

Incontro di aggiornamento

**Impostazione e controllo del progetto
di edifici antisismici in c.a. secondo le indicazioni
del capitolo 10 delle NTC08**

3 - Previsione numerica del comportamento

Aula magna, Facoltà di Ingegneria, Catania
18-19 maggio 2010

Aurelio Ghersi

Si fa riferimento
all'analisi lineare - statica

Masse

In un edificio in cemento armato il peso delle masse di piano corrisponde in genere ad una incidenza media di $8 \div 11 \text{ kN/m}^2$

Una valutazione di prima approssimazione del peso delle masse a ciascun piano può essere ottenuta moltiplicando la superficie totale dell'impalcato per 10 kN/m^2 (9 kN/m^2 in copertura, per la minore incidenza delle tamponature)

Esempio - masse

La superficie degli impalcati nell'edificio in esame è

Torrino scala: $S = 48.0 \text{ m}^2$

V impalcato: $S = 331.9 \text{ m}^2$

Piano tipo: $S = 323.5 \text{ m}^2$

Per il piano terra: $S = 263.2 \text{ m}^2$

Nota: il torrino scala può essere accorpato al 5° impalcato, ottenendo

Torrino + V impalcato: $S = 379.9 \text{ m}^2$

Esempio - masse

Impalcato	Superficie m^2	Incidenza kN/m^2	Peso kN
Torrino + V	379.9	9.0	3419
IV, III, II	323.5	10.0	3235
I	263.2	10.0	2632

Peso totale = 15756 kN

Spettro di risposta elastico

- Consente di determinare l'accelerazione sulla struttura, in funzione del suo periodo proprio
- La normativa fornisce i parametri a_g , F_0 , T_C^* per ogni punto e per qualsiasi periodo di ritorno
- Il periodo di ritorno dipende da
 - vita nominale (e quindi tipo di costruzione)
 - classe d'uso
 - stato limite da considerare
- Da questi parametri e dalle caratteristiche del terreno si ricava lo spettro di risposta elastico

[illegible]

Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento V_R

Indirizzo

Classe

Vita nominale

EdiLus-MS

Mappe Sismiche

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scoprite l'area d'interesse e segnalate sul sito che vi interessa e otterrete dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

Indirizzo: 100, via Ancone 100

Coordinate: Latitudine: 43.727172 Longitudine: 11.26550457

Cerca

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Dati corrispondenti

Stato limite e periodo di ritorno

Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	T_p [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.051	2.417	0.279
Danno	50	0.066	2.460	0.285
Salvaguardia Vita	475	0.184	2.477	0.313
Prevenzione Collasso	975	0.239	2.481	0.321

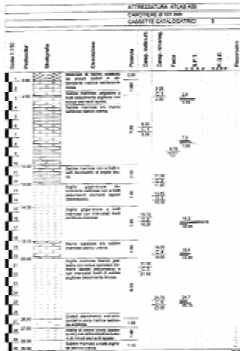
Termini e Condizioni di utilizzo di EdiLus-MS

43.53996225, 11.26550457

Caratteristiche del terreno nell'esempio

Dall'alto:

- 12 m - sabbie marnose
 $N_{SP} = 26$
- 6.1 m - argille grigio-brune
 $N_{SP} = 47$
- 1.9 m - marne sabbiose
 $N_{SP} = 16$
- 6.5 m - argille marnose
 $N_{SP} = 18$
- 3.5 m - ciottoli, argille brune
 $N_{SP} = 40$



The diagram is a geological profile of a borehole. It features a vertical scale on the left with depths from 0.00 to 10.00 meters. The profile is divided into layers with various soil descriptions in Italian. To the right of the profile, there are columns for test results, including 'Indice di consistenza' (Consistency Index) and 'Indice di plasticità' (Plasticity Index). At the top right, there is a header 'SONDAGGIO N° 8' and a table with columns for 'PROFONDITÀ (m)' (Depth) and 'INDICE DI CONSISTENZA' (Consistency Index).

Caratteristiche del terreno nell'esempio	
Dall'alto:	
12 m - sabbie marnose	$N_{SPT} = \frac{30}{\frac{12}{26} + \frac{6.1}{47} + \frac{1.9}{16} + \frac{6.5}{18} + \frac{3.5}{40}}$
$N_{SPT} = 26$	
6.1 m - argille grigio-brune	$N_{SPT} = 25.9$
$N_{SPT} = 47$	
1.9 m - marne sabbiose	Si può considerare suolo di tipo C, perché $15 < N_{SPT} < 50$
$N_{SPT} = 16$	
6.5 m - argille marnose	
$N_{SPT} = 18$	
3.5 m - ciottoli, argille brune	
$N_{SPT} = 40$	

Spettro di progetto

È ottenuto dividendo lo spettro di risposta elastica per il fattore di struttura q

$$q = q_0 K_R$$

Nell'esempio:

$q_0 = 4.5 \alpha_u / \alpha_1$	struttura intelaiata in c.a. - CD "A"
$\alpha_u / \alpha_1 = 1.3$	telaio con più piani e più campate
$K_R = 1$	la struttura è regolare in altezza

Spettro di progetto

La struttura è progettata ad alta duttilità
 $CD "A" \Rightarrow q = 4.5 \times 1.3 \times 1.0 = 5.85$

The graph plots normalized acceleration $\frac{a_g}{9}$ on the y-axis (ranging from 0.0 to 0.8) against the period T on the x-axis (ranging from 0.0 to 3.0). Four curves are shown:

- SLV, elastico**: A curve that starts at $\frac{a_g}{9} \approx 0.35$ at $T=0$, rises to a plateau of 0.8 between $T \approx 0.2$ and $T \approx 0.5$, and then decays.
- SLD, elastico**: A curve that starts at $\frac{a_g}{9} \approx 0.35$ at $T=0$, rises to a plateau of ≈ 0.3 between $T \approx 0.2$ and $T \approx 0.5$, and then decays.
- SLV, progetto CD "B" $q=3.9$** : A curve that starts at $\frac{a_g}{9} \approx 0.15$ at $T=0$, rises to a plateau of ≈ 0.5 between $T \approx 0.8$ and $T \approx 1.3$, and then decays.
- SLV, progetto CD "A" $q=5.85$** : A curve that starts at $\frac{a_g}{9} \approx 0.15$ at $T=0$, rises to a plateau of ≈ 0.35 between $T \approx 1.0$ and $T \approx 1.8$, and then decays.

Ordinata spettrale

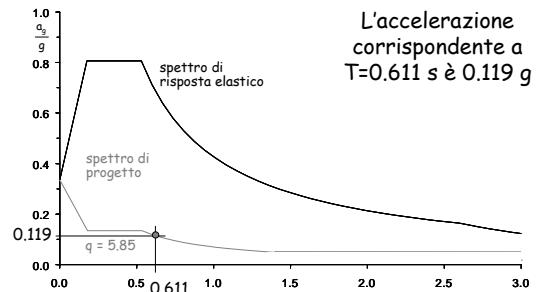
Dipende dal periodo

Si può assumere $T_1 = C_1 H^{3/4}$

con $C_1 = 0.075$
per strutture intelaiate in c.a.
 H = altezza dell'edificio dal
piano di fondazione (m)

Nell'esempio: $H = 16.40$ m (escluso torrino)
 $T_1 = 0.075 \times 16.40^{3/4} = 0.611$ s

Esempio - ordinata spettrale



Forze per analisi statica

Taglio alla base $V_b = 0.85 \sum_{i=1}^n m_i S_d(T_i) =$
 $= 0.85 \times 15756 \times 0.119 = 1593.7$ kN

Forza al piano $F_k = \frac{m_k z_k}{\sum_{i=1}^n m_i z_i} V_b$

Forze per analisi statica

Piano	Peso W (kN)	Quota z (m)	Wz (kNm)	Forza F (kN)	Taglio V (kN)
5+torrino	3419	16.40	56072	549.6	549.6
4	3235	13.20	42702	418.6	968.2
3	3235	10.00	32350	317.1	1285.3
2	3235	6.80	21998	215.6	1500.9
1	2632	3.60	9475	92.9	1593.8
somma	15756		162597		

Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

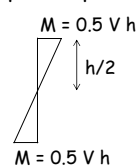
1. Ripartire il taglio di piano tra i pilastri "che contano" (pilastri allungati nella direzione del sisma e collegati con una trave emergente)

Nota: si ipotizza (per ora) che lo schema abbia solo traslazioni

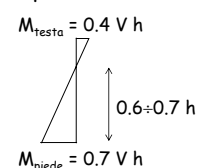
Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

2. Valutare il momento nei pilastri

ai piani superiori

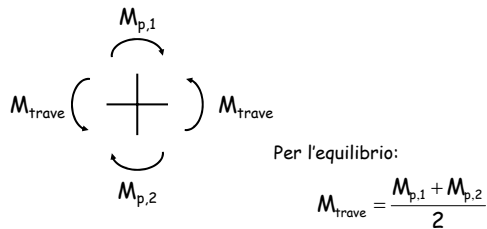


al primo ordine



Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

3. Valutare i momenti nelle travi



Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

4. Per la gerarchia delle resistenze, incrementare i momenti nei pilastri (tranne che alla base);
in linea di massima moltiplicare per 1.5 a tutti i piani nel caso di CD "A";
a volte occorre un valore maggiore ai piani superiori

Attenzione ai casi di trave più rigida dei pilastri

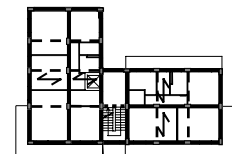
Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

5. Incrementare i momenti per tenere conto dell'eccentricità accidentale e dell'effetto combinato delle due componenti del sisma

Se la struttura è sufficientemente rigida torsionalmente, incrementare del 20%

Caratteristiche della sollecitazione 1 - ripartizione

Piano	Taglio globale (kN)
5	549.6
4	968.2
3	1285.3
2	1500.9
1	1593.8



I pilastri (tutti uguali) sono:
13 allungati in direzione x
14 allungati in direzione y

Ripartisco il taglio globale tra 13 pilastri (direzione x)

Caratteristiche della sollecitazione 1 - ripartizione

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)
5	549.6	42.3
4	968.2	74.5
3	1285.3	98.9
2	1500.9	115.5
1	1593.8	122.6

Volendo, potrei ridurre il taglio di un 20%, per tener conto del contributo dei pilastri "deboli"

Caratteristiche della sollecitazione 2 - momento nei pilastri

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)
5	549.6	42.3	67.6
4	968.2	74.5	119.2
3	1285.3	98.9	158.2
2	1500.9	115.5	184.7
1 testa	1593.8	122.6	176.5
piede			309.0

$$M = V \cdot h / 2$$

$$M = V \cdot 0.4 \cdot h$$

$$M = V \cdot 0.7 \cdot h$$

Caratteristiche della sollecitazione 3 - momento nelle travi

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	42.3	67.6	33.8
4	968.2	74.5	119.2	93.4
3	1285.3	98.9	158.2	138.7
2	1500.9	115.5	184.7	171.5
1 testa	1593.8	122.6	176.5	180.6
piede			309.0	

$$M_t = M_{p5}/2$$

$$M_t = (M_{p5} + M_{p4})/2$$

Caratteristiche della sollecitazione 4 - gerarchia delle resistenze

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	42.3	67.6	33.8
4	968.2	74.5	119.2	93.4
3	1285.3	98.9	158.2	138.7
2	1500.9	115.5	184.7	171.5
1 testa	1593.8	122.6	176.5	180.6
piede			309.0	

Questi valori vanno incrementati per garantire un meccanismo di collasso globale

Le NTC 08 (punto 7.2.1) impongono gerarchia delle resistenze anche per CD "B", con sovrarresistenza 1.1 (mentre è 1.3 per CD "A")

Caratteristiche della sollecitazione 4 - gerarchia delle resistenze

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	42.3	101.5	33.8
4	968.2	74.5	178.8	93.4
3	1285.3	98.9	237.4	138.7
2	1500.9	115.5	277.2	171.5
1 testa	1593.8	122.6	264.8	180.6
piede			309.0	

Moltiplicati per 1.5

Caratteristiche della sollecitazione 5 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	42.3	101.5	33.8
4	968.2	74.5	178.8	93.4
3	1285.3	98.9	237.4	138.7
2	1500.9	115.5	277.2	171.5
1 testa	1593.8	122.6	264.8	180.6
piede			309.0	

Caratteristiche della sollecitazione 5 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	50.7	121.6	40.6
4	968.2	89.4	214.5	112.1
3	1285.3	118.6	284.7	166.4
2	1500.9	138.5	332.4	205.7
1 testa	1593.8	147.1	317.7	216.7
piede			370.7	

+20%

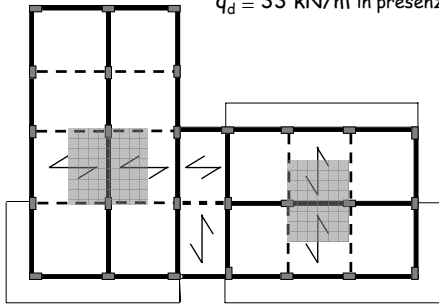
Caratteristiche della sollecitazione

- Le sollecitazioni trovate devono essere confrontate con i valori forniti dal calcolo
- Possono servire anche, in una fase iniziale, per giudicare la correttezza del dimensionamento

Esempio

Le travi di spina portano
circa 5 m di solaio

$q_d \cong 55 \text{ kN/m}$ in assenza di sisma
 $q_d \cong 33 \text{ kN/m}$ in presenza di sisma

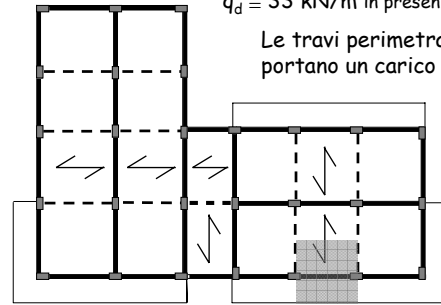


Esempio

Le travi di spina portano
circa 5 m di solaio

$q_d \cong 55 \text{ kN/m}$ in assenza di sisma
 $q_d \cong 33 \text{ kN/m}$ in presenza di sisma

Le travi perimetrali
portano un carico analogo



Esempio - controllo travi emergenti

Momento per carichi verticali (con sisma)

$$M = \frac{qL^2}{10} = \frac{33 \times 4.30^2}{10} \cong 60 \text{ kNm}$$

Momento per azione sismica

$$M = 217 \text{ kNm}$$

Momento massimo, totale

$$M = 60 + 217 = 277 \text{ kNm}$$

Esempio - controllo travi emergenti

Dati:

Sezione rettangolare

$b = 30 \text{ cm}$

$h = 60 \text{ cm}$

$c = 4 \text{ cm}$

$M_{Ed} = 277 \text{ kNm}$

Calcestruzzo $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Massimo momento portato dalla trave

$$M = \frac{b d^2}{r^2} = \frac{0.30 \times 0.56^2}{0.018^2} = 290 \text{ kNm}$$

va bene

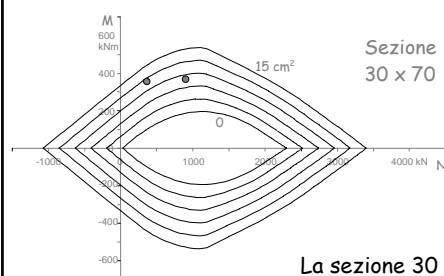
Esempio - controllo pilastri (Nota: i pilastri sono tutti uguali)

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	50.7	121.6	40.6
4	968.2	89.4	214.5	112.1
3	1285.3	118.6	284.7	166.4
2	1500.9	138.5	332.4	205.7
1 testa	1593.8	147.1	317.7	216.7
piede			370.7	

Sezione più sollecitata

Esempio - controllo pilastri (Nota: i pilastri sono tutti uguali)

Utilizzando il dominio M-N



$M = 371 \text{ kNm}$

$N = 380 \text{ kN}$

$N = 900 \text{ kN}$

occorrono
4 Ø20 per lato

La sezione 30 x 70 va bene

Come prevedere gli spostamenti?

Gli spostamenti sono importanti per la verifica allo stato limite di danno

1. Se le travi fossero infinitamente rigide, lo spostamento di interpiano d_r potrebbe essere valutato con

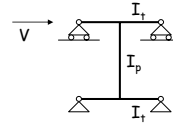
$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p}$$

In questa espressione si potrebbero includere solo i pilastri "che contano"

Ma le travi non sono infinitamente rigide e gli spostamenti sono più alti

Come prevedere gli spostamenti?

2. Un possibile modello di calcolo



Se le travi sopra e sotto sono uguali si ha

$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p} \left[1 + \frac{l_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_t} \right]$$

Come prevedere gli spostamenti?

3. Se le travi sopra e sotto sono diverse

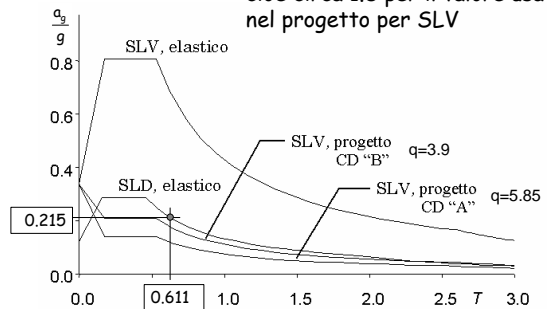
$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p} \left[1 + \frac{l_{media}}{h_r} \left(\frac{\sum I_p}{\sum I_{t,sup}} + \frac{\sum I_p}{\sum I_{t,inf}} \right) \frac{1}{2} \right]$$

Per il primo ordine, se si la trave di fondazione è molto rigida

$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p} \left[1 + \frac{l_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_{t,sup}} \frac{1}{2} \right]$$

Spettro e accelerazioni per stato limite di danno

L'accelerazione per SLD è 0.215 g
cioè circa 1.8 per il valore usato
nel progetto per SLV



Previsione degli spostamenti per SLD nell'esempio

	Inerzia singola asta	n. aste	Inerzia totale
Pilastri 30x70	857500	13	11.148 x 10 ⁶
Travi 5° impalcato 30x50	312500	15	4.687 x 10 ⁶
Travi piano tipo 30x60	540000	15	8.100 x 10 ⁶

$E_c = 31500 \text{ MPa}$

$L_{media, travi} = 4.00 \text{ m}$

Previsione degli spostamenti per SLD nell'esempio

Piano	F [kN]	V [kN]	h_r [m]	d_r [mm]	d_{tot} [mm]
5	987.1	987.1	3.20	2.57	22.42
4	751.8	1738.9	3.20	3.68	19.85
3	569.5	2308.4	3.20	4.88	16.17
2	387.2	2695.6	3.20	5.70	11.29
1	166.8	2862.5	3.60	5.59	5.59

Nota: per lo SLV la previsione è 12.45 mm in testa

Previsione per edificio con tutte travi a spessore

Cosa cambia?

Occorre aumentare lo spessore del solaio
Lo porto a 28 cm

La struttura è progettata a bassa duttilità
Il fattore di struttura è più piccolo

La struttura è più deformabile
Il periodo sarà maggiore
Le formule di normativa non vanno bene
(provo aumentandolo del 50%)

Fattore di struttura

$$q = q_0 K_R$$

Nell'esempio:

$$q_0 = 3.0 \times 1.3$$

Prima
era 4.5

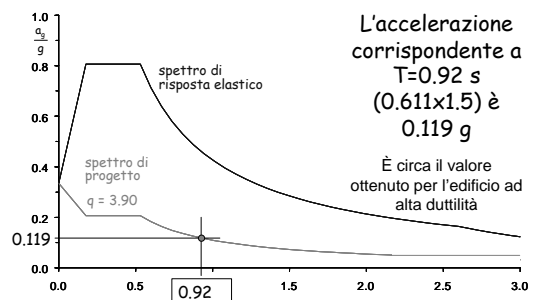
struttura intelaiata in c.a.
telaio con più piani e più campate
duttilità bassa
la struttura è regolare in altezza

$$K_R = 1.0$$

Si calcola:

$$q = 3.90 \text{ (prima era 5.85)}$$

Esempio - ordinata spettrale



Cosa cambia?

Le forze dovute al sisma sono circa le stesse di quelle dell'edificio con travi emergenti e ad alta duttilità

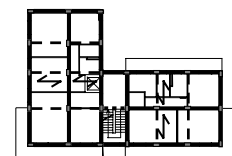
Le distribuzioni del taglio (e quindi le sollecitazioni dei pilastri) vanno calcolate tenendo conto dell'influenza delle travi a spessore sulla rigidità dei pilastri

Ipotizzo che i pilastri di piatto valgano, rispetto a quelli di coltello:

Ordini 3-6	1.0
Ordine 2	0.6
Ordine 1	0.2

Caratteristiche della sollecitazione 1 - ripartizione

Piano	Taglio globale (kN)
5	549.6
4	968.2
3	1285.3
2	1500.9
1	1593.8



I pilastri (quasi uguali) sono:
13 allungati in direzione x
14 allungati in direzione y

Ripartisco il taglio globale
tra 13 pilastri (direzione x)

Caratteristiche della sollecitazione 1 - ripartizione

Piano	Pilastri di coltello	Pilastri di piatto	Pilastri "equivalenti"
5	13	14 x 1.0	27
4	13	14 x 1.0	27
3	13	14 x 1.0	27
2	13	14 x 0.6	21.4
1	13	14 x 0.2	15.8

Caratteristiche della sollecitazione 1 - ripartizione

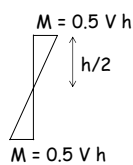
Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)
5	549.6	20.4
4	968.2	35.9
3	1285.3	47.6
2	1500.9	70.1
1	1593.8	100.9

Caratteristiche della sollecitazione 2 - momento nei pilastri

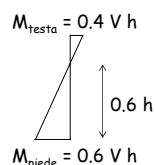
In questo caso il punto di nullo è spostato

Ipotizzo:

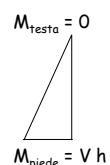
ai piani superiori



al secondo ordine



al primo ordine



Caratteristiche della sollecitazione 2 - momento nei pilastri

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	
5	549.6	20.4	32.6	$M = V h / 2$
4	968.2	35.9	57.4	
3	1285.3	47.6	76.2	$M = V 0.4 h$
2 testa	1500.9	70.1	89.7	$M = V 0.6 h$
piede			134.6	
1 testa	1593.8	100.9	0	$M = V h$
piede			363.2	

Caratteristiche della sollecitazione 3 - momento nelle travi

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	
5	549.6	20.4	32.6	16.3	$M_t = M_{p5}/2$
4	968.2	35.9	57.4	45.0	$M_t = (M_{p5} + M_{p4})/2$
3	1285.3	47.6	76.2	66.8	
2 testa	1500.9	70.1	89.7	83.0	
piede			134.6		
1 testa	1593.8	100.9	0	67.3	
piede			363.2		

Caratteristiche della sollecitazione 4 - gerarchia delle resistenze

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	
5	549.6	20.4	42.4	16.3	Moltiplicati per 1.3 per garantire un meccanismo di collasso globale
4	968.2	35.9	74.6	45.0	
3	1285.3	47.6	99.1	66.8	
2 testa	1500.9	70.1	116.6	83.0	
piede			175.0		
1 testa	1593.8	100.9	0	67.3	
piede			363.2		

Caratteristiche della sollecitazione 5 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	20.4	42.4	16.3
4	968.2	35.9	74.6	45.0
3	1285.3	47.6	99.1	66.8
2 testa	1500.9	70.1	118.6	83.0
piede			175.0	
1 testa	1593.8	100.9	0	67.3
piede			363.2	

Caratteristiche della sollecitazione 5 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	24.5	51.0	19.6
4	968.2	43.1	89.7	54.1
3	1285.3	57.1	118.8	80.2
2 testa	1500.9	84.1	139.9	99.5
piede			210.0	
1 testa	1593.8	121.1	0	80.8
piede			436.0	

+20%

Esempio - controllo travi a spessore

Momento per carichi verticali (con sisma)

$$M = \frac{qL^2}{10} = \frac{33 \times 4.30^2}{10} \cong 60 \text{ kNm}$$

Momento per azione sismica

$$M = 100 \text{ kNm}$$

Momento massimo, totale

$$M = 60 + 100 = 160 \text{ kNm}$$

Esempio - controllo travi a spessore

Dati:

Sezione rettangolare

$$M_{Ed} = 160 \text{ kNm}$$

$$b = 90 \text{ cm}$$

$$\text{Calcestruzzo } f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$h = 28 \text{ cm}$$

$$c = 4 \text{ cm}$$

Calcolo del momento resistente

$$M = \frac{b d^2}{r^2} = \frac{0.90 \times 0.24^2}{0.018^2} = 160 \text{ kNm}$$

va bene

Si potrebbe forse usare una larghezza minore, mettendo una forte armatura compressa

Esempio - controllo pilastri

Utilizzando il dominio M-N

$$M = 436 \text{ kNm}$$

$$N = 380 \text{ kN}$$

Sezione
30 x 70

$$N = 900 \text{ kN}$$

