PROGETTO DI EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO

Ascoli Piceno, 17-18 maggio 2019

08a – Armature

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI ASCOLI PICENO

Combinazione dei risultati.
Armatura delle travi

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 ed elaborati grafici

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

ovvero: progettazione in capacità

NTC18, punto 7.2.2

Gerarchia delle resistenze
(progetto in capacità)

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

⇩

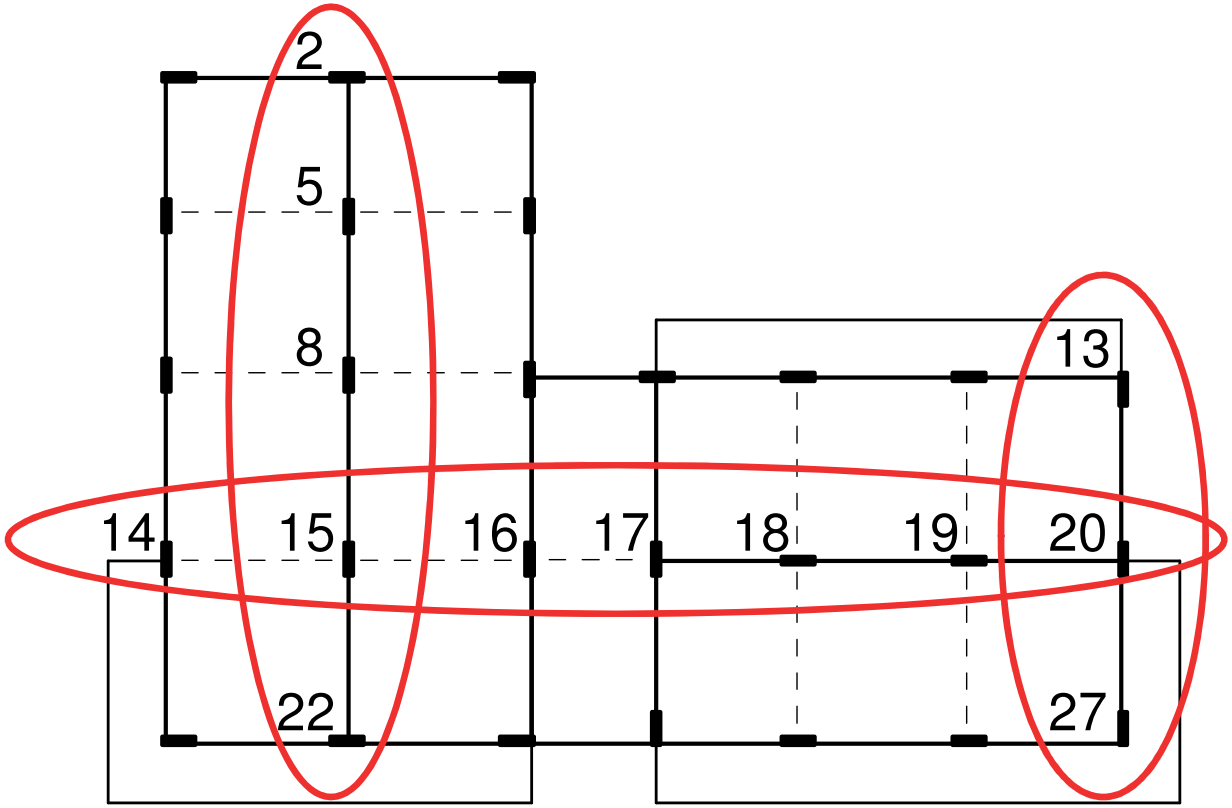
Tutto il resto (armatura a taglio delle travi, armatura a flessione e a taglio dei pilastri) è definito a partire dall'armatura a flessione delle travi

Definizione delle armature:
armatura a flessione delle travi

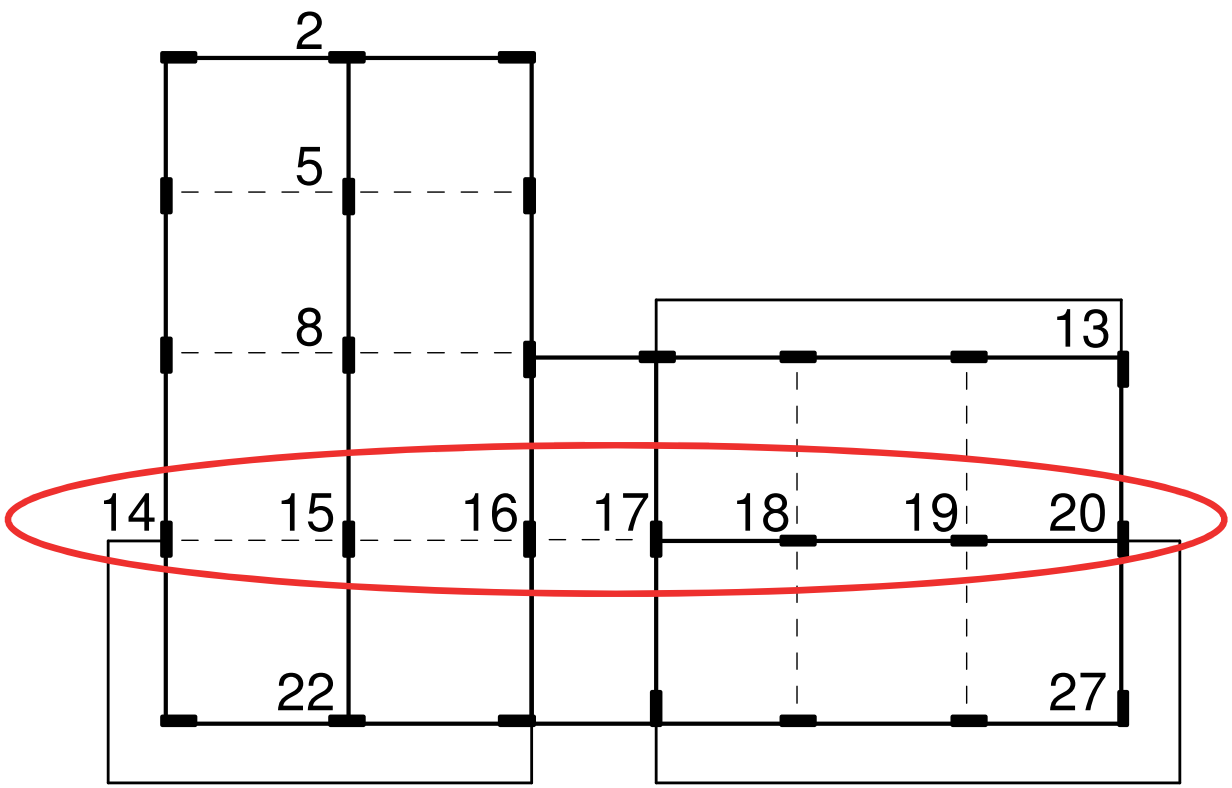
Primo passo
armatura a flessione delle travi

Si parte dall'inviluppo dei risultati

Si esaminano come esempio la trave 14-20, la trave 22-2 (molto caricata da carichi verticali) e la trave 27-13 (maggiormente sollecitata da sisma, anche per effetto della rotazione)



Trave 14-20



Trave 14-20

momento flettente per schemi di carico base

I impalcato – analisi modale, CD “A”

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
16	-25.8	-15.6	22.1	5.6	0.3	0.5
17	-28.0	-16.9	-15.6	-3.9	-0.2	-0.3
17	-40.0	-23.9	110.4	27.8	1.7	2.4
18	-52.6	-31.5	-159.5	-40.1	-2.4	-3.5
18	-79.1	-47.3	168.6	42.4	2.5	3.7
19	-84.1	-50.3	-169.3	-42.6	-2.5	-3.7
19	-63.6	-38.0	152.3	38.3	2.3	3.4
20	-37.8	-22.6	-115.0	-28.9	-1.7	-2.5

Trave 14-20

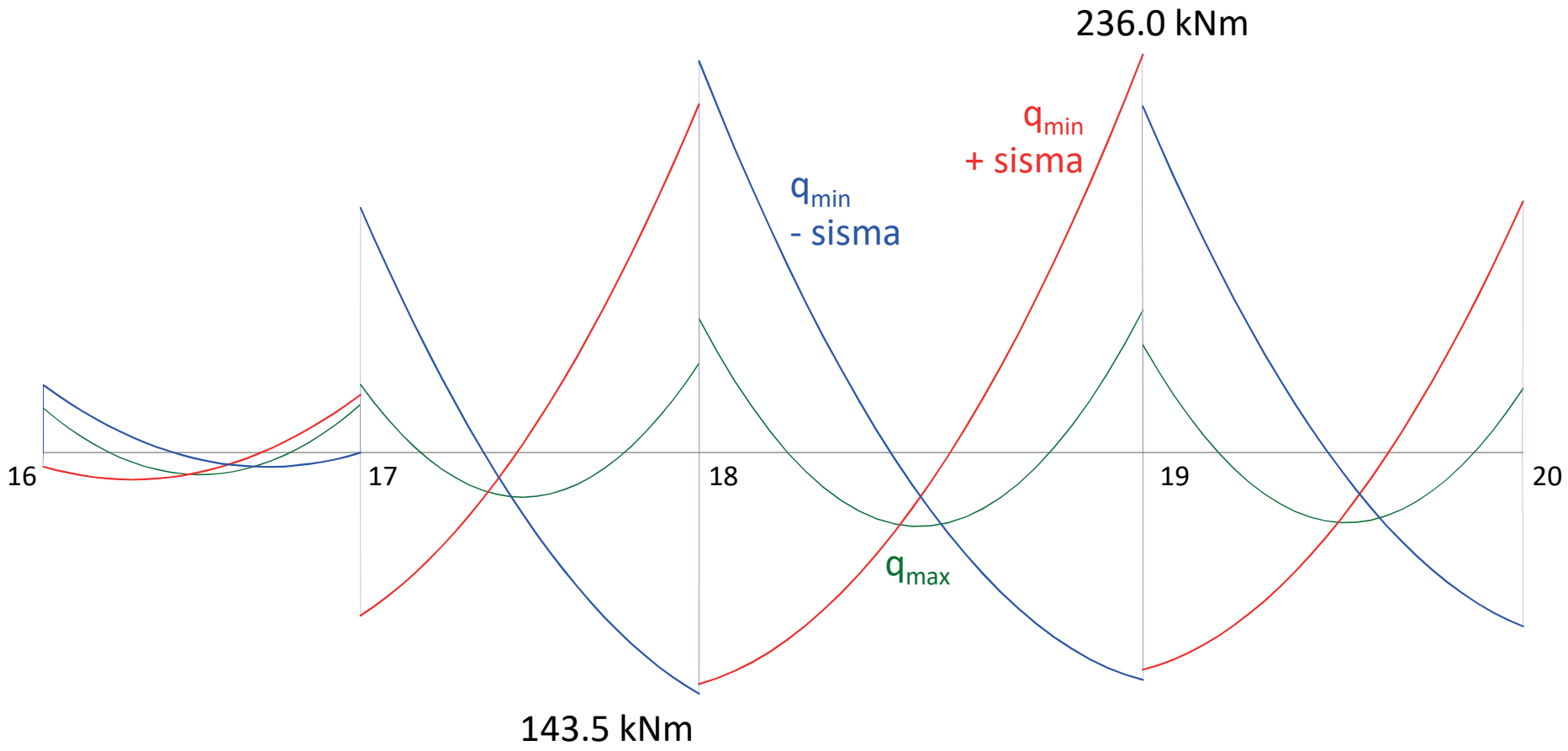
momento flettente

I impalcato

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	sisma x	sisma y	x+0.3 y
16	-25.8	-15.6	22.1	5.6	0.3	0.5	22.4	6.0	24.2
17	-28.0	-16.9	-15.6	-3.9	-0.2	-0.3	-15.8	-4.3	-17.1
17	-40.0	-23.9	110.4	27.8	1.7	2.4	112.1	30.2	121.1
18	-52.6	-31.5	-159.5	-40.1	-2.4	-3.5	-161.9	-43.7	-175.0
18	-79.1	-47.3	168.6	42.4	2.5	3.7	171.1	46.1	184.9
19	-84.1	-50.3	-169.3	-42.6	-2.5	-3.7	-171.8	-46.3	-185.7
19	-63.6	-38.0	152.3	38.3	2.3	3.4	154.6	41.7	167.1
20	-37.8	-22.6	-115.0	-28.9	-1.7	-2.5	-116.7	-31.5	-126.2

Trave 14-20

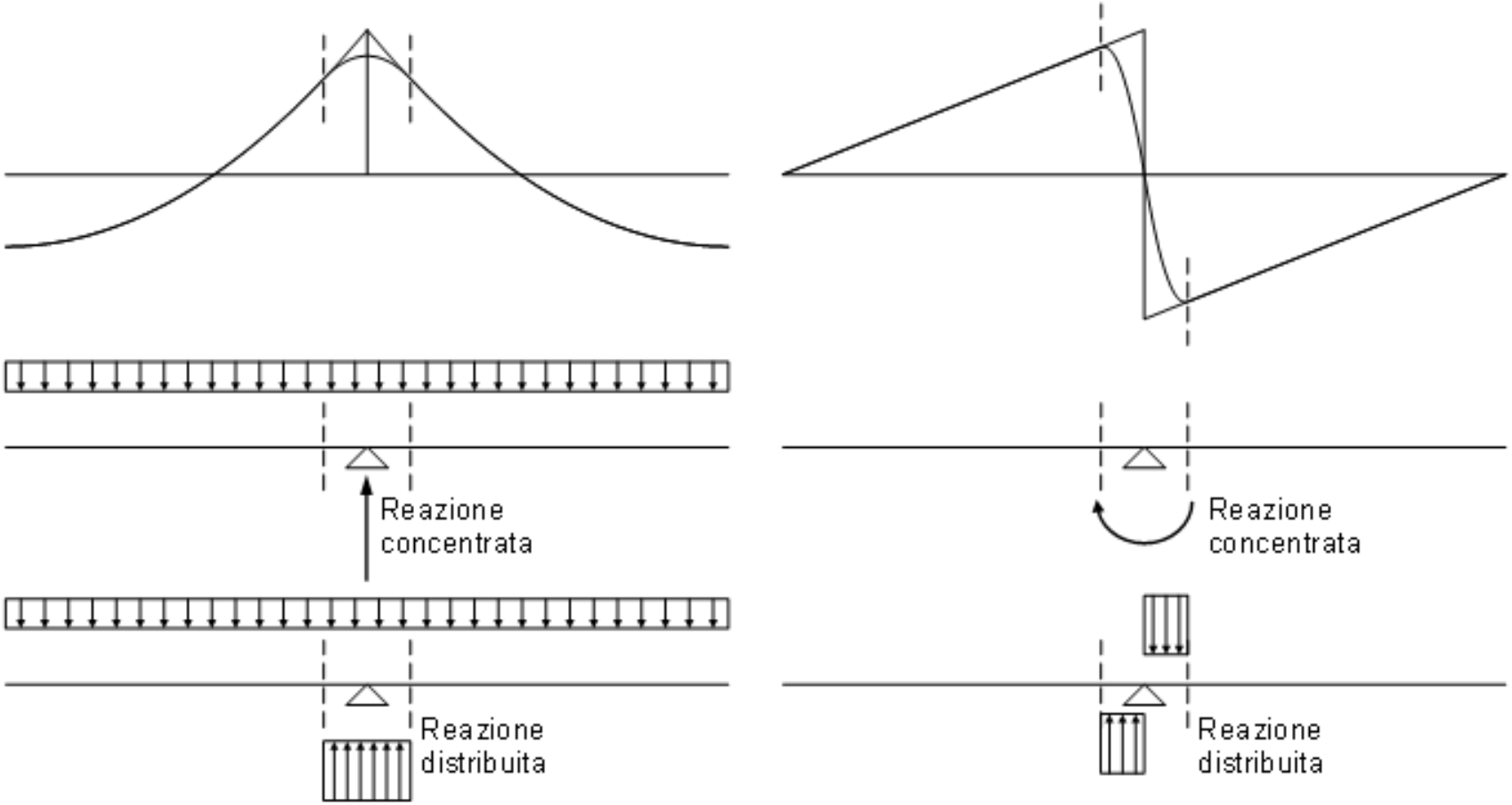
diagramma del momento flettente (CD"A")



Primo passo
armatura a flessione delle travi

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

    Ma non eccedere con le spuntature se il pilastro è molto grande, specialmente se l'effetto dei carichi verticali è rilevante

- Per la verifica delle sezioni si usano le formule tradizionali

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

Trave 14-20
verifica della sezione

Momento sollecitante massimo (negativo):

M_{Ed} = 236.0 kNm (in asse) 181.9 kNm (a filo)

Momento resistente:

con semplice armatura
(r = 0.0197)

$$M_{Rd} = \frac{b\,d^2}{r^2} = 242.4 \text{ kNm}$$

con doppia armatura
(u=0.25, r'=0.0171)

$$M_{Rd} = \frac{b\,d^2}{r'^2} = 321.7 \text{ kNm}$$

La sezione è pienamente accettabile
(anche senza armatura in compressione)

Primo passo
armatura a flessione delle travi

- Si parte dall'inviluppo 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

Progetto dell'armatura longitudinale
limiti di normativa

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

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

Nota:
l'Eurocodice 8 prescrive $\rho_{\min} < 0.5\dfrac{f_{ctm}}{f_{yk}}$

Nel caso in esame (trave 30x60) questo implica che

$$5.6\ \mathrm{cm}^2 < A_s < A_{s,comp} + 14.0\ \mathrm{cm}^2$$

$5.1\ \mathrm{cm}^2$ per EC8

NTC 08, punto 7.4.6.2.1

EC8, parte 1.1, punto 5.4.3.1.2 e 5.5.3.1.3

Progetto dell'armatura longitudinale
limiti di normativa

Ulteriori prescrizioni:

- Disporre sempre almeno 2 ∅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"

NTC 08, punto 7.4.6.2.1

NTC08, punto 7.4.6.1.1
EC8, parte 1.1, punto 5.4.3.1.2 e 5.5.3.1.3

Progetto dell'armatura longitudinale
limiti di normativa

Considerazioni:

- Il limite trovato, $5.6\ cm^2 < A_s < A_{s,comp} + 14.0\ cm^2$ per la trave 30x60, condiziona particolarmente l'armatura minima da disporre
- La normativa dice che questo vale

  "In ogni sezione della trave, salvo giustificazioni che dimostrino che le modalità di collasso della sezione sono coerenti con la classe di duttilità adottata"
- Il riferimento alla "modalità di collasso" farebbe pensare che l'indicazione non serva per le zone centrali (che rimangono sicuramente elastiche)
- Osservare, o no, questo limite nelle zone poco sollecitate può condizionare il diametro minimo delle barre

Trave 14-20
progetto dell'armatura longitudinale

Momento sollecitante (negativo): M_{Ed} = 181.9 kNm

Area di ferro:

$$A_s = \frac{M}{0.9\, d\, f_{yd}} = 9.22\ \mathrm{cm}^2$$

Momento sollecitante (positivo): M_{Sd} = 129.5 kNm

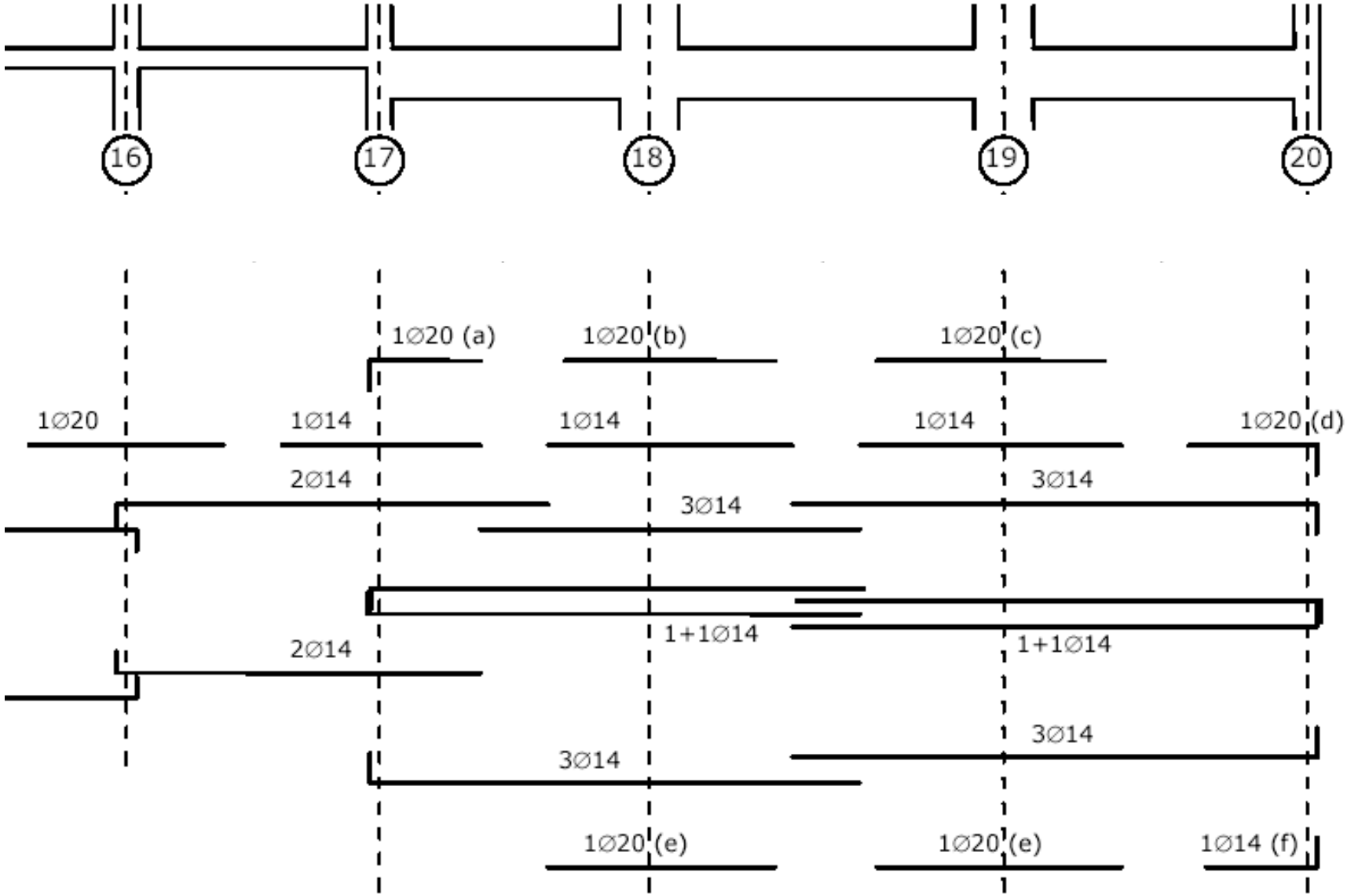
Area di ferro:

$$A_s = \frac{M}{0.9\, d\, f_{yd}} = 6.57\ \mathrm{cm}^2$$

Armatura: 4 ∅ 14 + 1 ∅ 20 sup 3 ∅ 14 + 1 ∅ 20 inf
(pienamente accettabile)

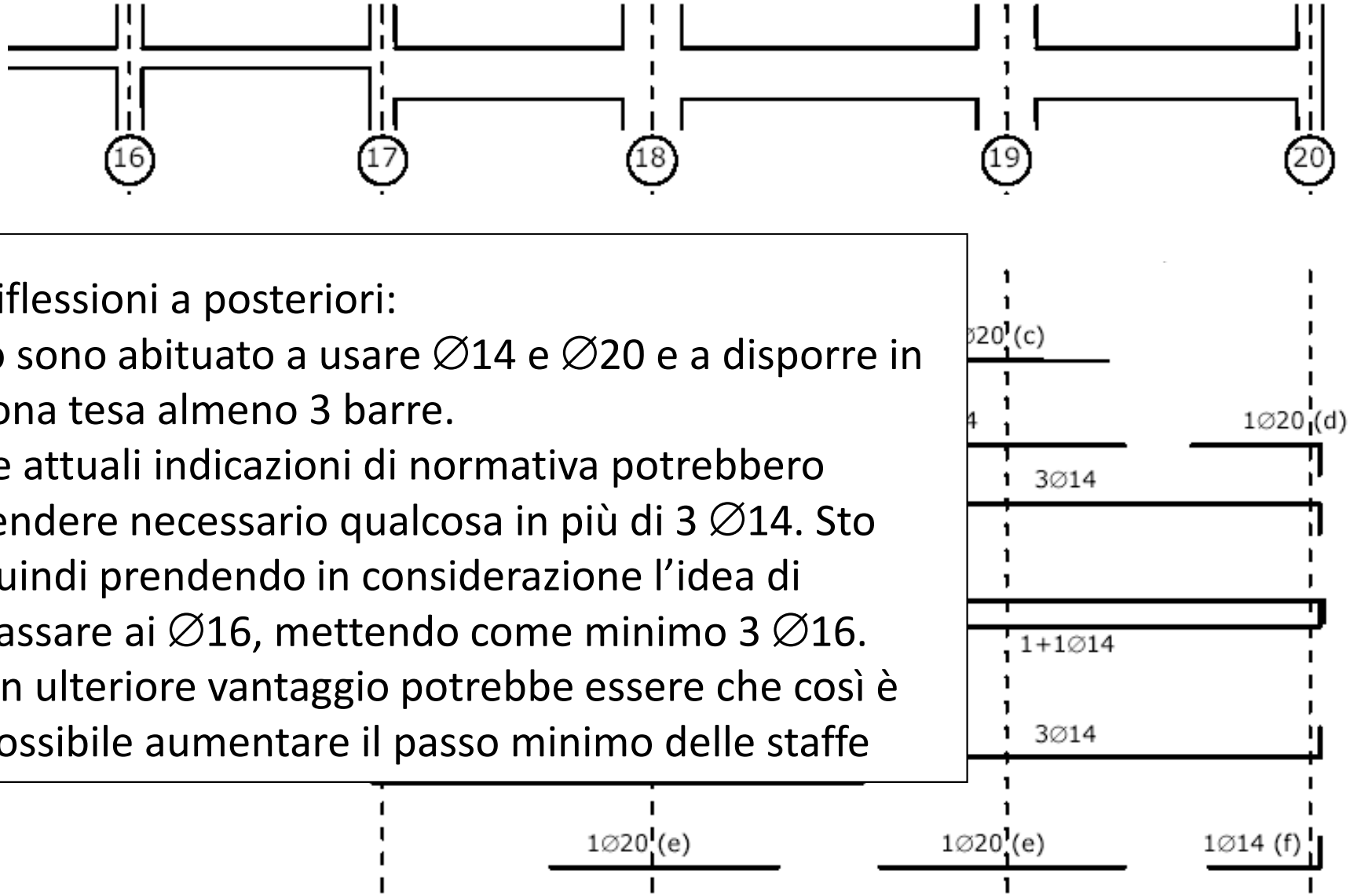
Trave 14-20

armature a flessione



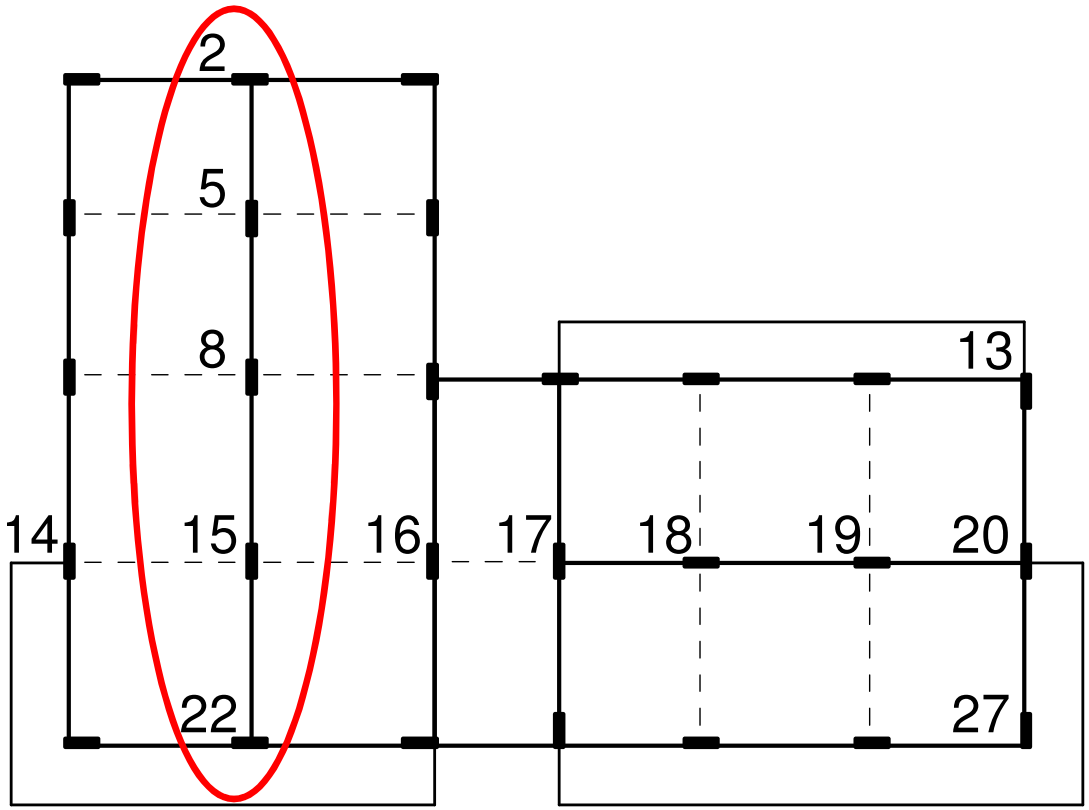
Trave 14-20

armature a flessione



Riflessioni a posteriori:
Io sono abituato a usare ∅14 e ∅20 e a disporre in zona tesa almeno 3 barre.
Le attuali indicazioni di normativa potrebbero rendere necessario qualcosa in più di 3 ∅14. Sto quindi prendendo in considerazione l'idea di passare ai ∅16, mettendo come minimo 3 ∅16.
Un ulteriore vantaggio potrebbe essere che così è possibile aumentare il passo minimo delle staffe

Trave 22-2



Trave 22-2

momento flettente per schemi di carico base

I impalcato – analisi modale, CD “A”

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
22	-51.5	-30.8	-18.3	67.9	-4.2	-6.1
15	-93.3	-55.6	23.2	-86.0	5.3	7.8
15	-82.0	-47.5	-29.1	107.8	-6.6	-9.7
8	-76.5	-44.2	28.4	-105.2	6.5	9.5
8	-66.2	-39.3	-30.4	112.6	-6.9	-10.2
5	-64.1	-38.4	30.8	-113.8	7.0	10.3
5	-63.1	-37.8	-25.5	94.3	-5.8	-8.5
2	-35.9	-21.5	19.4	-71.9	4.4	6.5

Trave 22-2

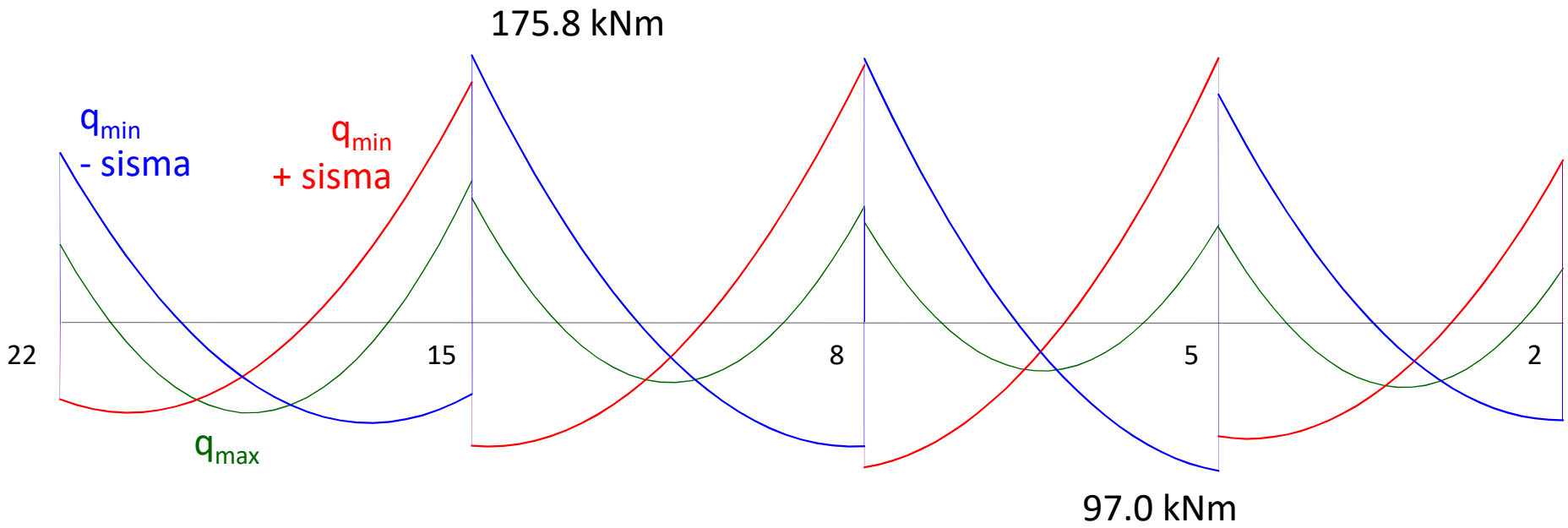
momento flettente

I impalcato

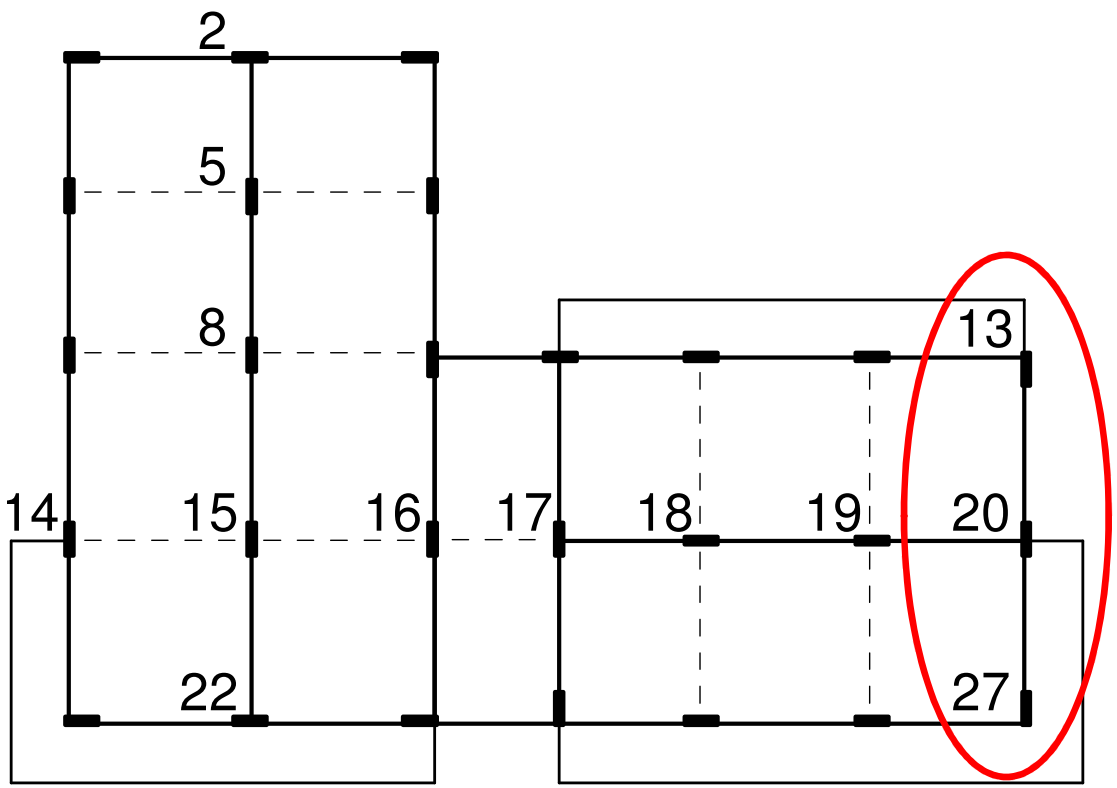
	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	sisma x	sisma y	y+0.3 x
22	-51.5	-30.8	-18.3	67.9	-4.2	-6.1	22.5	74.1	80.8
15	-93.3	-55.6	23.2	-86.0	5.3	7.8	-28.5	-93.8	-102.3
15	-82.0	-47.5	-29.1	107.8	-6.6	-9.7	35.7	117.6	128.3
8	-76.5	-44.2	28.4	-105.2	6.5	9.5	-34.9	-114.7	-125.1
8	-66.2	-39.3	-30.4	112.6	-6.9	-10.2	37.3	122.8	134.0
5	-64.1	-38.4	30.8	-113.8	7.0	10.3	-37.7	-124.1	-135.4
5	-63.1	-37.8	-25.5	94.3	-5.8	-8.5	31.3	102.8	112.2
2	-35.9	-21.5	19.4	-71.9	4.4	6.5	-23.8	-78.4	-85.5

Trave 22-2

diagramma del momento flettente (CD"A")



Trave 27-13



Trave 27-13

momento flettente per schemi di carico base

II impalcato – analisi modale, CD “A”

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
27	-66.3	-42.1	-57.3	265.8	26.4	38.9
20	-59.7	-37.3	53.3	-247.6	-24.6	-36.2
20	-17.6	-12.8	-53.3	247.6	24.6	36.2
13	-35.3	-24.6	57.3	-265.8	-26.4	-38.9

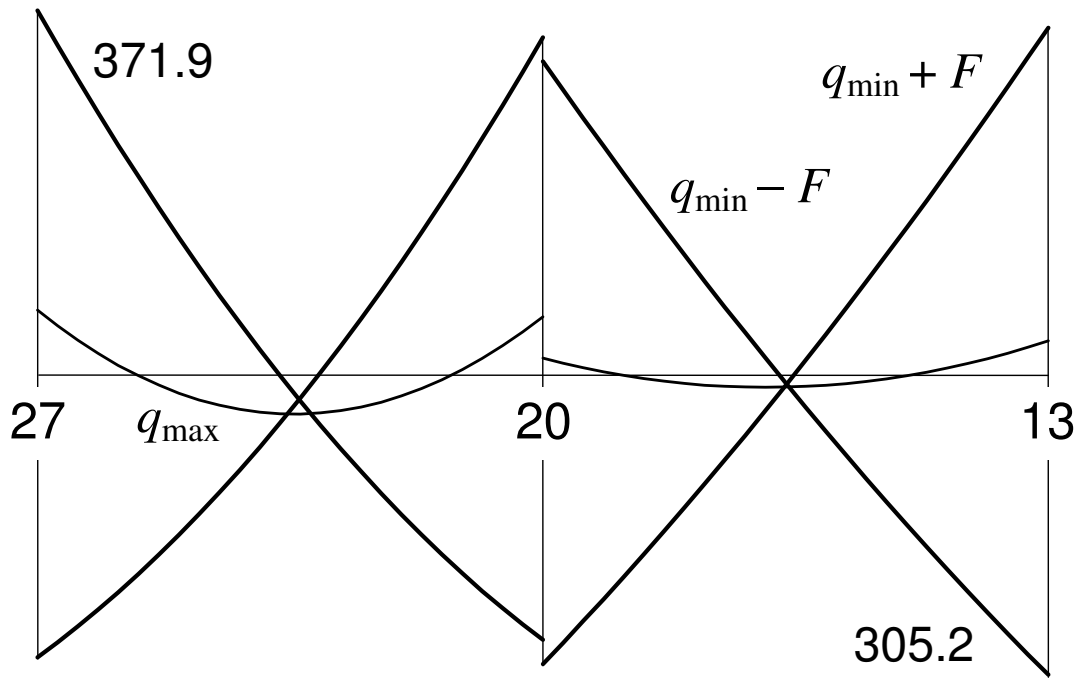
Trave 27-13
momento flettente

II impalcato

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	sisma x	sisma y	y+0.3 x
27	-66.3	-42.1	-57.3	265.8	26.4	38.9	83.7	304.7	329.8
20	-59.7	-37.3	53.3	-247.6	-24.6	-36.2	-77.9	-283.8	-307.1
20	-17.6	-12.8	-53.3	247.6	24.6	36.2	77.9	283.8	307.1
13	-35.3	-24.6	57.3	-265.8	-26.4	-38.9	-83.7	-304.7	-329.8

Trave 27-13

diagramma del momento flettente (CD “A”)



La sezione richiede:

15.1 cm^2 sup
13.2 cm^2 inf

(molto forti, ma forse ancora accettabili)

Definizione delle armature: armatura a taglio delle travi

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

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

γ_{Rd} = 1.1 per CD"B"

γ_{Rd} = 1.2 per CD"A"

NTC 08, punto 7.4.4.1.1

Campata 17-18
sollecitazioni di calcolo (CD “A”)

Esempio – prima campata q=31.7 kN/m

sinistra	destra
sup. 1 ∅20 + 3 ∅14	sup. 1 ∅20 + 4 ∅14
inf. 3 ∅14	inf. 3 ∅14 + 1 ∅20

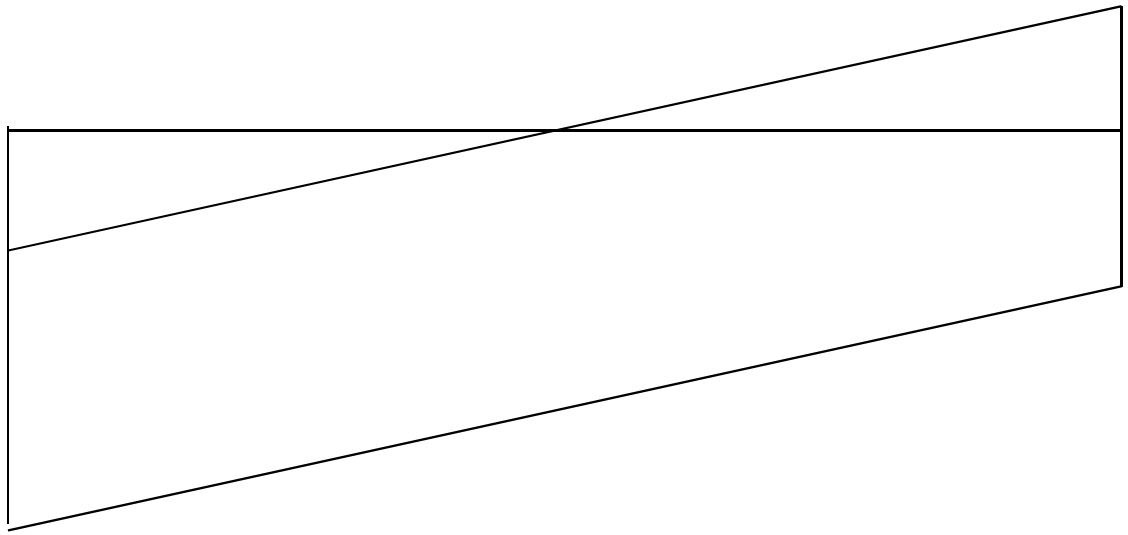
M_{Rd} (kNm)

-161.1	-192.4
+97.3	+161.2

$$V = \frac{q\,l}{2} + \gamma_{Rd}\frac{M_{Rd,\sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2\frac{97.3 + 192.4}{2.70} =$$

$$= 46.1 + 128.8 = 174.9 \text{ kN}$$

Taglio
sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q\ l}{2} + \gamma_{Rd}\frac{M_{Rd,\sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2\frac{97.3 + 192.4}{2.70} =$$

$$= 46.1 + 128.8 = 174.9\ \mathrm{kN}$$

Campata 17-18
sollecitazioni di calcolo (CD “A”)

Esempio – prima campata q=31.7 kN/m

sinistra	destra
sup. 1 ∅20 + 3 ∅14	sup. 1 ∅20 + 4 ∅14
inf. 3 ∅14	inf. 3 ∅14 + 1 ∅20

M_{Rd} (kNm)

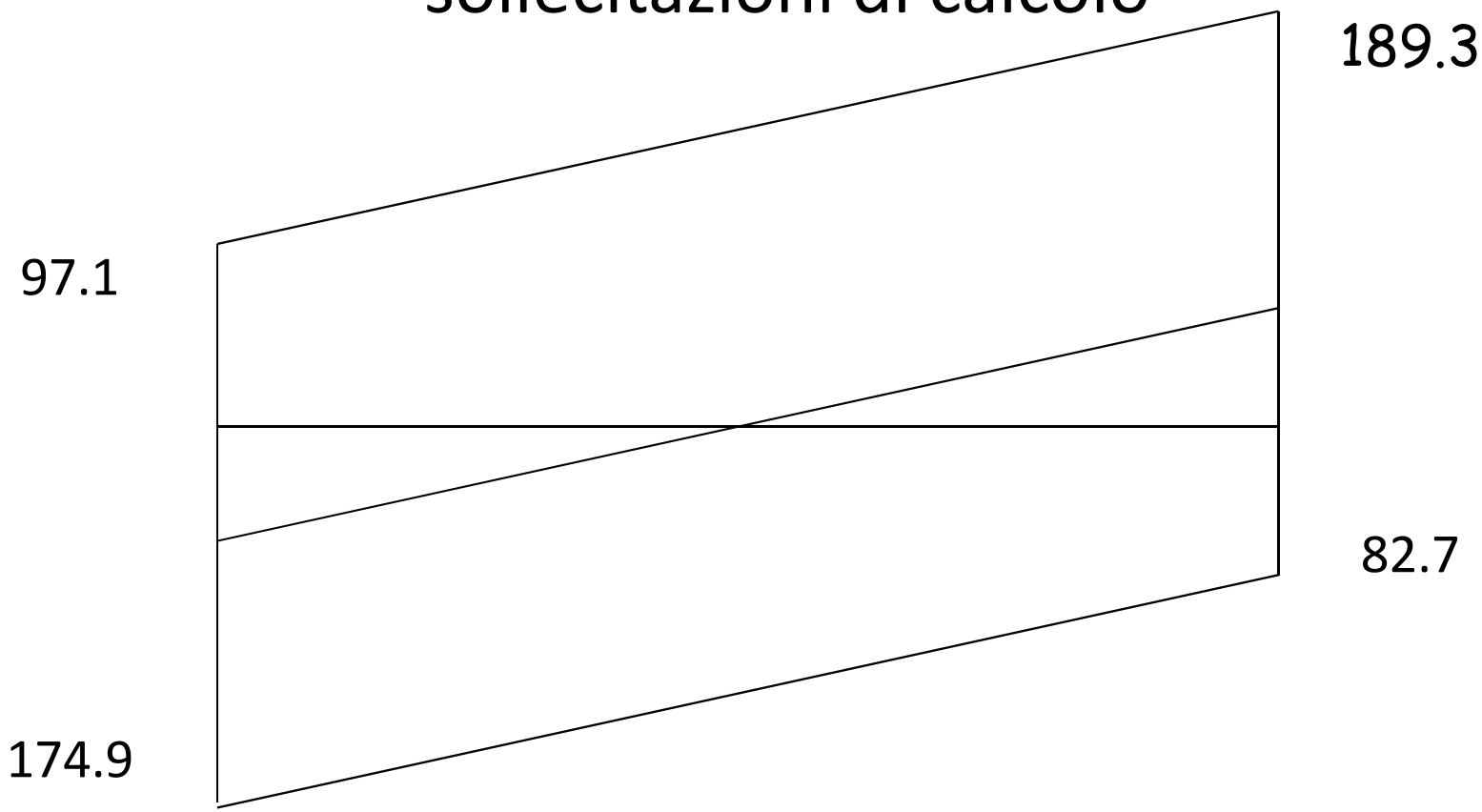
-161.1	-192.4
+97.3	+161.2

$$V = \frac{q\ l}{2} + \gamma_{Rd}\frac{M_{Rd,\sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2\frac{161.1 + 161.1}{2.70} =$$

$$= 46.1 + 143.2 = 189.3\ \mathrm{kN}$$

Taglio

sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q\ l}{2} + \gamma_{Rd}\frac{M_{Rd,\sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2\frac{161.1 + 161.1}{2.70} =$$

$$= 46.1 + 143.2 = 189.3\ \mathrm{kN}$$

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 ∅min,tra (per DC"B") 6 ∅min,tra (per DC"A")
- 24 ∅staffe

avendo ∅14: 6x14 = 84 mm

se ∅16: 6x16 = 96 ≅ 100 mm

NTC 08, punto 7.4.6.2.1

Armature trasversali (staffe)

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

$$V = 189.3 \text{ kN}$$

che richiede $$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Sd}}{z\, f_{ywd} \cot\theta} = \frac{189.3 \times 10}{0.9 \times 0.56 \times 391.3 \times 1} = 9.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Si possono disporre ∅ 8 / 10 cm alle estremità
(∅ 8 / 20 cm nella parte centrale della campata)

Dovrebbero essere ∅ 8 / 8.4 per i limiti minimi

Nota: per CD"B" si può usare cot θ = 2

per CD"A" si deve usare cot θ = 1

NTC 08, punto 7.4.4.1.2.2