

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**Problemi specifici nel progetto di strutture
antisismiche con pareti in c.a.**

13 - Calcolo delle armature di travi e pilastri

Spoletto
10-11 maggio 2012
Aurelio Ghersi

Processo progettuale

- ✓ 1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione
- ✓ 2. Impostazione della carpenteria dell'edificio
- ✓ 3. Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima della struttura
- ✓ 4. Analisi strutturale dettagliata e verifica del comportamento della struttura
5. Definizione delle armature

Elementi principali e secondari

7.2.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI "SECONDARI" ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

Alcuni elementi strutturali possono venire considerati "secondari". Sia la rigidezza che la resistenza di tali elementi vengono ignorate nell'analisi della risposta e tali elementi vengono progettati per resistere ai soli carichi verticali. Tali elementi tuttavia devono essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali; pertanto, limitatamente al soddisfacimento di tale requisito, agli elementi "secondari" si applicano i particolari costruttivi definiti per gli elementi strutturali.

In nessun caso la scelta degli elementi da considerare secondari può determinare il passaggio da struttura "irregolare" a struttura "regolare", né il contributo alla rigidezza totale sotto azioni orizzontali degli elementi secondari può superare il 15% della analoga rigidezza degli elementi principali.

Con l'esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati.

La rigidezza di travi e pilastri è tanto minore di quella della pareti da poter essere considerati secondari?

Distribuzione del taglio analisi statica - forze in direzione x

| Piano | Taglio totale (kN) | Taglio pareti (kN) | Taglio telai (kN) | Perc. Taglio pareti (kN) | Perc. Taglio telai (kN) |
|-------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| 6 | 1172.7 | 536.27 | 636.4 | 45.7% | 54.3% |
| 5 | 2205.7 | 1675.54 | 530.2 | 76.0% | 24.0% |
| 4 | 2988.3 | 2468.2 | 520.1 | 82.6% | 17.4% |
| 3 | 3520.4 | 3089.11 | 431.3 | 87.7% | 12.3% |
| 2 | 3802.1 | 3594.05 | 208.1 | 94.5% | 5.5% |

Travi e pilastri portano un'aliquota del taglio sismico superiore al 15% agli ultimi tre piani

Distribuzione del taglio analisi statica - forze in direzione y

| Piano | Taglio totale (kN) | Taglio pareti (kN) | Taglio telai (kN) | Perc. Taglio pareti (kN) | Perc. Taglio telai (kN) |
|-------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| 6 | 1172.7 | 416.1 | 756.6 | 35.5% | 64.5% |
| 5 | 2205.7 | 1576.4 | 629.3 | 71.5% | 28.5% |
| 4 | 2988.3 | 2361.5 | 626.9 | 79.0% | 21.0% |
| 3 | 3520.4 | 2993.8 | 526.7 | 85.0% | 15.0% |
| 2 | 3802.1 | 3550.4 | 251.6 | 93.4% | 6.6% |

Anche per forze in direzione y, travi e pilastri portano un'aliquota del taglio sismico superiore al 15% agli ultimi tre piani

Progetto di travi e pilastri

Come per le strutture intelaiate nei piani in cui travi e pilastri contribuiscono in maniera rilevante a portare il sisma (piani 4, 5 e 6)

Le travi sono elementi duttili se si plasticizzano a flessione



L'armatura a flessione delle travi deve essere definita in base ai risultati del calcolo



Tutto il resto (armatura a taglio delle travi, armatura a flessione e a taglio dei pilastri) è definito a partire dall'armatura a flessione delle travi

Progetto di travi e pilastri

Per gli altri piani, applicherei comunque i criteri di gerarchia delle resistenze ma solo quando non comportano armature eccessive



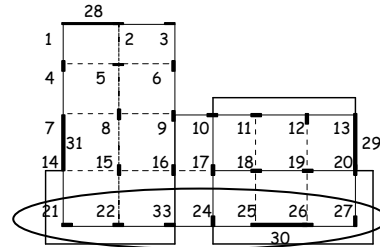
Definisco l'armatura a flessione delle travi in base ai risultati del calcolo



Per armatura a taglio delle travi, armatura a flessione e a taglio dei pilastri, applicherei comunque i criteri di gerarchia delle resistenze ma solo quando non comportano armature eccessive

Effetti della fessurazione delle pareti momento flettente delle travi

Si esamina la trave 21-27 del penultimo piano (dove l'effetto del sisma sulle travi è più forte)



Trave 21-27 (pareti integre) momento flettente per schemi di carico base

| | q max | q min | Fx | Fy | M(Fx) | M(Fy) |
|----|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 21 | -68.02 | -43.82 | 65.86 | 4.07 | 3.19 | 4.69 |
| 22 | -50.51 | -32.13 | -58.70 | -3.62 | -2.84 | -4.18 |
| 22 | -47.25 | -29.98 | 62.17 | 3.82 | 3.01 | 4.43 |
| 23 | -49.72 | -32.06 | -61.08 | -3.76 | -2.96 | -4.35 |
| 23 | -36.37 | -23.21 | 65.69 | 3.99 | 3.18 | 4.68 |
| 24 | -29.69 | -19.36 | -32.50 | -1.97 | -1.57 | -2.31 |
| 24 | -14.27 | -8.79 | 85.49 | 5.21 | 4.14 | 6.09 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -91.42 | -5.52 | -4.43 | -6.51 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -91.42 | -5.52 | -4.43 | -6.51 |
| 30 | -421.47 | -265.11 | -282.21 | -17.10 | -13.66 | -20.10 |
| 30 | -425.30 | -266.15 | 250.26 | 15.20 | 12.12 | 17.83 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 85.34 | 5.17 | 4.13 | 6.08 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 85.34 | 5.17 | 4.13 | 6.08 |
| 27 | -25.60 | -16.18 | -91.59 | -5.59 | -4.43 | -6.52 |

Trave 21-27 (pareti integre) momento flettente

| | q max | q min | Fx | Fy | M(Fx) | M(Fy) | sisma x | sisma y | x+0.3 y |
|----|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 21 | -68.02 | -43.82 | 65.86 | 4.07 | 3.19 | 4.69 | 69.9 | 8.8 | 72.6 |
| 22 | -50.51 | -32.13 | -58.70 | -3.62 | -2.84 | -4.18 | -62.3 | -7.8 | -64.7 |
| 22 | -47.25 | -29.98 | 62.17 | 3.82 | 3.01 | 4.43 | 66.0 | 8.3 | 68.5 |
| 23 | -49.72 | -32.06 | -61.08 | -3.76 | -2.96 | -4.35 | -64.8 | -8.1 | -67.3 |
| 23 | -36.37 | -23.21 | 65.69 | 3.99 | 3.18 | 4.68 | 69.7 | 8.7 | 72.3 |
| 24 | -29.69 | -19.36 | -32.50 | -1.97 | -1.57 | -2.31 | -34.5 | -4.3 | -35.8 |
| 24 | -14.27 | -8.79 | 85.49 | 5.21 | 4.14 | 6.09 | 90.7 | 11.3 | 94.1 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -91.42 | -5.52 | -4.43 | -6.51 | -96.9 | -12.0 | -100.6 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -91.42 | -5.52 | -4.43 | -6.51 | -96.9 | -12.0 | -100.6 |
| 30 | -421.47 | -265.11 | -282.21 | -17.10 | -13.66 | -20.10 | -299.3 | -37.2 | -310.5 |
| 30 | -425.30 | -266.15 | 250.26 | 15.20 | 12.12 | 17.83 | 265.5 | 33.0 | 275.4 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 85.34 | 5.17 | 4.13 | 6.08 | 90.5 | 11.3 | 93.9 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 85.34 | 5.17 | 4.13 | 6.08 | 90.5 | 11.3 | 93.9 |
| 27 | -25.60 | -16.18 | -91.59 | -5.59 | -4.43 | -6.52 | -97.2 | -12.1 | -100.8 |

Trave 21-27 (pareti integre) momento flettente

| | q max | q min | sisma | q _{min} +sisma | q _{min} +sisma |
|----|---------|---------|--------|-------------------------|-------------------------|
| 21 | -68.02 | -43.82 | 72.6 | 28.7 | -116.4 |
| 22 | -50.51 | -32.13 | -64.7 | -96.8 | 32.5 |
| 22 | -47.25 | -29.98 | 68.5 | 38.5 | -98.4 |
| 23 | -49.72 | -32.06 | -67.3 | -99.3 | 35.2 |
| 23 | -36.37 | -23.21 | 72.3 | 49.1 | -95.5 |
| 24 | -29.69 | -19.36 | -35.8 | -55.1 | 16.4 |
| 24 | -14.27 | -8.79 | 94.1 | 85.3 | -102.9 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -100.6 | -116.0 | 85.2 |
| 25 | -23.83 | -15.39 | -100.6 | -201.9 | 98.5 |
| 30 | -421.47 | -265.11 | -310.5 | -575.6 | 45.4 |
| 30 | -425.30 | -266.15 | 275.4 | 9.2 | -541.5 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 93.9 | 88.6 | -185.0 |
| 26 | -16.88 | -10.52 | 93.9 | 83.4 | -104.4 |
| 27 | -25.60 | -16.18 | -100.8 | -117.0 | 84.6 |

Trave 21-27 (pareti fessurate) momento flettente

| | q max | q min | Fx | Fy | M(Fx) | M(Fy) | sisma x | sisma y | x+0.3 y |
|----|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 21 | -68.11 | -43.87 | 89.21 | 14.37 | 4.83 | 7.11 | 103.6 | 21.5 | 110.0 |
| 22 | -50.41 | -32.06 | -79.52 | -12.80 | -4.31 | -6.34 | -92.3 | -19.1 | -98.1 |
| 22 | -47.14 | -29.90 | 84.24 | 13.54 | 4.56 | 6.72 | 97.8 | 20.3 | 103.9 |
| 23 | -49.94 | -32.21 | -82.68 | -13.30 | -4.48 | -6.59 | -96.0 | -19.9 | -101.9 |
| 23 | -37.18 | -23.73 | 89.61 | 14.29 | 4.85 | 7.14 | 103.9 | 21.4 | 110.3 |
| 24 | -31.98 | -20.81 | -44.32 | -7.02 | -2.40 | -3.53 | -51.3 | -10.6 | -54.5 |
| 24 | -23.60 | -14.70 | 116.55 | 18.73 | 6.32 | 9.29 | 135.3 | 28.0 | 143.7 |
| 25 | -15.83 | -10.32 | -125.49 | -20.10 | -6.80 | -10.00 | -145.6 | -30.1 | -154.6 |
| 25 | -15.83 | -10.32 | -125.49 | -20.10 | -6.80 | -10.00 | -217.2 | -44.9 | -230.7 |
| 30 | -394.78 | -248.21 | -386.52 | -61.98 | -20.94 | -30.82 | -448.5 | -92.8 | -476.3 |
| 30 | -404.64 | -253.05 | 344.38 | 55.25 | 18.66 | 27.46 | 399.6 | 82.7 | 424.4 |
| 26 | -9.79 | -6.02 | 117.70 | 18.87 | 6.38 | 9.39 | 198.8 | 41.1 | 211.1 |
| 26 | -9.79 | -6.02 | 117.70 | 18.87 | 6.38 | 9.39 | 136.6 | 28.3 | 145.1 |
| 27 | -33.07 | -20.92 | -125.45 | -20.15 | -6.80 | -10.00 | -145.6 | -30.2 | -154.6 |

Trave 21-27 (pareti fessurate) momento flettente

| | q max | q min | sisma | q _{min} +sisma | q _{min} +sisma |
|----|---------|---------|--------|-------------------------|-------------------------|
| 21 | -68.11 | -43.87 | 110.0 | 66.2 | -153.9 |
| 22 | -50.41 | -32.06 | -98.1 | -130.1 | 66.0 |
| 22 | -47.14 | -29.90 | 103.9 | 74.0 | -133.8 |
| 23 | -49.94 | -32.21 | -101.9 | -134.2 | 69.7 |
| 23 | -37.18 | -23.73 | 110.3 | 86.6 | -134.1 |
| 24 | -31.98 | -20.81 | -54.5 | -75.3 | 33.7 |
| 24 | -23.60 | -14.70 | 143.7 | 129.0 | -158.4 |
| 25 | -15.83 | -10.32 | -154.6 | -164.9 | 144.3 |
| 25 | -15.83 | -10.32 | -230.7 | -274.5 | 186.8 |
| 30 | -394.78 | -248.21 | -476.3 | -724.6 | 228.1 |
| 30 | -404.64 | -253.05 | 424.4 | 171.4 | -677.5 |
| 26 | -9.79 | -6.02 | 211.1 | 169.4 | -252.8 |
| 26 | -9.79 | -6.02 | 145.1 | 139.0 | -151.1 |
| 27 | -33.07 | -20.92 | -154.6 | -175.6 | 133.7 |

Trave 21-27 - confronto momento flettente negativo

| | Parete integra | Parete fessurata | Rapporto |
|----|----------------|------------------|----------|
| 21 | -116.4 | -153.9 | 1.32 |
| 22 | -96.8 | -130.1 | 1.34 |
| 22 | -98.4 | -133.8 | 1.36 |
| 23 | -99.3 | -134.2 | 1.35 |
| 23 | -95.5 | -134.1 | 1.40 |
| 24 | -55.1 | -75.3 | 1.37 |
| 24 | -102.9 | -158.4 | 1.54 |
| 25 | -116.0 | -164.9 | 1.42 |
| 25 | -201.9 | -274.5 | |
| 30 | -575.6 | -724.6 | |
| 30 | -541.5 | -677.5 | |
| 26 | -185.0 | -252.8 | |
| 26 | -104.4 | -151.1 | 1.45 |
| 27 | -117.0 | -175.6 | 1.50 |

L'incremento
varia tra il 32%
ed il 50%

Definizione delle armature - travi

Primo passo armatura a flessione delle travi

- Faccio riferimento ai risultati ottenuti dal modello di calcolo con pareti fessurate
- Per la verifica delle sezioni si usano le formule tradizionali

$$M = \frac{b d^2}{r^2}$$

Trave 21-27 verifica della sezione

Momento sollecitante massimo (negativo):
 $M_{Ed} = 164.9$ (a filo parete)

Momento resistente:
con semplice armatura $M = \frac{b d^2}{r^2} = 168.7$ kNm
($r = 0.0194$)

La sezione è accettabile anche a semplice armatura, ma metteremo comunque una discreta armatura in compressione

Primo passo armatura a flessione delle travi

- Faccio riferimento ai risultati ottenuti dal modello di calcolo con pareti fessurate
- Per il progetto delle armature si usano le formule tradizionali

$$A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}}$$

Campata 24-25 progetto dell'armatura longitudinale

Momento sollecitante (negativo): $M_{Ed} = 164.9 \text{ kNm}$

Area di ferro: $A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}} = 10.2 \text{ cm}^2$

Momento sollecitante (positivo): $M_{Ed} = 144.3 \text{ kNm}$

Area di ferro: $A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}} = 8.9 \text{ cm}^2$

Armatura: 3 Ø20 + 1 Ø14 sup 3 Ø20 inf
(accettabile)

Progetto dell'armatura longitudinale limiti di normativa

Posto: $\rho = \frac{A_s}{b h}$ $\rho_{comp} = \frac{A_{s,comp}}{b h}$

Deve essere: $\frac{1.4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3.5}{f_{yk}}$

Nel caso in esame questo implica che

$$4.7 \text{ cm}^2 < A_s < A_{s,comp} + 11.7 \text{ cm}^2$$

La condizione è soddisfatta

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.1

Progetto dell'armatura longitudinale limiti di normativa

Ulteriori prescrizioni:

- Disporre sempre almeno 2 Ø14 sia sup. che inf.
- Armatura compressa almeno pari al 25% della armatura tesa, sempre, e al 50% della armatura tesa, nelle "zone critiche"
- Armatura superiore, sempre almeno 1/4 dell'armatura massima disposta agli estremi

Zona critica - dal filo pilastro un tratto pari a:

h_{trave} per DC"B"

1.5 h_{trave} per DC"A"

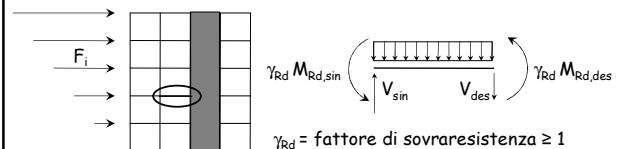
NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.1

punto 7.4.6.1.1

Secondo passo armatura a taglio delle travi

Gerarchia delle resistenze

non si deve avere rottura a taglio;
quindi il taglio si ricava non dall'analisi strutturale ma da condizioni limite di equilibrio



$\gamma_{Rd} = \text{fattore di sovrarresistenza} \geq 1$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.1.1

Secondo passo armatura a taglio delle travi

Gerarchia delle resistenze

non si deve avere rottura a taglio;
quindi il taglio si ricava non dall'analisi strutturale ma da condizioni limite di equilibrio

$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,sin} + M_{Rd,des}}{l}$$

$\gamma_{Rd} = 1$ per CD"B"

$\gamma_{Rd} = 1.2$ per CD"A"

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.1.1

Campata 24-25 sollecitazioni di calcolo

Esempio

sinistra
sup. 3 Ø20 + 1 Ø14
inf. 3 Ø20

$q = 33.3 \text{ kN/m}$
destra
sup. 3 Ø20 + 1 Ø14
inf. 3 Ø20

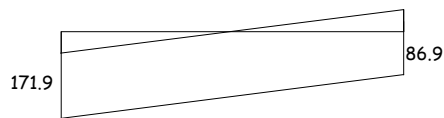
$M_{Rd} \text{ (kNm)}$

-177.6
+152.6

-177.6
+152.6

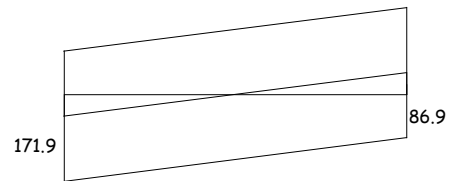
$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{33.3 \times 2.55}{2} + 1.0 \frac{152.6 + 177.6}{2.55} = 42.5 + 129.4 = 171.9 \text{ kN}$$

Taglio sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{33.3 \times 2.55}{2} + 1.0 \frac{152.6 + 177.6}{2.55} = 42.5 + 129.4 = 171.9 \text{ kN}$$

Taglio sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{33.3 \times 2.55}{2} + 1.0 \frac{177.6 + 152.6}{2.55} = 42.5 + 129.4 = 171.9 \text{ kN}$$

Armature trasversali (staffe)

Nel caso in esame si ha:

$$V = 171.9 \text{ kN}$$

che richiede $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{171.9 \times 10}{0.9 \times 0.46 \times 391.3 \times 2} = 5.3 \text{ cm}^2/\text{m}$ CD"B

Si possono disporre $\varnothing 8 / 15 \text{ cm}$ a due bracci che forniscono $6.7 \text{ cm}^2/\text{m}$

Rispetto il limite di normativa $s < 33 \text{ cm}$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punti 4.1.6.1.1 e 7.4.4.1.2.2

Armature trasversali (staffe)

Prescrizioni di normativa:

La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non maggiore della più piccola delle grandezze seguenti:

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale
- 24 \varnothing staffe
- 225 mm (per DC"B") 175 mm (per DC"A")
- 8 $\varnothing_{min, tra}$ (per DC"B") 6 $\varnothing_{min, tra}$ (per DC"A")

Nel caso in esame (CD"B") $8 \times 1.4 = 11.2 \text{ cm}$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.1

Armature trasversali (staffe)

Nel caso in esame si ha:

$$V = 171.9 \text{ kN}$$

che richiede $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{171.9 \times 10}{0.9 \times 0.46 \times 391.3 \times 2} = 5.3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Si possono disporre $\varnothing 8 / 10 \text{ cm}$ a quattro bracci alle estremità
($\varnothing 8 / 15 \text{ cm}$ nella parte centrale della campata)

Verifica della sezione in cls

Nel caso in esame si ha:

$$V_{Ed} = 171.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9 d b_w f'_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0.9 \times 0.46 \times 0.3 \times 0.5 \times 14.2 \times \frac{2}{1 + 4} \times 10^3 = 352.7 \text{ kN} > V_{Ed}$$

$$f'_{cd} = 0.5 f_{cd}$$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punti 7.4.4.2.2.2 e 4.1.2.1.3

Definizione delle armature - pilastri

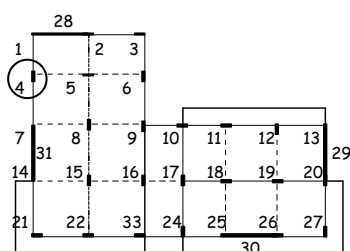
Primo passo armatura a pressoflessione dei pilastri

Per la sezione alla base e in testa all'ultimo piano si usano i valori derivanti dall'analisi

Altrove si dovrebbe usare il criterio di gerarchia delle resistenze, ma solo ai piani in cui il pilastro è realmente rilevante

Pilastri esaminati (come esempio)

Si esamina il pilastro 4



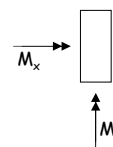
Pilastro 4, piede del piano 2 alla base non occorre gerarchia delle resistenze

Schemi di carico base

| | q min | Fx | Fy | M(Fx) | M(Fy) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M_x | 0.2 | 12.0 | -57.5 | 4.0 | 5.9 |
| M_y | 13.2 | -7.8 | 0.8 | 0.4 | 0.6 |
| N | 938.6 | -65.0 | 101.4 | -5.4 | -7.9 |

N positivo = compressione

| Combinazioni | M_x | M_y | N |
|---------------------|-------|-------|---------|
| qmin + SismaX Prev. | 0.7 | 16.8 | -1041.8 |
| qmin - SismaX Prev. | -0.3 | 9.7 | -835.5 |
| qmin + SismaY Prev. | -56.2 | 13.2 | -1069.1 |
| qmin + SismaY Prev. | 56.6 | 13.2 | -808.2 |



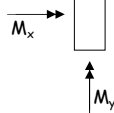
I momenti sono estremamente bassi

Pilastro 4, piano 6

in testa non occorre gerarchia delle resistenze

| Combinazioni | M_x | M_y | N |
|---------------------|--------|-------|-------|
| qmin + SismaX Prev. | 81.0 | -28.0 | 187.5 |
| qmin - SismaX Prev. | -74.7 | -8.9 | 138.7 |
| qmin + SismaY Prev. | 132.5 | -18.4 | 197.4 |
| qmin + SismaY Prev. | -126.3 | -18.4 | 128.8 |

Sezione in testa

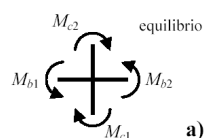
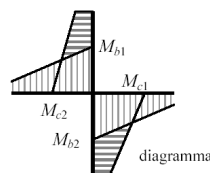


| Combinazioni | M_x | M_y | N |
|---------------------|-------|-------|-------|
| qmin + SismaX Prev. | 62.3 | 21.7 | 187.5 |
| qmin - SismaX Prev. | -68.6 | 7.1 | 138.7 |
| qmin + SismaY Prev. | 105.6 | 14.4 | 197.4 |
| qmin + SismaY Prev. | 105.6 | 14.4 | 128.8 |

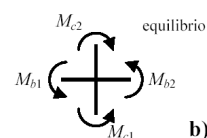
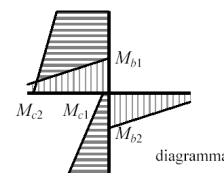
Sezione al piede

Si applica gerarchia delle resistenze

Momenti per equilibrio dei nodi



a)



b)

Criterio di gerarchia delle resistenze

Quando i valori di progetto si ottengono dal criterio di gerarchia delle resistenze

"per ogni nodo trave-pilastro ed ogni direzione e verso dell'azione sismica, la resistenza complessiva dei pilastri deve essere maggiore della resistenza complessiva delle travi amplificata del coefficiente γ_{Rd} in accordo con la formula $\sum M_{c,Rd} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{b,Rd}$ "

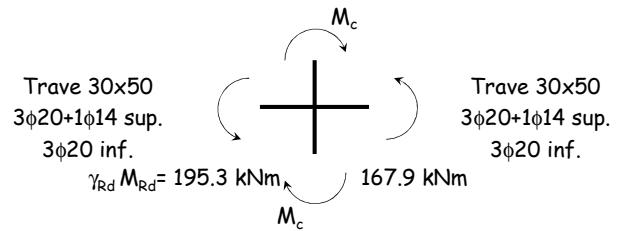
$$\gamma_{Rd} = 1.1 \text{ per CD "B"}$$

$$\gamma_{Rd} = 1.3 \text{ per CD "A"}$$

Nota: non è precisato come ripartire il momento tra pilastro superiore e inferiore

NTC 08, punto 7.4.4.2.1

Nodo pilastro 4, piano 5

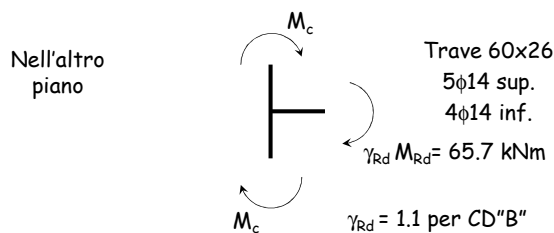


$$\gamma_{Rd} = 1.1 \text{ per CD "B"}$$

Ripartisco in parti uguali perché il taglio è quasi uguale ai piani 5 e 6

$$M_c = \frac{\gamma_{Rd} \sum M_{b,Rd}}{2} = 181.6 \text{ kNm}$$

Nodo pilastro 4, piano 5

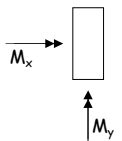


Ripartisco in parti uguali perché il taglio è quasi uguale ai piani 5 e 6

$$M_c = \frac{\gamma_{Rd} M_{b,Rd}}{2} = 32.9 \text{ kNm}$$

Pilastro 4, piano 6

| Sezione | Mx | My | N |
|---------|-------|------|-------|
| Testa | 132.5 | 28.0 | 128.8 |
| Piede | 181.6 | 32.9 | 128.8 |
| Testa | 132.5 | 28.0 | 197.4 |
| Piede | 181.6 | 32.9 | 197.4 |

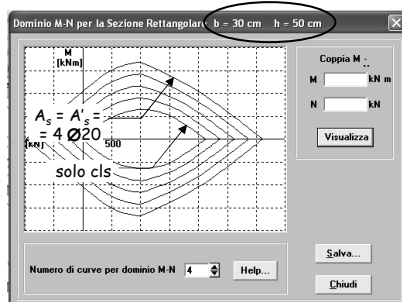
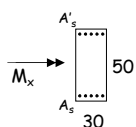


Progetto separatamente a pressoflessione retta le armature dei due lati considerando il momento maggiore tra testa e piede

Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armature

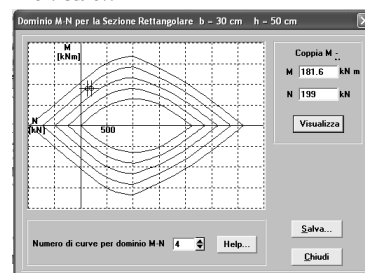
Può essere effettuato separatamente per le due direzioni

Si visualizza bene con domini M-N
Ad esempio col programma EC2



Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armature

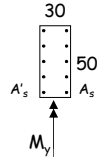
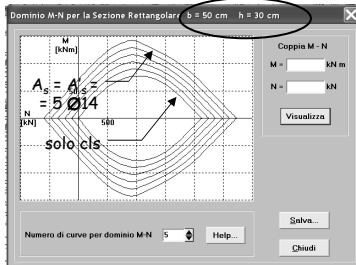
Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



direzione y
 $M_{x,max} = 181.6 \text{ kNm}$
con $N = 129 \div 197 \text{ kN}$
occorrono 3φ20 su ciascun lato corto

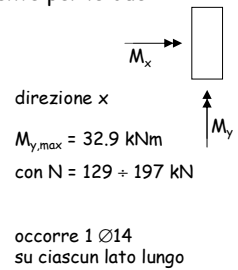
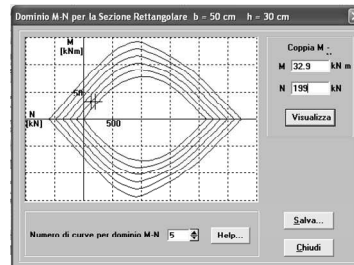
Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



Armatura longitudinale nei pilastri limiti di normativa

Nella sezione corrente del pilastro la percentuale di armatura longitudinale deve essere compresa tra i seguenti limiti:

$$1\% \leq \frac{A_s}{A_c} \leq 4\%$$

con A_s area totale dell'armatura longitudinale e A_c area della sezione lorda del pilastro

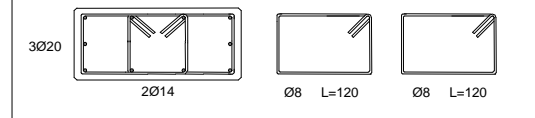
Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm

Per una sezione 30x50: $15 \text{ cm}^2 \leq A_s \leq 60 \text{ cm}^2$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.2

Pilastro 4, piano 6

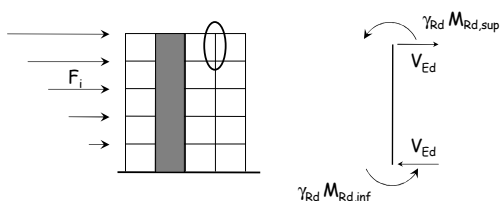
Il pilastro può essere armato con 10 Ø14 (15.4 cm²), con doppia staffa



Visto che l'armatura è stata sovradimensionata è superfluo fare una verifica a pressoflessione deviata

Quarto passo armatura a taglio dei pilastri

Calcolare con gerarchia delle resistenze (analogamente alle travi)



γ_{Rd} = fattore di sovrarresistenza ≥ 1

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.1

Quarto passo armatura a taglio dei pilastri

Calcolare con gerarchia delle resistenze (analogamente alle travi)

$$V = \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,inf} + M_{Rd,sup}}{h_c}$$

Altrimenti cumulo due volte la sovrarresistenza

I momenti resistenti vanno valutati tenendo conto della presenza dello sforzo normale.

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.1

Armatura trasversale nei pilastri limiti di normativa

Zona critica:
dall'estremità del pilastro un tratto pari alla
maggiore delle seguenti quantità:

- il lato maggiore della sezione trasversale
- un sesto dell'altezza netta del pilastro
- 45 cm
- tutto il pilastro, se la sua altezza è inferiore a 3 volte il lato maggiore della sezione

Per il pilastro 30x50: 50 cm

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.1.2

Armatura trasversale nei pilastri limiti di normativa

Nelle zone critiche devono essere rispettate le
condizioni seguenti:

- le barre disposte sugli angoli della sezione devono essere contenute dalle staffe;
- almeno una barra ogni due, di quelle disposte sui lati, dovrà essere trattenuta da staffe interne o da legature;
- le barre non fissate devono trovarsi a meno di 20 cm (CD"B") o 15 cm (CD"A") da una barra fissata

Le staffe disegnate vanno bene

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.2

Armatura trasversale nei pilastri limiti di normativa

Il diametro delle staffe di contenimento e legature
non deve essere inferiore a 6 mm. suggerisco 8 mm
per le staffe

(Nelle zone critiche?) esse saranno disposte ad un
passo pari alla più piccola delle quantità seguenti:

- 1/2 (CD"B") o 1/3 (CD"A") del lato minore della sezione trasversale
- 175 mm (CD"B") o 125 mm (CD"A")
- 8 $\varnothing_{min,lon}$ (per DC"B") o 6 $\varnothing_{min,lon}$ (per CD"A")

Nell'esempio, dove i pilastri sono sismicamente rilevanti (piani
4, 5 e 6), il passo non deve essere superiore a:

11.2 cm (CD"B")

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.2

Armatura trasversale nei pilastri limiti di normativa

Il diametro delle staffe di contenimento e legature
non deve essere inferiore a 6 mm. suggerisco 8 mm
per le staffe

(Nelle zone critiche?) esse saranno disposte ad un
passo pari alla più piccola delle quantità seguenti:

- 1/2 (CD"B") o 1/3 (CD"A") del lato minore della sezione trasversale
- 175 mm (CD"B") o 125 mm (CD"A")
- 8 $\varnothing_{min,lon}$ (per DC"B") o 6 $\varnothing_{min,lon}$ (per DC"A")

Nei tratti di estremità si devono quindi disporre $\varnothing 8 / 10$
e nella parte centrale?

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.2

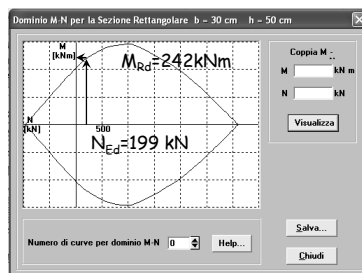
Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

| Sezione | Mx | My | N |
|---------|-------|------|-------|
| Testa | 132.5 | 28.0 | 128.8 |
| Piede | 181.6 | 32.9 | 128.8 |
| Testa | 85.6 | 24.5 | 197.4 |
| Piede | 78.8 | 32.9 | 197.4 |

Per il calcolo del momento resistente considero lo
sforzo normale maggiore

Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

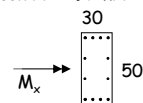
Calcolo dei momenti resistenti dei pilastri
Considero anche le armature sui lati lunghi



Sisma prev. y

$M_{Rd} = 242 \text{ kNm}$

con $N = 197 \text{ kN}$



Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

Armature
inferiore
3 Ø20
di parete
4 Ø14

superiore
3 Ø20

M_{ed} (kNm)
-242
+242

-242
+242

$$V_{Ed} = \frac{M_{rd,inf} + M_{rd,sup}}{h_c} = \frac{242 + 242}{3.00} = 161.3 \text{ kN}$$

Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

Nel caso in esame si ha:

$$V_{Ed} = 161.3 \text{ kN}$$

$$\text{che richiede } \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} \cot \theta} = \frac{161.3 \times 10}{0.9 \times 0.46 \times 391.3 \times 2} = 5.0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Dispongo staffe Ø8 / 15 cm (6.67 cm²/m), che è molto più di quel che serve ma anche in zona non sismica deve essere $s < 12\phi_{min} = 16.8 \text{ cm}$

Nei tratti di estremità si devono disporre Ø8 / 10 per soddisfare i limiti massimi sul passo delle staffe

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.2.2

Pilastro 4, piano 6 verifica a taglio della sezione in cls

Nel caso in esame si ha:

$$V_{Ed} = 161.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = z b_w \alpha_c f_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0.9 \times 0.46 \times 0.3 \times 7.1 \times \frac{2}{1 + 2^2} \times 10^3 = 352.7 \text{ kN}$$

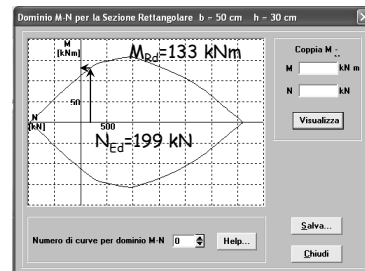
avrei potuto considerare $\alpha_c > 1$ perché ho sforzo normale di compressione

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.2.2

Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

Calcolo dei momenti resistenti dei pilastri

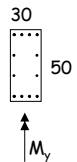
Considero anche le armature sui lati corti



Sisma prev. x

$$M_{y,Rd} = 133 \text{ kNm}$$

$$\text{con } N = 197 \text{ kN}$$



Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

Armature
inferiore
2 Ø20 + 2 Ø14

superiore
2 Ø20 + 2 Ø14

M_{ed} (kNm)
-133
+133

-133
+133

$$V_{Ed} = \frac{M_{rd,inf} + M_{rd,sup}}{h_c} = \frac{133 + 133}{3.00} = 88.7 \text{ kN}$$

Pilastro 4, piano 6 dimensionamento armatura a taglio

Nel caso in esame si ha, ad esempio:

$$V_{Ed} = 88.7 \text{ kN}$$

$$\text{che richiede } \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} \cot \theta} = \frac{88.7 \times 10}{0.9 \times 0.26 \times 391.3 \times 2} = 4.8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Dispongo staffe Ø8 / 15 cm (6.67 cm²/m), che è molto più di quel che serve ma anche in zona non sismica deve essere $s < 12\phi_{min} = 16.8 \text{ cm}$

Nei tratti di estremità si devono disporre Ø8 / 10 per soddisfare i limiti massimi sul passo delle staffe

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.2.2

Pilastro 4, piano 6
verifica a taglio della sezione in cls

Nel caso in esame si ha, ad esempio:

$$V_{Ed} = 88.7 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = z b_w \alpha_c f_{ctd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0.9 \times 0.26 \times 0.5 \times 7.1 \\ \times \frac{2}{1 + 2^2} \times 10^3 = 332.3 \text{ kN}$$

avrei potuto considerare $\alpha_c > 1$ perché ho sforzo normale di compressione

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.2.2.2