

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale sulla base delle
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Progetto e verifica di edifici antisismici in c.a.

7 - Dimensionamento e verifica di massima

Spoletto

10-12 dicembre 2009

Aurelio Ghersi

Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima

Dimensionamento solaio

Il solaio deve trasmettere i carichi verticali alle travi, senza eccessive deformazioni

$$s \leq \frac{L_{\max}}{25}$$

Lo spessore del solaio definisce l'altezza delle travi a spessore

Aumentare lo spessore del solaio in presenza di travi a spessore molto lunghe e caricate

L'impalcato (solaio più travi) deve trasmettere l'azione sismica agli elementi resistenti (telai)

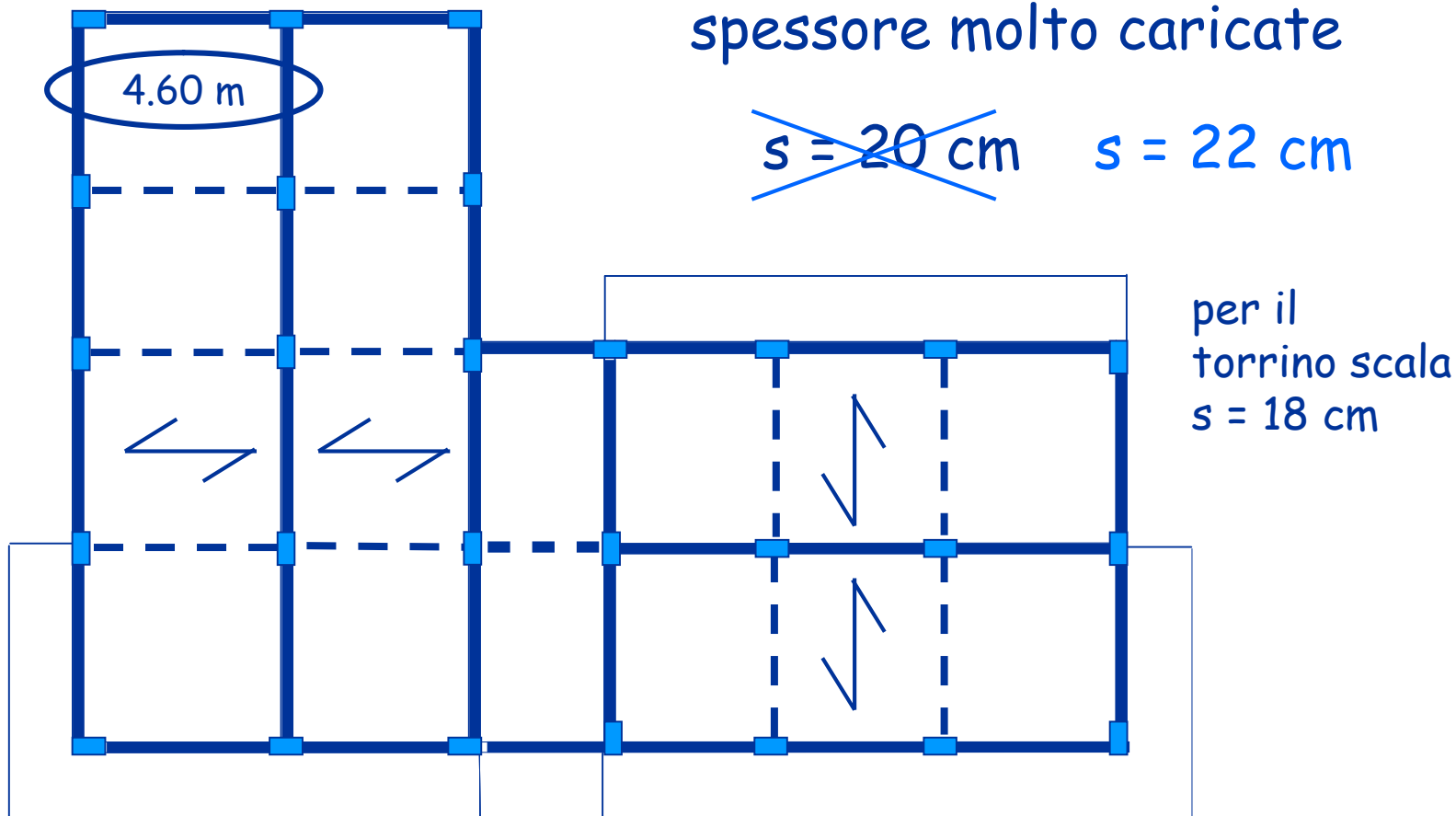
È sufficiente una buona soletta di 4-5 cm con rete $\varnothing 8 / 25 \times 25$

Esempio

La luce massima delle
campate di solaio è
inferiore a 5.00 m

Non ci sono travi a
spessore molto caricate

$$\cancel{s = 20 \text{ cm}} \quad s = 22 \text{ cm}$$



Carichi unitari

Una volta definito lo spessore, si possono calcolare i carichi unitari (kN/m²)

	g_k	q_k	SLU solo c.v	SLU con F
Solaio del piano tipo	5.0	2.0	9.7	5.6
Solaio di copertura	4.0	2.0	8.2	4.6
Solaio torrino scala	3.4	0.5	5.2	3.4
Sbalzo piano tipo	4.0	4.0	11.2	6.4
Sbalzo copertura	3.9	0.5	5.8	3.9
Scala	5.0	4.0	12.5	7.4

Dimensionamento travi a spessore

Se vi sono più travi emergenti che travi a spessore

Dimensionamento in base ai soli carichi
verticali

Se tutte le travi sono a spessore

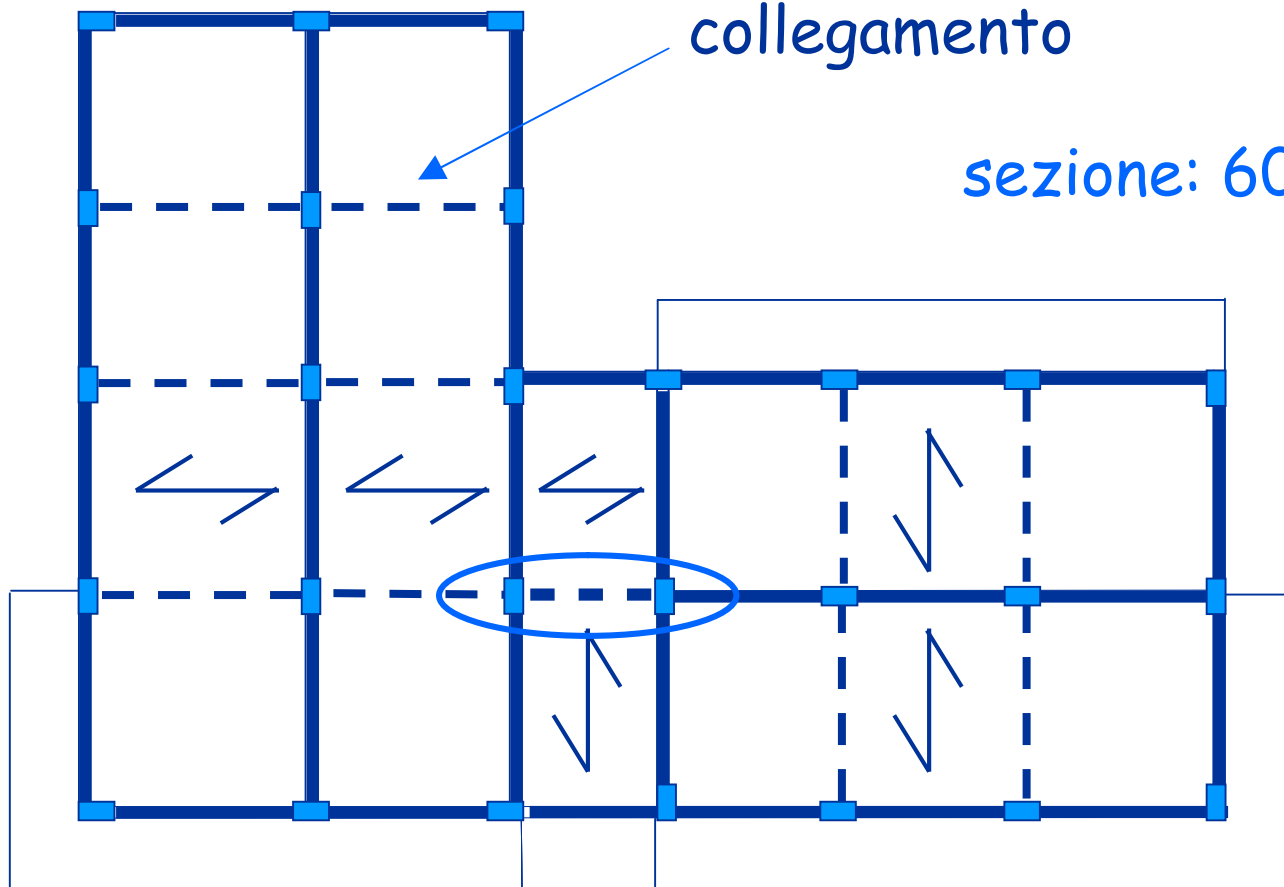
Aumentare l'altezza della trave (spessore del
solaio) di 4-6 cm

Esempio

L'unica trave a spessore
che porta carichi verticali
ha luce modesta (3 m)

Le altre travi sono solo di
collegamento

sezione: 60x22

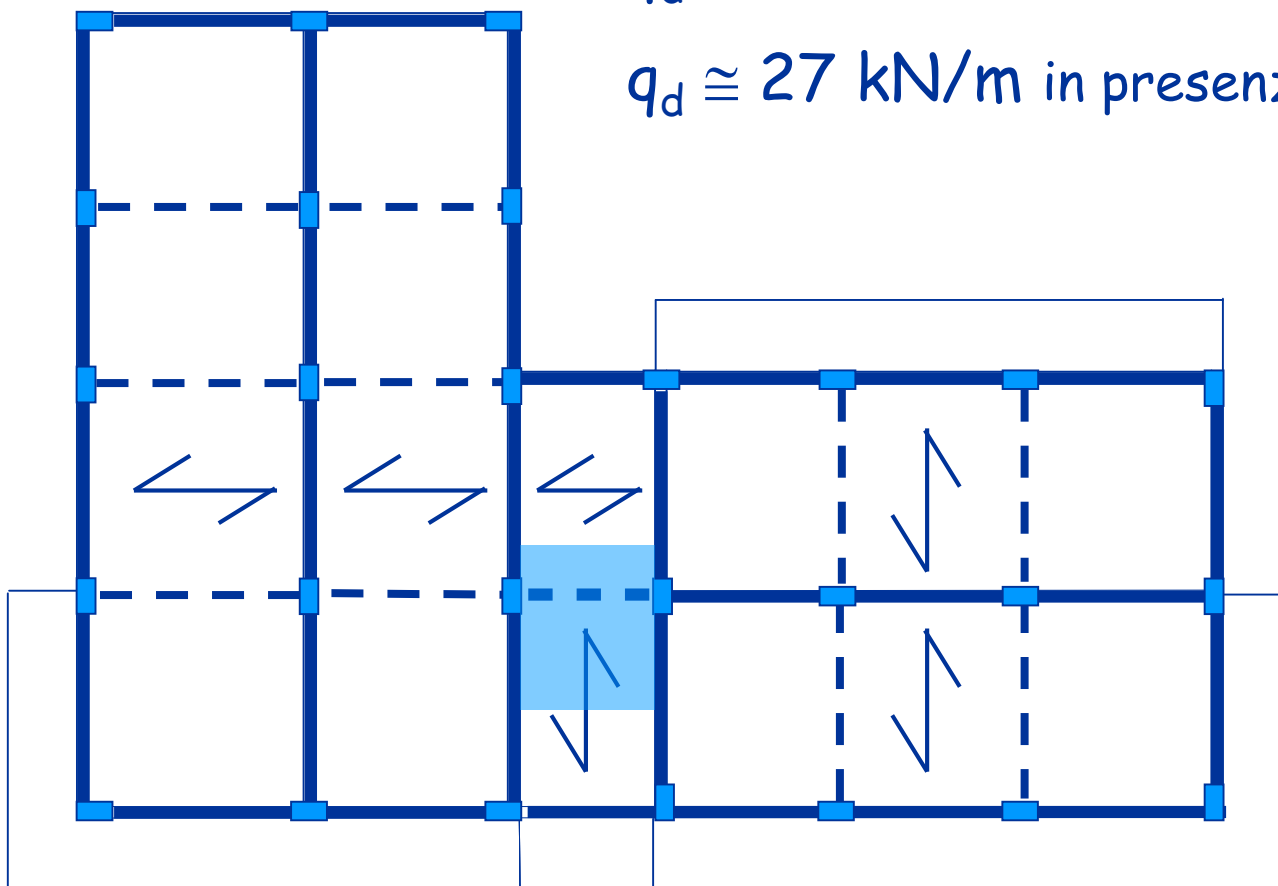


Esempio

La trave a spessore caricata
porta circa 2.5 m di scala e 1 m
di solaio

$q_d \cong 44 \text{ kN/m}$ in assenza di sisma

$q_d \cong 27 \text{ kN/m}$ in presenza di sisma



Esempio - dimensionamento travi a spessore

Momento per carichi verticali (in assenza di sisma)

$$M = \frac{q L^2}{12} = \frac{44 \times 3.0^2}{12} \cong 33 \text{ kNm}$$

Il momento totale in presenza di sisma certamente non è più grande

Momento per carichi verticali (con sisma)

$$M = \frac{q L^2}{12} = \frac{27 \times 3.0^2}{12} \cong 20 \text{ kNm}$$

Momento per azione sismica

è certamente molto piccolo

Esempio - dimensionamento travi a spessore

Dati:

Sezione rettangolare

b = da determinare

$h = 22 \text{ cm}$

$c = 4 \text{ cm}$

$M_{Sd} = 33 \text{ kNm}$

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

Calcolo della larghezza:

$$b = \frac{r^2 M}{d^2} = \frac{0.021^2 \times 33}{0.18^2} = 0.45 \text{ m}$$

La sezione 60x22
va bene

Dimensionamento travi emergenti

Si potrebbe stimare ad occhio il momento flettente di progetto delle travi più sollecitate

- il momento dovuto ai carichi verticali è facilmente prevedibile
- si incrementa forfaitariamente il momento flettente ottenuto per tener conto della presenza delle azioni sismiche

In alternativa (metodo più preciso) ...

Dimensionamento travi emergenti

Si potrebbe stimare ad occhio il momento flettente di progetto delle travi più sollecitate

- il momento dovuto ai carichi verticali è facilmente prevedibile
- si incrementa forfaitariamente il momento flettente ottenuto per tener conto della presenza delle azioni sismiche

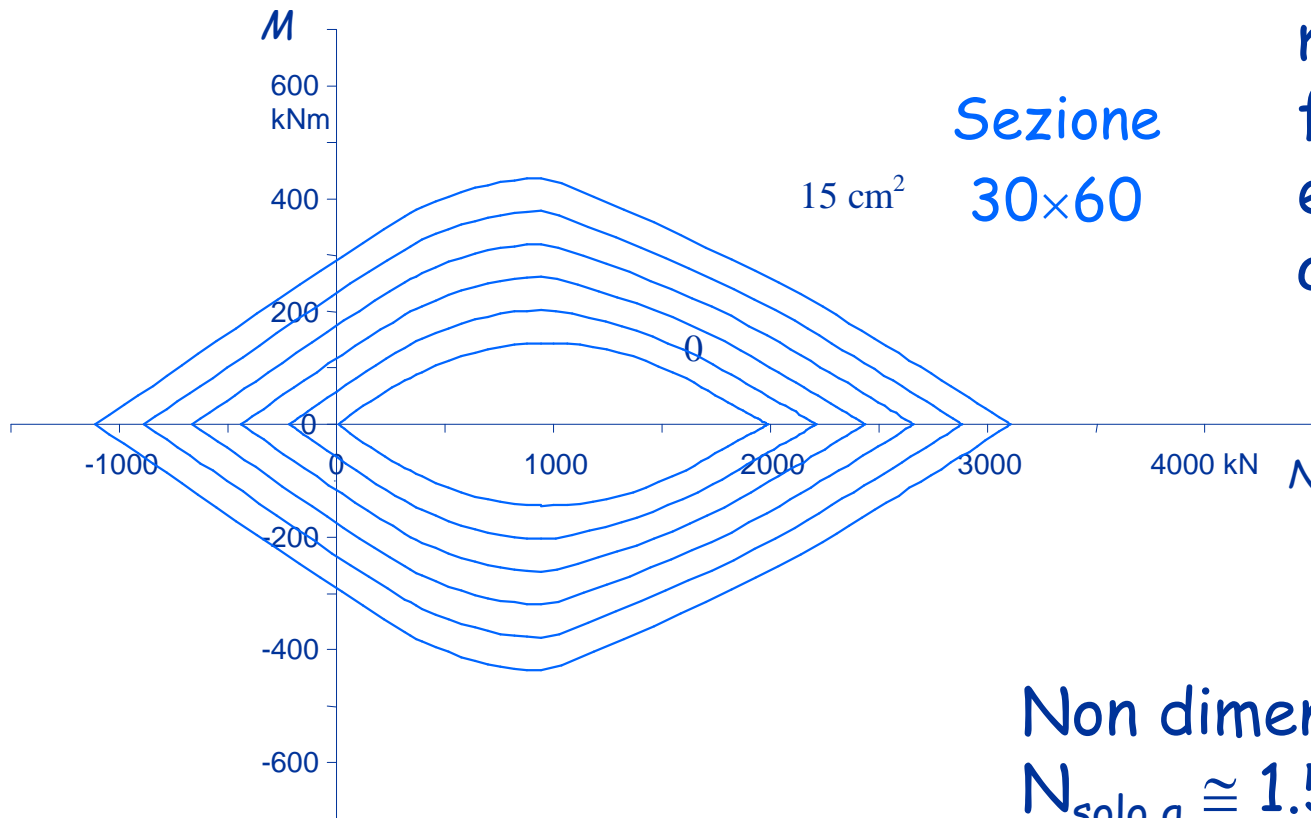
È possibile stimare le masse e determinare i momenti flettenti da sisma attraverso un calcolo semplificato

Altri carichi unitari

Una volta definita (anche sommariamente) la sezione delle travi, si può completare l'analisi dei carichi unitari (kN/m)

	g_k	q_k	SLU solo c.v	SLU con F
Travi 30 x 60	4.0		5.2	4.0
Travi 30 x 50	3.5		4.5	3.5
Travi 60 x 22	1.6		2.1	1.6
Tamponature	6.0		7.8	6.0
Tramezzi	3.0		3.9	3.0

Dimensionamento pilastri



Sezione
 30×60

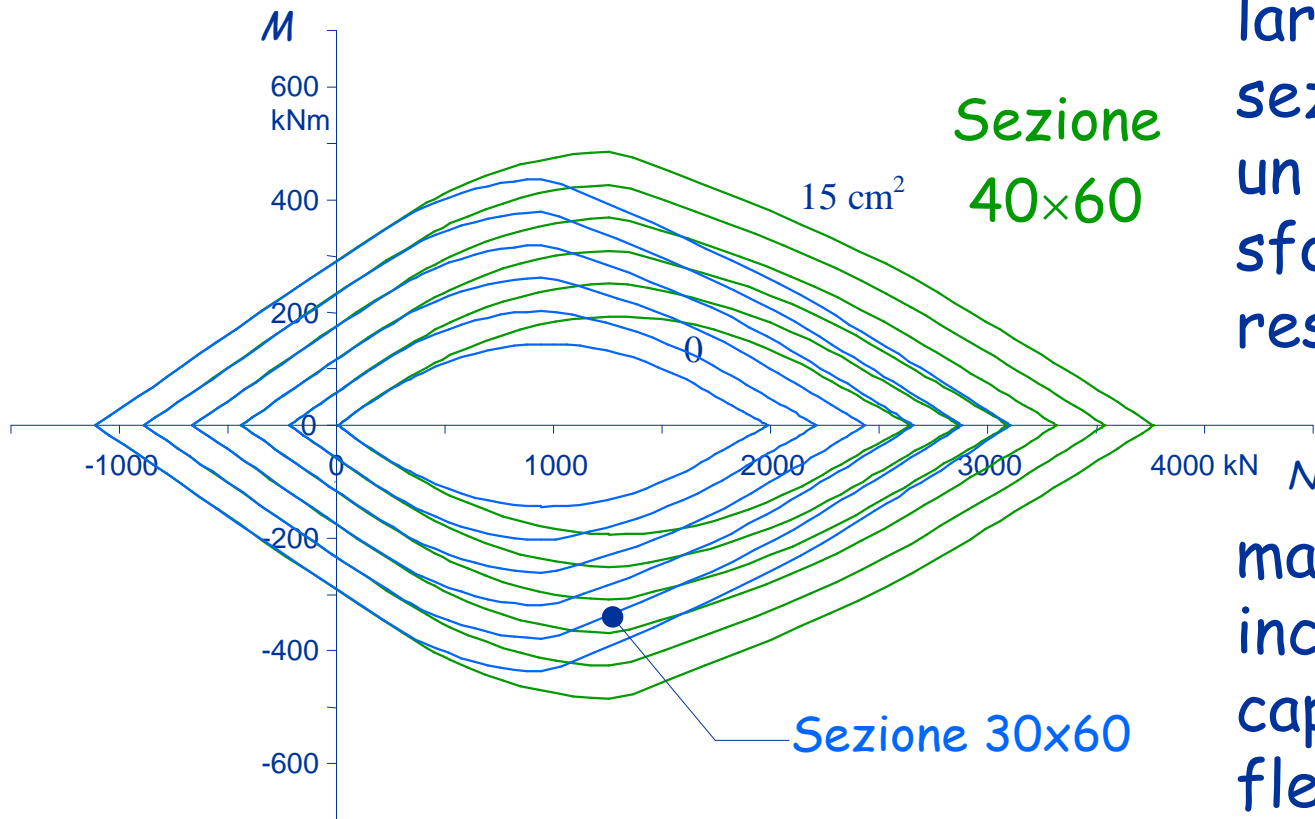
15 cm^2

Il massimo
momento
flettente può
essere portato
quando:

$$\frac{N}{A_c} \cong 0.5 f_{cd}$$

Non dimenticare che
 $N_{\text{solo } q} \cong 1.5 N_{q+\text{sisma}}$

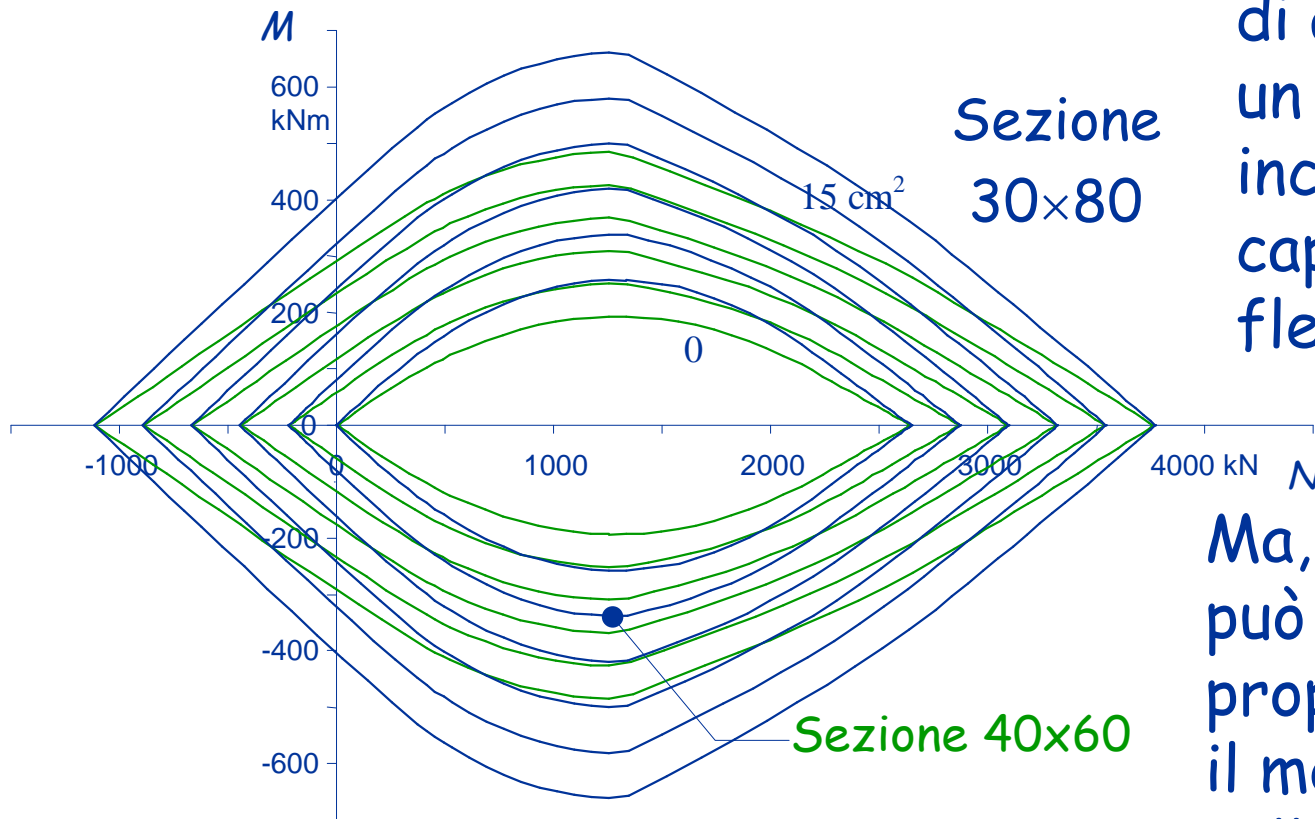
Dimensionamento pilastri



Un aumento della larghezza della sezione produce un aumento dello sforzo normale resistente

ma un modesto incremento di capacità flessionale

Dimensionamento pilastri



Un aumento di altezza della sezione (a parità di area) produce un buon incremento di capacità flessionale

Ma, attenzione: può aumentare proporzionalmente il momento sollecitante

Dimensionamento pilastri

Consigli:

1. Dimensionare la sezione del primo ordine
in modo che la tensione media N/A_c non superi:

 in presenza di sisma

$0.3-0.4 f_{cd}$ se si prevedono momenti flettenti
non troppo elevati (zona 2, suolo B
C E, q non troppo basso)

meno di $0.3 f_{cd}$ se si prevedono momenti flettenti
più elevati

Dimensionamento pilastri

Consigli:

2. Usare per i diversi pilastri del primo ordine un numero basso di tipi di sezione (max 2 o 3) ed evitare eccessive differenze di momento d'inerzia

Quindi cercare di mantenere - più o meno - la stessa altezza delle sezioni e variare la base

Dimensionamento pilastri

Consigli:

3. Ridurre gradualmente la sezione andando verso l'alto

Limitare le variazioni di sezione, che sono sempre possibile causa di errori costruttivi

Evitare forti riduzioni di tutti i pilastri ad uno stesso piano

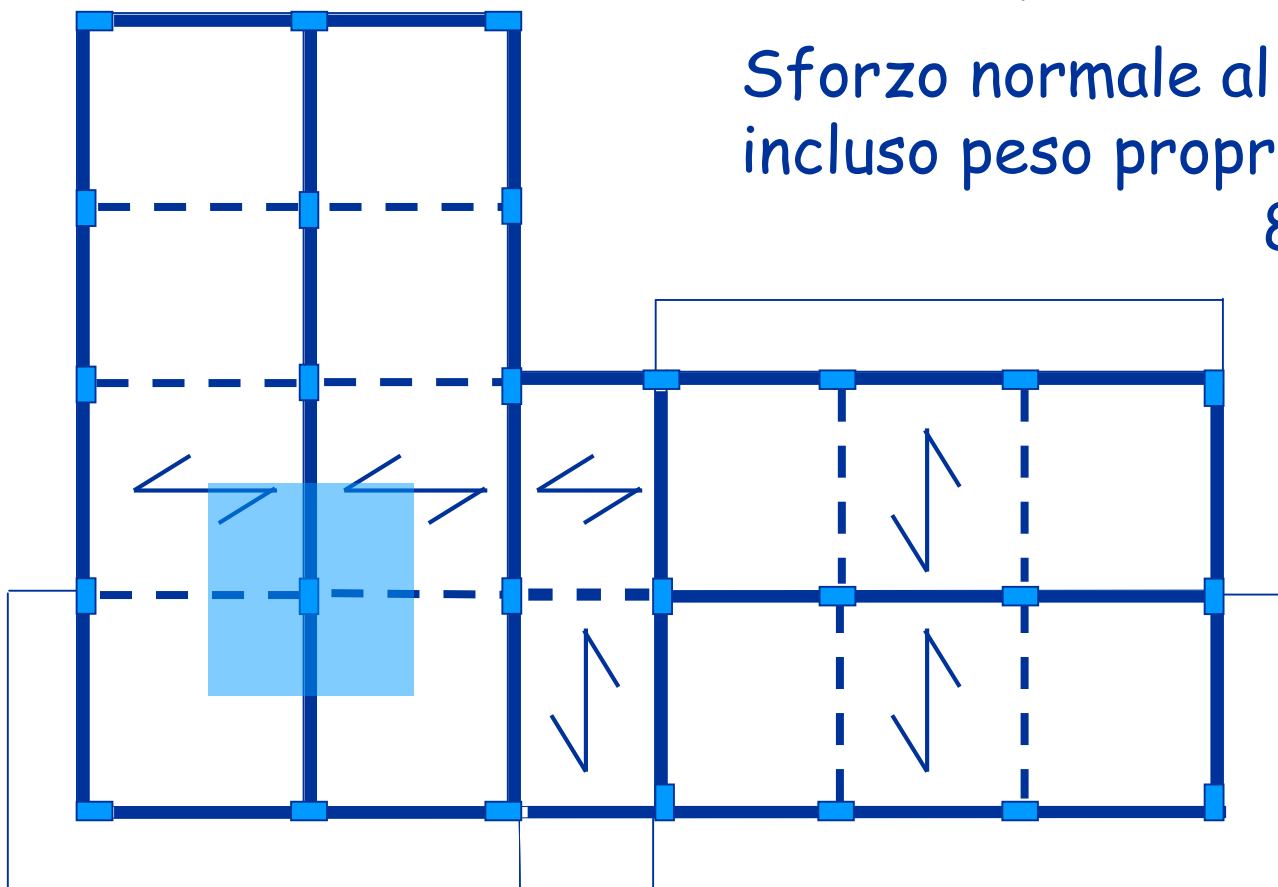
Mantenere una dimensione adeguata, non troppo piccola, anche ai piani superiori

Esempio

Pilastro interno, porta
8 m di trave
21 m² di solaio

Carico al piano: 150 kN

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
830 kN



Esempio

Pilastro laterale con sbalzo
pilastro d'angolo con sbalzi

Più o meno lo stesso

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
830 kN

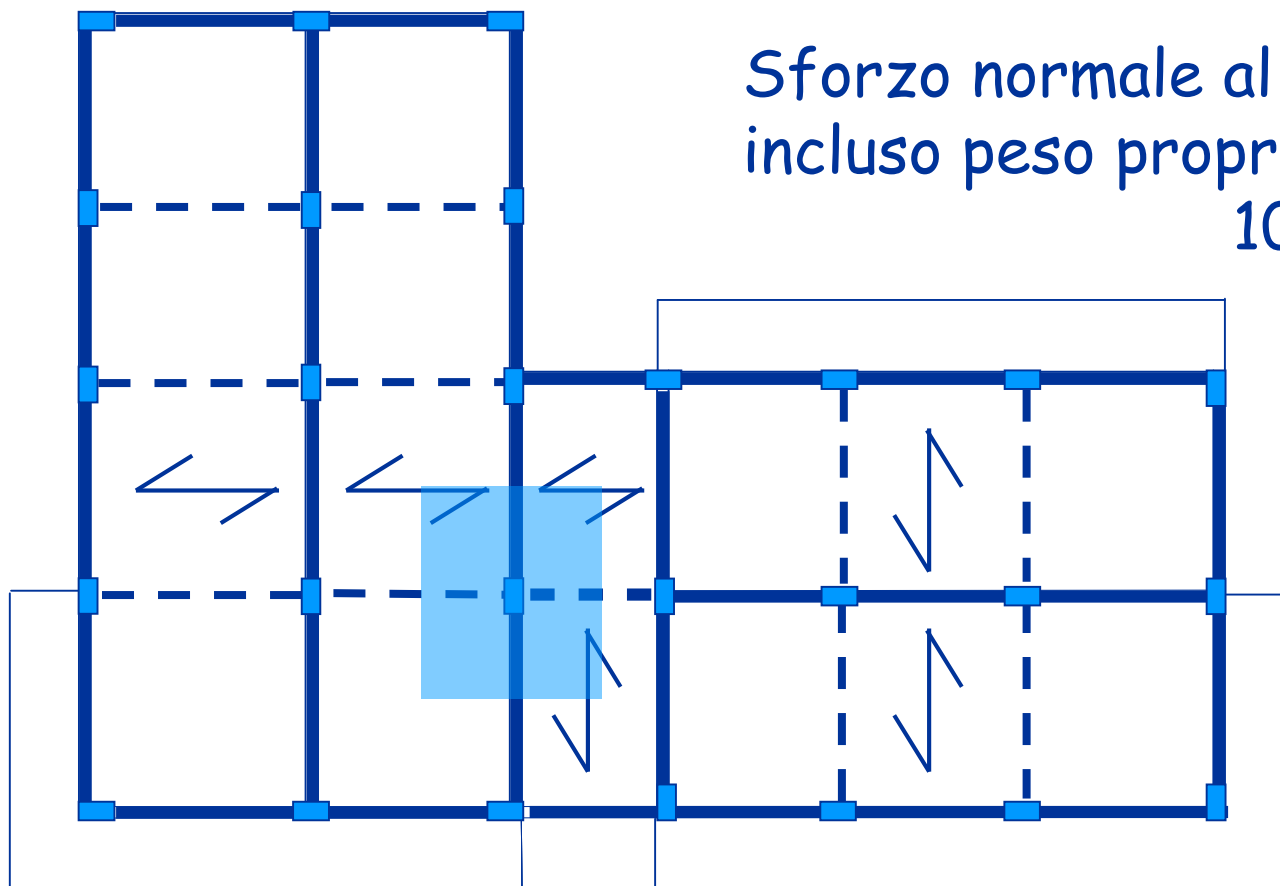


Esempio

Pilastro interno in
corrispondenza della scala

Di più, a causa del torrino

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
1050 kN



Esempio

Pilastro laterale privo di sbalzo o d'angolo con uno sbalzo

Carico al piano minore

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
600 kN



Esempio

Pilastro d'angolo
privo di sbalzo

Carico al piano ancora
minore

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
380 kN



Esempio - dimensionamento pilastri

Tipo di pilastro	N_{Ed} (SLU con F)	A_c
Pilastri più caricati (20)	830 - 1050 kN	1650-2090 cm ²
Pilastri perimetrali senza sbalzo (5)	600 kN	1210 cm ²
Pilastri d'angolo senza sbalzo (2)	380 kN	770 cm ²

Se si prevedono sollecitazioni non troppo alte (zona 2, suolo C)

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{0.35 f_{cd}} \cong \frac{N_{Ed}}{5.0} \times 10$$

Esempio - dimensionamento pilastri

Tipo di pilastro	N_{Ed}	A_c	Sezione minima	Sezione scelta
Pilastri caricati (20)	830 - 1050 kN	1650-2090 cm ²	30 x 70	30 x 70
Pilastri perimetrali (5)	600 kN	1210 cm ²	30 x 50	30 x 70
Pilastri d'angolo (2)	380 kN	770 cm ²	30 x 30	30 x 70

La sezione 30 x 70 non crea problemi architettonici e permette una più uniforme distribuzione delle azioni sismiche.

Esempio - dimensionamento pilastri

Variazione di sezione lungo l'altezza

La sezione 30 x 70 non crea problemi architettonici e non comporta costi eccessivi

quindi la si può mantenere invariata per tutta l'altezza

Solo per il torrino scala: sezioni 30x50

Esempio - con pilastri più sollecitati

Se l'edificio fosse stato
in zona 1 e suolo D
o tutte travi a spessore

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{0.3 f_{cd}} \cong \frac{N_{Ed}}{4.0} \times 10$$

Tipo di pilastro	N_{Ed}	A_c	Sezione minima	Sezione scelta
Pilastri molto caricati (2)	1050 kN	2625 cm ²	40 x 70 o 30x80	40 x 70 o 30x80
Pilastri caricati (18)	830 kN	2075 cm ²	40 x 60	40 x 70 o 30x80
Pilastri perimetrali (5)	600 kN	1500 cm ²	30 x 50	30 x 70
Pilastri d'angolo (2)	380 kN	950 cm ²	30 x 40	30 x 70

Esempio - con pilastri più sollecitati

E ai piani superiori

Tipo di pilastro	Sezione alla base	Sezione 2° ordine	Sezione ordini sup.
Pilastri molto caricati (2)	40 x 70	40 x 70	30 x 70
Pilastri caricati (18)	40 x 70	30 x 70	30 x 70
Pilastri perimetrali (5)	30 x 70	30 x 70	30 x 70
Pilastri d'angolo (2)	30 x 70	30 x 70	30 x 70

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 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"

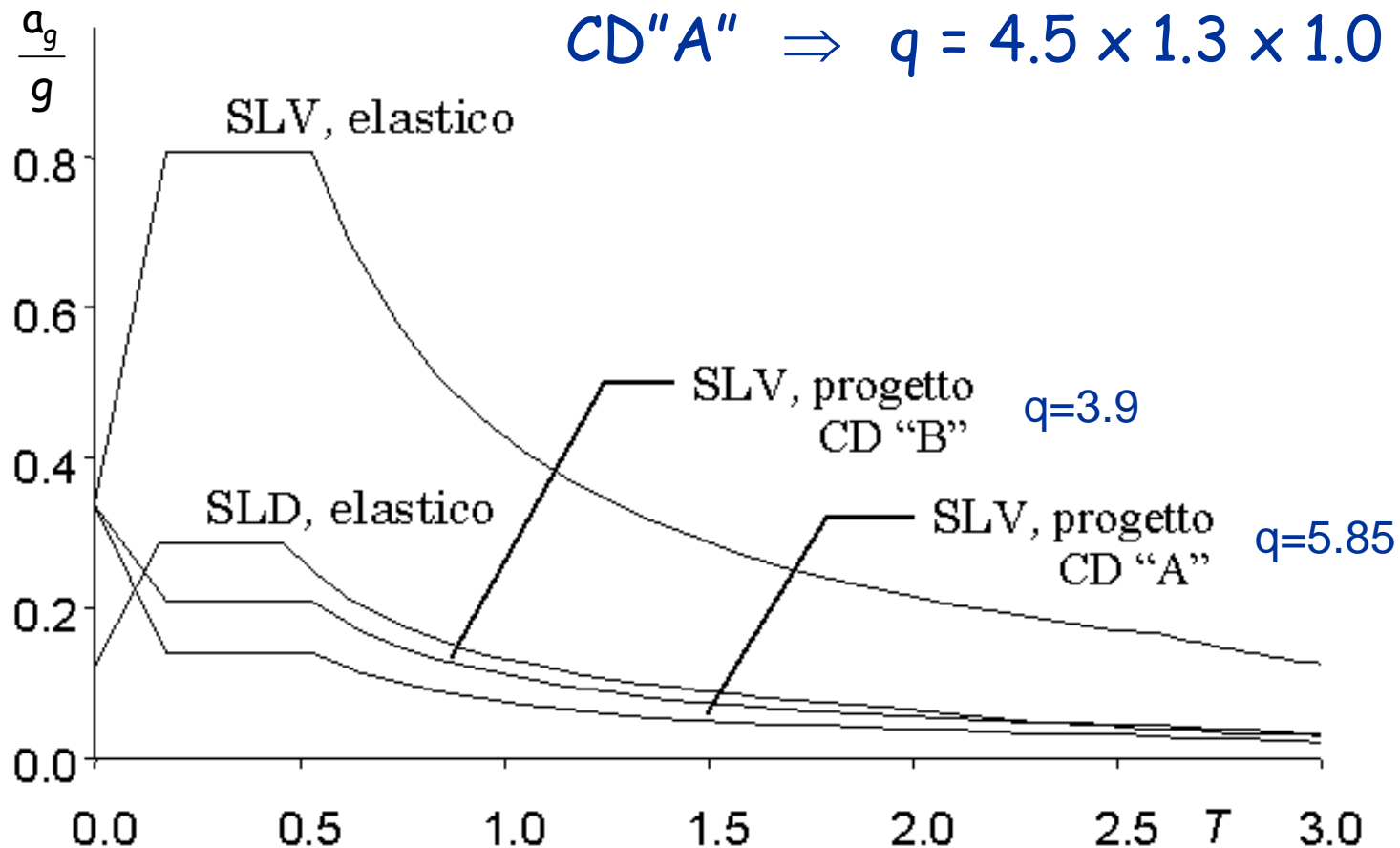
$q_0 = 3.0 \alpha_u / \alpha_1$ struttura intelaiata in c.a. - CD "B"

$\alpha_u / \alpha_1 = 1.3$ telaio con più piani e più campate

$K_R = 1$ la struttura è regolare in altezza

Spettro di progetto

Ipotizzo (per ora) di realizzare la
struttura ad alta duttilità
CD "A" $\Rightarrow q = 4.5 \times 1.3 \times 1.0 = 5.85$



Ordinata spettrale

Dipende dal periodo

Si può assumere $T_1 = C_1 H^{3/4}$

con

$$C_1 = 0.075$$

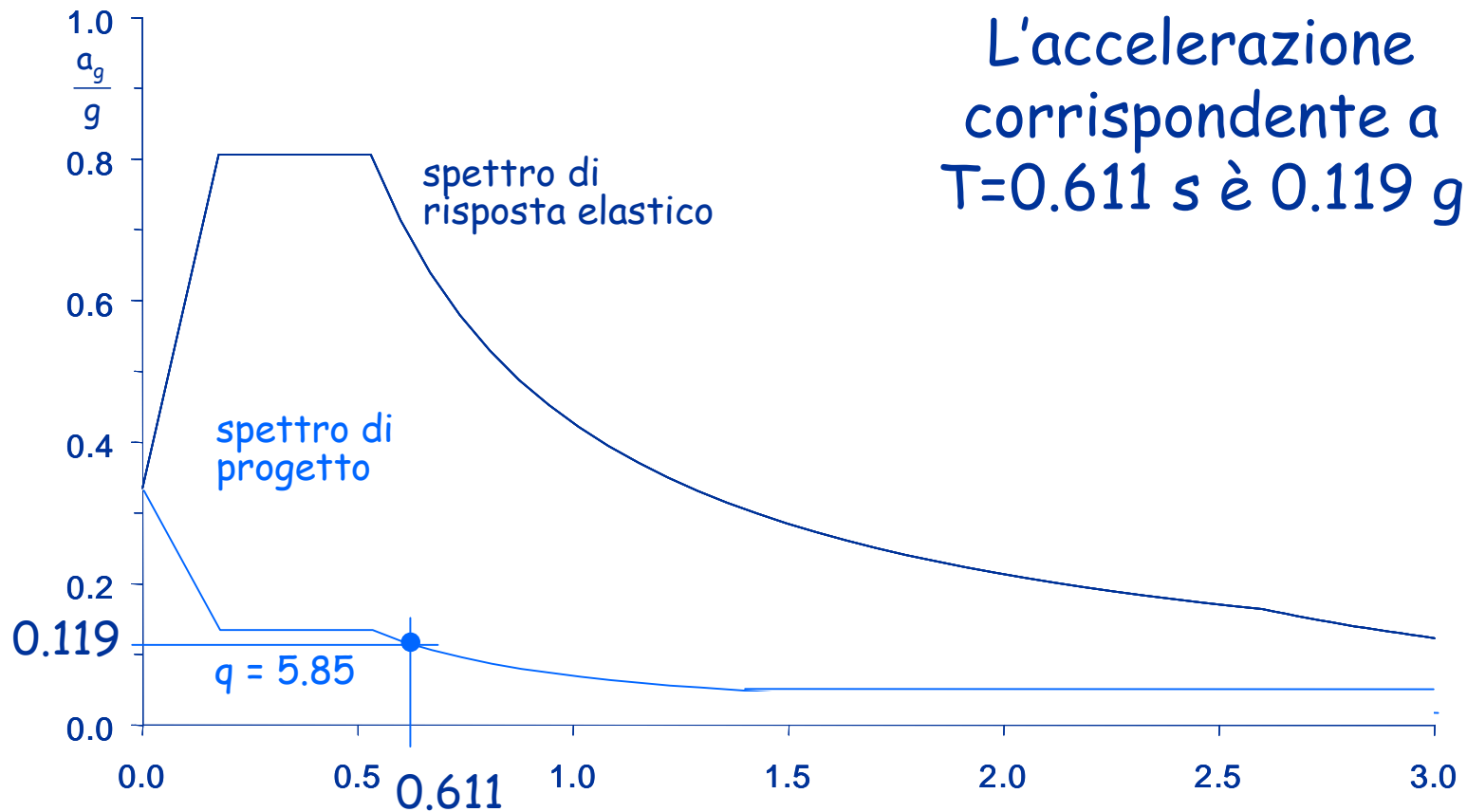
per strutture intelaiate in c.a.

H = altezza dell'edificio dal
piano di fondazione (m)

Nell'esempio: $H = 16.40$ m (escluso torrino)

$$T_1 = 0.075 \times 16.40^{3/4} = 0.611 \text{ s}$$

Esempio - ordinata spettrale



Forze per analisi statica

Taglio alla base

$$V_b = 0.85 \sum_{i=1}^n m_i S_d(T_1) =$$
$$= 0.85 \times 15756 \times 0.119 = 1593.7 \text{ kN}$$

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?

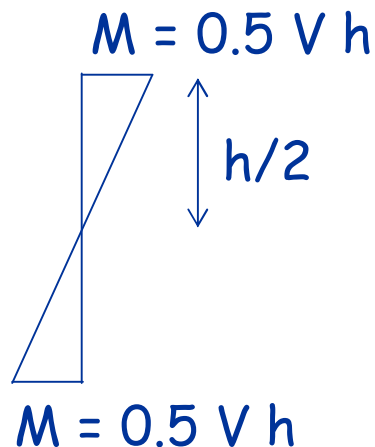
1. Ripartire il taglio di piano tra i pilastri "che contano" (pilastri allungati nella direzione del sisma e collegati con una trave emergente)
2. Incrementare i momenti per tenere conto dell'eccentricità accidentale

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

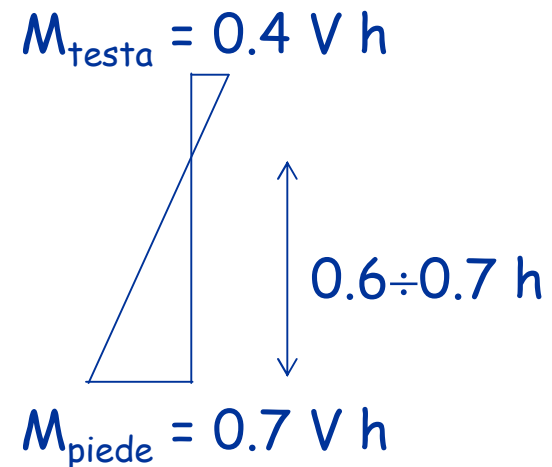
Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

3. Valutare il momento nei pilastri

ai piani superiori

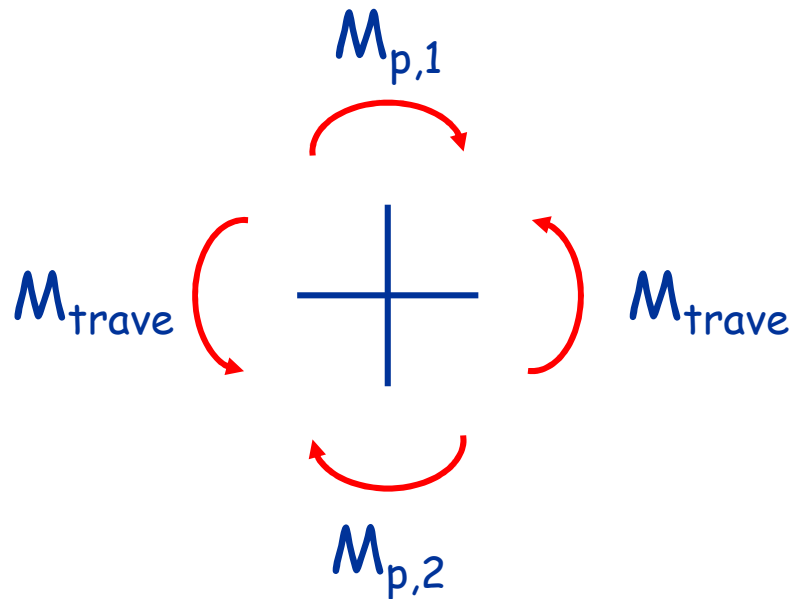


al primo ordine



Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

4. Valutare i momenti nelle travi



Per l'equilibrio:

$$M_{trave} = \frac{M_{p,1} + M_{p,2}}{2}$$

Come prevedere le caratteristiche della sollecitazione?

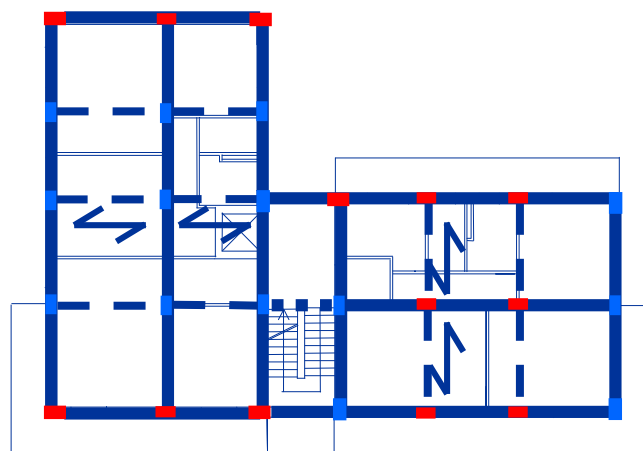
5. Incrementare i momenti nei pilastri (tranne che alla base); in linea di massima moltiplicare per 1.5 a tutti i piani nel caso di CD"A"; a volte occorre un valore maggiore ai piani superiori

Attenzione ai casi di trave più rigida dei pilastri

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 - incremento per eccentricità

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

Caratteristiche della sollecitazione

2 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)
5	549.6	50.7
4	968.2	89.4
3	1285.3	118.6
2	1500.9	138.5
1	1593.8	147.1

+20%

Caratteristiche della sollecitazione

3 - momento nei pilastri

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	
5	549.6	50.7	81.1	$M = V h / 2$
4	968.2	89.4	143.0	
3	1285.3	118.6	189.8	
2	1500.9	138.5	221.6	$M = V 0.4 h$
1 testa	1593.8	147.1	211.8	$M = V 0.7 h$
piede			370.7	

Caratteristiche della sollecitazione

4 - momento nelle travi

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	50.7	81.1	40.6
4	968.2	89.4	143.0	112.1
3	1285.3	118.6	189.8	166.4
2	1500.9	138.5	221.6	205.7
1 testa	1593.8	147.1	211.8	216.7
piede			370.7	

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

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

Caratteristiche della sollecitazione

5 - gerarchia delle resistenze

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	50.7	81.1	40.6
4	968.2	89.4	143.0	112.1
3	1285.3	118.6	189.8	166.4
2	1500.9	138.5	221.6	205.7
1 testa	1593.8	147.1	211.8	216.7
piede			370.7	

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 sovraresistenza 1.1 (mentre è 1.3 per CD"A")

Caratteristiche della sollecitazione

5 - gerarchia delle resistenze

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	

Moltiplicati
per 1.5

Dimensionamento travi emergenti

Le sollecitazioni da sisma sono elevate ai piani inferiori e centrali

Le sollecitazioni da sisma si riducono di molto ai piani superiori

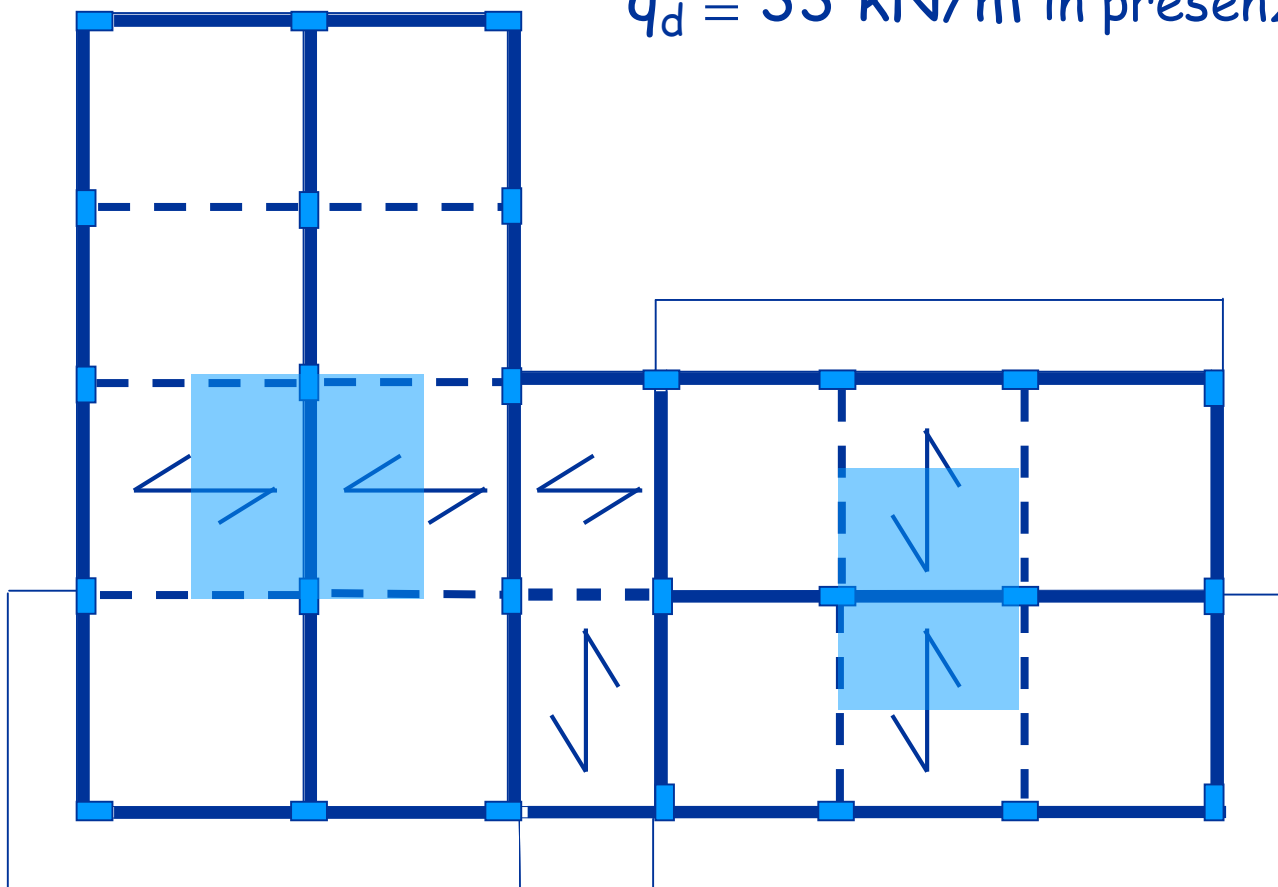
Ma avere travi rigide aiuta comunque i pilastri

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



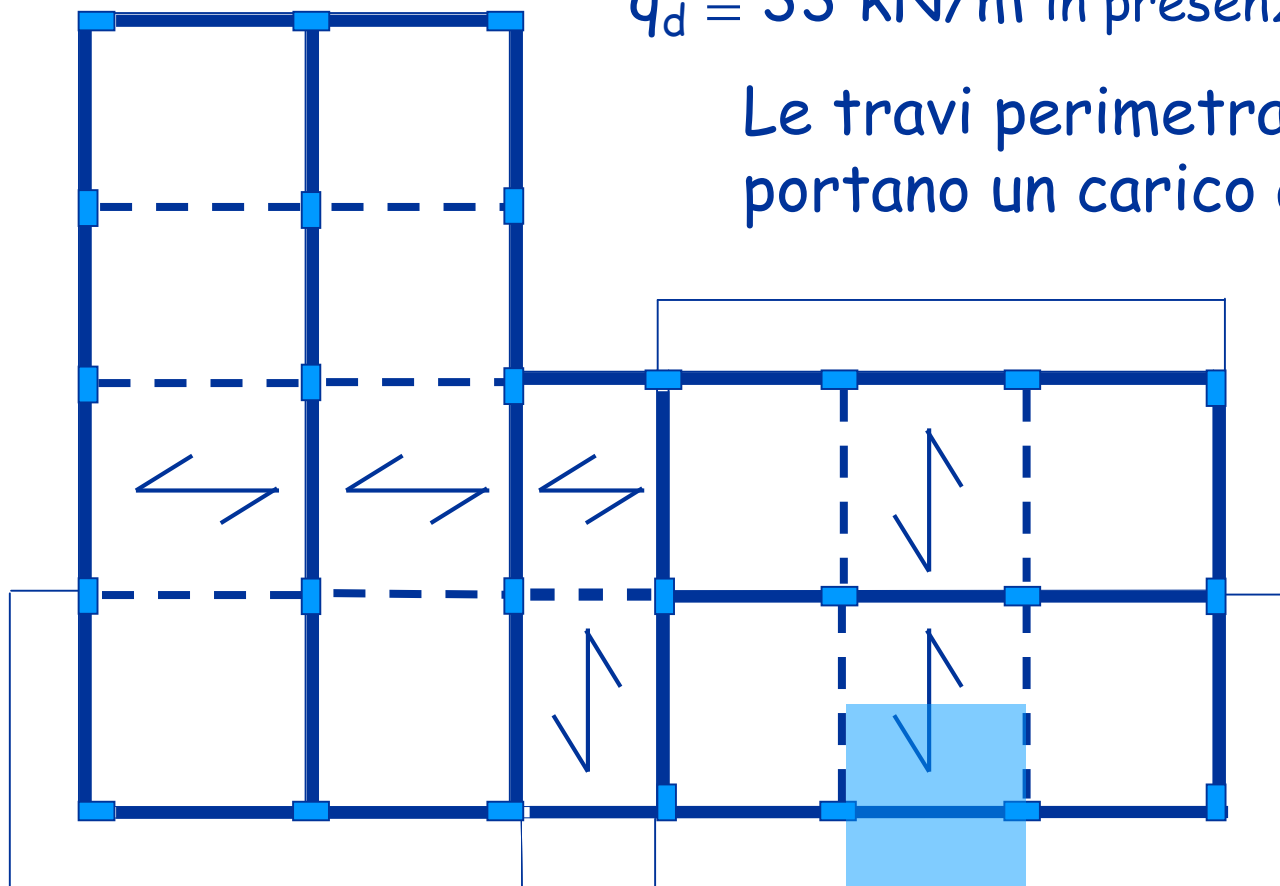
Esempio

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 - dimensionamento 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 - dimensionamento travi emergenti

Dati:

Sezione rettangolare

$b = 30 \text{ cm}$

$h = \text{da determinare}$

$c = 4 \text{ cm}$

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

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

Calcolo dell'altezza utile:

$$d = r \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.018 \sqrt{\frac{277}{0.30}} = 0.55 \text{ m}$$

sezione: 30x60

all'ultimo impalcato 30x50

Verifica pilastri

(Nota: i pilastri sono tutti uguali)

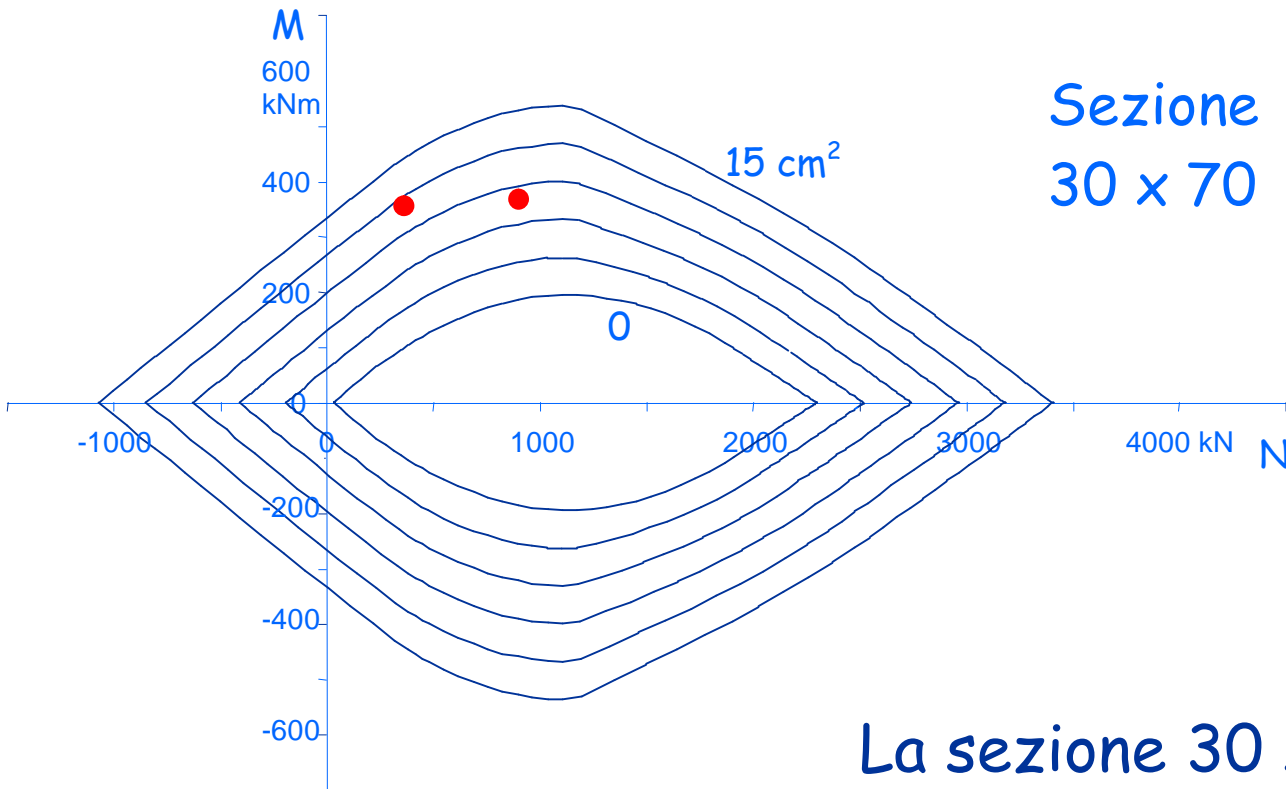
Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	50.7	121.6	40.6
4	968.2	89.4	214.5	112.1
3	1285.3	118.6	284.7	166.4
2	1500.9	138.5	332.4	205.7
1 testa	1593.8	147.1	317.7	216.7
piede			370.7	

Sezione più sollecitata

Verifica pilastri

(Nota: i pilastri sono tutti uguali)

Utilizzando il dominio M-N



$$M = 371 \text{ kNm}$$

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

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

Sezione
30 x 70

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

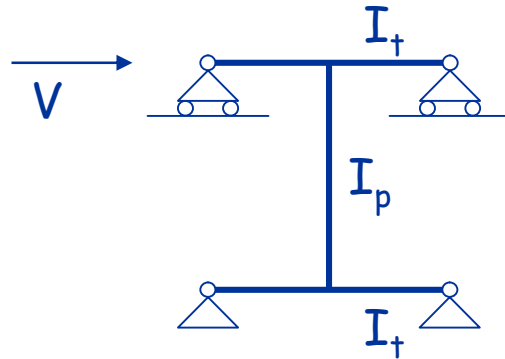
$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p}$$

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

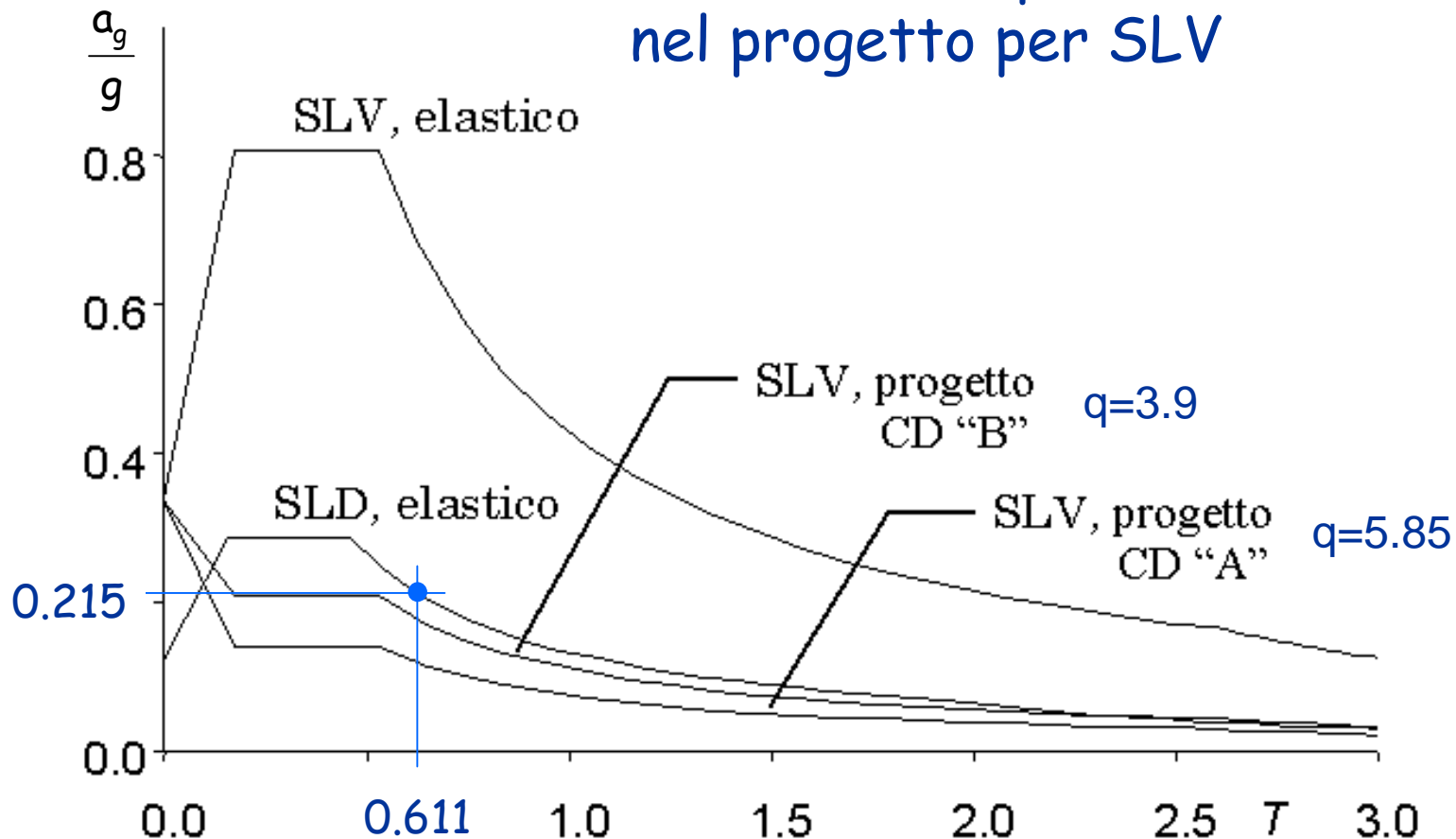
$$d_r = \frac{V h_r^3}{12 E \sum I_p} \left[1 + \frac{l_{media}}{h_r} \left(\frac{\sum I_p}{\sum I_{t,sup}} + \frac{\sum I_p}{\sum I_{t,inf}} \right) \frac{1}{2} \right]$$

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	11.148×10^6
Travi 5° impalcato 30x50	312500	15	4.687×10^6
Travi piano tipo 30x60	540000	15	8.100×10^6

$$E_c = 31500 \text{ MPa}$$

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

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

Dimensionamento e verifica di massima
di 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

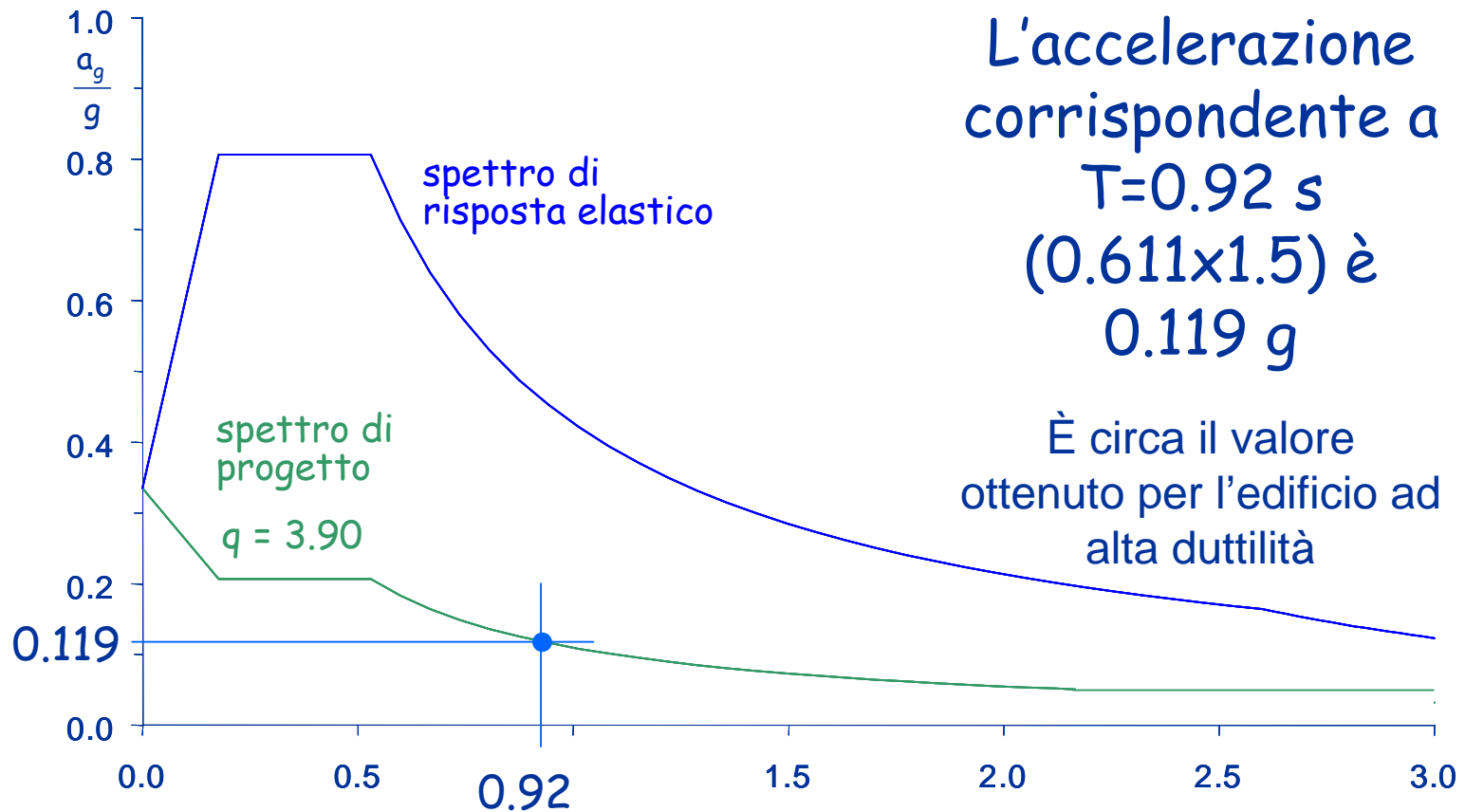
$$K_R = 1.0$$

la struttura è regolare in altezza

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

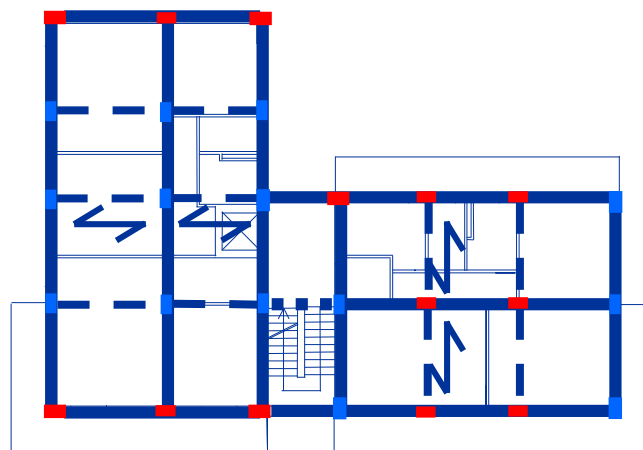
Ipotizzo che i pilastri di piatto valgano, rispetto a quelli di coltello:

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 × 1.0	27
4	13	14 × 1.0	27
3	13	14 × 1.0	27
2	13	14 × 0.6	21.4
1	13	14 × 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 - incremento per eccentricità

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 - incremento per eccentricità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)
5	549.6	24.5
4	968.2	43.1
3	1285.3	57.1
2	1500.9	84.1
1	1593.8	121.1

+20%

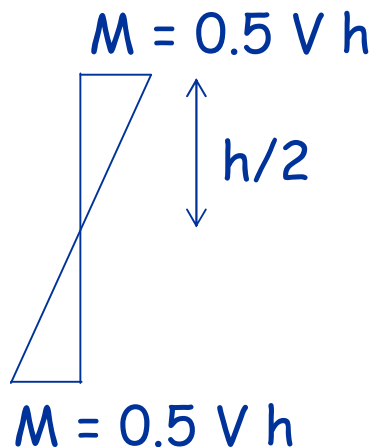
Caratteristiche della sollecitazione

3 - momento nei pilastri

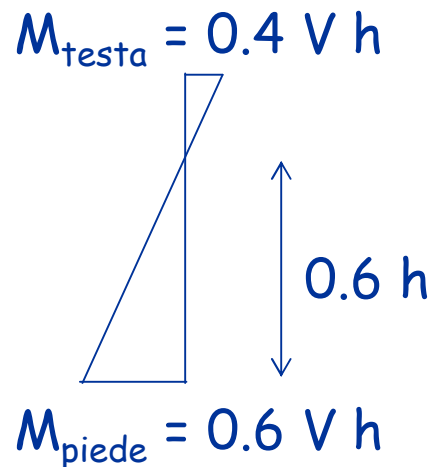
In questo caso il punto di nullo è spostato

Ipotizzo:

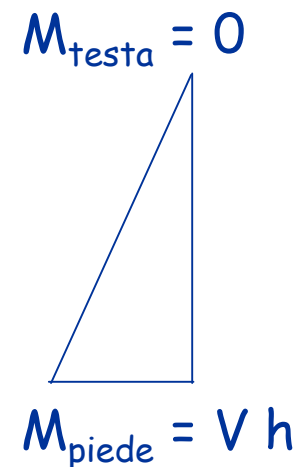
ai piani superiori



al secondo ordine



al primo ordine



Caratteristiche della sollecitazione

3 - momento nei pilastri

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)
5	549.6	24.5	39.2
4	968.2	43.1	69.0
3	1285.3	57.1	91.4
2 testa	1500.9	84.1	107.6
piede			161.5
1 testa	1593.8	121.1	0
piede			436.0

$$M = V h / 2$$

$$M = V 0.4 h$$

$$M = V 0.6 h$$

$$M = V h$$

Caratteristiche della sollecitazione

4 - momento nelle travi

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	24.5	39.2	19.6
4	968.2	43.1	69.0	54.1
3	1285.3	57.1	91.4	80.2
2 testa	1500.9	84.1	107.6	99.5
piede			161.5	
1 testa	1593.8	121.1	0	80.8
piede			436.0	

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

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

Caratteristiche della sollecitazione

5 - gerarchia delle resistenze

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	

Moltiplicati
per 1.3
per garantire
un
meccanismo
di collasso
globale

Esempio - dimensionamento 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 - dimensionamento travi a spessore

Dati:

Sezione rettangolare

b = da determinare

$h = 28 \text{ cm}$

$c = 4 \text{ cm}$

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

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

Calcolo della larghezza

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

sezione: 90x28

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

Verifica pilastri

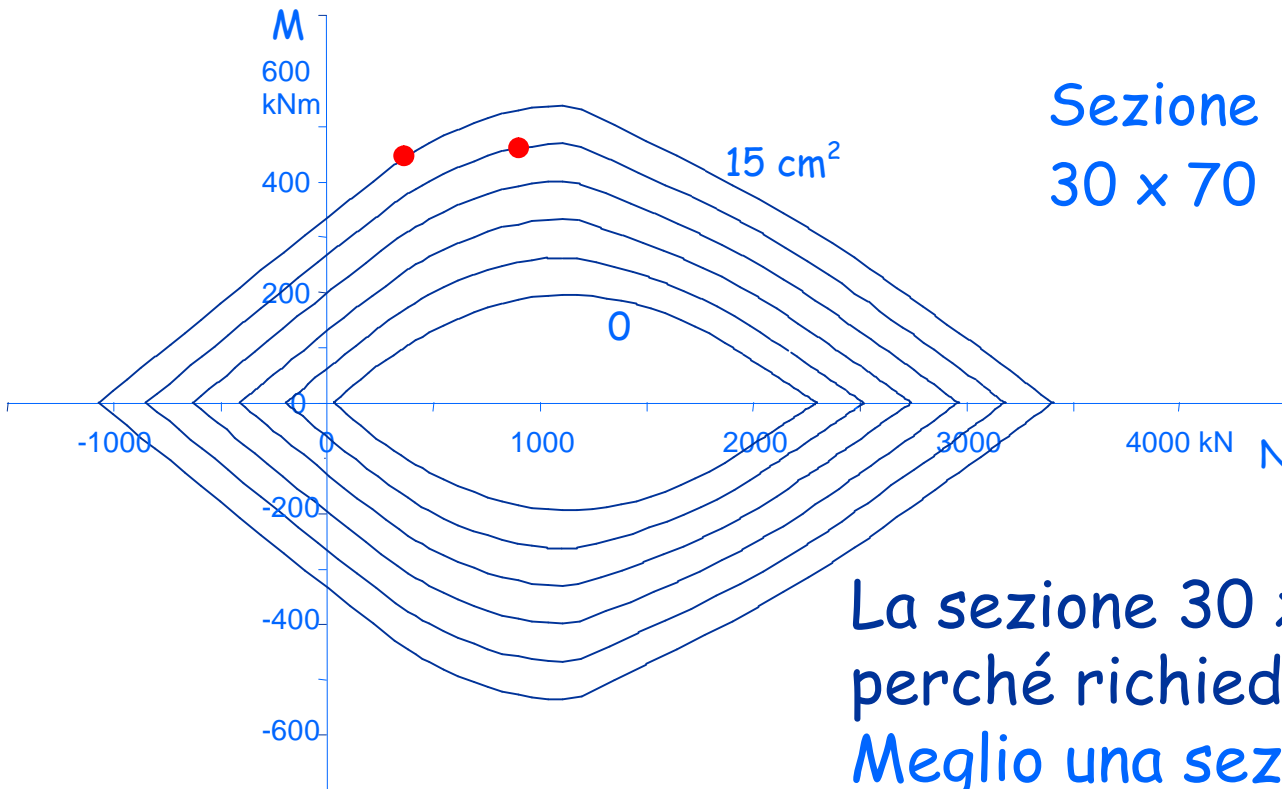
Utilizzando il dominio M-N

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

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

Sezione
30 x 70

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



occorrerebbero
6 Ø20 per lato

La sezione 30 x 70 non va bene,
perché richiede molta armatura
Meglio una sezione 30 x 80
oppure 40x70