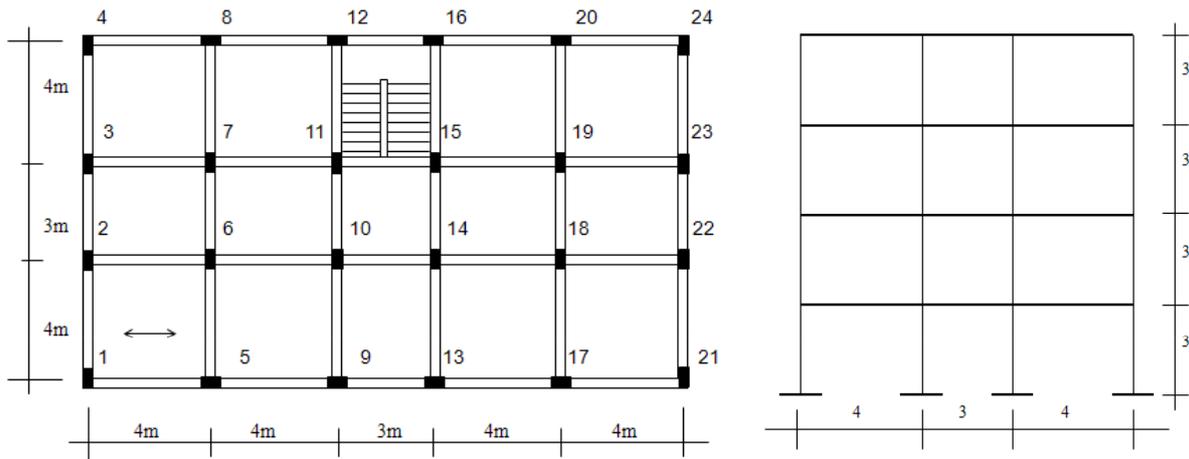


Calcolo dell'azione sismica su un edificio intelaiato in c.a.



Edificio uso abitazione

suolo A

$$a_g = 0.31g$$

$$T_C = 0.5s$$

$$F_0 = 2.5$$

1

Carichi in assenza di sisma (cap. 2):

Testo unico 2008

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} (\Psi_{0i} \times Q_{ki})$$

Stato limite di esercizio

$$\text{Rare } G_1 + G_2 + Q_{1k} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{0i} \cdot Q_{ik})$$

$$\text{frequenti: } G_1 + G_2 + \Psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{2i} Q_{ik})$$

$$\text{quasi permanenti: } G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n (\Psi_{2i} \cdot Q_{ik})$$

Carichi in presenza di sisma:

Carichi gravitazionali per il calcolo dell'azione sismica:

$$G_1 + G_2 + \sum_j (\Psi_{2j} Q_{kj})$$

Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni

$$E + G_1 + G_2 + \sum_j (\Psi_{2j} Q_{kj})$$

2

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Testo unico 2008

Pertanto, in zona sismica, in presenza di un solo sovraccarico verticale variabile principale, si considerano le due combinazioni:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02} Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03} Q_{k3}$$

1)SLU

Q_{k1} è il valore caratteristico del carico accidentale – 200Kg/mq

Q_{k2} è la neve, $\Psi_{02}=0.5$; Q_{k3} è il vento, $\Psi_{03}=0.6$

2)combinazione dell'azione sismica con le altre azioni

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

$\Psi_{21} = 0.3$ per la categoria di ambienti ad uso residenziale

$= 0.6$ per balconi e scale, essendo suscettibili di affollamento

$\Psi_{22} = 0$

Inoltre, carico gravitazionale per il calcolo dell'azione sismica:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1}$$

Analisi dei carichi unitari - slu

	Impalcato tipo	Copertura
p.p. solaio	3.00 kN/m ²	3.00 kN/m ²
massetto	1.00 kN/m ²	1.50 kN/m ²
impermeabilizzazione	0	0.30 kN/m ²
pavimento	0.40 kN/m ²	0.40 kN/m ²
intonaco	0.30 kN/m ²	0.30 kN/m ²
tramezzature	1.50 kN/m ²	0
	G_k = 6.20 kN/m²	G_k = 5.50 kN/m²
carico utile	Q_{1k} = 2.00 kN/m²	Q_{1k} = 2.00 kN/m²
neve	0	Q_{2k} = 0.60 kN/m²

carichi in condizioni non sismiche:

tipo $p = 1.3G_k + 1.5 Q_{1k} = \underline{\underline{11.06 \text{ kN/m}^2}}$

copertura $p = 1.3G_k + 1.5 (Q_{1k} + 0.5 * Q_{2k}) = \underline{\underline{11.60 \text{ kN/m}^2}}$

Per il calcolo delle azioni sismiche si considera un carico pari a:

tipo $p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 6.20 + 0.3 * 2.00 = \underline{\underline{6.80 \text{ kN/m}^2}}$

copertura $p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 5.50 + 0.3 * 2.00 = \underline{\underline{6.10 \text{ kN/m}^2}}$

Per l'analisi dei carichi sulle travi in presenza di sisma:

tipo $p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 6.20 + 0.3 * 2.00 = \underline{\underline{6.80 \text{ kN/m}^2}}$

copertura $p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 5.50 + 0.3 * 2.00 = \underline{\underline{6.10 \text{ kN/m}^2}}$

5

Analisi dei carichi unitari - slu

Scala

Rampa e pianerottolo

p.p. soletta (+ gradini)	4.74 kN/m ²
massetto	0.50 kN/m ²
pavimento	1.17 kN/m ²
intonaco	0.34 kN/m ²

G_k = 6.75 kN/m²

carico utile:

Q_{1k} = 4.00 kN/m²

carichi in condizioni non sismiche:

$p = 1.3G_k + 1.5 Q_{1k} = \underline{\underline{14.77 \text{ kN/m}^2}}$

Per il calcolo delle azioni sismiche si considera un carico pari a:

$p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 6.75 + 0.6 * 4.00 = \underline{\underline{9.15 \text{ kN/m}^2}}$

Per l'analisi dei carichi sulle travi in presenza di sisma:

$p = G_k + \psi_{21} Q_{1k} = 6.75 + 0.6 * 4.00 = \underline{\underline{9.15 \text{ kN/m}^2}}$

Tamponature

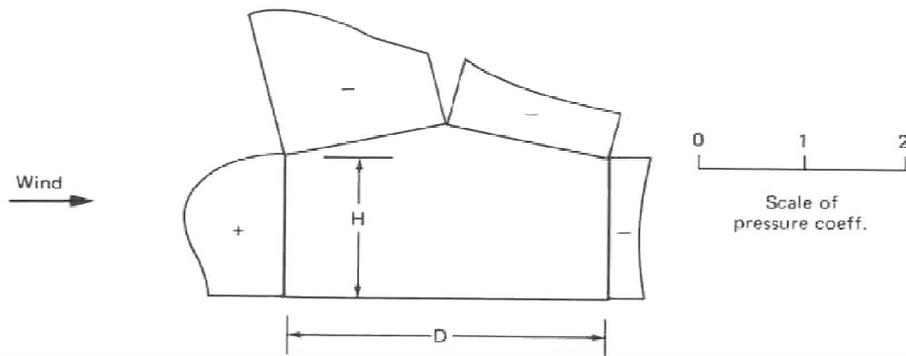
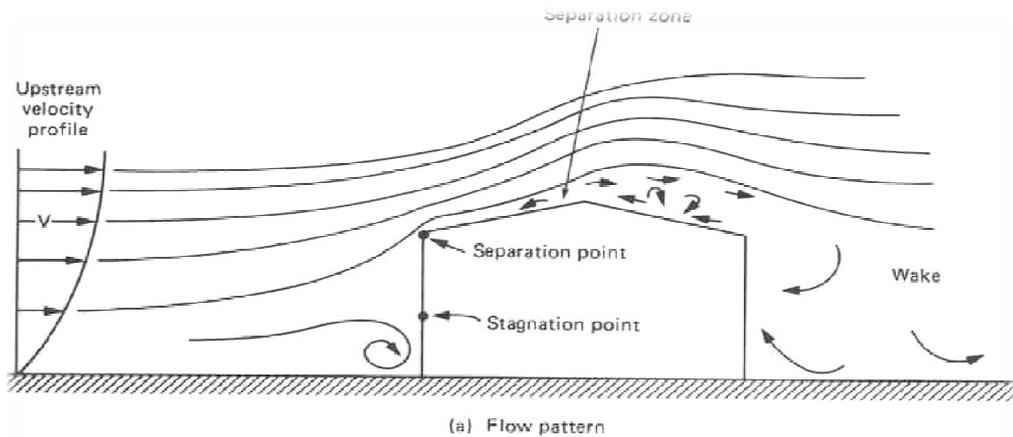
p.p. tamponatura perimetrale = 3.20 kN/m²

pertanto per un'altezza di 2.5 m si ha un peso di 8 kN/m

6

Azioni orizzontali vento:

Pressione orizzontale del vento $p = q_{ref} c_p c_d c_e$



7

Azioni orizzontali vento:

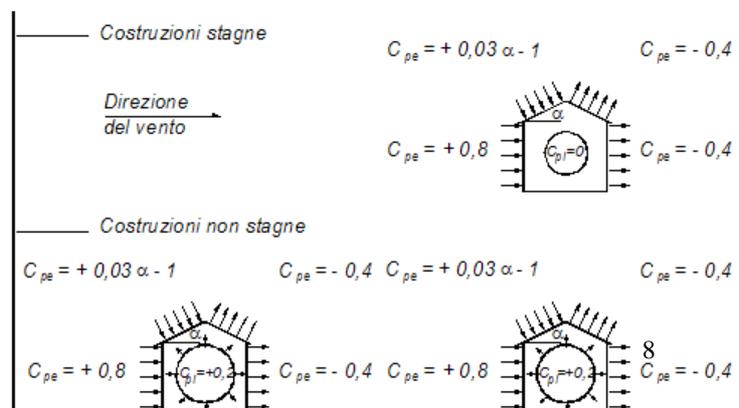
Pressione orizzontale del vento $p = q_{ref} c_p c_d c_e$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020

Zona 3 e altitudine inferiore a 500m; $v_{ref}=27$ m/s; $q_{ref}=456$ N/m²;

Coefficiente di forma $c_p=0.8$ sopravvento, $c_p=0.4$ sottovento

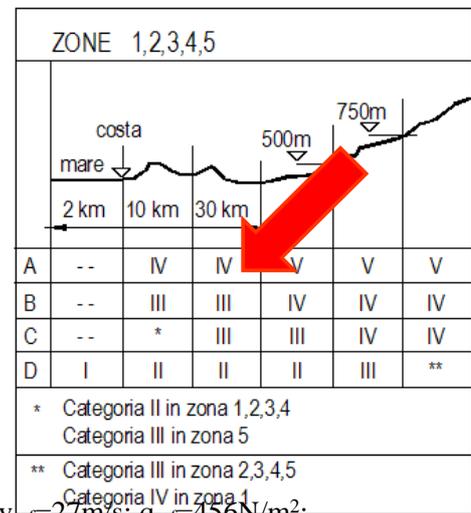
Coefficiente dinamico $c_d=1$



Azioni orizzontali vento:

Pressione orizzontale del vento $p = q_{ref} c_p c_d c_e$

Categorie di esposizione del sito	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)
I	0.17	0.01	2
II	0.19	0.05	4
III	0.20	0.10	5
IV	0.22	0.30	8
V	0.23	0.70	12



Zona 3 e altitudine inferiore a 500m; $v_{ref}=27\text{m/s}$; $q_{ref}=456\text{N/m}^2$;

Coefficiente di forma $c_p=0.8$ sopravvento, $c_p=0.4$ sottovento

Coefficiente dinamico $c_d=1$

Categoria di esposizione 4 e classe di rugosità A:

$k=0.22$, $z_0=0.3\text{m}$, $z_{min}=8\text{m}$; $c_t=1$, $c_e=1.91$

A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri)

9

Pressione orizzontale del vento $p = q_{ref} c_p c_d c_e = 992\text{N/m}^2$ (660 sopravv+330sottov)

Pesi sismici degli impalcati

Impalcato tipo

Solaio	$19 \times 11 \times 6.80$	= 1421 kN
Incidenza scala	$3 \times 7 \times (9.15 - 6.80)$	= 50 kN
Tamponatura	$(2 \times 19 + 4 \times 11) \times 8 =$	=656 kN
Travi*	$(4 \times 19 + 6 \times 11) \times 3.75$	= 533 kN
Pilastrini*	$24 \times 2.5 \times 4.00$	= 240 kN

Totale = 2900 kN

Impalcato copertura

Solaio	$19 \times 11 \times 6.10$	= 1275 kN
Tamponatura	$(2 \times 19 + 4 \times 11) \times 4$	= 328 kN
Travi*	$(4 \times 19 + 6 \times 11) \times 3.75$	= 533 kN
Pilastrini*	$24 \times 2.5 \times 4.00 / 2$	= 120 kN

Totale = 2256 kN

Peso sismico totale

$$W_t = 3 \times 2900 + 2256 = 10956 \text{ kN}$$

*Avendo assunto in fase di predimensionamento travi 50x30 pilastrini 40 x40

METODI DI CALCOLO PER GLI EDIFICI

Analisi lineare statica

se sono soddisfatti i requisiti di regolarità in altezza e se $T_1 < 2.5 T_c$

analisi lineare dinamica: applicabile a tutti gli edifici

analisi statica non lineare

applicabile se sono soddisfatti i requisiti di regolarità in pianta e in altezza oppure applicabile ad edifici non regolari mediante metodi opportuni.

analisi dinamica non lineare

applicabile a condizione che i modelli costitutivi adottati siano adeguatamente giustificati

AZIONE SISMICA VERTICALE

dovrà essere obbligatoriamente considerata in presenza di elementi orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi principali precompressi, elementi a mensola, strutture spingenti, pilastri in falso, edifici con piani sospesi. L'analisi potrà essere limitata a modelli parziali

11

METODI DI ANALISI ANALISI STATICA LINEARE

- 1) Calcolo approssimato del primo periodo proprio della struttura
- 2) forza statica equivalente F_i a livello di piano:

$$F_i = F_h \frac{(z_i W_i)}{\sum_j (z_j W_j)} \quad F_h = S_d(T_1) W \lambda / g$$

$\lambda = 0.85$ se l'edificio ha almeno tre piani e $T_1 < 2 T_c$, $\lambda = 1$ altrimenti.

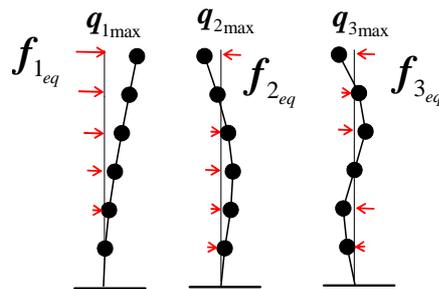
applicabile se sono soddisfatti i requisiti di regolarità e se $T_1 < 2.5 T_c$

la forza statica equivalente è ottenuta considerando
un solo modo di vibrazione
- forma modale lineare
- massa partecipante del primo modo = 85% della massa totale

METODI DI ANALISI ANALISI DINAMICA MODALE

- 1) valutare le proprietà modali della struttura supposta elastica lineare
- 2) calcolare i valori massimi di sollecitazioni e spostamenti associati a ciascun modo proprio di vibrare
- 3) Valutare l'effetto sollecitazioni e spostamenti complessivi mediante un'opportuna regola di combinazione modale

$$f_{k_{eq}} = Kq_{k_{max}} = M\psi_k g_k S_a(T_k, \xi_k)$$



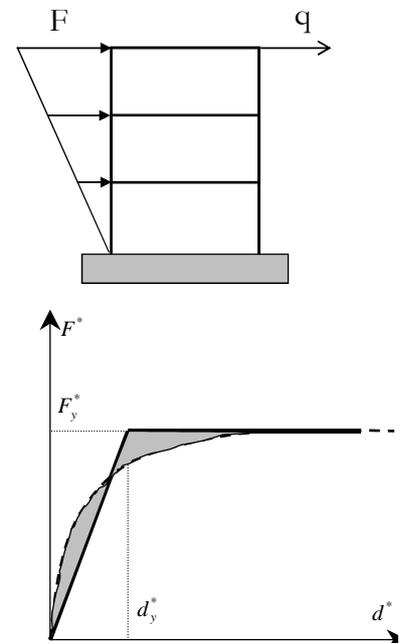
NOTA: è possibile ma non necessario usare le forze statiche equivalenti

13

METODI DI ANALISI ANALISI STATICA NON LINEARE

determinazione di un legame forza-spostamento generalizzato tra la risultante delle forze applicate (“taglio alla base”) e lo spostamento di un “punto di controllo”, usualmente scelto come il baricentro dell'ultimo piano;

determinazione delle caratteristiche di un sistema ad un grado di libertà a comportamento bi-lineare equivalente;



ANALISI DINAMICA NON LINEARE

la risposta della struttura è calcolata integrando direttamente l'equazione non lineare del moto del sistema utilizzando un modello tridimensionale e gli accelerogrammi che risultino equivalenti allo spettro elastico di normativa

14

ANALISI STATICA LINEARE

modello spaziale

FORZA SISMICA TOTALE

(taglio alla base):

$$F_h = S_d (T_1) W \lambda$$

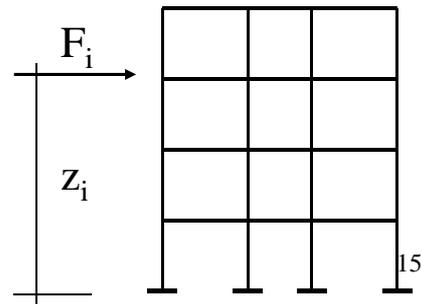
FORZA SISMICA DI PIANO:

$$F_i = F_h (z_i W_i) / \sum (z_j W_j)$$

S_d è lo spettro di risposta di progetto

T_1 è il periodo fondamentale

λ è un coefficiente pari a 0,85 se l'edificio ha almeno tre piani e se $T_1 < 2T_c$ è pari a 1,0 in tutti gli altri casi.



Spettro di risposta elastico della componente orizzontale:

Testo unico 2008

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Spettro di risposta di progetto: $\eta=1/q$

$$q = q_o K_R$$

q_o è il valore massimo del fattore di struttura

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità dell'edificio

=1 per gli edifici regolari in altezza

costruzioni in cls:	Tipologia	q_o	
		CD"B"	CD"A"
	Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0 \alpha_w / \alpha_1$	$4,5 \alpha_w / \alpha_1$
	Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0 \alpha_w / \alpha_1$
	Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
	Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

α_1 : moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la sua resistenza flessionale

α_u il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile.

$\alpha_1/\alpha_1 < 1.5$ - può essere calcolato per mezzo di un analisi statica non lineare

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di α_w/α_1 :

a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

- strutture a telaio di un piano $\alpha_w/\alpha_1 = 1.1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata $\alpha_w/\alpha_1 = 1.2$
- strutture a telaio con più piani e più campate $\alpha_w/\alpha_1 = 1.3$

b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

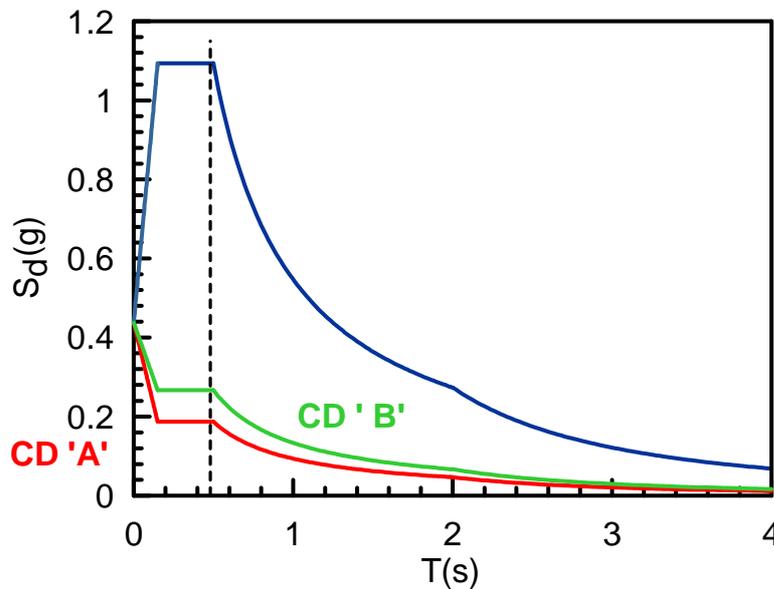
- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale $\alpha_w/\alpha_1 = 1.0$
- altre strutture a pareti non accoppiate $\alpha_w/\alpha_1 = 1.1$
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti $\alpha_w/\alpha_1 = 1.2$

pertanto:

soluzione in alta duttilità (CD "A") $q=4.5 \times 1.3 \times 1.0=5.85$

soluzione in bassa duttilità (CD "B") $q=3.0 \times 1.3 \times 1.0=3.9$

17



$$T_1 = 0.075 H^{3/4} = 0.48s$$

$$S = 1.0, T_B = 0.17 s, \\ T_c = 0.5 s, T_B = 2.8 s$$

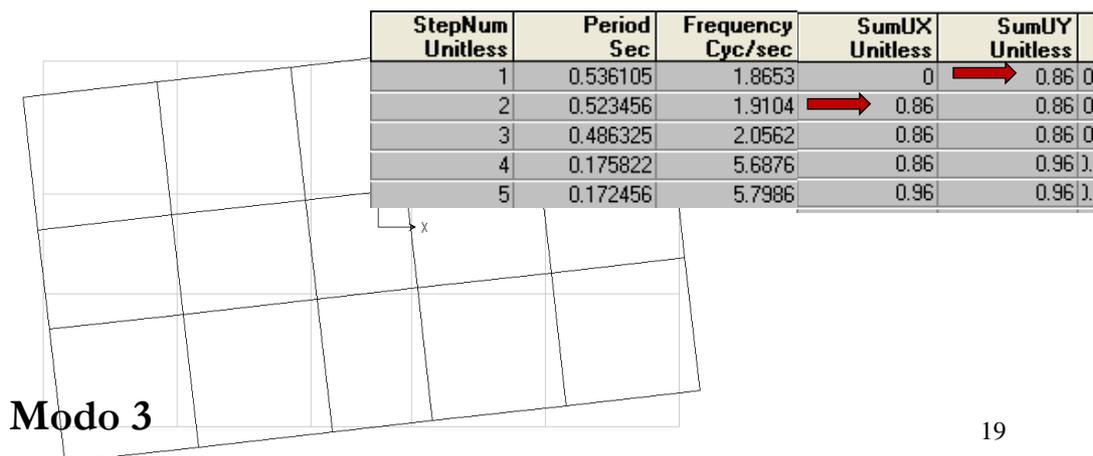
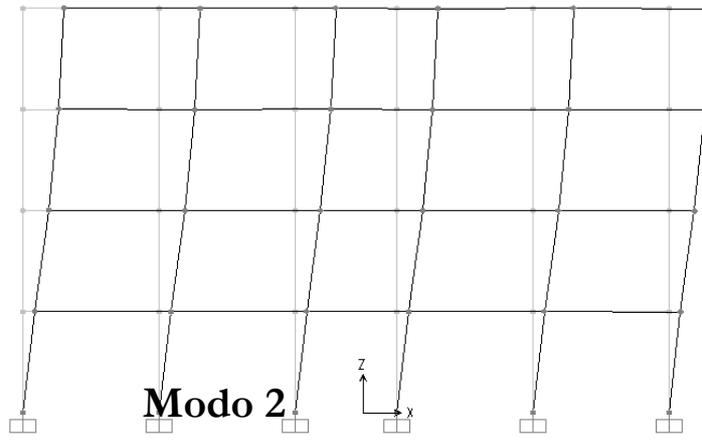
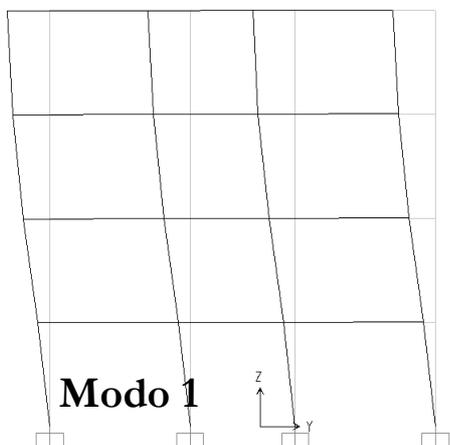
soluzione in alta duttilità (CD "A")

$$S_d = 0.31g \quad 1.0 \quad 2.5/5.85 = 0.133$$

soluzione in bassa duttilità (CD "B")

$$S_d = 0.25 \quad 1.25 \quad 2.5/4.1 = 0.20$$

18

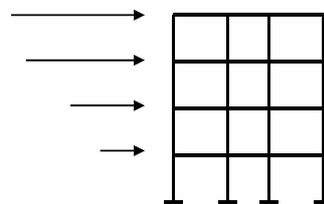


19

ANALISI STATICA LINEARE con modello spaziale

$$F_i = F_h z_i W_i / (S z_j W_j)$$

$$F_h = S_d(T_1) W_t 1$$



$$\sum z_j W_j = 3 \times 2900 + 6 \times 2900 + 9 \times 2900 + 12 \times 2256 = 79272 \text{ kN}$$

soluzione in alta duttilità (CD "A")

$$F_h = 0.133 \cdot 10956 \cdot 0.85 = 1239 \text{ kN}$$

soluzione in bassa duttilità (CD "B")

$$F_h = 0.20 \cdot 10890 \cdot 0.85 = 1862 \text{ kN}$$

distribuzione verticale delle forze sismiche

soluzione in alta duttilità (CD "A")

$$F_4 = 1239 \cdot 12 \cdot 2256 / 79272 = 423 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1239 \cdot 9 \cdot 2900 / 79272 = 408 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1239 \cdot 6 \cdot 2900 / 79272 = 272 \text{ kN}$$

$$F_1 = 1239 \cdot 3 \cdot 2900 / 79272 = 136 \text{ kN}$$

soluzione in bassa duttilità (CD "B")

$$F_4 = 1862 \cdot 12 \cdot 2256 / 79272 = 636 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1862 \cdot 9 \cdot 2900 / 79272 = 613 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1862 \cdot 6 \cdot 2900 / 79272 = 409 \text{ kN}$$

$$F_1 = 1862 \cdot 3 \cdot 2900 / 79272 = 204 \text{ kN}$$

Controllo del modello – reazioni vincolari e forze sismiche

$F_h = 1239 \text{ kN}$ somma delle forze sismiche d piano applicate

Base reaction – modello SAP- analisi statica semplificata: 1239 kN

Base reaction – modello SAP- analisi spettrale: 1140 kN

20

Controllo del modello - carichi statici
Ad esempio controllo le reazioni vincolari e la massa totale

Carichi permanenti non fattorizzati (load case 'dead')

Travi: $0.5 \times 0.3 \times 2.400 \times (19 \times 4 + 11 \times 6) \times 4 \times g =$	2006kN
Pilastri $0.4 \times 0.4 \times 2.400 \times 24 \times 12 \times g =$	1085kN
Muri: $8 \times (19 \times 2 + 11 \times 4) \times 3.5 =$	2296kN
Altri $(6.2 \times 3 + 5.50) \times (19 \times 11) =$	5037kN
Incidenza scala $(6.75 - 6.20) \times (7 \times 3) \times 3 =$	36kN
TOTALE:	10460kN

Carichi accidentali non fattorizzati (load case 'accidentale')

$(2.0 \times 4) \times 19 \times 11 =$	1380kN
Incidenza scala $(4.0 - 2.0) \times 3 \times (7 \times 3) =$	126kN
TOTALE:	1416kN

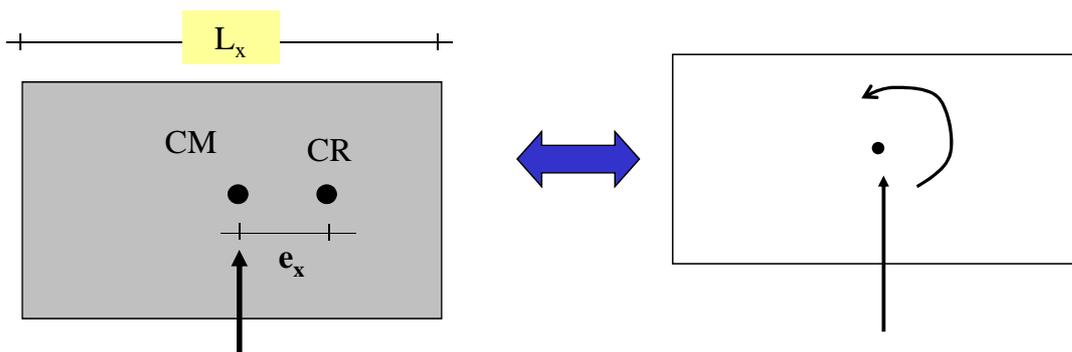
Massa: $(10460 + 1416 \times 0.3) / g = 1110t$ circa

METODI DI ANALISI

effetti torsionali - 1:

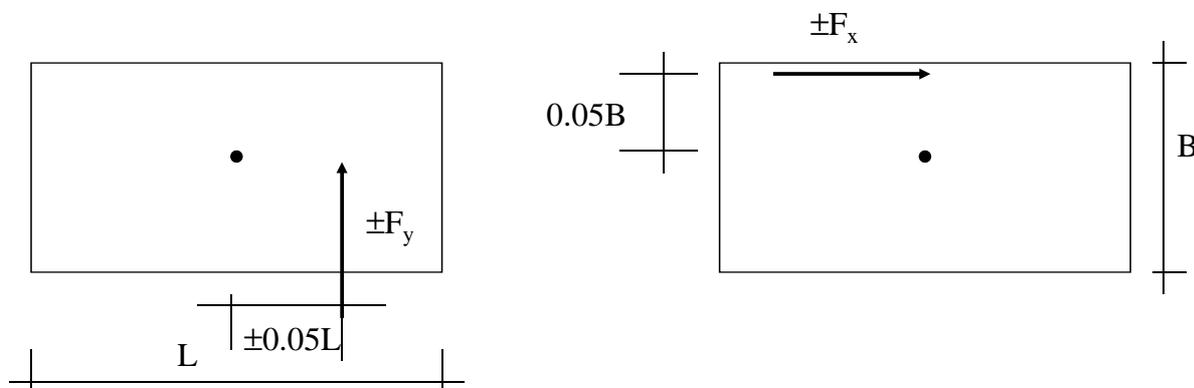
“in aggiunta all'eccentricità effettiva dovrà essere considerata un'eccentricità accidentale spostando il centro di massa di ogni piano, in ogni direzione considerata, di una distanza pari al 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica”

$$E_x = 0.05 L_x$$



Combinazione delle componenti dell'azione sismica 1

I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati per la singola componente della grandezza da verificare

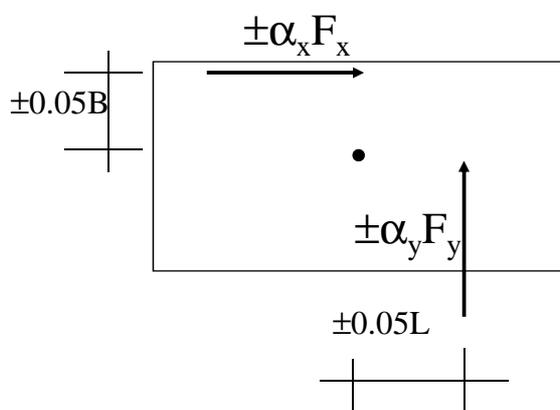


Se la risposta viene valutata mediante analisi statica in campo non lineare, ciascuna delle due componenti orizzontali (insieme a quella verticale, ove necessario, e agli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale del moto, ove necessario) è applicata separatamente. Come effetti massimi si assumono i valori più sfavorevoli così ottenuti.

23

Combinazione delle componenti dell'azione sismica 2

I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati sommando ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione il 30 % dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione.



$$\alpha_x = 100\% \text{ e } \alpha_y = 30\%$$

oppure

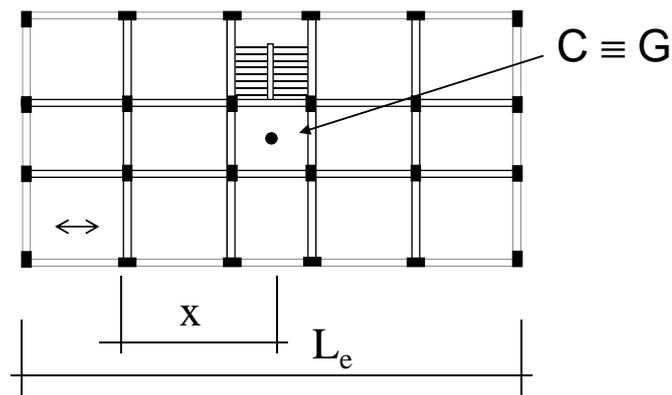
$$\alpha_x = 30\% \text{ e } \alpha_y = 100\%$$

effetti torsionali - 2: semplificazione ammessa

$$\delta = 1 + 0.6 x / L_e$$

x = distanza dell'elemento considerato dal baricentro

L_e = distanza tra i due elementi resistenti più lontani



25

soluzione in alta duttilità (CD "A")

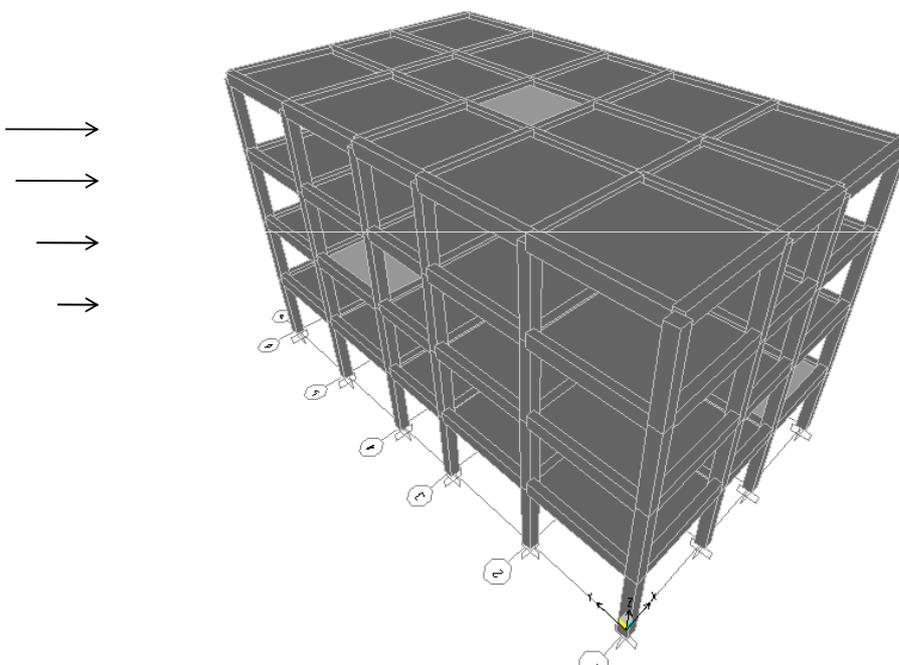
F4 = 423 kN

F3 = 408 kN

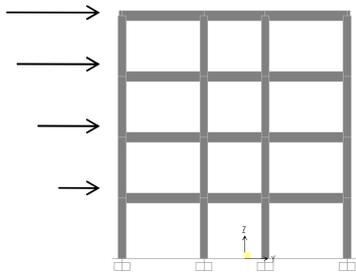
F2 = 272 kN

F1 = 136 kN

si procede con l'analisi statica equivalente



26



soluzione in alta duttilità (CD "A")

F4= 423 kN

F3= 408 kN

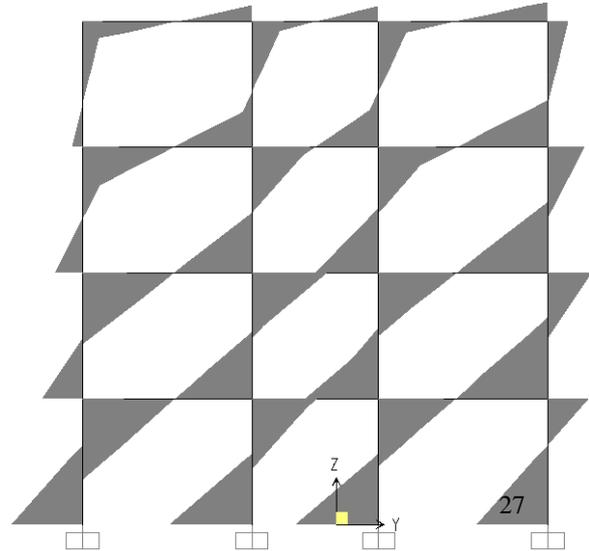
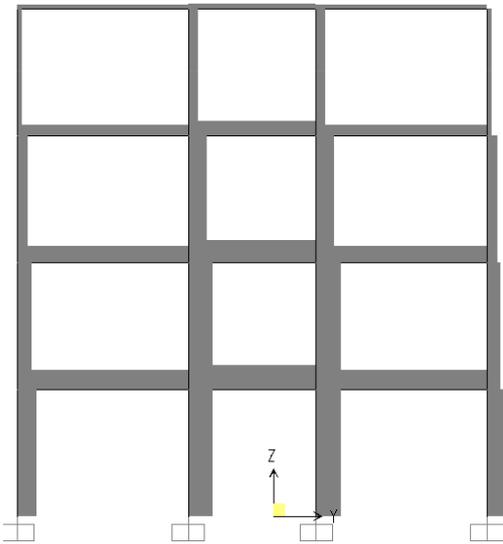
F2= 272 kN

F1= 136 kN

TAGLI E MOMENTI (SISMA Y)

$\pm \delta \times$

$\pm \delta \times$

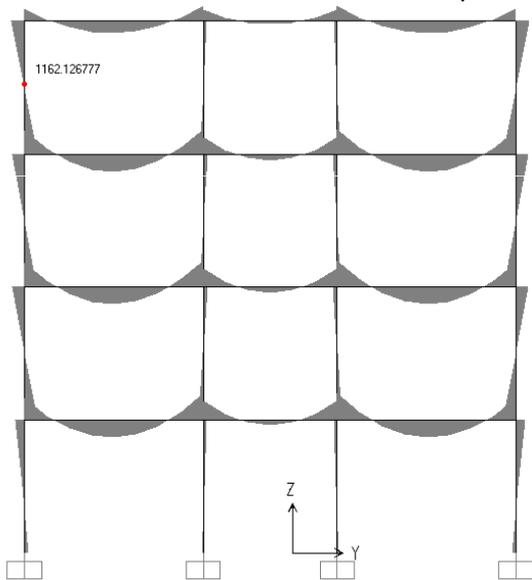


MOMENTI PER CARICHI VERTICALI IN PRESENZA DI SISMA (Y)

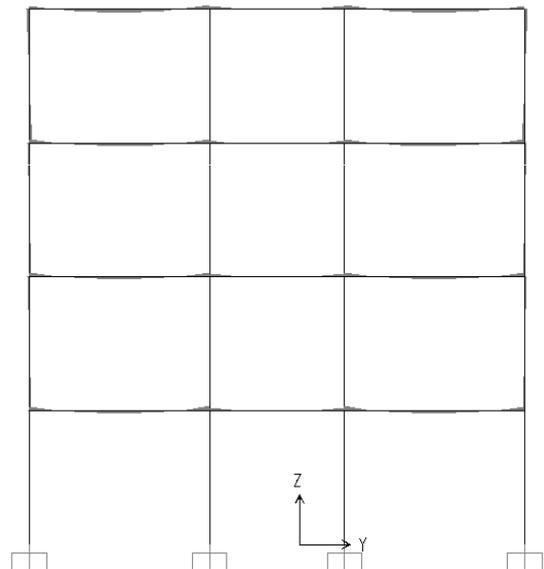
$$\gamma_I E + G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki})$$

G_k

+ 0.3 Q_k

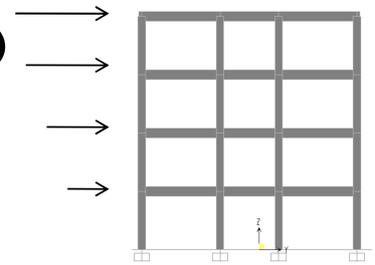


+ 0.3 \times

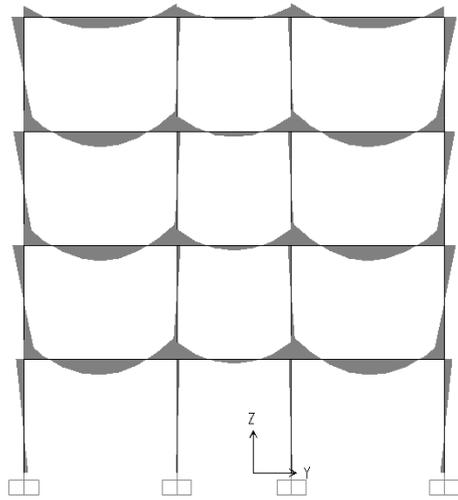


MOMENTI PER SISMA (Y)

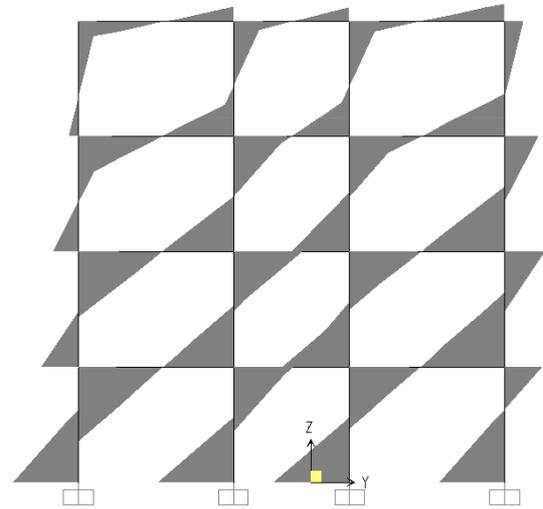
$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$



$\delta^{(1)} \times$



\pm

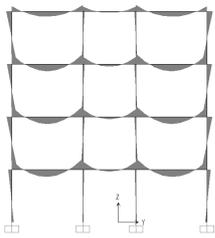


⁽¹⁾Si includono eventuali eccentricità accidentali moltiplicando gli effetti sismici per un fattore $\delta=1.3$

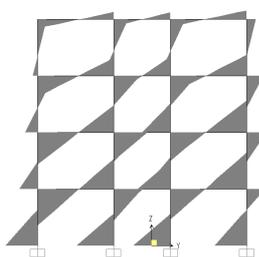
Momenti per la condizione sismica

$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$

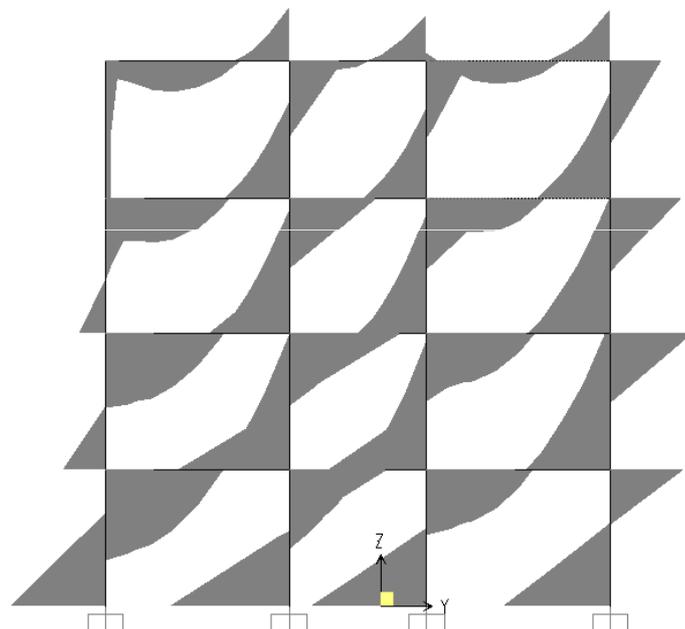
Verticali



+ sisma y⁽¹⁾



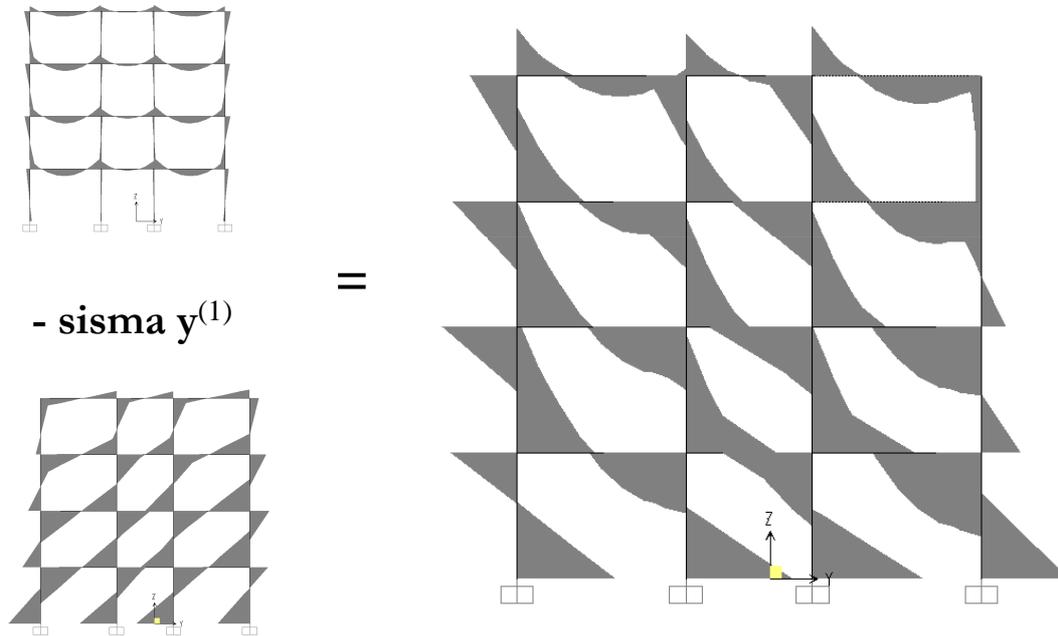
=



Momenti per la condizione sismica

$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$

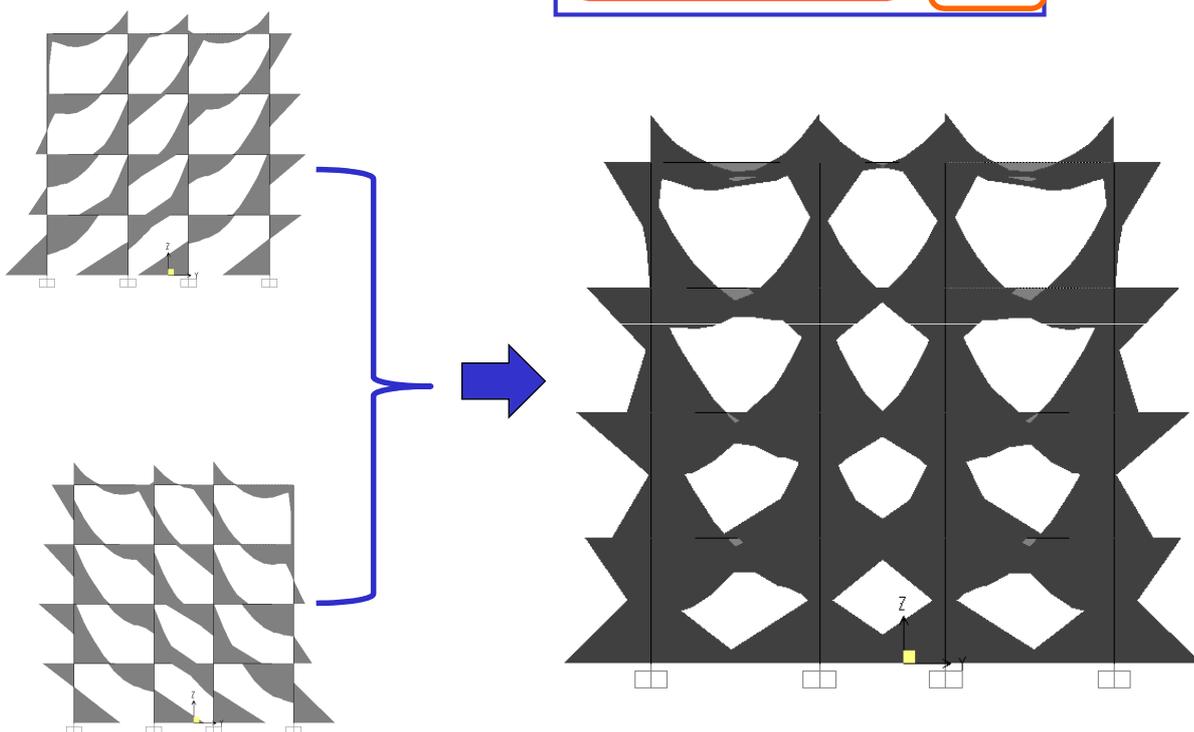
Verticali



31

Momenti per la condizione sismica (y): *involuppo*

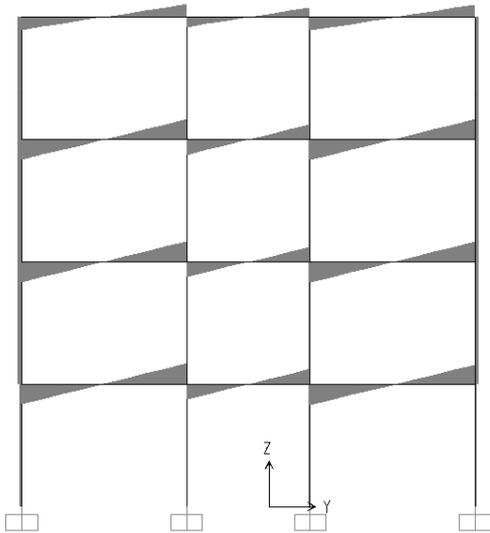
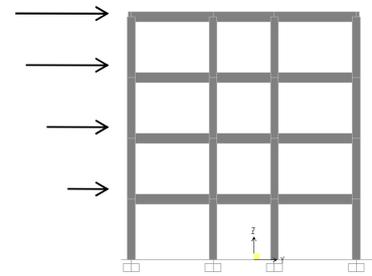
$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$



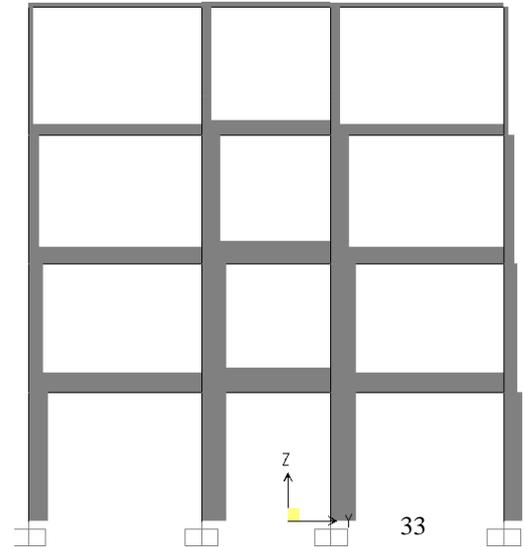
32

TAGLIO

$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$

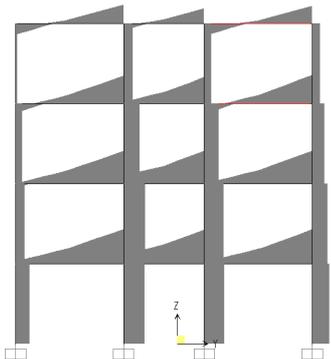


$\pm \delta \times$

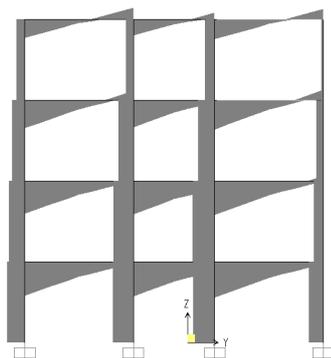


Taglio per la condizione sismica (y):
involuppo

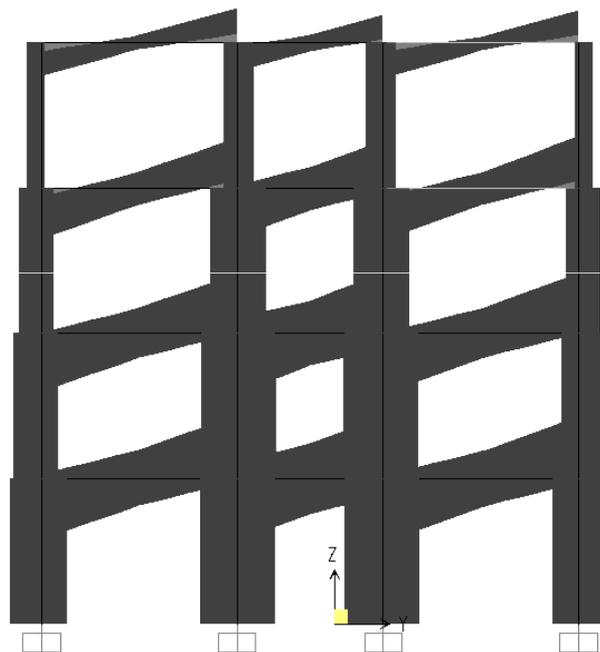
$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$



Verticali + sisma $y^{(1)}$

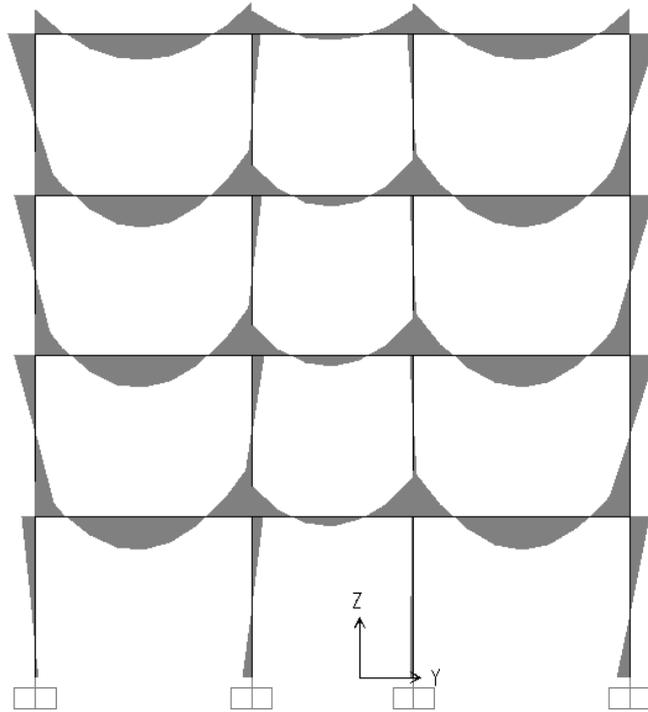


Verticali - sisma $y^{(1)}$



Carichi in assenza di sisma

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{lk} + \sum_{i=2}^n \gamma_q (\psi_{0i} \times Q_{ik})$$



35

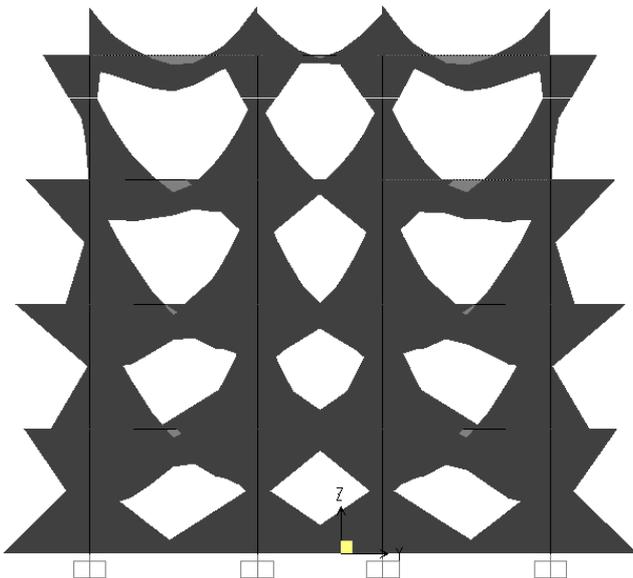
Involuppo sisma e assenza di sisma

Momento

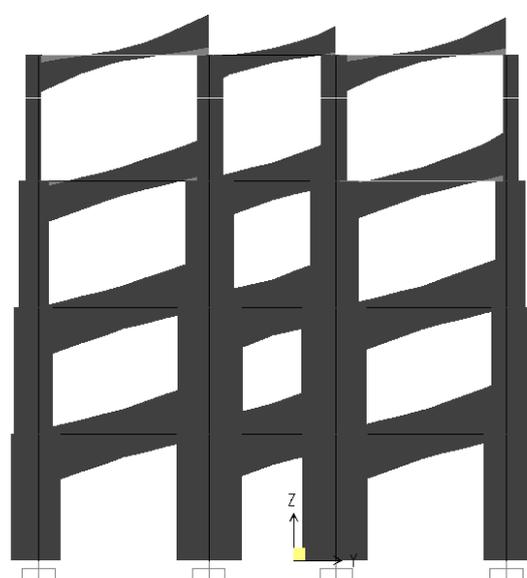
1 $E_x^{(1)} + 0.3 E_y^{(1)}$ + verticali con sisma
 0.3 $E_x^{(1)} + 1 E_y^{(1)}$ + verticali con sisma
 Carichi in assenza di sisma

⁽¹⁾effetti incrementati di un coefficiente $\delta = 1.3$ per tenere in conto degli effetti di torsione accidentale

Momento

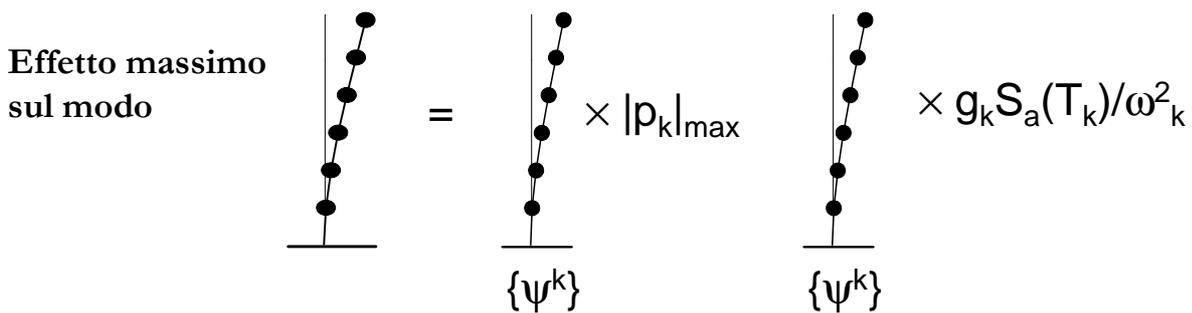
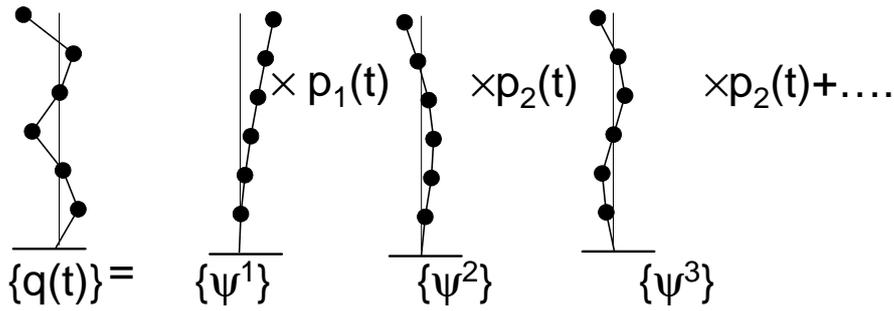


Taglio



METODI DI ANALISI

ANALISI DINAMICA MODALE

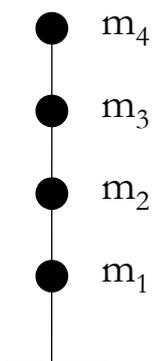
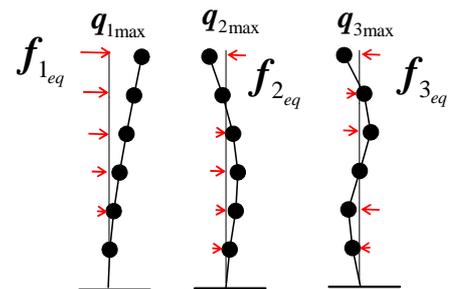


Valutare l'effetto sollecitazioni e spostamenti complessivi mediante un'opportuna regola di combinazione modale

37

È possibile procedere al calcolo delle forze modali dopo avere effettuato l'analisi dinamica del sistema

$$f_{k_{eq}} = Kq_{k_{\max}} = M\psi_k g_k S_a(T_k, \xi_k)$$



StepNum Unitless	Period Sec
1	0.536105
2	0.523456
3	0.486325
4	0.175822

$m_{k,dir}^*$		
UX Unitless	UY Unitless	
0	0.86	
0.86	0	
0.00007969	0	
0	0.1	

$g_{k,dir}$	
UX N-s2	UY N-s2
000000004471	959.773265
-961.446326	000000005772
-9.253407	0000000008729
1.000000004128	330.769209

38

$$f_{k_{eq}} = M \psi_k g_k S_a(T_k, \xi_k)$$

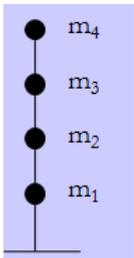
$$[M] = \begin{bmatrix} 290 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 290 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 290 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 290 \end{bmatrix} \text{ (ton)}$$

$$\begin{aligned} g_{1x} &= 0; \\ g_{1y} &= -961 \\ m_{1,x}^* &= 0 \\ m_{1,y}^* &= 86\% \\ T_1 &= 0.54 \\ S_d(T_1) &= 0.133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{2x} &= 959; \\ g_{2y} &= 0; \\ m_{2,x}^* &= 86\% \\ m_{2,y}^* &= 0\% \\ T_2 &= 0.52; \\ S_d(T_2) &= 0.133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{3x} &= \dots \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \end{aligned}$$

$$\{\psi_x^1\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}; \{\psi_y^1\} = \begin{Bmatrix} 0.000374 \\ 0.000873 \\ 0.001174 \\ 0.00134 \end{Bmatrix}; \{\psi_x^2\} = \begin{Bmatrix} 0.000376 \\ 0.000875 \\ 0.001175 \\ 0.00137 \end{Bmatrix}; \{\psi_y^2\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}; \{\psi_x^3\} = \dots$$



$$\{f^1\} = \begin{Bmatrix} 139 \\ 326 \\ 435 \\ 497 \end{Bmatrix} \text{ kN}; \{f^2\} = \begin{Bmatrix} 140 \\ 327 \\ 437 \\ 498 \end{Bmatrix} \text{ kN}; \{f^3\} = \dots$$

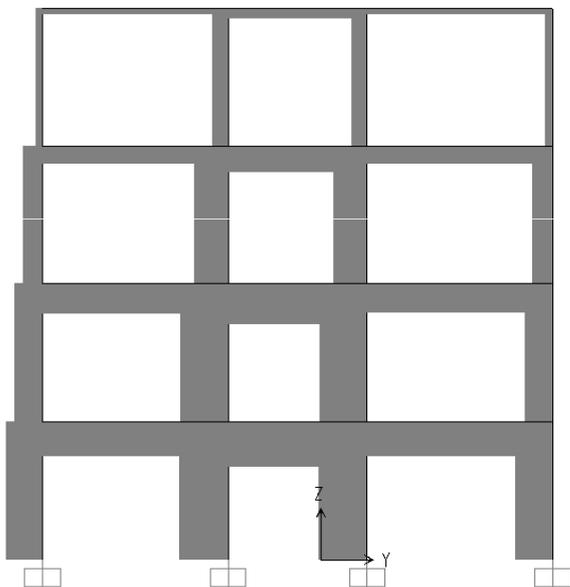
↑ in direzione x ↑ in y

39

Si procede di seguito mediante l'analisi spettrale implementata dal codice SAP

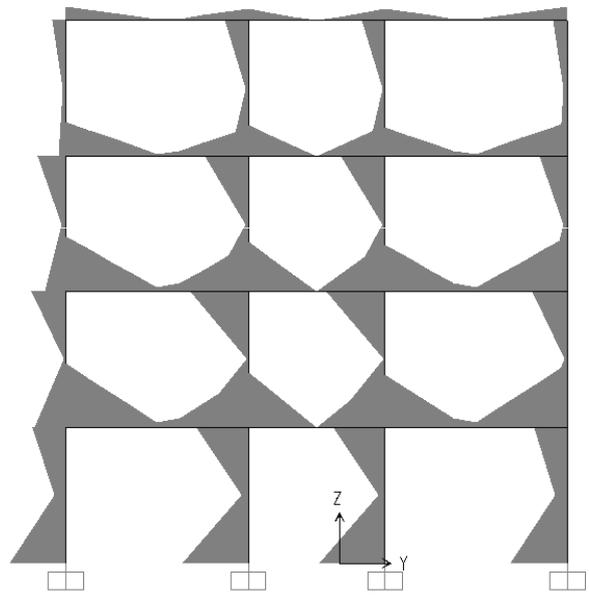
TAGLI E MOMENTI (SISMA Y)

$\pm \delta \times$



Valori assoluti derivanti dalla CQC

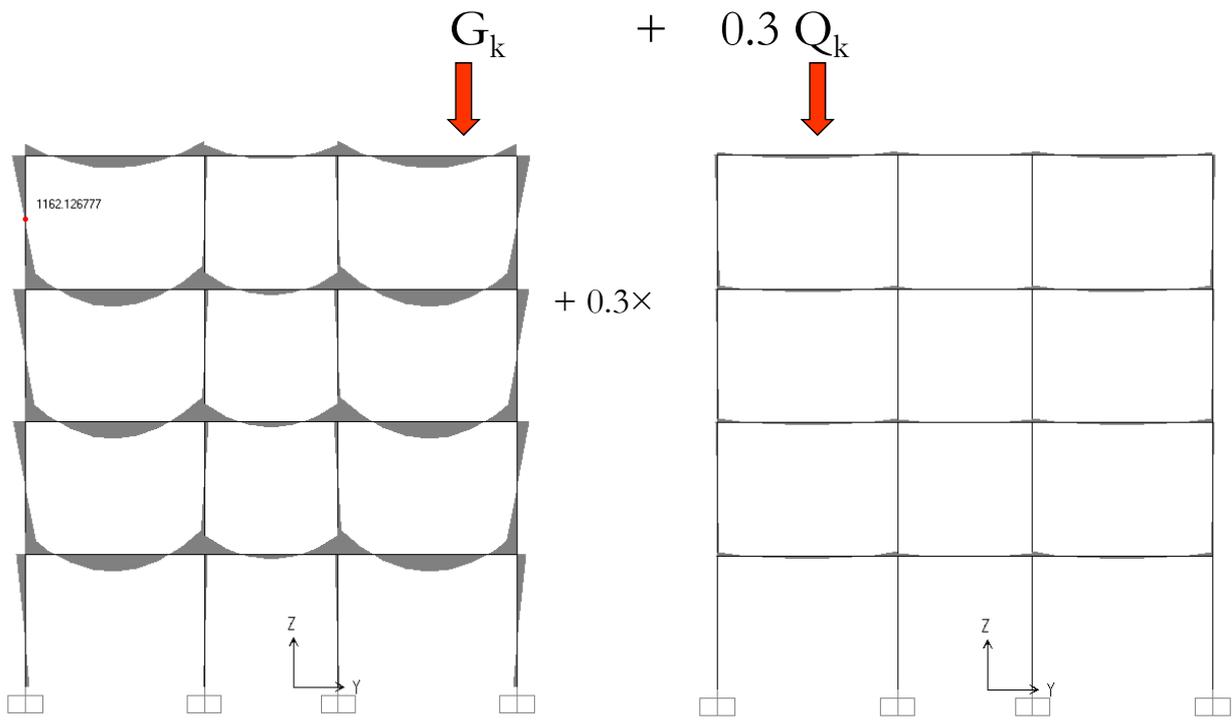
$\pm \delta \times$



Valori assoluti derivanti dalla CQC

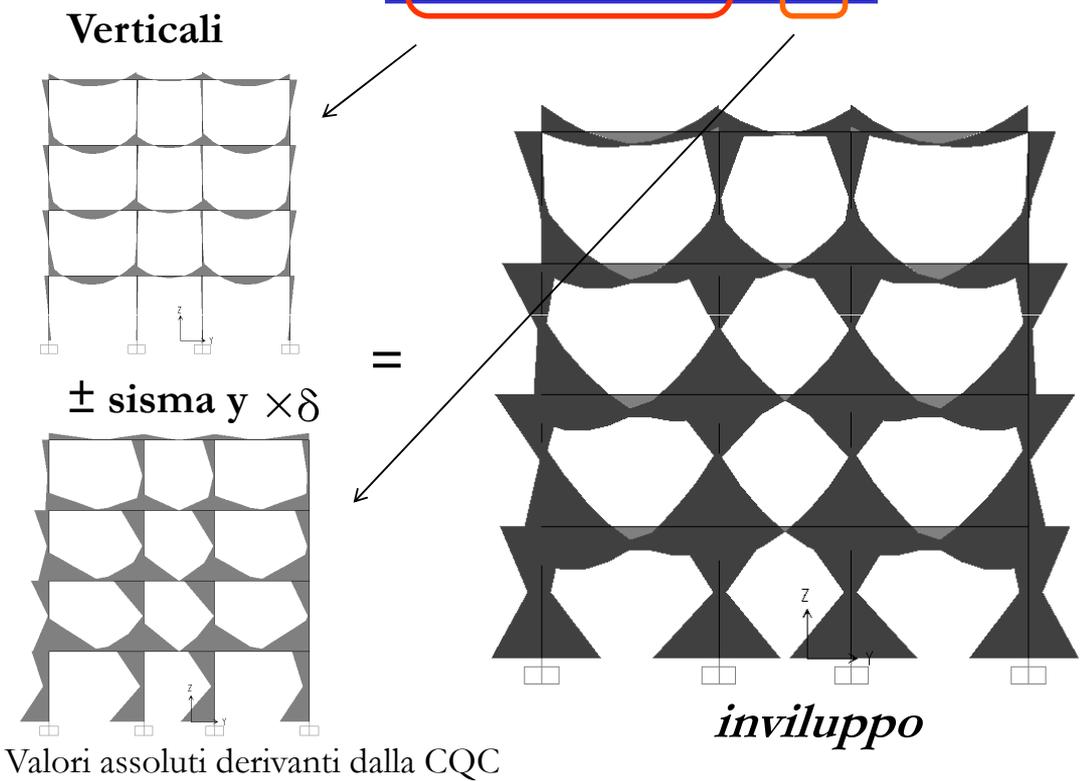
MOMENTI PER CARICHI VERTICALI IN PRESENZA DI SISMA (Y)

$$E + G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki})$$



Momenti per la condizione sismica

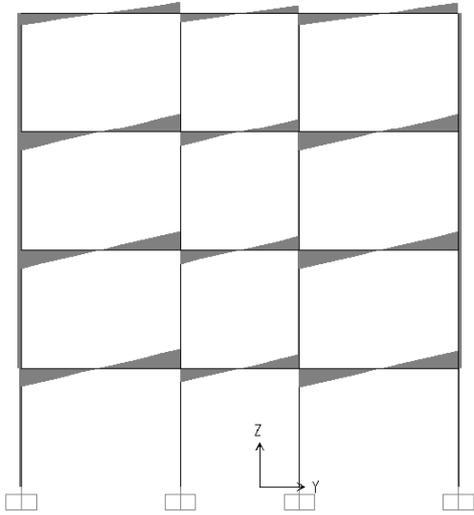
$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$



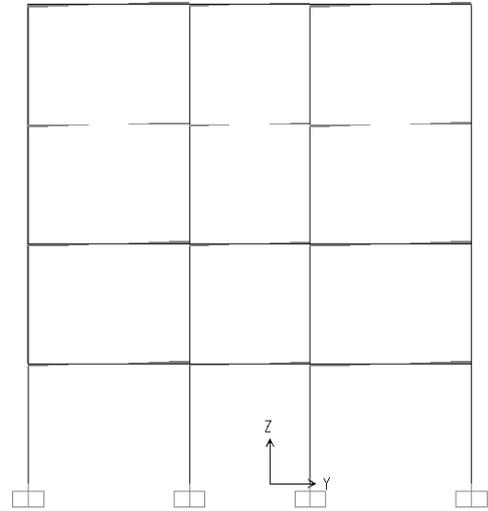
TAGLIO

$$E + G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki})$$

$$G_k + 0.3 Q_k$$



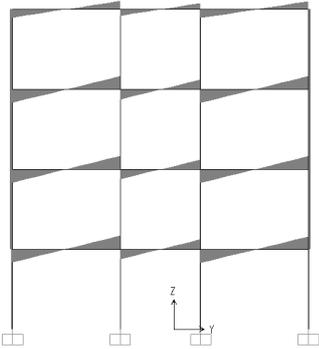
+ 0.3 ×



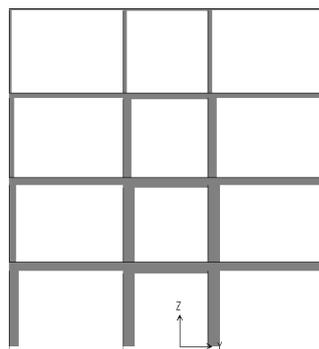
Taglio per la condizione sismica

$$G_K + \sum_i (\psi_{ji} Q_{ki}) + E$$

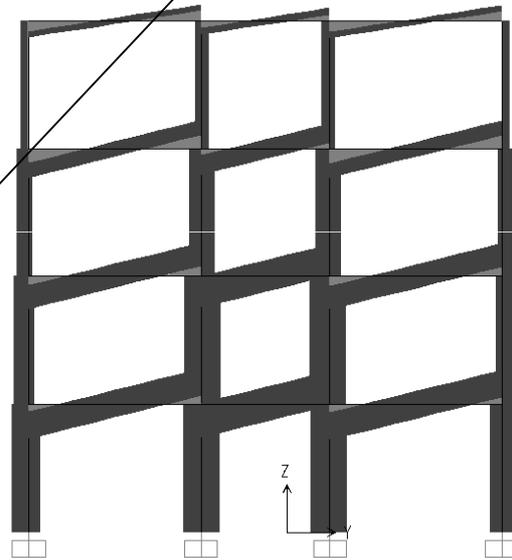
Verticali



± sisma y × δ



=

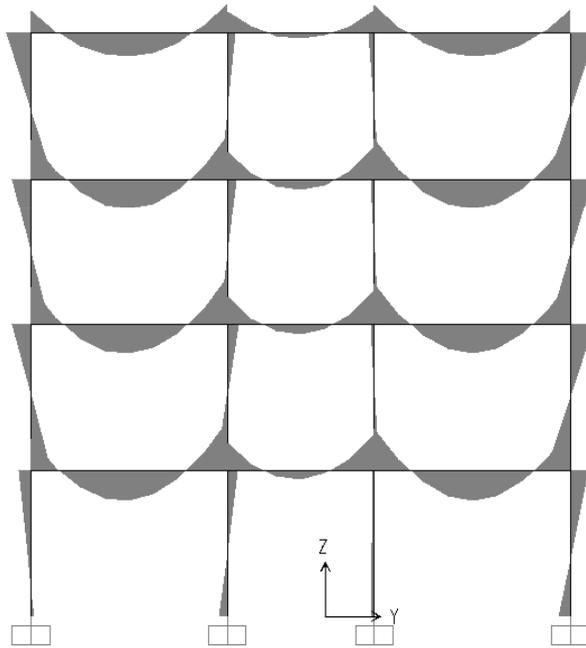


involuppo

Valori assoluti derivanti dalla CQC

Carichi in assenza di sisma

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{lk} + \sum_{i=2}^n \gamma_q (\psi_{0i} \times Q_{ik})$$



45

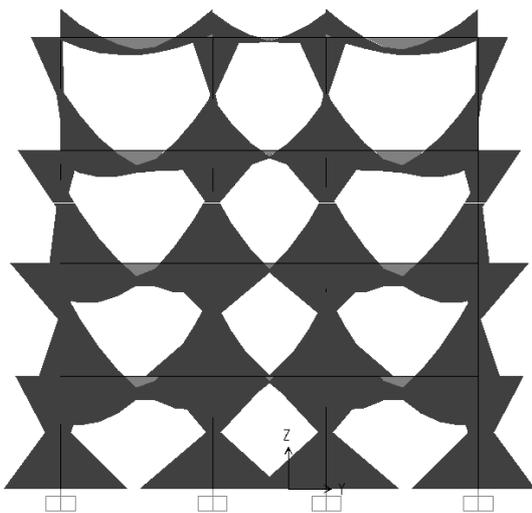
Involuppo sisma e assenza di sisma

1 $E_x^{(1)}$ +0.3 $E_y^{(1)}$ +verticali con sisma

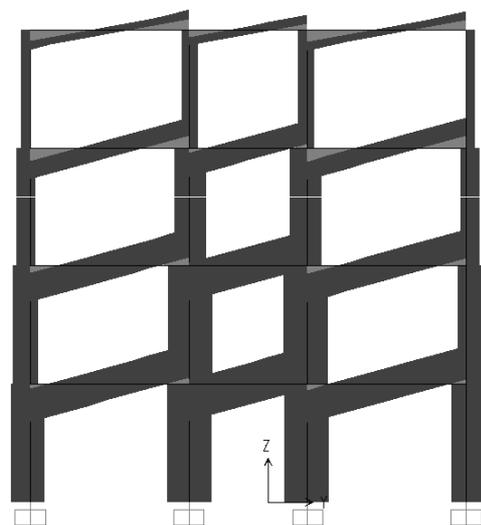
0.3 $E_x^{(1)}$ +1 $E_y^{(1)}$ +verticali con sisma

Carichi in assenza di sisma

Momento



Taglio



⁽¹⁾effetti incrementati di un coefficiente $\delta=1.3$ per tenere in conto degli effetti di torsione accidentale

46