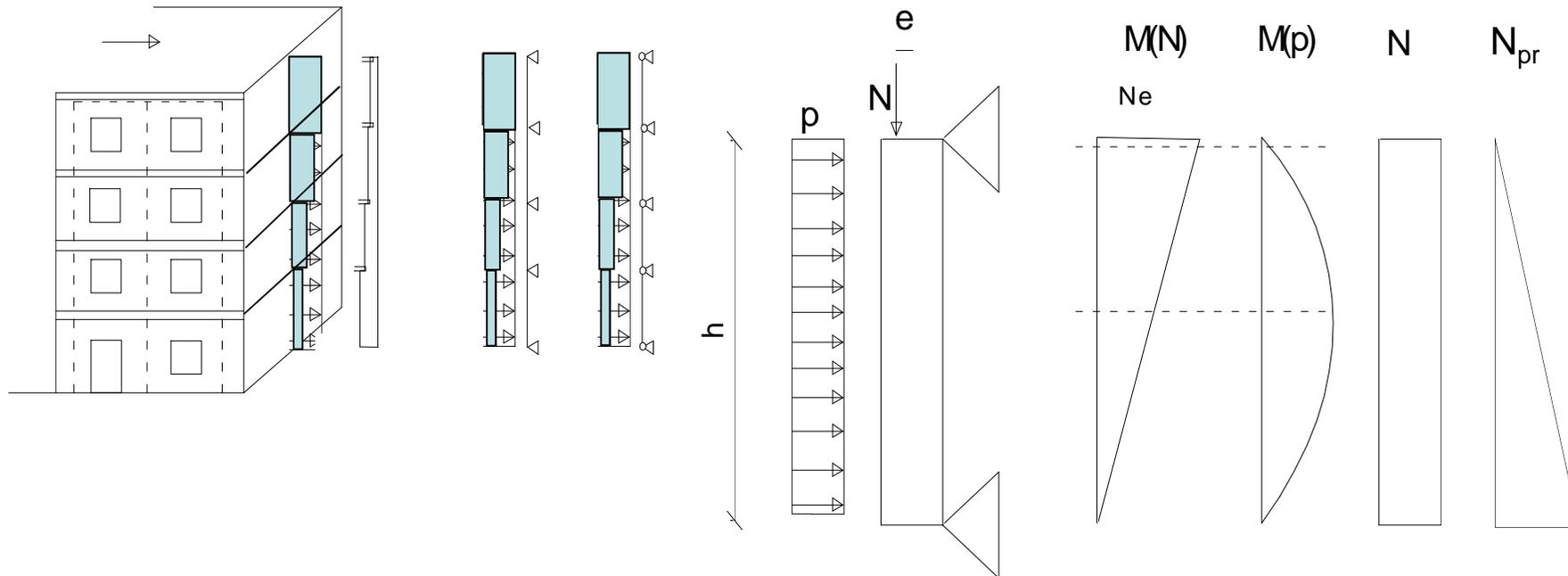


$$V_1 + (V_2 + \Delta V_2) + (V_3 + \Delta V_3) + (V_4 - \Delta V_4) = V$$

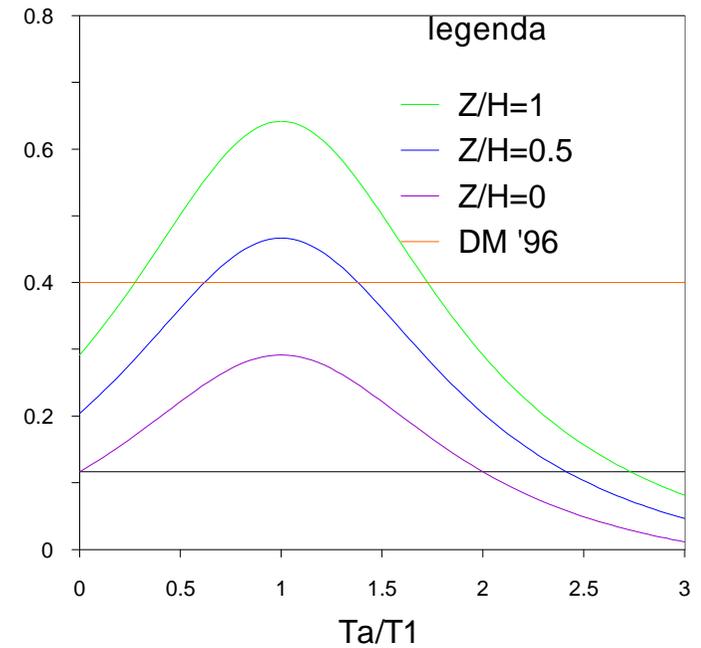
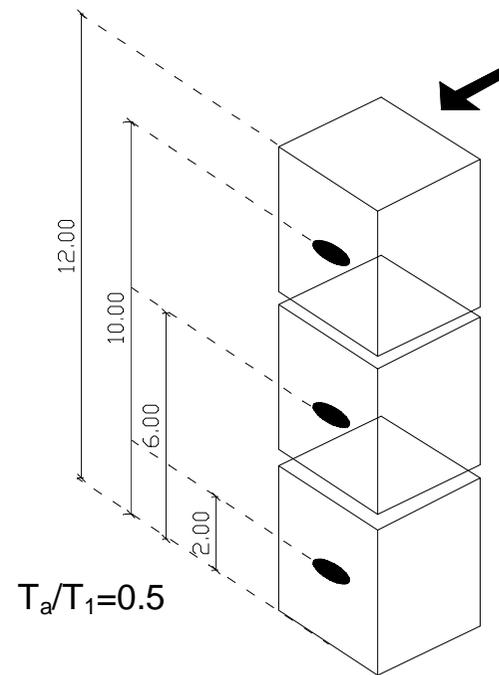
$$(V_2 + \Delta V_2)d_2 + (V_3 + \Delta V_3)d_3 + (V_4 - \Delta V_4)d_4 = Vd_G$$

$$\Delta V \leq \max\{0.25|V|, 0.1|V_{\text{piano}}|\}$$

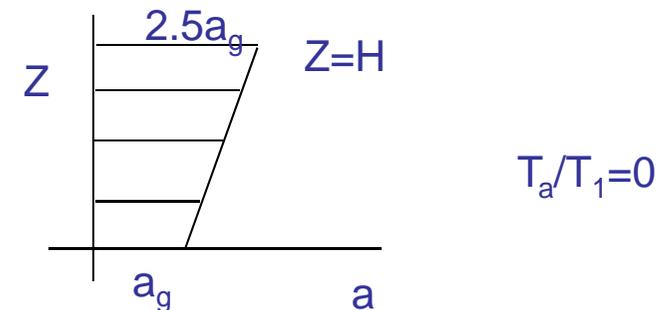
Verifiche dei pannelli di muro per azioni ortogonali al piano medio (le verifiche vanno effettuate nella sezione di mezzeria ed in quella di testa)



Azione sismica orizzontale nelle verifiche locali fuori piano delle pareti



$$\tilde{S} = \frac{S_a}{q_a} \geq \frac{a_g S}{q_a}; \quad S_a = a_g S \left[\frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]$$



Azione sismica orizzontale nelle verifiche locali fuori piano delle pareti

$$F_a = \frac{S_a}{g} W_a / q_a$$

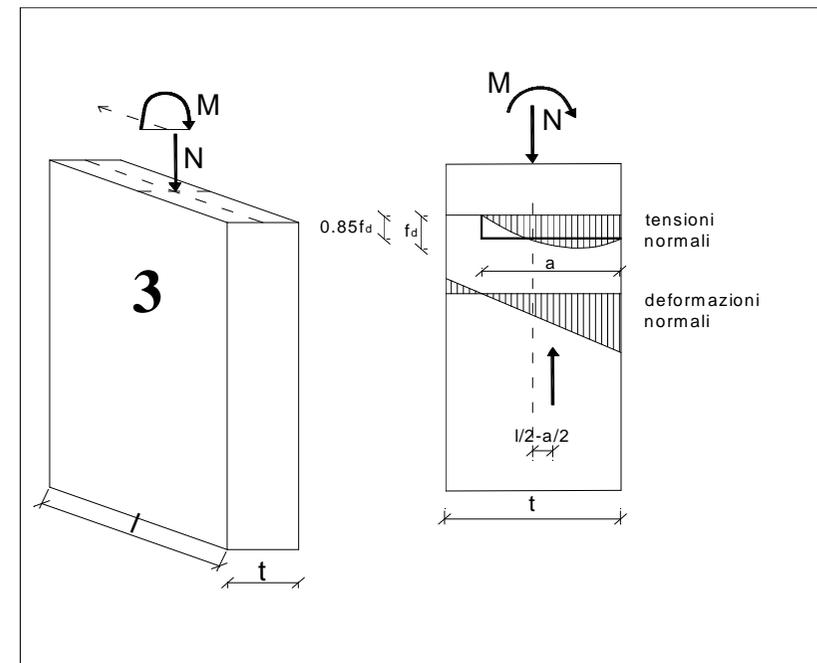
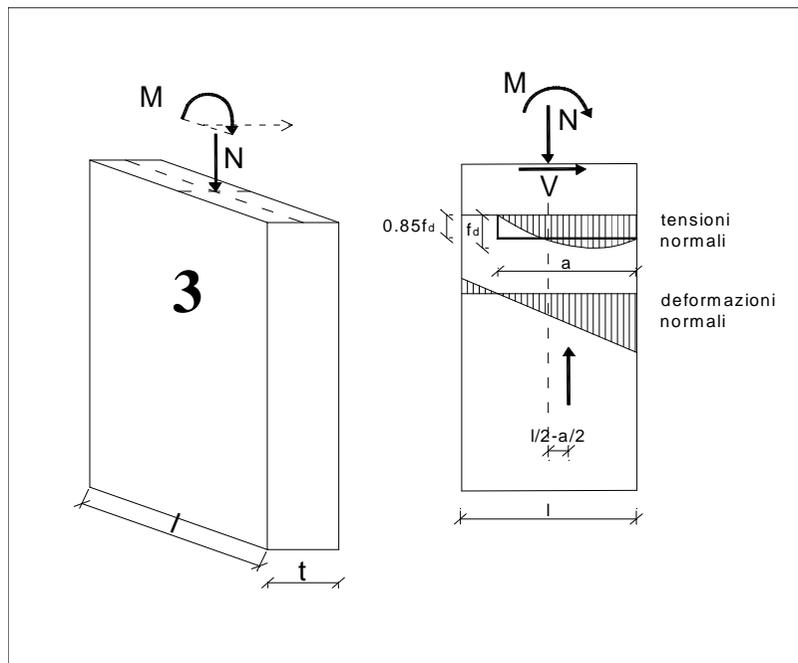
Tabella 7.2.I – Valori di q_a per elementi non strutturale

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	2,0
Tramezzature e facciate	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	

$q_a = 3$ per elementi strutturali

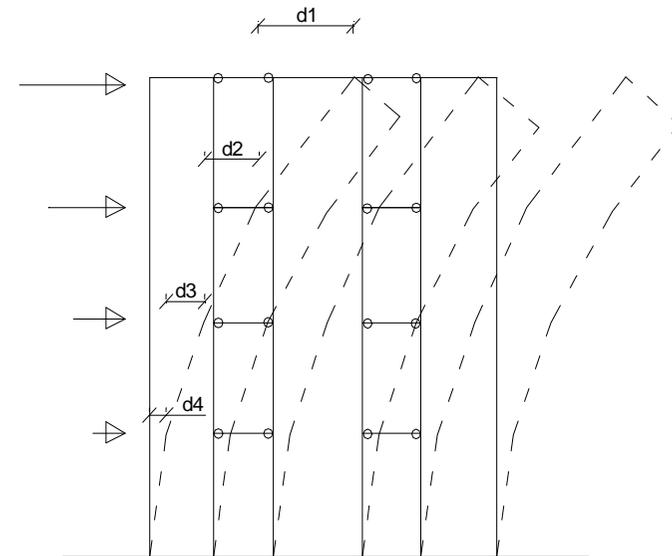
pareti resistenti al sisma, che rispettano i limiti di Tab. 7.8.II, si può assumere che il periodo T_a indicato al § 7.2.3 sia pari a 0. Per pareti con caratteristiche diverse la verifica fuori piano va comunque condotta valutando, anche in forma approssimata, T_a .

- pressoflessione fuori piano



Si effettua per muri ortogonali alla direzione del sisma

Effetti del secondo ordine in caso di analisi lineare



Le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ appresso definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1 \quad (7.3.2)$$

dove:

P è il carico verticale totale della parte di struttura sovrastante l'orizzontamento in esame

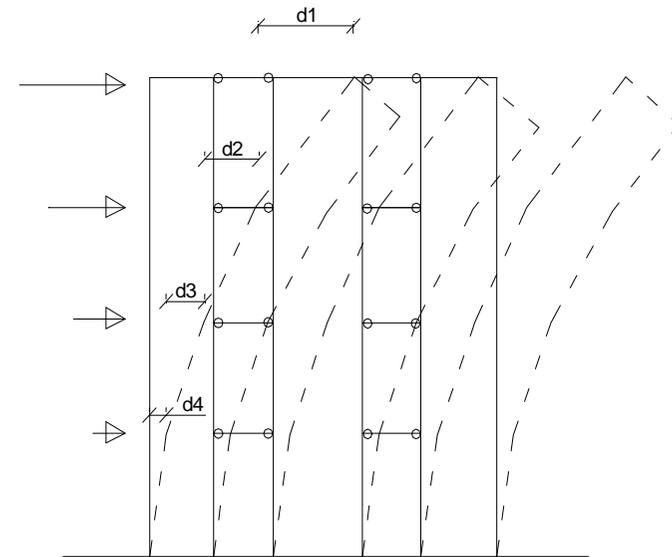
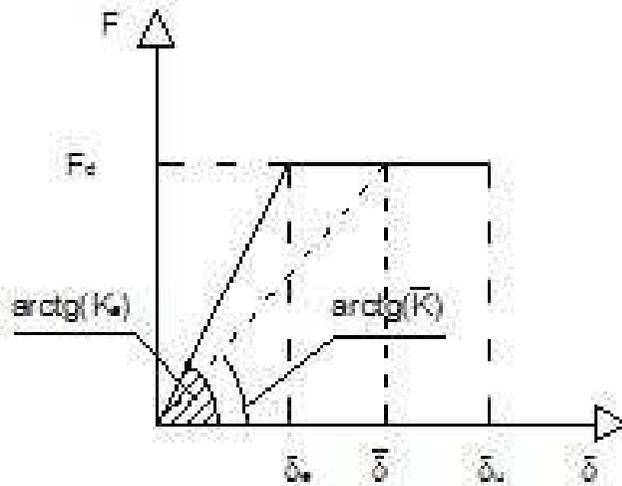
d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano, ovvero la differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante;

V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante.

Quando θ è compreso tra 0,1 e 0,2 gli effetti delle non linearità geometriche possono essere presi in conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a $1/(1-\theta)$; θ non può comunque superare il valore 0,3.

Effetti del secondo ordine in caso di analisi lineare



equivale a d_r in $\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1$

7.3.3.3 Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV si ottengono moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee} \tag{7.3.8}$$

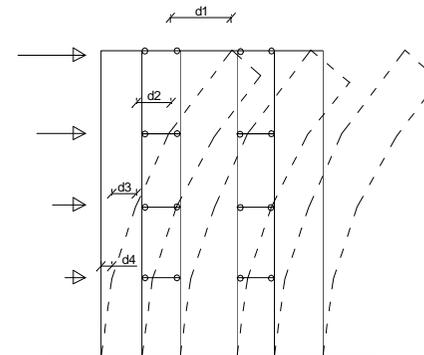
dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q & \text{se } T_1 \geq T_C \\ \mu_d &= 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1 & \text{se } T_1 < T_C \end{aligned} \tag{7.3.9}$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

Le verifiche agli stati limite di esercizio: si omettono tranne la verifica allo stato limite di danno

Verifica globale $d_r < 0.003 h$



Si usano le rigidezze in condizioni fessurate

**GRAZIE
PER
L'ATTEN
ZIONE**