

Corso di aggiornamento

Impostazione e controllo del progetto di edifici
antisismici in cemento armato secondo le indicazioni
delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Aula Oliveri, Facoltà di Ingegneria di Catania
17-18 settembre 2009

Corso organizzato da:

Genio Civile di Catania
Prof. Ing. Aurelio Gheresi, Università di Catania

Corso di aggiornamento

Impostazione e controllo del progetto di edifici
antisismici in cemento armato secondo le indicazioni
delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Aula Oliveri, Facoltà di Ingegneria di Catania
17-18 settembre 2009

Sponsor:



Corso di aggiornamento

Impostazione e controllo del progetto di edifici
antisismici in cemento armato secondo le indicazioni
delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Aula Oliveri, Facoltà di Ingegneria di Catania
17-18 settembre 2009

7. Giudizio motivato di accettazione dei risultati:
verifica delle sezioni e gerarchia delle resistenze

Aurelio Ghersi

Gerarchia delle resistenze

Processo progettuale tradizionale

Modellazione della struttura



Risoluzione degli schemi base



Inviluppo dei risultati



~~Definizione delle armature
in base all'inviluppo~~

No: occorre tener conto della
gerarchia delle resistenze

Gerarchia delle resistenze

Travi - elementi duttili, che si devono plasticizzare a flessione durante il sisma per dissipare energia



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

Nota: in realtà è poco influente il fatto che qualche trave sia meno armata e si plasticizzi prima del previsto

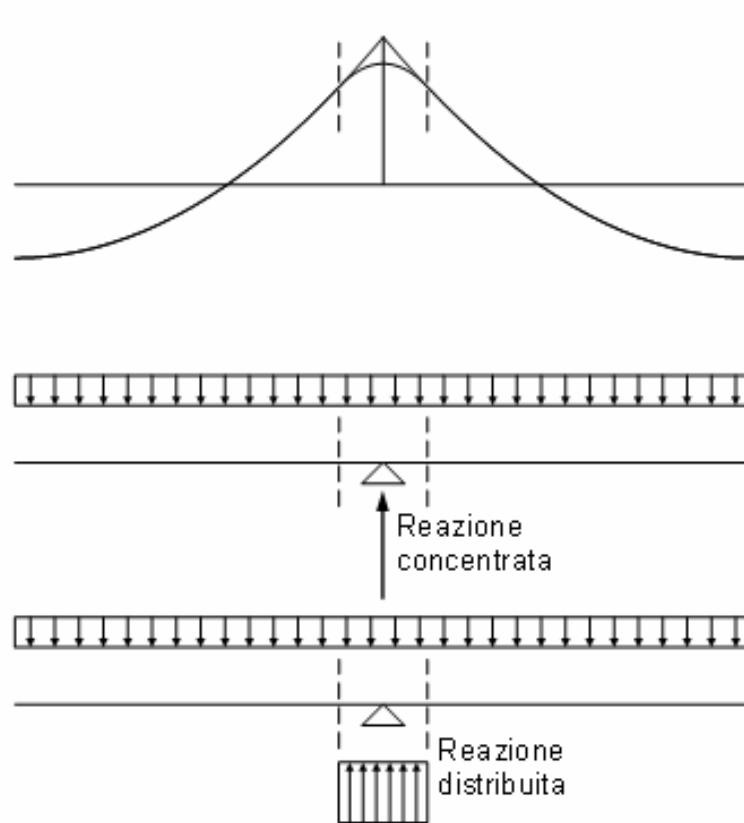


Tutto il resto (armatura a taglio delle travi, armatura a flessione e a taglio dei pilastri) è definito a partire dall'armatura a flessione delle travi

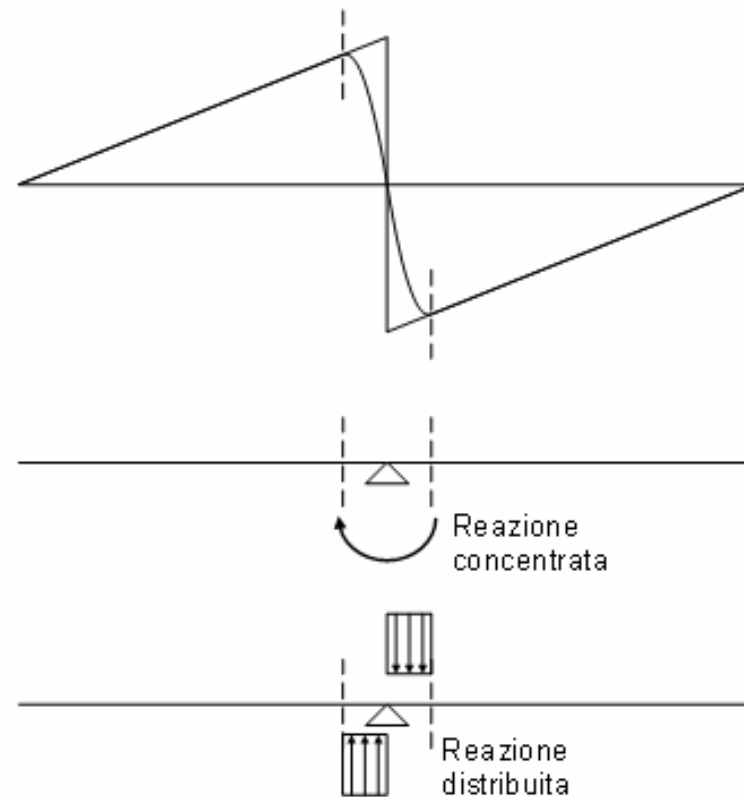
Primo passo armatura a flessione delle travi

- Si parte dall'involuppo dei risultati
 - È possibile far riferimento ai valori a filo pilastro

Quali valori di M ? meglio i valori al filo pilastro



a) carichi verticali



b) azioni orizzontali

Primo passo

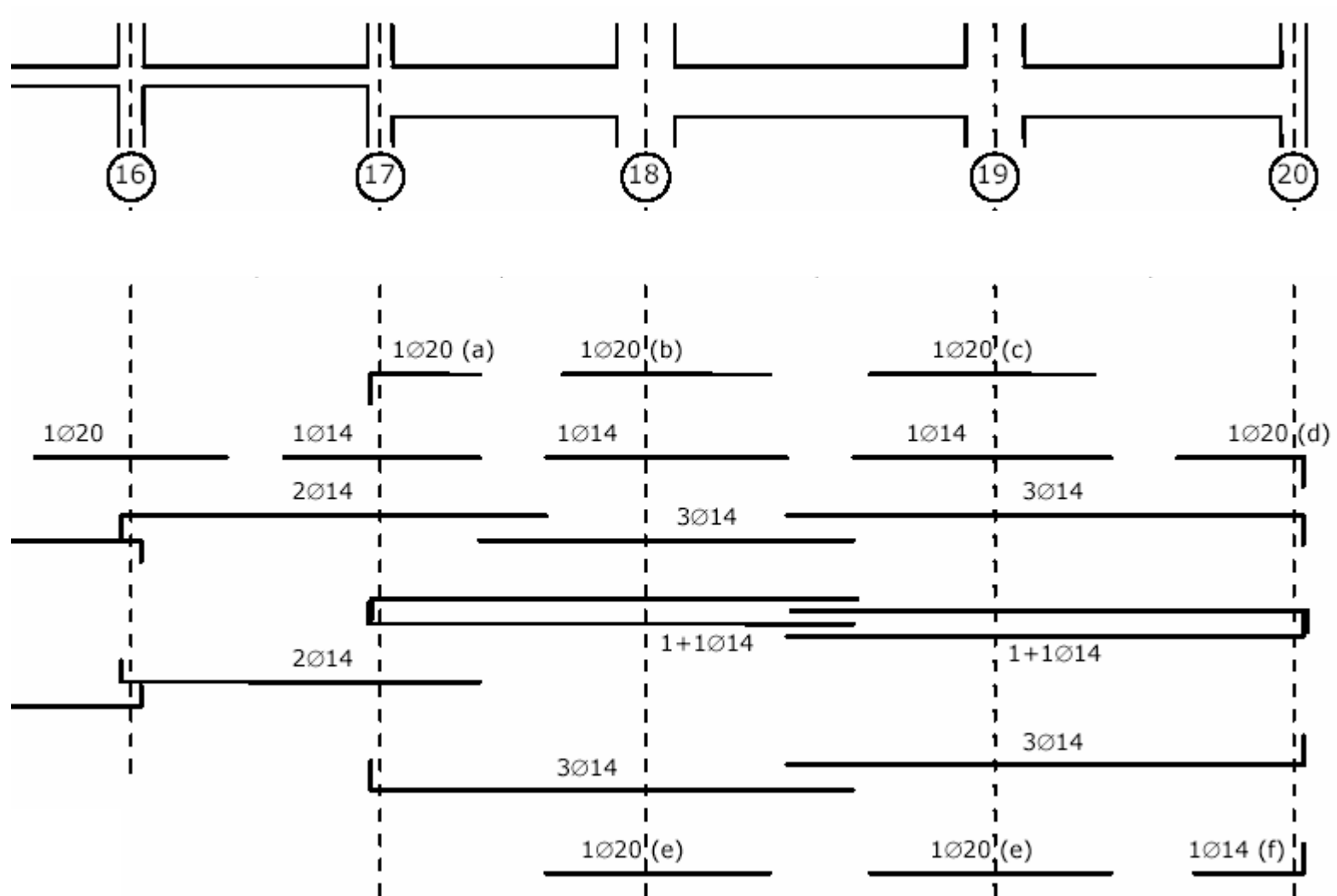
armatura a flessione delle travi

- Si parte dall'involuppo dei risultati
 - È possibile far riferimento ai valori a filo pilastro
- Per il progetto (o il controllo) si usano le formule tradizionali

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

Nota: il diagramma dei momenti risente molto dell'effetto del sisma (forti valori positivi all'appoggio) Questo può condizionare la disposizione delle barre di armatura

Esempio - armature a flessione



Progetto dell'armatura longitudinale limiti di normativa

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

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

Nel caso in esame questo implica che

$$5.86 \text{ cm}^2 < A_s < A_{s, \text{comp}} + 14.65 \text{ cm}^2$$

La condizione è soddisfatta

Progetto dell'armatura longitudinale limiti di normativa

Ulteriori prescrizioni:

- Disporre sempre almeno 2 $\varnothing 14$ 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"

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"

Taglio

sollecitazioni di calcolo (CD "A")

Esempio

a sinistra

sup. 2 Ø20 + 1 Ø140

inf. 3 Ø14

$q=31.7 \text{ kN/m}$

a destra

sup. 3 Ø20

inf. 3 Ø14

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

-154.2

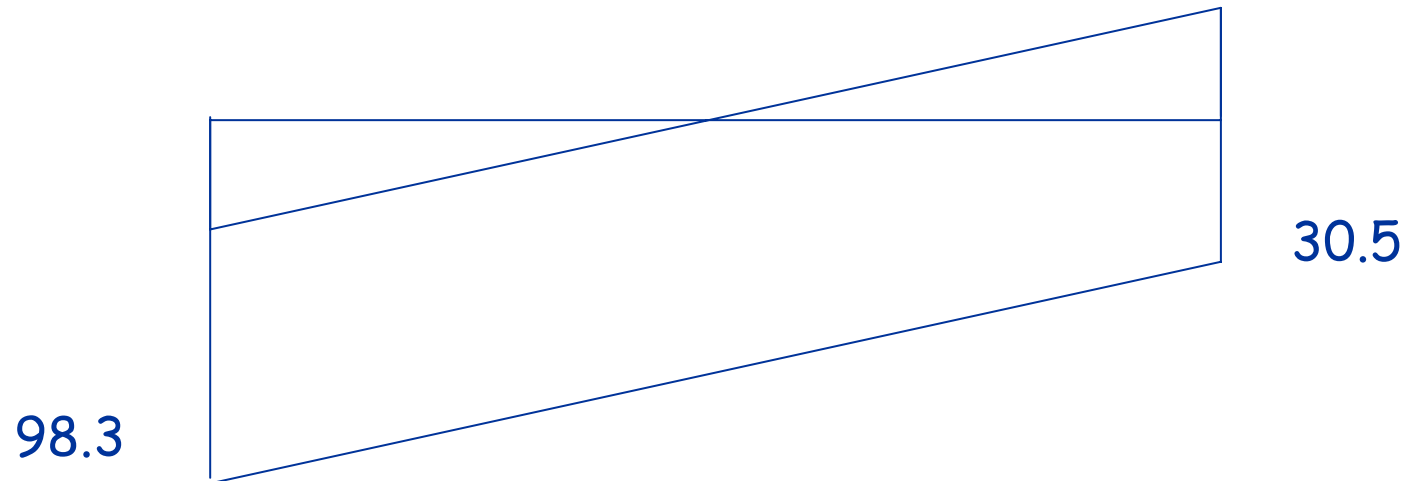
+91.1

-185.9

+91.1

$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{31.7 \times 4.30}{2} + 1.2 \frac{91.1 + 185.9}{4.30} =$$
$$= 33.9 + 64.4 = 98.3 \text{ kN}$$

Taglio sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{31.7 \times 4.30}{2} + 1.2 \frac{91.1 + 185.9}{4.30} =$$
$$= 33.9 + 64.4 = 98.3 \text{ kN}$$

Taglio

sollecitazioni di calcolo (CD "A")

Esempio

a sinistra

sup. 2 Ø20 + 1 Ø140

inf. 3 Ø14

$q=31.7 \text{ kN/m}$

a destra

sup. 3 Ø20

inf. 3 Ø14

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

-154.2

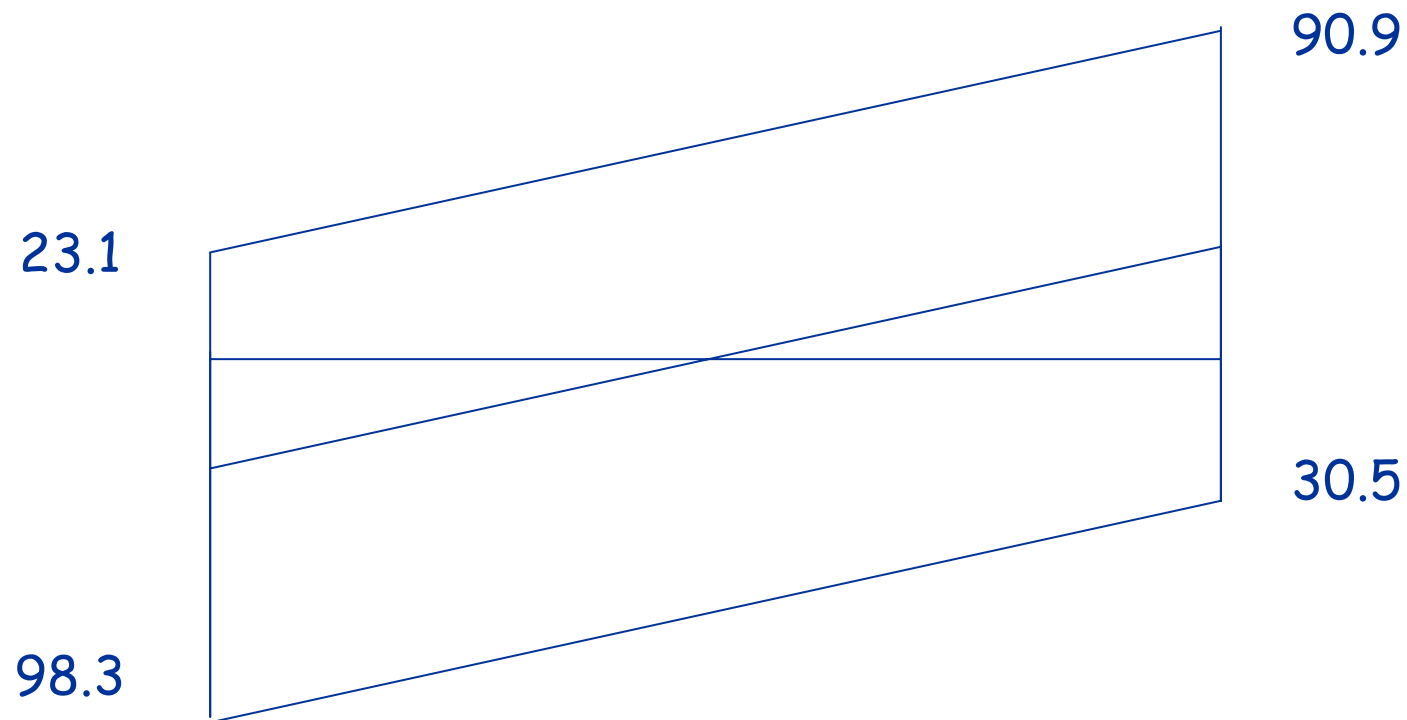
+91.1

-185.9

+91.1

$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{31.7 \times 4.30}{2} + 1.2 \frac{154.2 + 91.1}{4.30} =$$
$$= 33.9 + 57.0 = 90.9 \text{ kN}$$

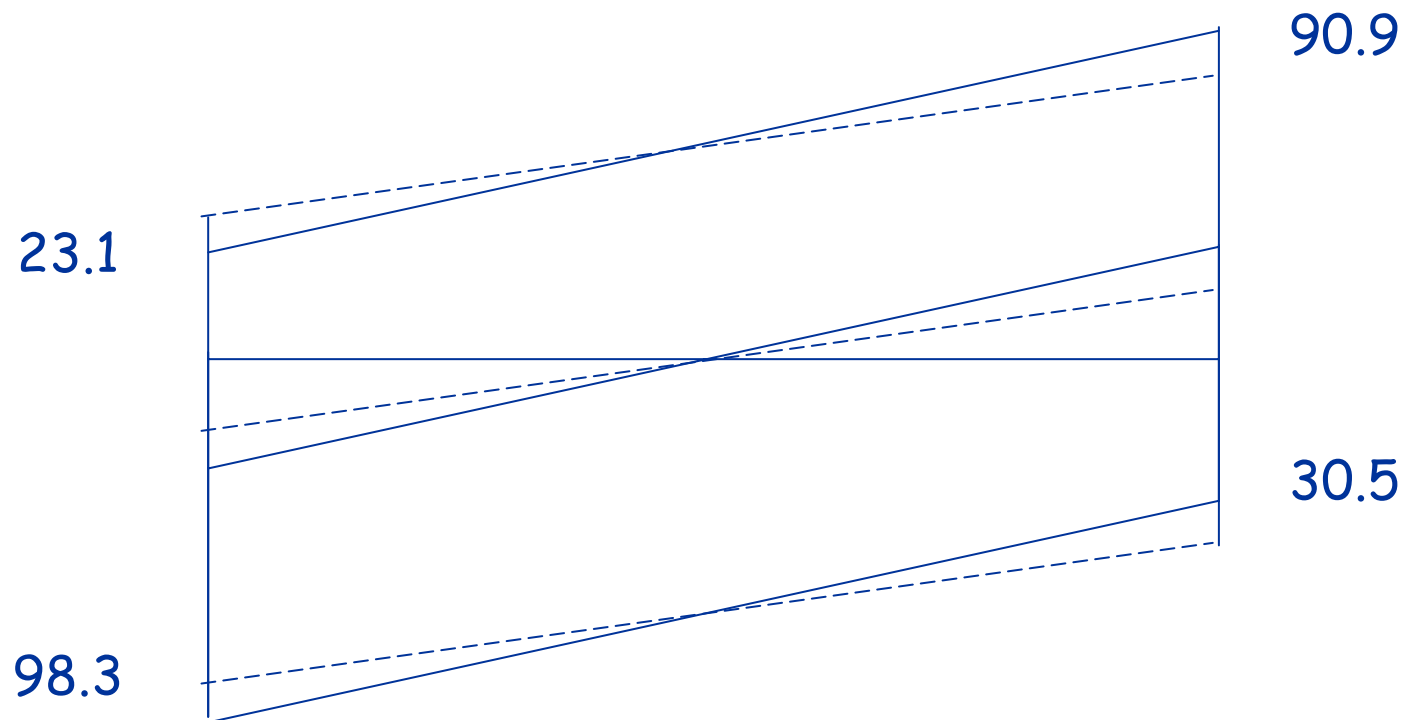
Taglio sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{ql}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{31.7 \times 4.30}{2} + 1.2 \frac{154.2 + 91.1}{4.30} =$$

$$= 33.9 + 57.0 = 90.9 \text{ kN}$$

Taglio sollecitazioni di calcolo



Con solo g (differenze trascurabili)

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
- 225 mm (per DC"B") 175 mm (per DC"A")
- 8 $\varnothing_{\min,tra}$ (per DC"B") 6 $\varnothing_{\min,tra}$ (per DC"A")
- 24 \varnothing_{staffe}

avendo $\varnothing 14$: $8 \times 14 = 112$ mm

Armature trasversali (staffe)

Nel caso in esame si ha, ad esempio (per CD "A"):

$$V = 98.3 \text{ kN}$$

che richiede $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Sd}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{98.3 \times 10}{0.9 \times 0.56 \times 391.3 \times 1} = 4.98 \text{ cm}^2/\text{m}$

Si possono disporre $\varnothing 8 / 10 \text{ cm}$ alle estremità
($\varnothing 8 / 20 \text{ cm}$ nella parte centrale della campata)

Dovrebbero essere $\varnothing 8 / 8.4$ per i limiti minimi

Nota: per CD "B" si può usare $\cot \theta = 2$

per CD "A" si deve usare $\cot \theta = 1$

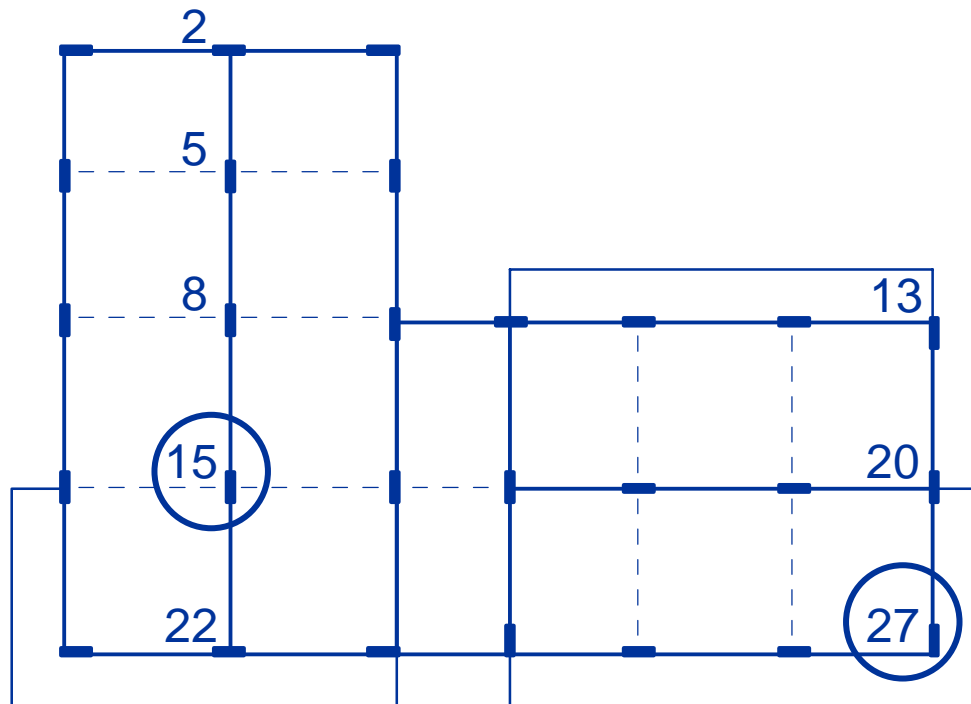
NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.1.2.2

Terzo passo armatura a pressoflessione dei pilastri

Per la sezione alla base e in testa all'ultimo piano si usano i valori di calcolo

Pilastri esaminati (come esempio)

Si esaminano i pilastri 15 e 27



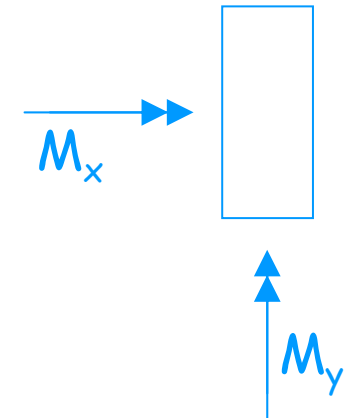
Pilastro 15, base del I ordine (CD "A")

alla base non occorre gerarchia delle resistenze

Schemi di carico base

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
M_x	-2.289	-1.69	45.67	-162.00	9.26	13.62
M_y	-1.74	-1.07	-44.07	-11.18	-0.63	-0.93
N	1384.80	827.76	2.81	-56.70	2.80	4.12

N positivo = compressione



Pilastro con rilevanti carichi verticali

Sollecitato prevalentemente in una direzione (y)

Effetto dell'eccentricità propria ed accidentale
abbastanza modesto

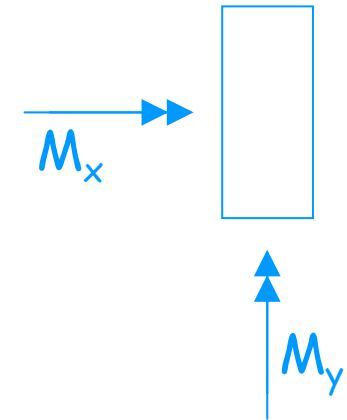
Pilastro 15, base del I ordine (CD "A")

alla base non occorre gerarchia delle resistenze

Schemi di carico base

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
M_x	-2.289	-1.69	45.67	-162.00	9.26	13.62
M_y	-1.74	-1.07	-44.07	-11.18	-0.63	-0.93
N	1384.80	827.76	2.81	-56.70	2.80	4.12

N positivo = compressione



Combinazione

	sisma x	sisma y	x + 0.3 y	y + 0.3 x
M_x	54.92	-175.62	107.61	-192.10
M_y	-44.71	-12.11	-48.34	-25.53
N	5.60	-61.24	22.19	-69.72

$$M_{x,max} = 192.1 \text{ kNm}$$

$$\text{con } N = 758 \div 897 \text{ kN}$$

$$M_{y,max} = 48.3 \text{ kNm}$$

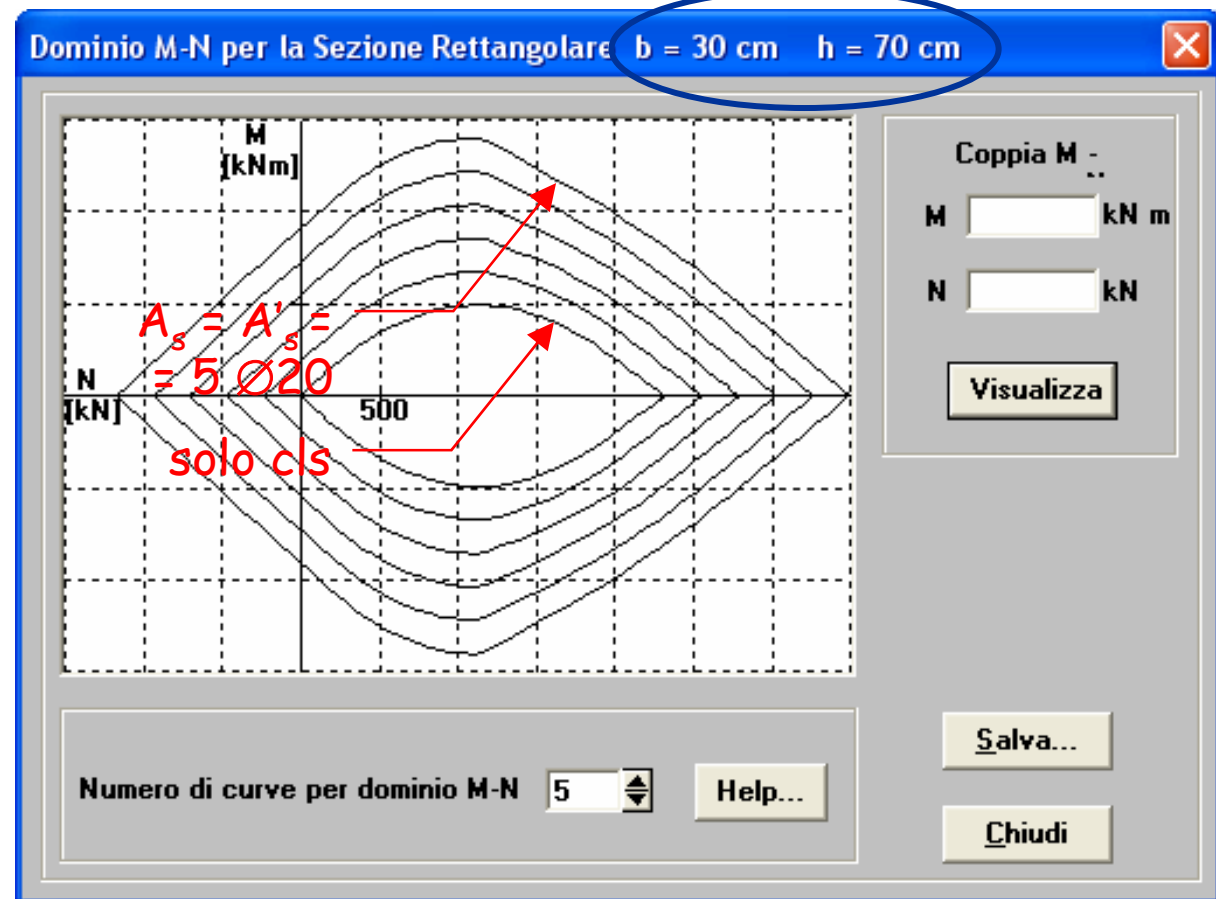
$$\text{con } N = 806 \div 850 \text{ kN}$$

Pilastro 15, base del I ordine dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni

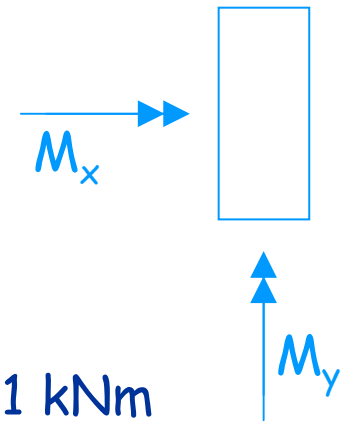
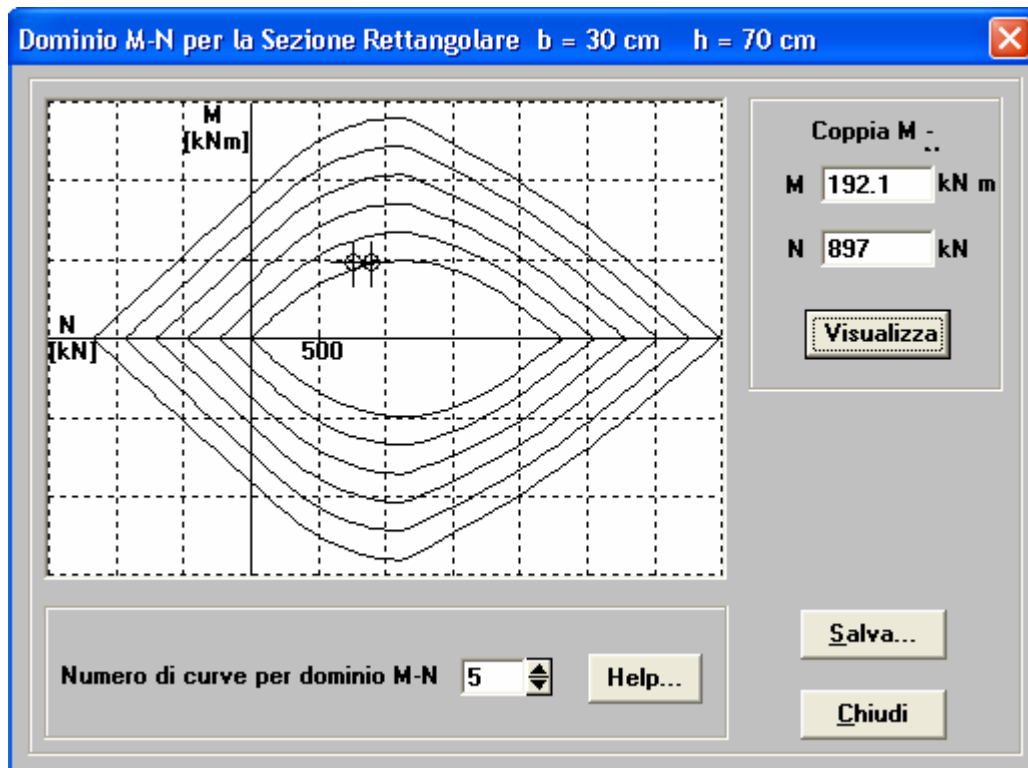
Si visualizza bene con domini M-N

Ad esempio col programma EC2



Pilastro 15, base del I ordine dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



direzione y

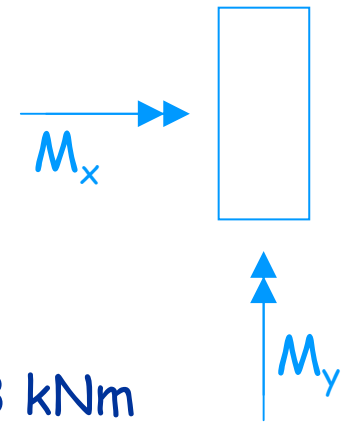
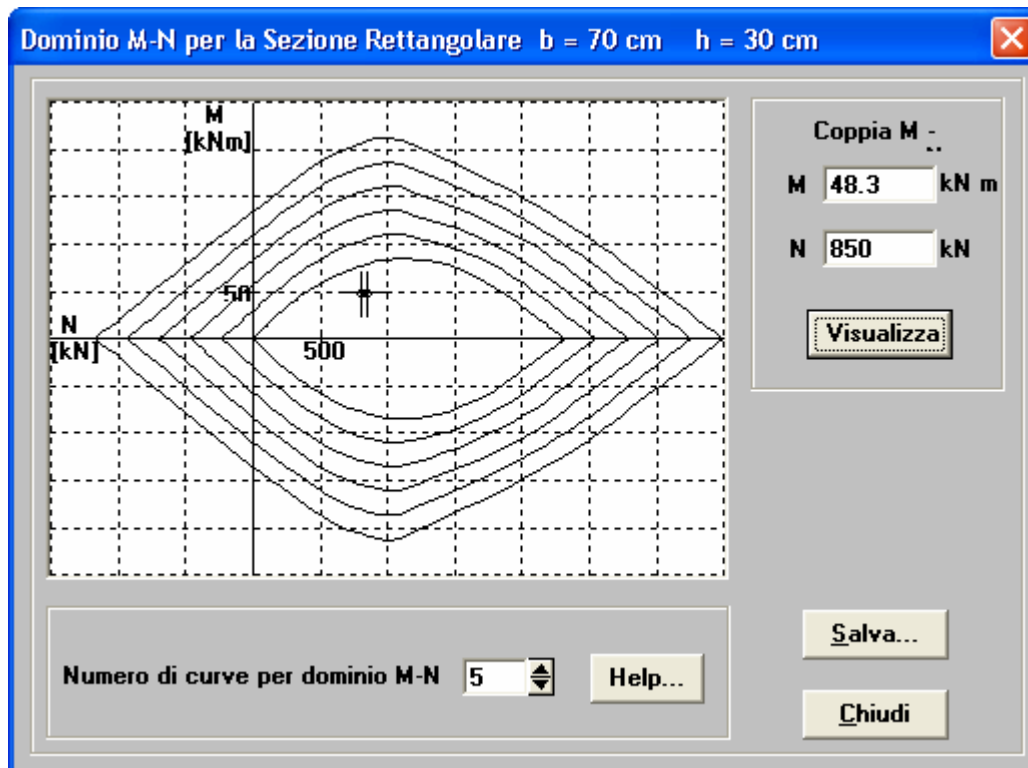
$$M_{x,\max} = 192.1 \text{ kNm}$$

$$\text{con } N = 758 \div 897 \text{ kN}$$

occorrono 1 $\varnothing 20$
su ciascun lato corto

Pilastro 15, base del I ordine dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



direzione x

$$M_{y,max} = 48.3 \text{ kNm}$$

con $N = 806 \div 850 \text{ kN}$

non occorrerebbero
armature
sul lato lungo

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

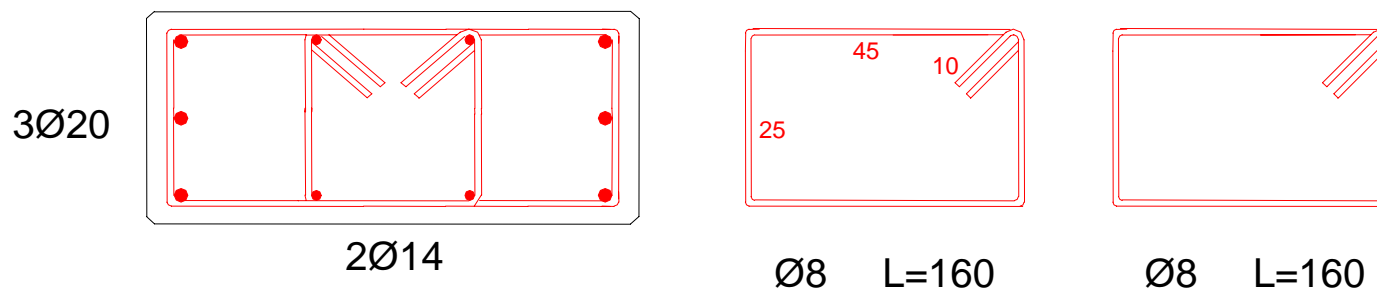
Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm

Per una sezione 30x70:

$$21 \text{ cm}^2 \leq A_s \leq 84 \text{ cm}^2$$

Pilastro 15, base del I ordine

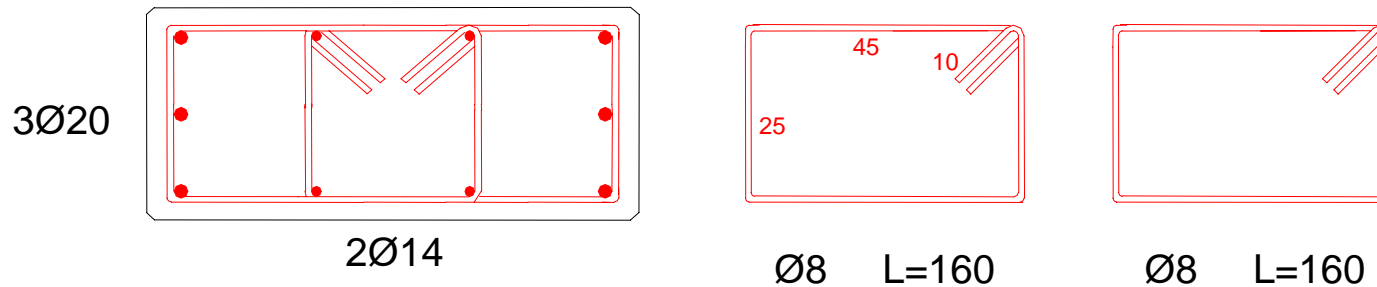
Il pilastro può essere armato con 6 $\varnothing 20$ e 4 $\varnothing 14$,
con doppia staffa



Poiché i momenti trasversali sono molto bassi non
occorre una verifica a pressoflessione deviata

Pilastro 15, base del I ordine

Il pilastro può essere armato con 6 $\varnothing 20$ e 4 $\varnothing 14$,
con doppia staffa



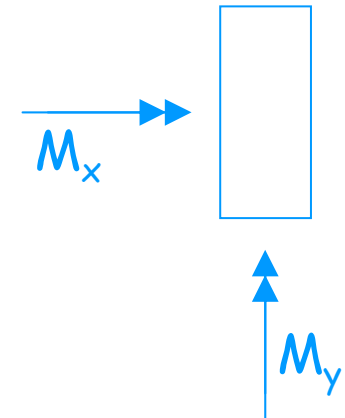
Ai piani superiori le caratteristiche di sollecitazioni si riducono,
ma le armature non possono scendere al di sotto di 21 cm^2 , cioè
4 $\varnothing 20$ e 6 $\varnothing 14$ (quindi 2 $\varnothing 20$ e 1 $\varnothing 14$ nel lato corto)

Pilastro 27, base del I ordine

Schemi di carico base

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
M_x	2.87	2.25	63.12	-315.90	-28.01	-41.21
M_y	-4.83	-3.11	-58.74	-28.70	-3.11	-4.58
N	800.67	508.94	342.41	-312.68	-26.33	-38.73

N positivo = compressione



Pilastro con bassi carichi verticali

Più sollecitato del pilastro 15 in direzione y a causa della rotazione

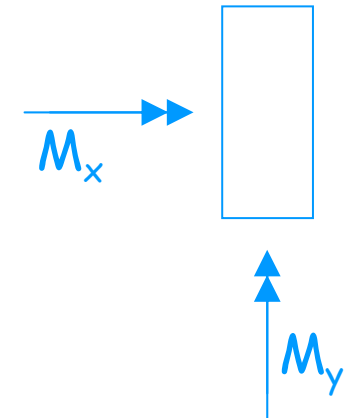
Forte sforzo normale da sisma (perché è un pilastro d'angolo)

Pilastro 27, base del I ordine

Schemi di carico base

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
M_x	2.87	2.25	63.12	-315.90	-28.01	-41.21
M_y	-4.83	-3.11	-58.74	-28.70	-3.11	-4.58
N	800.67	508.94	342.41	-312.68	-26.33	-38.73

N positivo = compressione



Combinazione

	sisma x	sisma y	x + 0.3 y	y + 0.3 x
M_x	91.14	-357.11	198.27	-384.45
M_y	-61.85	-33.28	-71.83	-51.83
N	396.86	-351.41	592.55	-314.02

$$M_{x,max} = 384.5 \text{ kNm}$$

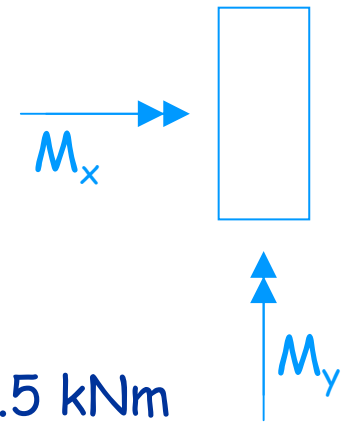
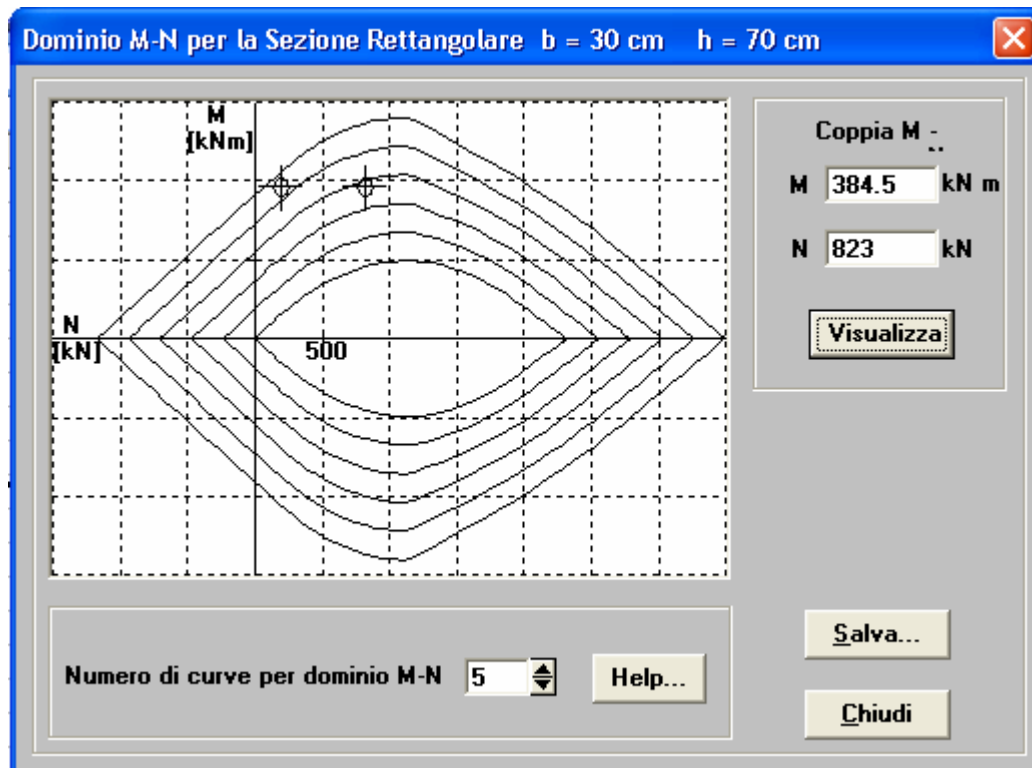
$$\text{con } N = 195 \div 823 \text{ kN}$$

$$M_{y,max} = 71.8 \text{ kNm}$$

$$\text{con } N = -84 \div 1101 \text{ kN}$$

Pilastro 27, base del I ordine dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



direzione y

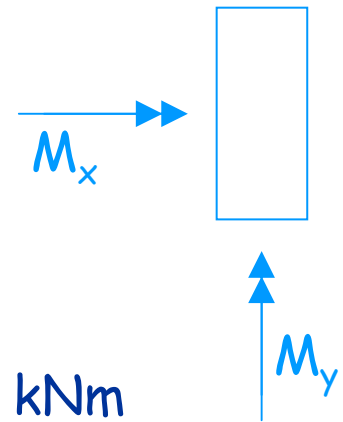
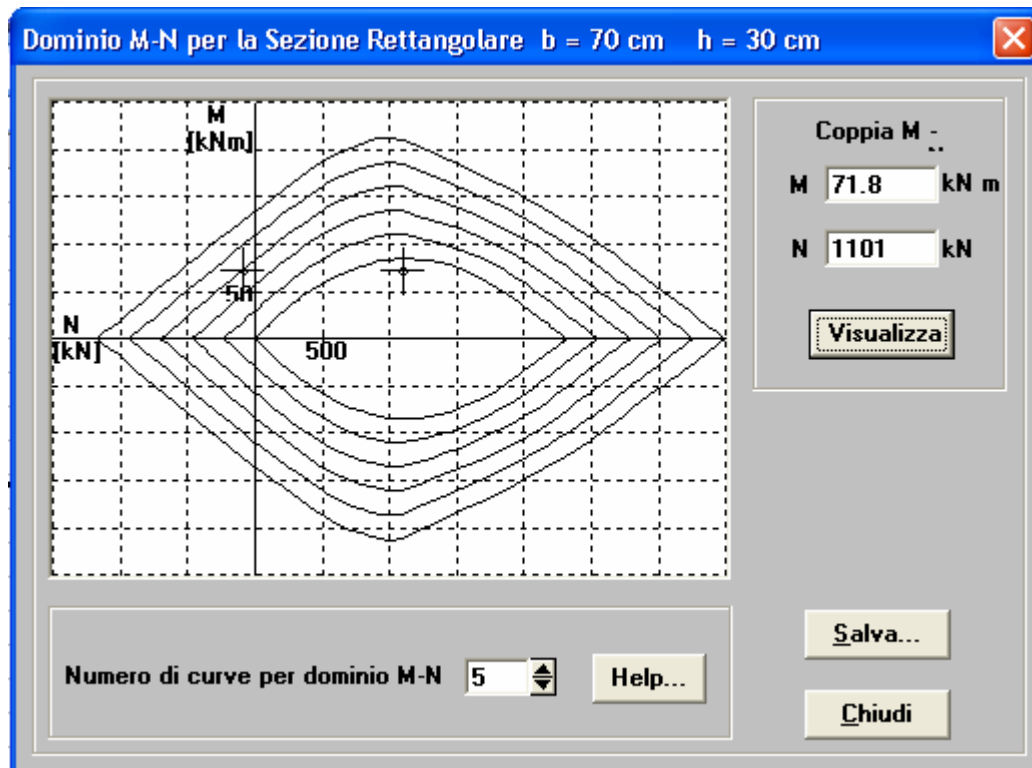
$$M_{x,max} = 384.5 \text{ kNm}$$

$$\text{con } N = 195 \div 823 \text{ kN}$$

occorrono 5 $\varnothing 20$
su ciascun lato corto

Pilastro 27, base del I ordine dimensionamento armature

Può essere effettuato separatamente per le due direzioni



direzione x

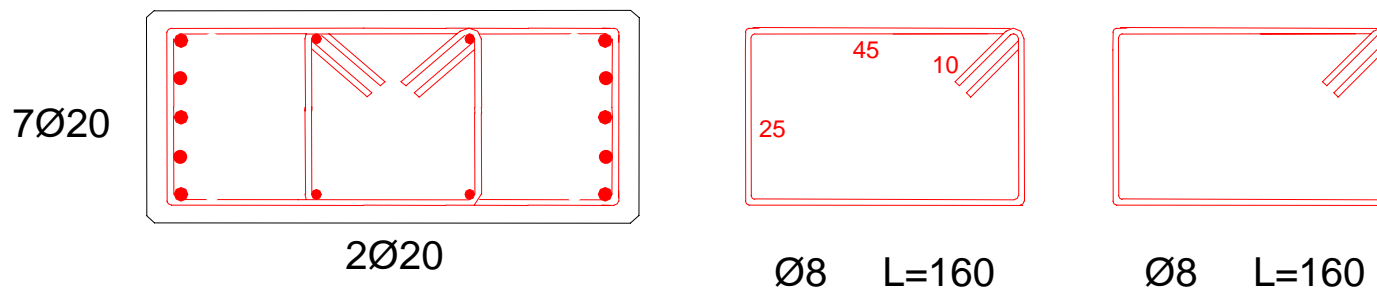
$$M_{y,max} = 71.8 \text{ kNm}$$

con $N = -84 \div 1101 \text{ kN}$

occorrono 3 $\varnothing 20$
su ciascun lato lungo

Pilastro 27, base del I ordine

Il pilastro può essere armato con 14 $\varnothing 20$,
con doppia staffa



Poiché i momenti trasversali sono forti occorre una
verifica a pressoflessione deviata

Pilastro 27, base del I ordine verifica a pressoflessione deviata

Per sisma $x + 0.3y$

$$M_x = 198.3 \text{ kNm}$$

$$M_y = 71.8 \text{ kNm}$$

$$N = -84 \text{ kN}$$

1 - Calcolo il momento resistente $M_{Rd,x}$ per $N = -84 \text{ kN}$

$$M_{Rd,x} = 339.0 \text{ kNm}$$

2 - Calcolo il momento resistente $M_{Rd,y}$ per $N = -84 \text{ kN}$

$$M_{Rd,y} = 99.8 \text{ kNm}$$

3 - Calcolo

$$\left(\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \right)^{1.5} + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^{1.5} = \left(\frac{198.3}{339.0} \right)^{1.5} + \left(\frac{71.8}{99.8} \right)^{1.5} = 1.06$$

La verifica non è soddisfatta (anche se di poco)

Pilastro 27, base del I ordine verifica a pressoflessione deviata

Per sisma y + 0.3x

$$M_x = 384.5 \text{ kNm}$$

$$M_y = 51.8 \text{ kNm}$$

$$N = 195 \text{ kN}$$

1 - Calcolo il momento resistente $M_{Rd,x}$ per $N = 195 \text{ kN}$

$$M_{Rd,x} = 422.3 \text{ kNm}$$

2 - Calcolo il momento resistente $M_{Rd,y}$ per $N = 195 \text{ kN}$

$$M_{Rd,y} = 130.3 \text{ kNm}$$

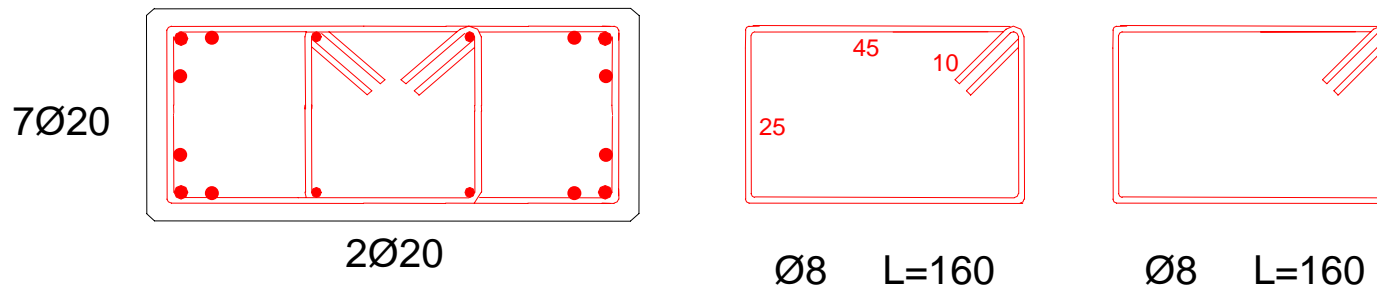
3 - Calcolo

$$\left(\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \right)^{1.5} + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^{1.5} = \left(\frac{384.5}{422.3} \right)^{1.5} + \left(\frac{51.83}{130.3} \right)^{1.5} = 1.12$$

La verifica non è soddisfatta: devo aumentare (di poco) l'armatura

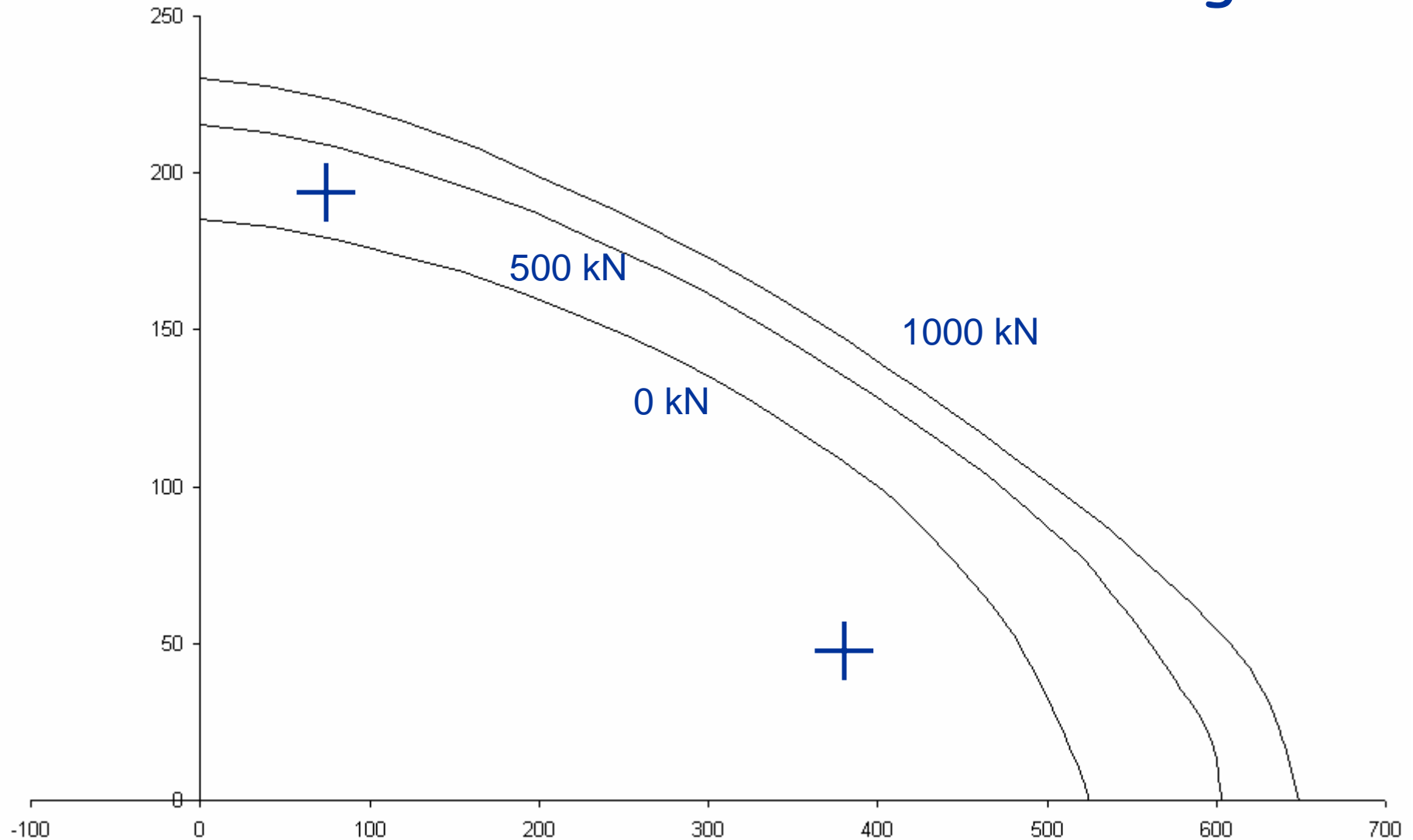
Pilastro 27, base del I ordine

Il pilastro può essere armato con $12 \text{ } \varnothing 20 + 4 \text{ } \varnothing 14$,
con doppia staffa



In questo modo considero 6 $\varnothing 20$ per lato sul lato corto,
4 $\varnothing 20$ + 2 $\varnothing 14$ per lato sul lato lungo

Con più precisione
30x70, 5Ø20 lato corto + 2 lato lungo



Continua ...

armatura a pressoflessione dei pilastri

Per la sezione alla base e in testa all'ultimo piano si usano i valori di calcolo

Per le altre sezioni, i momenti flettenti con cui armare si ricavano dai **momenti resistenti delle travi**

Per ciascuna direzione e ciascun verso di applicazione delle azioni sismiche, si devono proteggere i pilastri dalla plasticizzazione prematura adottando opportuni momenti flettenti di calcolo; tale condizione si consegue qualora, per ogni nodo trave-pilastro ed ogni direzione e verso dell'azione sismica, la resistenza complessiva dei pilastri sia maggiore della resistenza complessiva delle travi amplificata del coefficiente γ_{Rd} , in accordo con la formula:

$$\sum M_{C,Rd} \geq \gamma_{Rd} \cdot \sum M_{b,Rd} \quad (7.4.4)$$

dove:

$\gamma_{Rd} = 1,30$ per le strutture in CD "A" e $\gamma_{Rd} = 1,10$ per le strutture in CD "B",

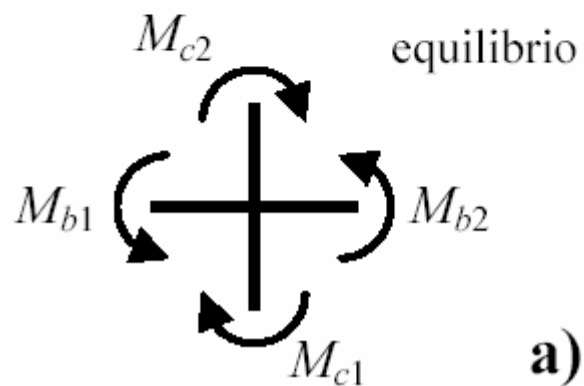
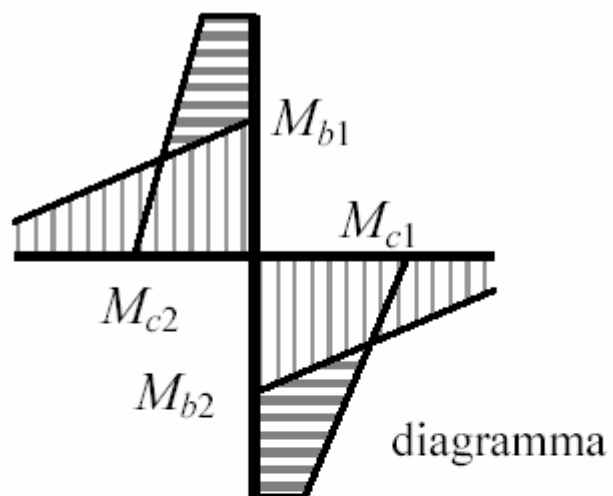
Nelle sezioni diverse da quella di base

I valori di progetto si ottengono dal criterio di gerarchia delle resistenze

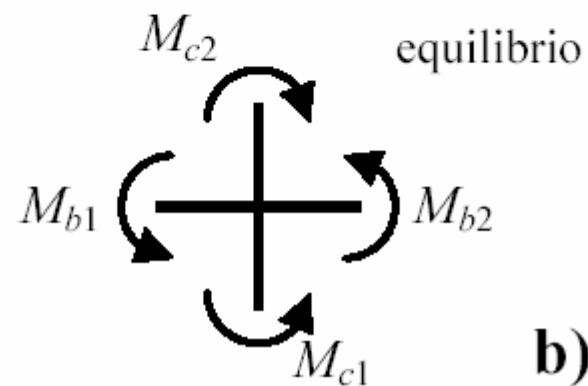
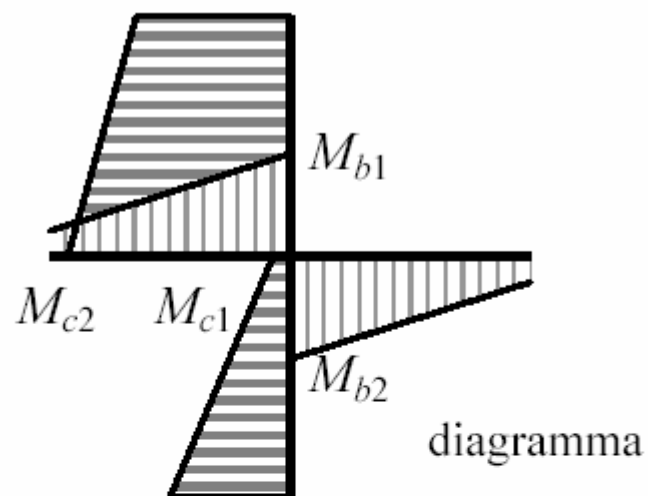
“per ogni nodo trave-pilastro ed ogni direzione e verso dell'azione sismica, la resistenza complessiva dei pilastri deve essere maggiore della resistenza complessiva delle travi amplificata del coefficiente γ_{Rd} in accordo con la formula $\sum M_{c,Rd} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{b,Rd}$ ”

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

Momenti per equilibrio dei nodi



a)



b)

Per la gerarchia delle resistenze: momenti resistenti delle travi

Tab. 6. Momenti resistenti nelle travi adiacenti al pilastro 20 (kNm)

piano		direzione x			direzione y			rip.
		sin	des	ΣM	sin	des	ΣM	
4	M^-_{Rd}	-97.3	---	97.3	-160.0	-160.0	321.2	0.38
	M^+_{Rd}	97.3	---		161.2	161.2		0.62
3	M^-_{Rd}	-128.6	---	128.6	-225.0	-225.0	450.0	0.42
	M^+_{Rd}	97.3	---		225.0	225.0		0.58
2	M^-_{Rd}	-161.2	---	161.2	-289.8	-289.8	547.3	0.46
	M^+_{Rd}	161.2	---		257.5	257.5		0.54
1	M^-_{Rd}	-161.2	---	161.2	-289.8	-289.8	547.3	0.50
	M^+_{Rd}	161.2	---		257.5	257.5		0.50

Per la gerarchia delle resistenze: valori di calcolo dei pilastri

Tab. 7. Pilastro 20, valori per il progetto delle armature o la verifica delle sezioni

piano	M_y (kNm)	M_x (kNm)	N (kN)		M_y (kNm)	M_x (kNm)	N (kN)	
5	48.1	53.7	74.7	105.2	28.5	158.7	81.7	98.2
4	78.4	93.7	178.1	288.7	31.4	258.9	204.2	262.7
3	97.0	123.7	260.1	492.4	37.7	339.3	315.5	437.0
2	113.2	151.3	325.4	713.8	42.2	384.2	418.0	621.1
1 testa	104.8	107.9	353.6	903.0	31.4	355.7	484.4	772.1
1 piede	68.6	231.5			38.4	445.0		

Ho usato in una direzione i valori da gerarchia delle resistenze e nell'altra i valori di calcolo (o, se maggiore, 0.3 x valori ger. resist. nell'altra direzione)

Quarto passo armatura a taglio dei pilastri

- I valori del taglio vanno calcolati con lo stesso criterio mostrato per le travi

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 30x70:

70 cm

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

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")
- $8 \varnothing_{\min, \text{lon}}$ (per DC"B") o $6 \varnothing_{\min, \text{lon}}$ (per DC"A")

Nei tratti di estremità si devono quindi disporre $\varnothing 8 / 10$

Nella parte centrale si metteranno $\varnothing 8 / 15$

Ulteriori passi

- Verifica ed armatura dei nodi
(è opportuno armarli bene, ma le regole applicative della norma portano spesso a valori eccessivi, non realizzabili)
- Verifica ed armatura degli impalcati
- Verifica ed armatura degli elementi di fondazione