

Corso

Dinamica delle strutture e progetto di costruzioni in zona sismica - mod. B

Catania

marzo-maggio 2018

23 - Combinazione dei risultati. Armatura delle travi

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 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

NTC13, 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



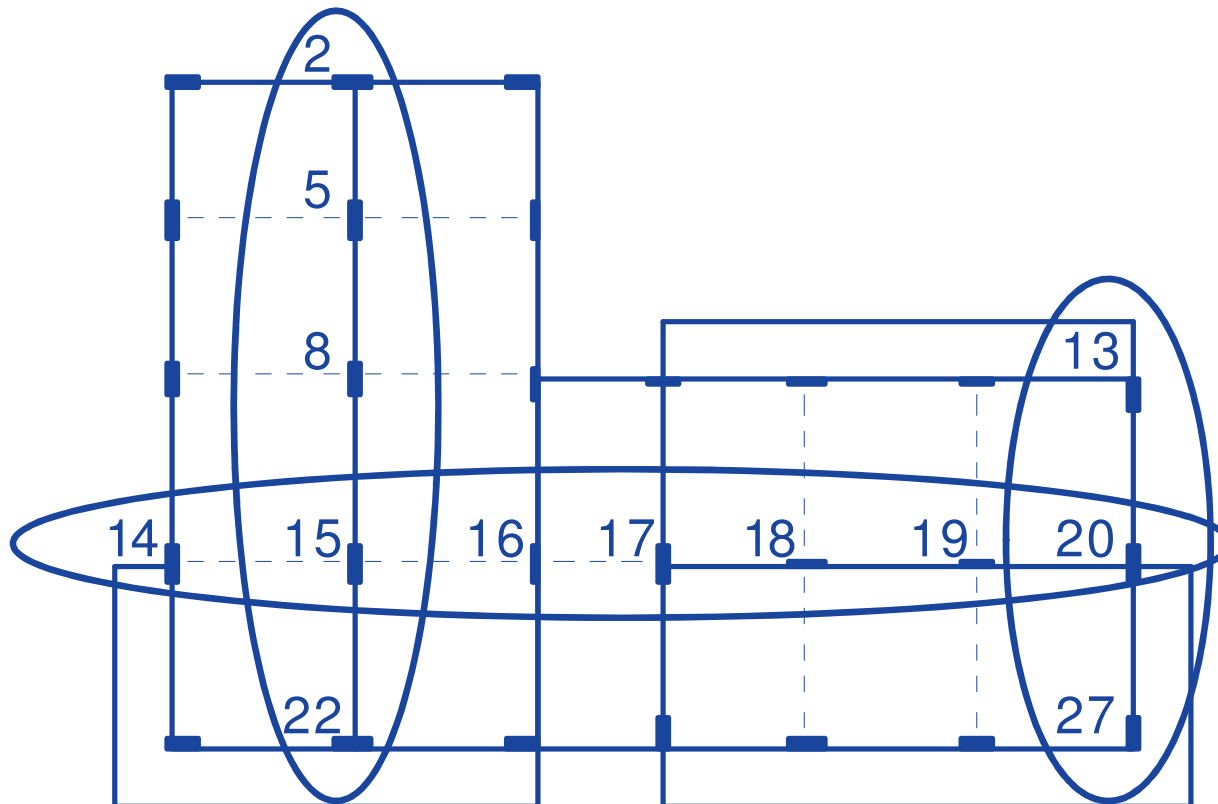
Tutto il resto (armatura a taglio delle travi, armatura a flessione e a taglio dei pilastri) è definito a partire dall'armatura a flessione delle travi

Definizione delle armature:
armatura a flessione delle travi

Primo passo armatura a flessione delle travi

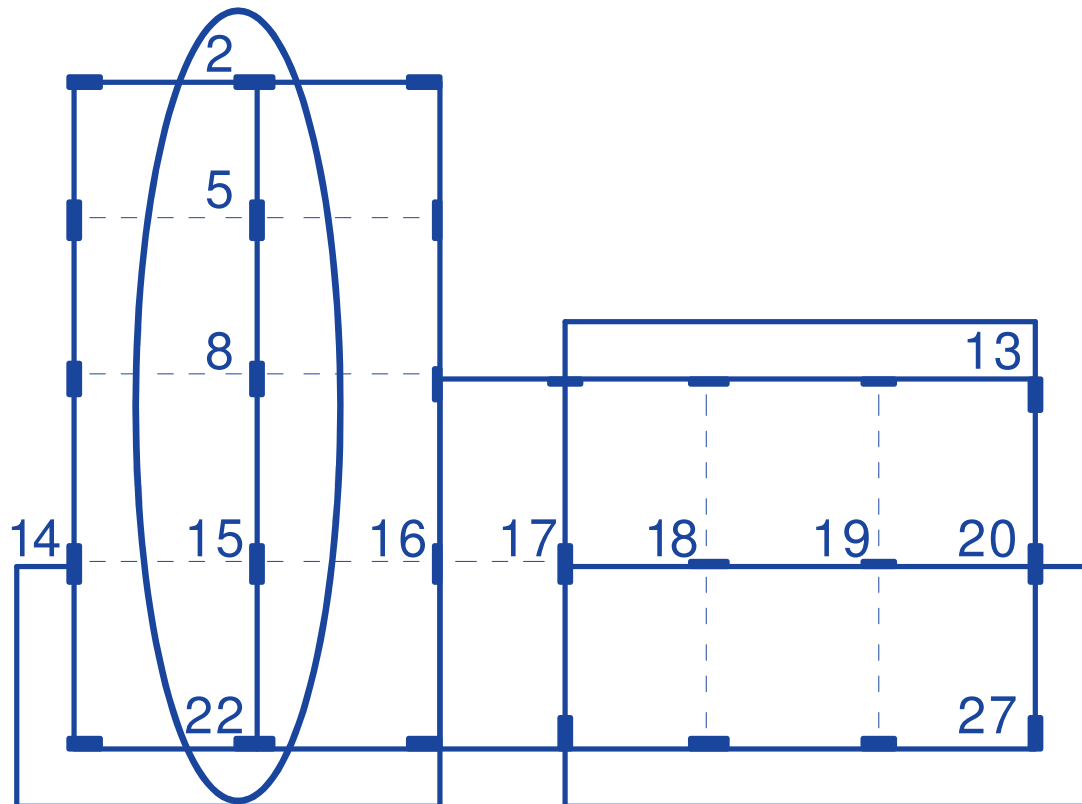
Si parte dall'involuppo dei risultati

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 22-2

calcolo per schema migliorato



Trave 22-2

momento flettente per schemi di carico base

I impalcato - analisi modale

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
22	-51.4	-30.8	-5.1	103.9	-5.2	-7.6
15	-93.4	-55.7	6.6	-131.5	6.6	9.6
15	-81.9	-47.4	-8.2	164.8	-8.2	-12.1
8	-76.6	-44.3	8.0	-160.7	8.0	11.8
8	-66.0	-39.2	-8.6	172.1	-8.6	-12.6
5	-64.2	-38.5	8.7	-173.9	8.7	12.8
5	-63.0	-37.7	-7.2	144.1	-7.2	-10.6
2	-36.0	-21.5	5.5	-110.0	5.5	8.1

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	-51.4	-30.8	-5.1	103.9	-5.2	-7.6	-10.3	111.5	114.6
15	-93.4	-55.7	6.6	-131.5	6.6	9.6	13.1	-141.1	-145.0
15	-81.9	-47.4	-8.2	164.8	-8.2	-12.1	-16.4	176.9	181.8
8	-76.6	-44.3	8.0	-160.7	8.0	11.8	16.0	-172.5	-177.3
8	-66.0	-39.2	-8.6	172.1	-8.6	-12.6	-17.2	184.7	189.9
5	-64.2	-38.5	8.7	-173.9	8.7	12.8	17.4	-186.7	-191.9
5	-63.0	-37.7	-7.2	144.1	-7.2	-10.6	-14.4	154.7	159.0
2	-36.0	-21.5	5.5	-110.0	5.5	8.1	10.9	-118.0	-121.3

Trave 22-2

momento flettente

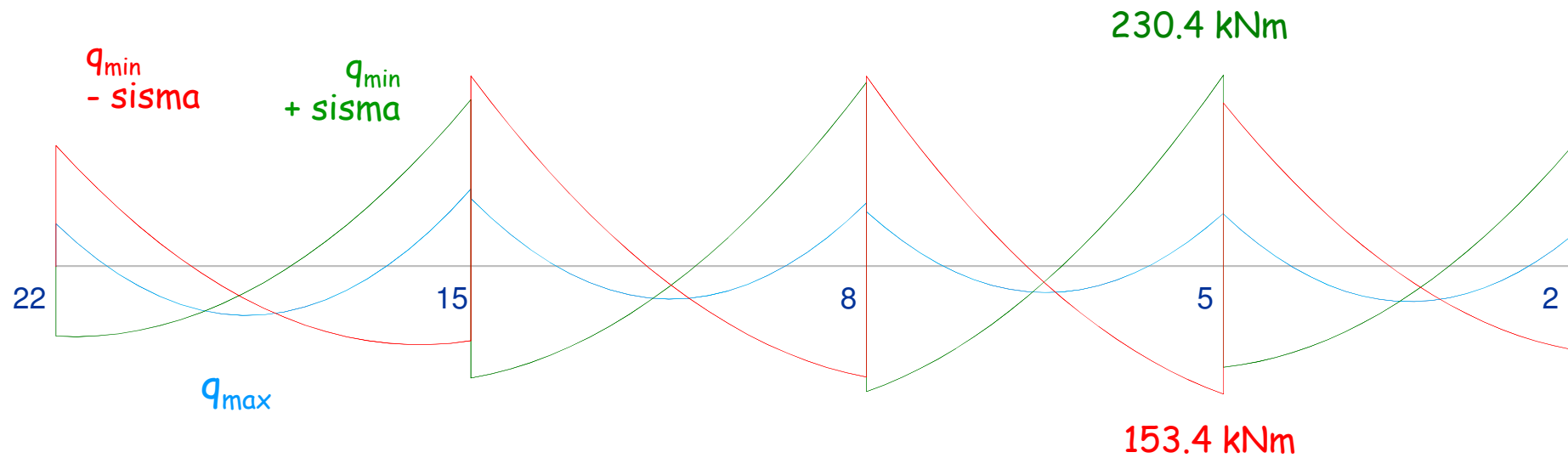
I impalcato

	q_{\max}	q_{\min}	$F_{pr,y} = \gamma + 0.3 \times$	$q_{\min} + F_{pr,y}$	$q_{\min} - F_{pr,y}$
22	-51.4	-30.8	114.6	83.9	-145.4
15	-93.4	-55.7	-145.0	-200.7	89.4
15	-81.9	-47.4	181.8	134.4	-229.3
8	-76.6	-44.3	-177.3	-221.6	133.1
8	-66.0	-39.2	189.9	150.7	-229.1
5	-64.2	-38.5	-191.9	-230.4	153.4
5	-63.0	-37.7	159.0	121.3	-196.7
2	-36.0	-21.5	-121.3	-142.9	99.8

Trave 22-2

diagramma del momento flettente

I impalcato



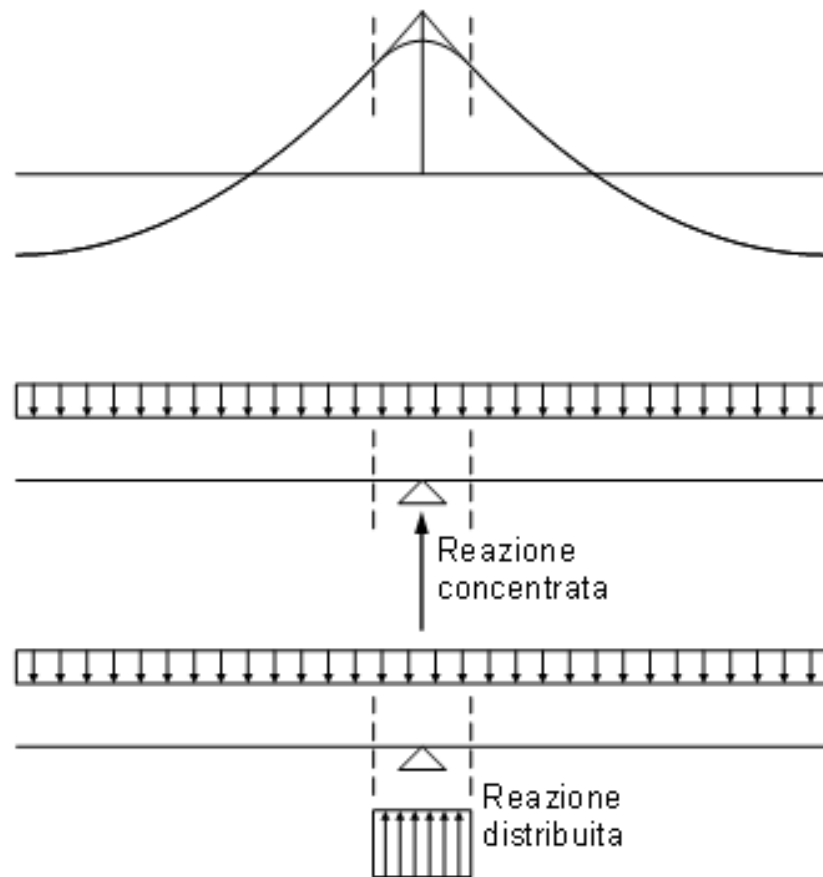
Primo passo

armatura a flessione delle travi

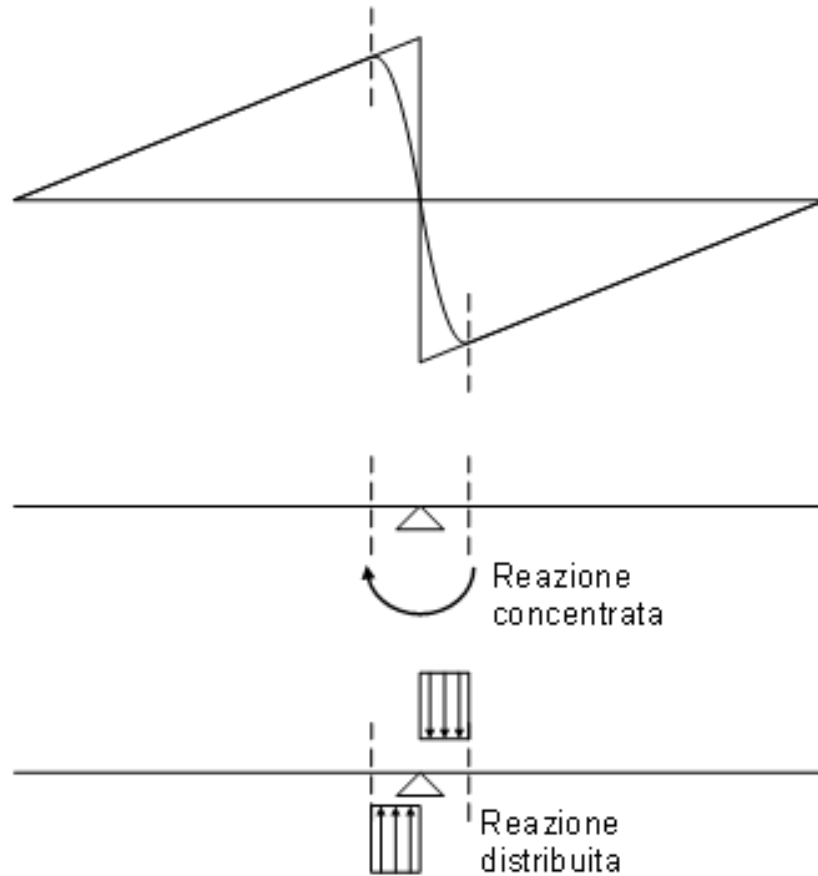
- Si parte dall'involuppo dei risultati
 - È possibile far riferimento ai valori a filo pilastro

Quali valori di M ?

meglio i valori al filo pilastro



a) carichi verticali

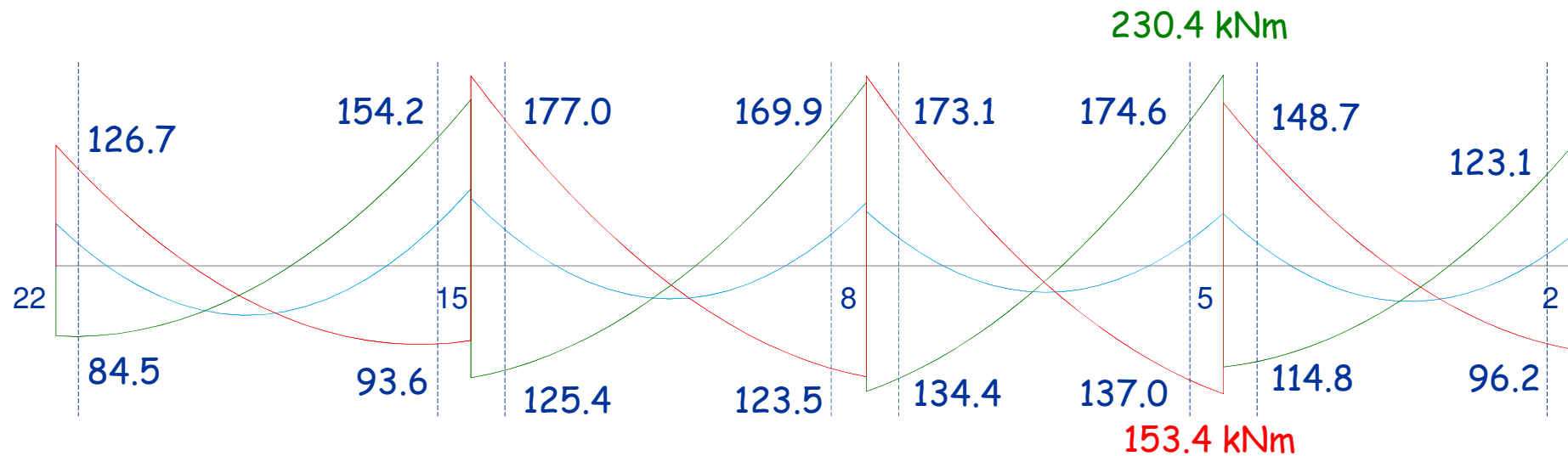


b) azioni orizzontali

Trave 22-2

diagramma del momento flettente

I impalcato



Primo passo

armatura a flessione delle travi

- Si parte dall'involuppo 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 22-2

verifica della sezione

Momento sollecitante massimo (negativo):

$$M_{Ed} = 230.4 \text{ kNm (in asse)} \quad 177.0 \text{ kNm (a filo)}$$

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)

In realtà sarebbe andata bene anche la sezione 30x50

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

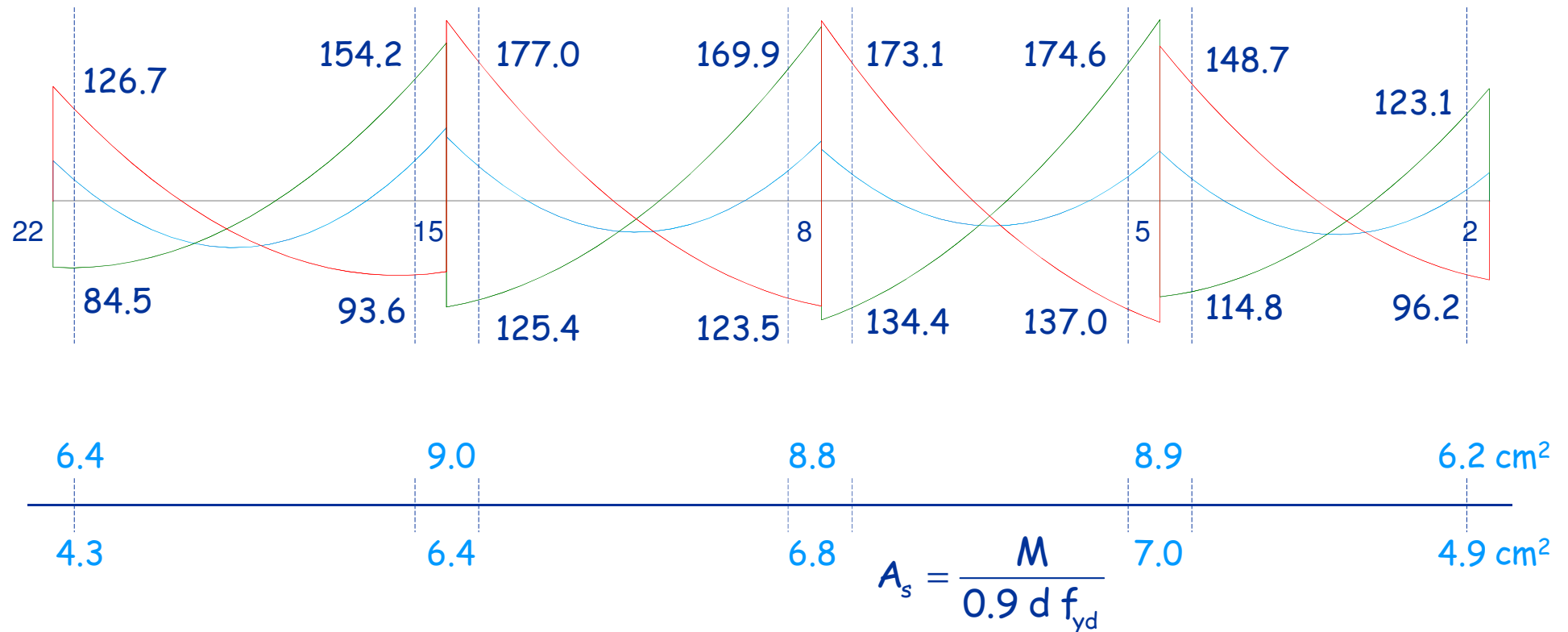
$$A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}}$$

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

Trave 22-2

area di armatura necessaria

I impalcato



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

Nota:

l'Eurocodice 8 prescrive $\rho_{\text{min}} < 0.5 \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{yk}}$

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

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

5.1 cm² per EC8

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 dissipativa - dal filo pilastro un tratto pari a:

h_{trave} per DC"B"

$1.5 h_{trave}$ per DC"A"

Progetto dell'armatura longitudinale

limiti di normativa

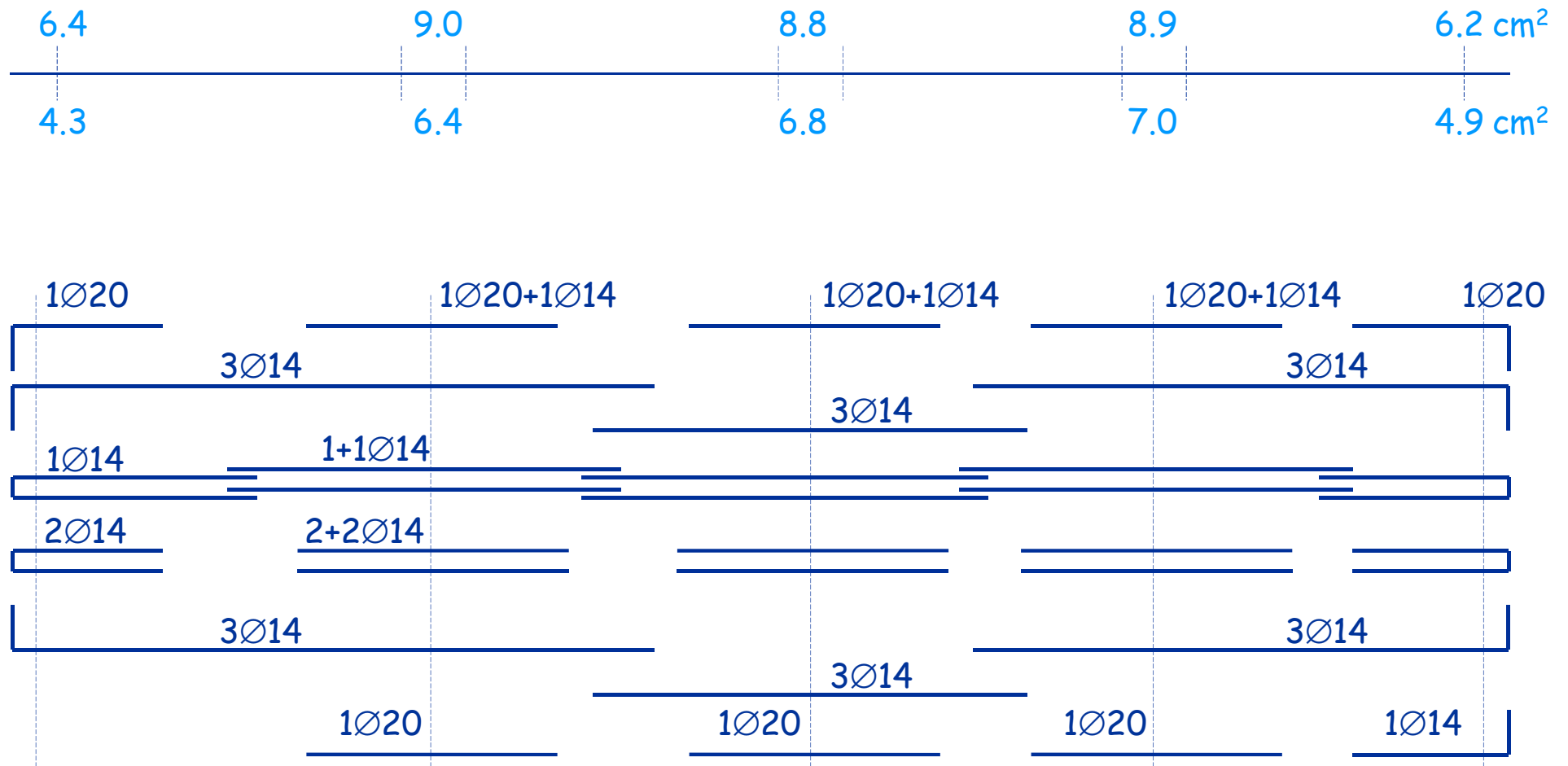
Considerazioni:

- Il limite trovato, $5.6 \text{ cm}^2 < A_s < A_{s,\text{comp}} + 14.0 \text{ cm}^2$ 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 22-2

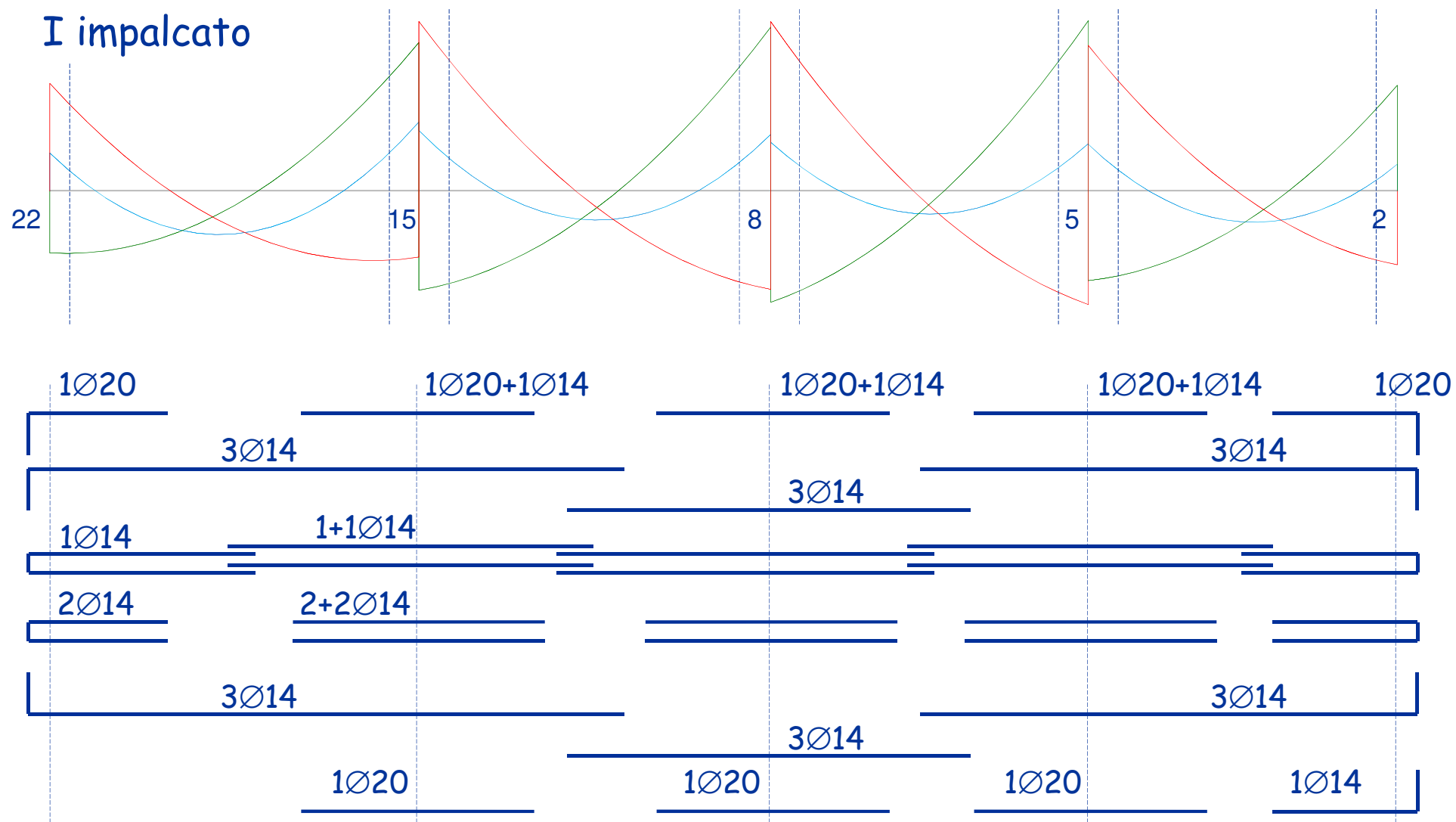
armatura disposta - prima alternativa ($\varnothing 14$ e $\varnothing 20$)

I impalcato



Trave 22-2

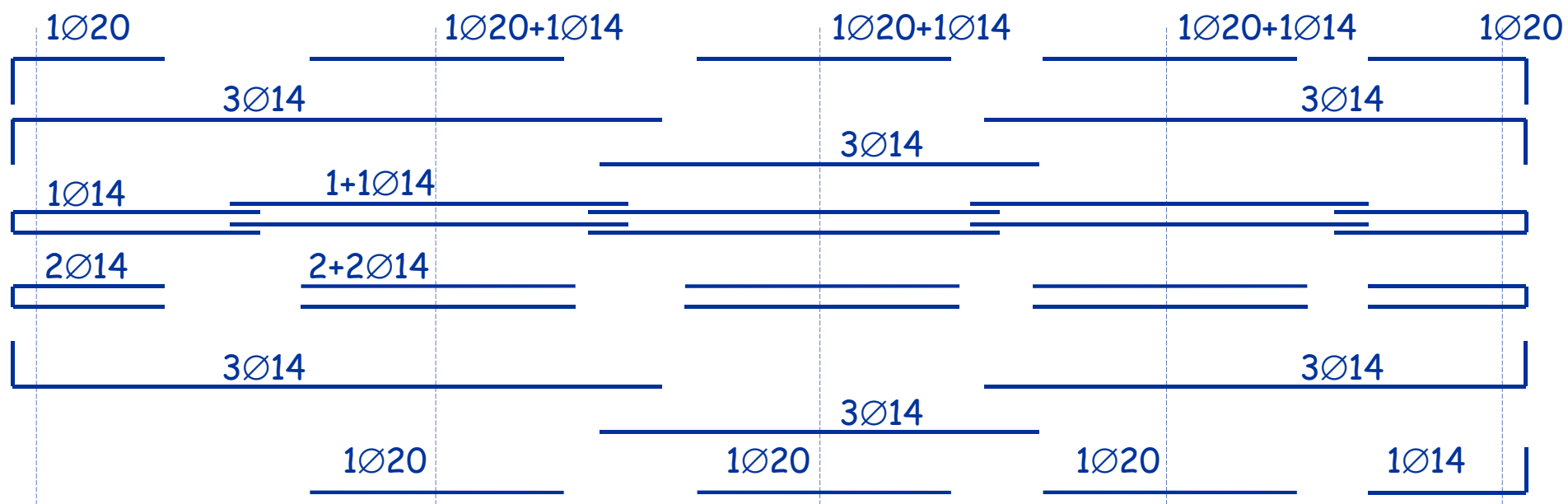
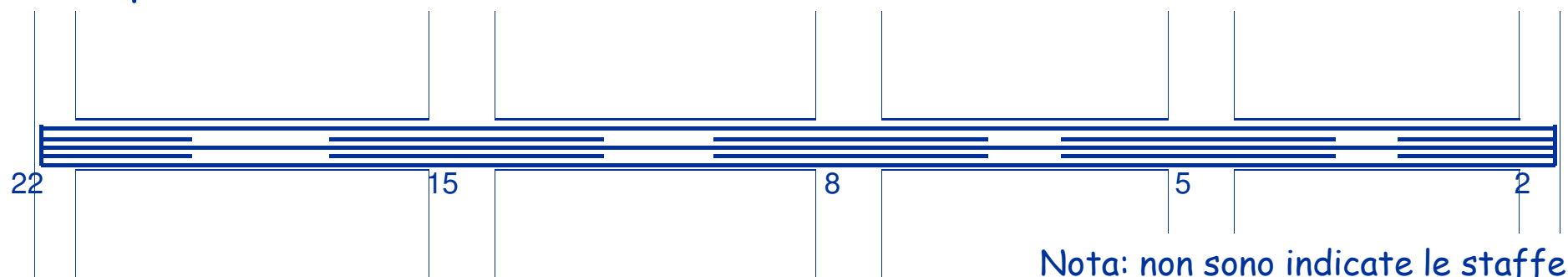
armatura disposta - prima alternativa ($\varnothing 14$ e $\varnothing 20$)



Trave 22-2

armatura disposta - prima alternativa ($\varnothing 14$ e $\varnothing 20$)

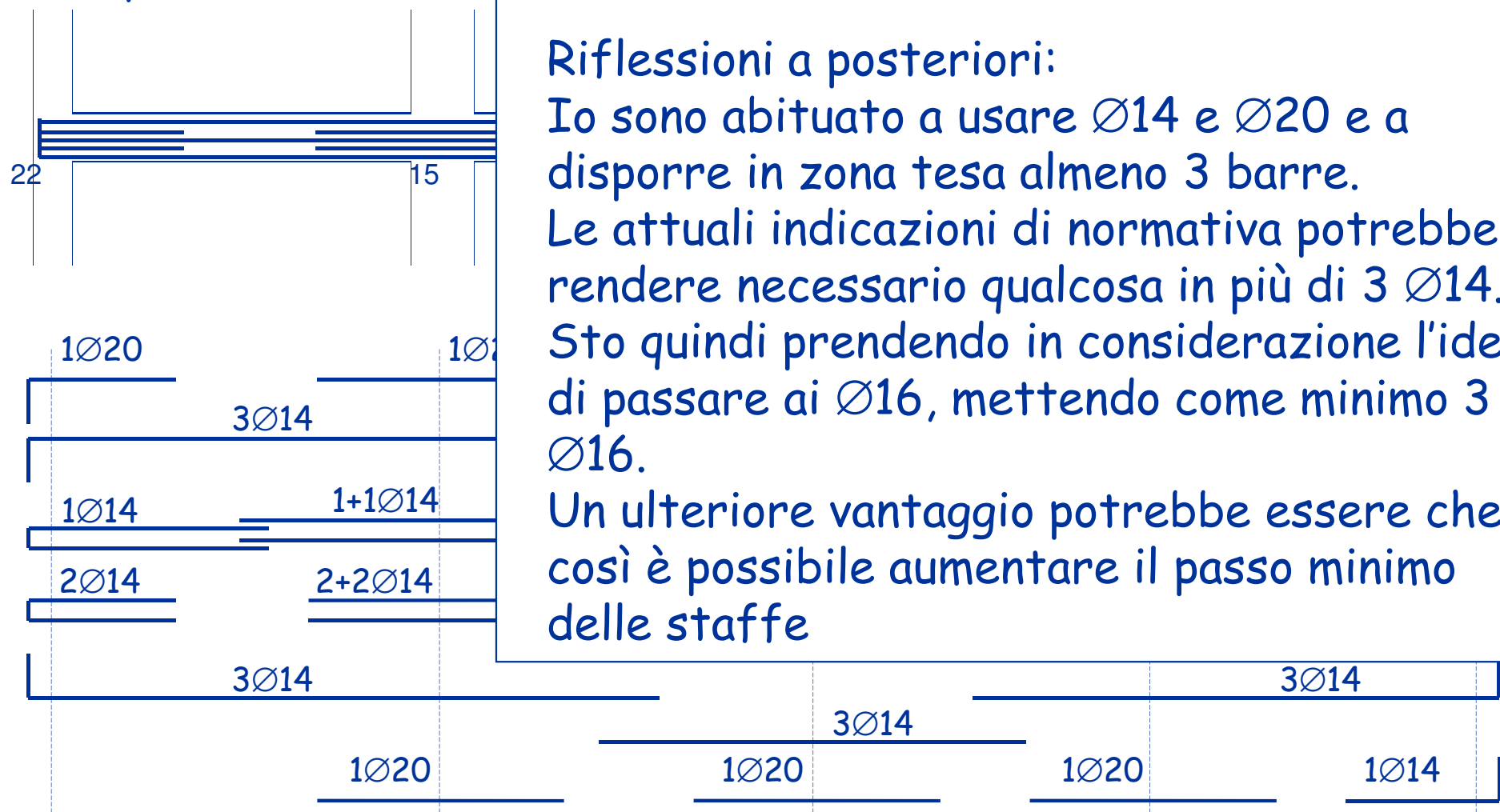
I impalcato



Trave 22-2

armatura disposta - prima alternativa ($\varnothing 14$ e $\varnothing 20$)

I impalcato



Riflessioni a posteriori:

Io sono abituato a usare $\varnothing 14$ e $\varnothing 20$ e a disporre in zona tesa almeno 3 barre.

Le attuali indicazioni di normativa potrebbero rendere necessario qualcosa in più di 3 $\varnothing 14$.

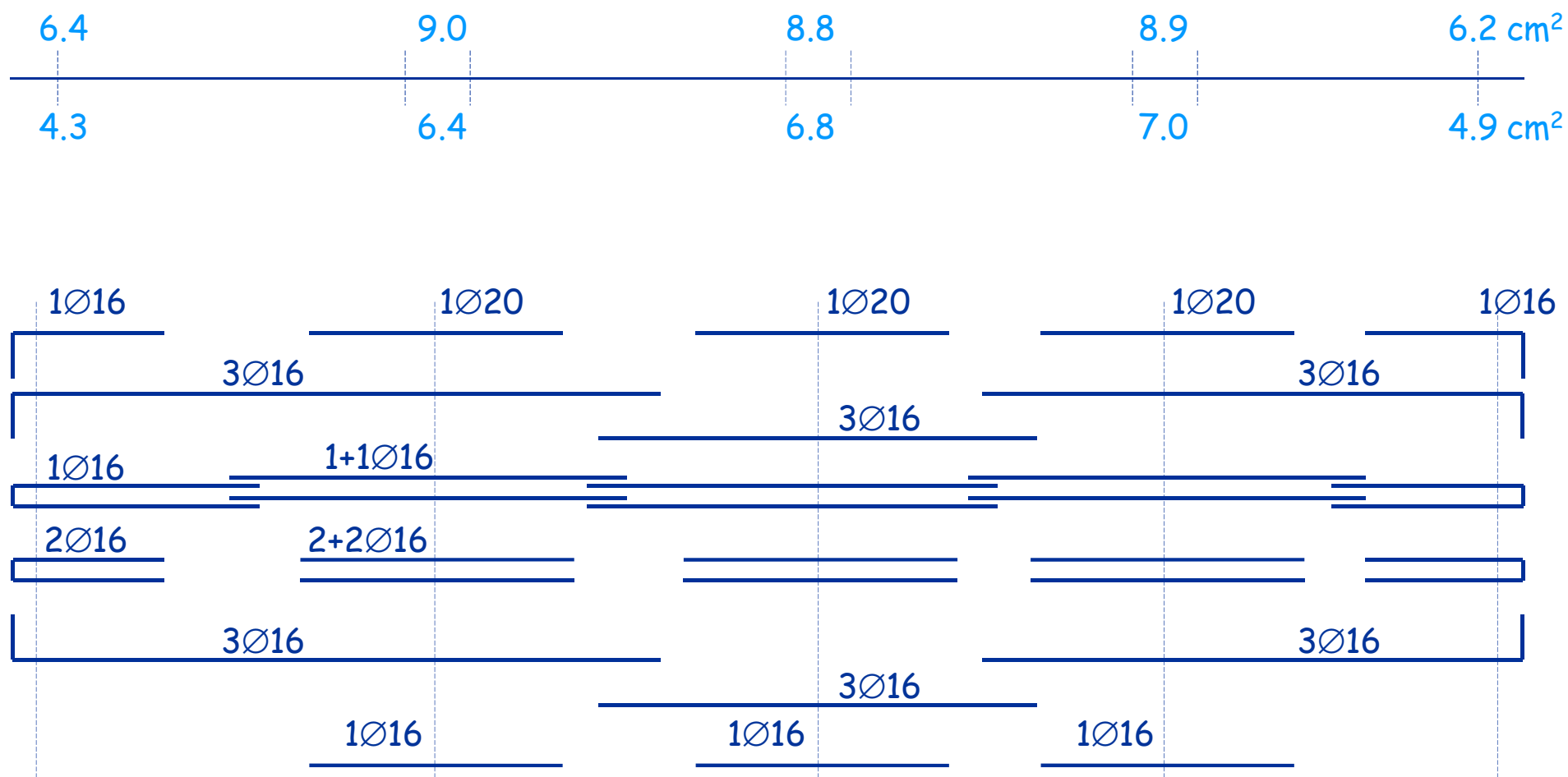
Sto quindi prendendo in considerazione l'idea di passare ai $\varnothing 16$, mettendo come minimo 3 $\varnothing 16$.

Un ulteriore vantaggio potrebbe essere che così è possibile aumentare il passo minimo delle staffe

Trave 22-2

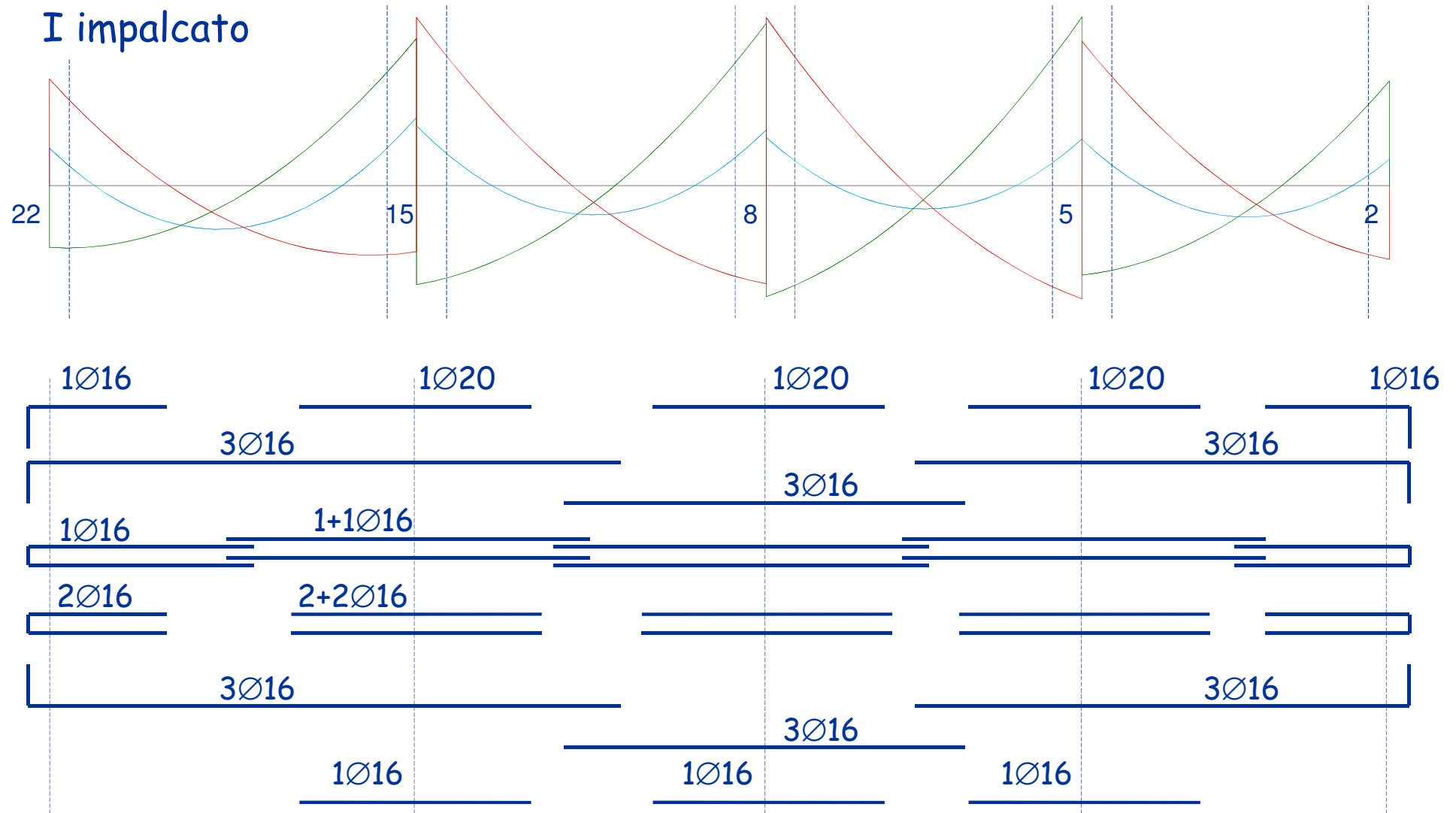
armatura disposta - seconda alternativa ($\varnothing 16$ e $\varnothing 20$)

I impalcato



Trave 22-2

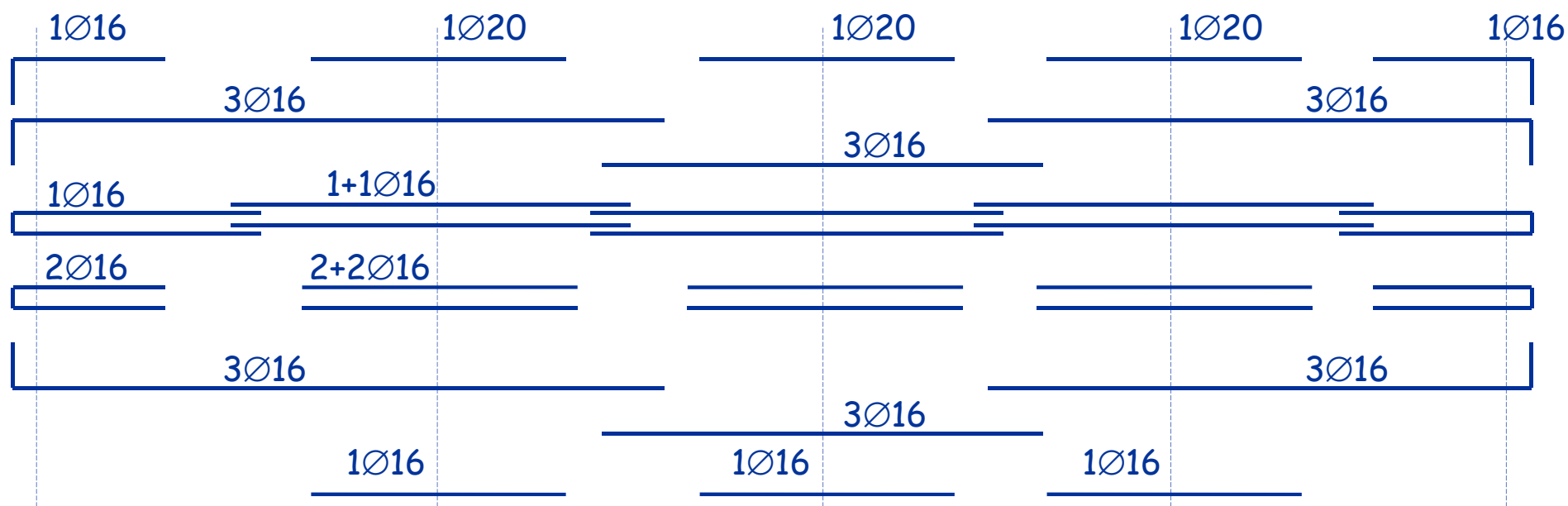
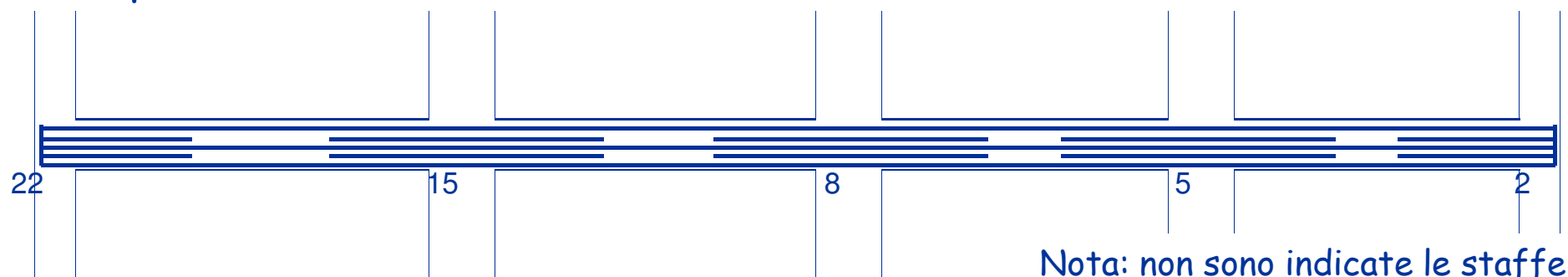
armatura disposta - seconda alternativa ($\varnothing 16$ e $\varnothing 20$)



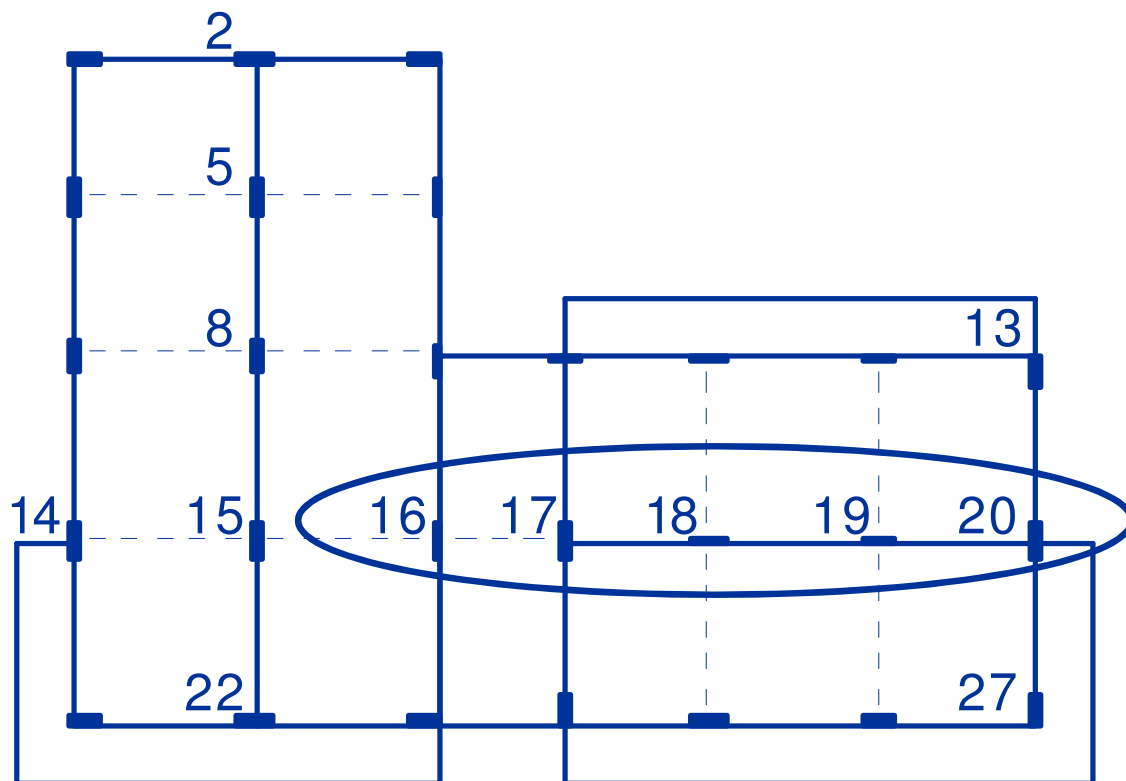
Trave 22-2

armatura disposta - seconda alternativa ($\varnothing 16$ e $\varnothing 20$)

I impalcato



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

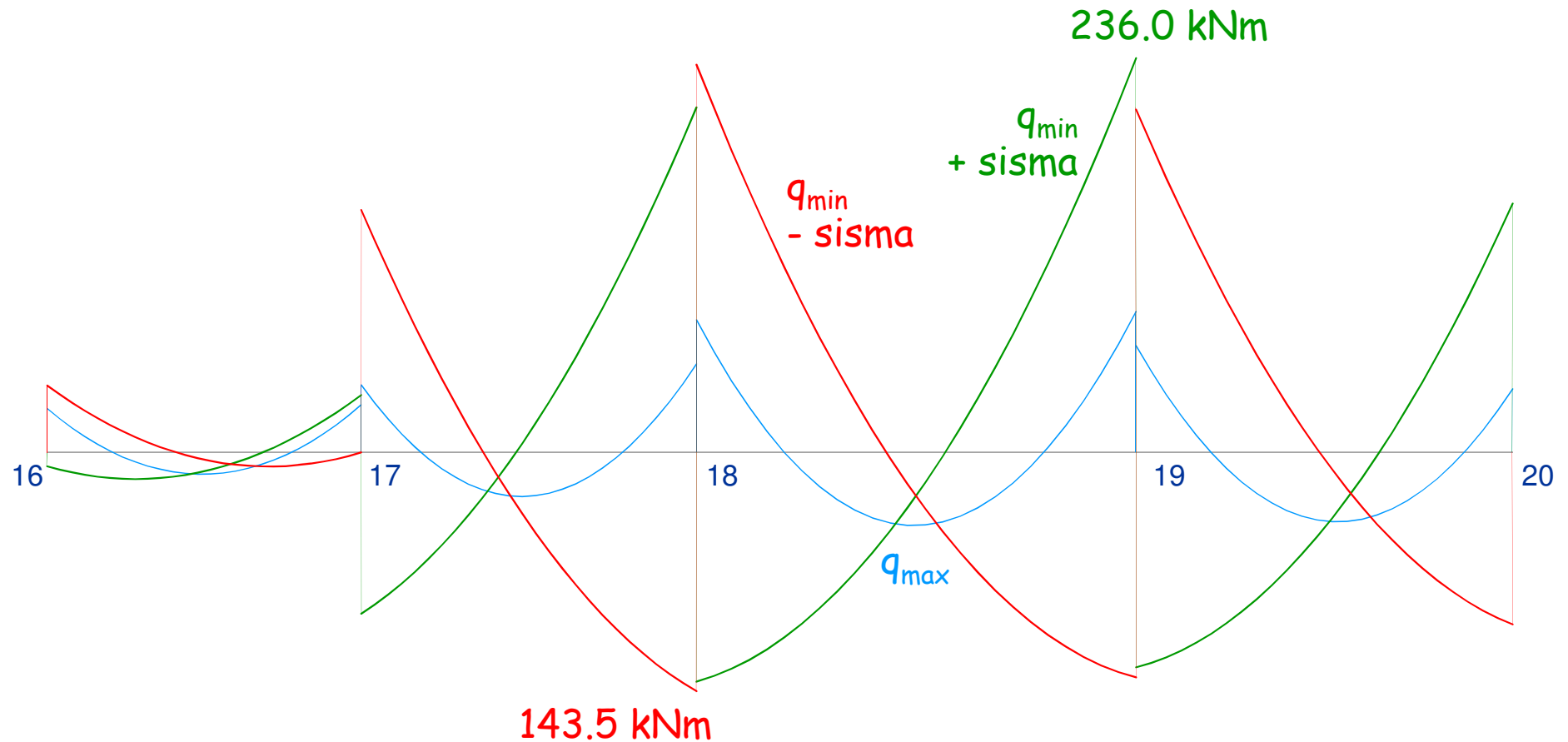
momento flettente

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

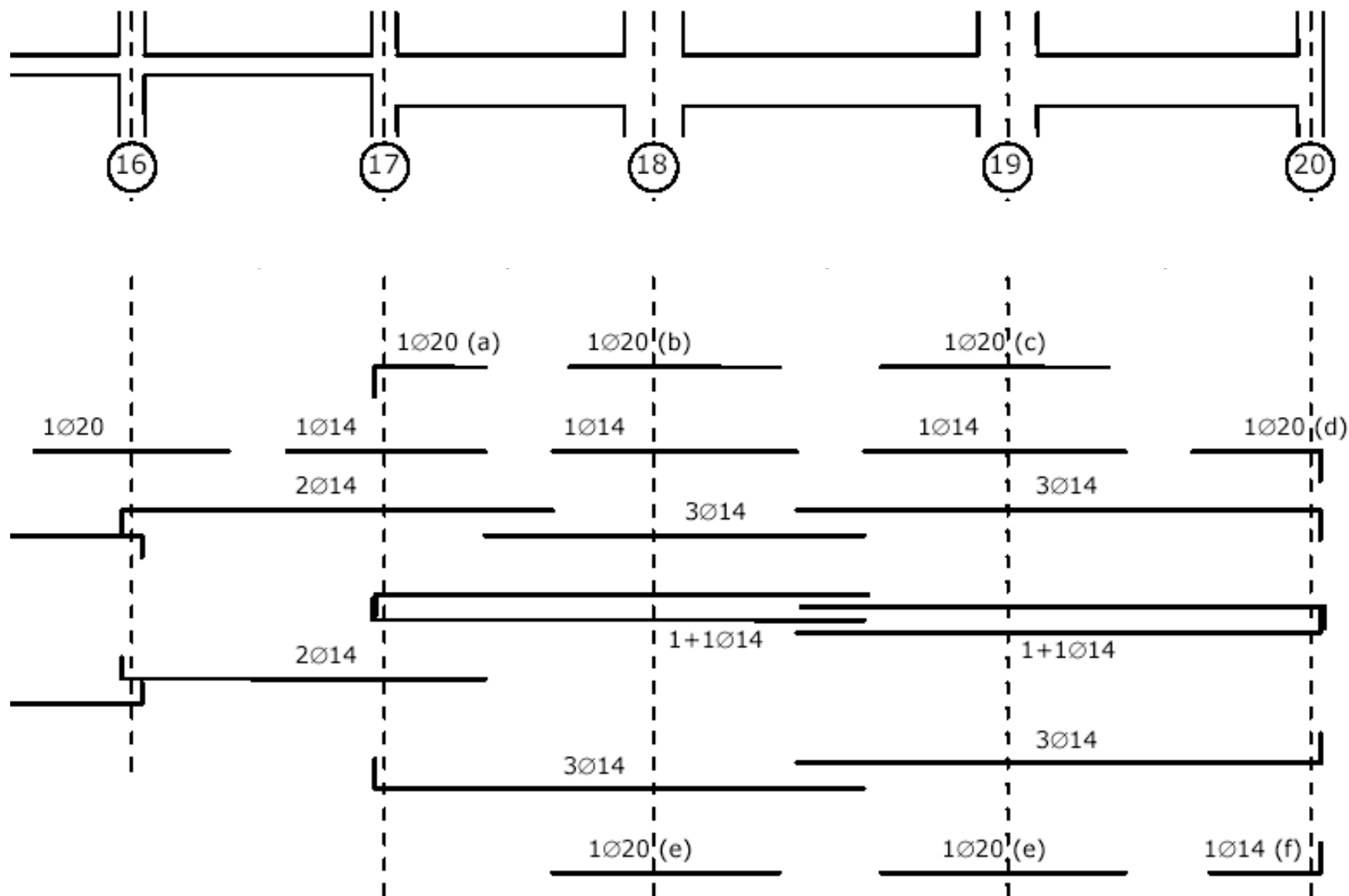
Trave 14-20

diagramma del momento flettente

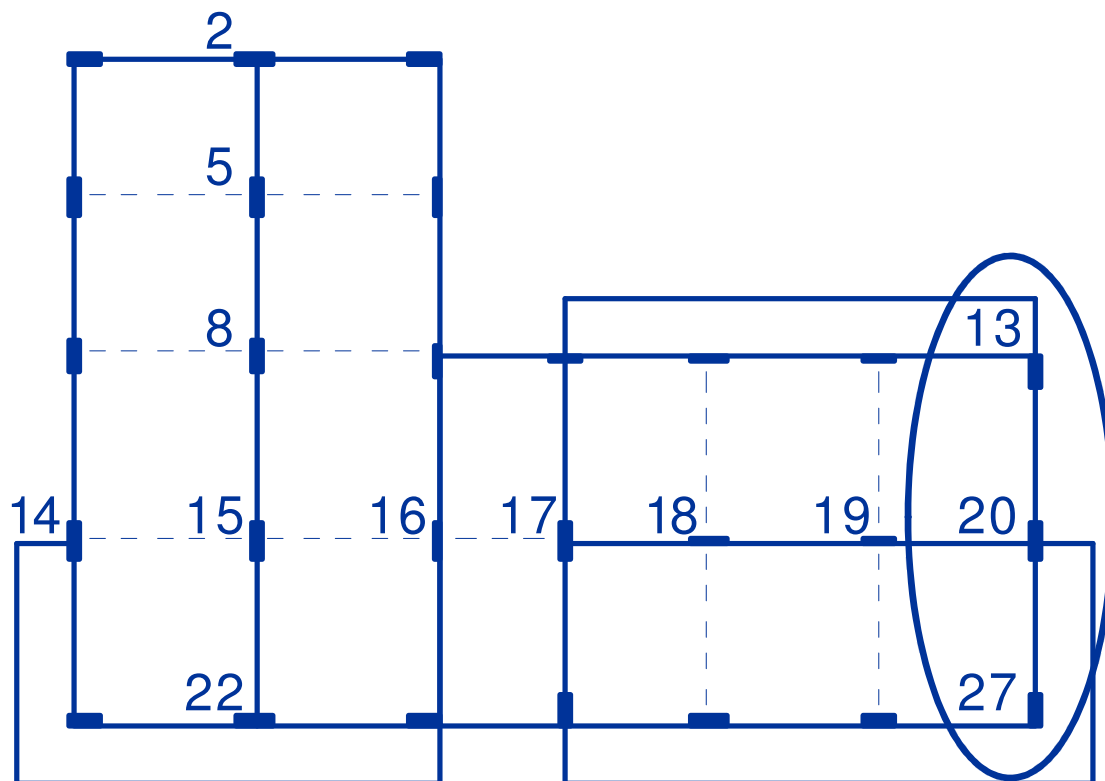


Trave 14-20

armature a flessione ($\varnothing 14$ e $\varnothing 20$)



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

Prima soluzione (non bilanciata, travi 30x60)

Trave 27-13

momento flettente

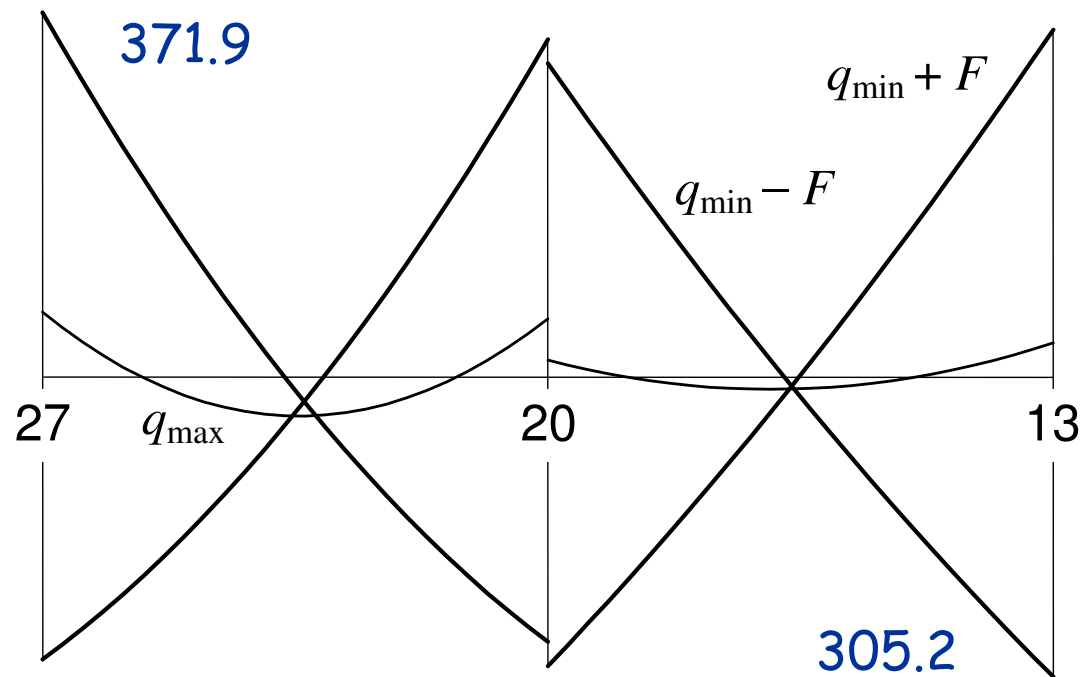
II impalcato

	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

Prima soluzione (non bilanciata, travi 30x60)

Trave 27-13

diagramma del momento flettente



La sezione richiede:

15.1 cm² sup

13.2 cm² inf

(molto forti, ma forse ancora accettabili)

Prima soluzione (non bilanciata, travi 30x60)

Trave 27-13

momento flettente

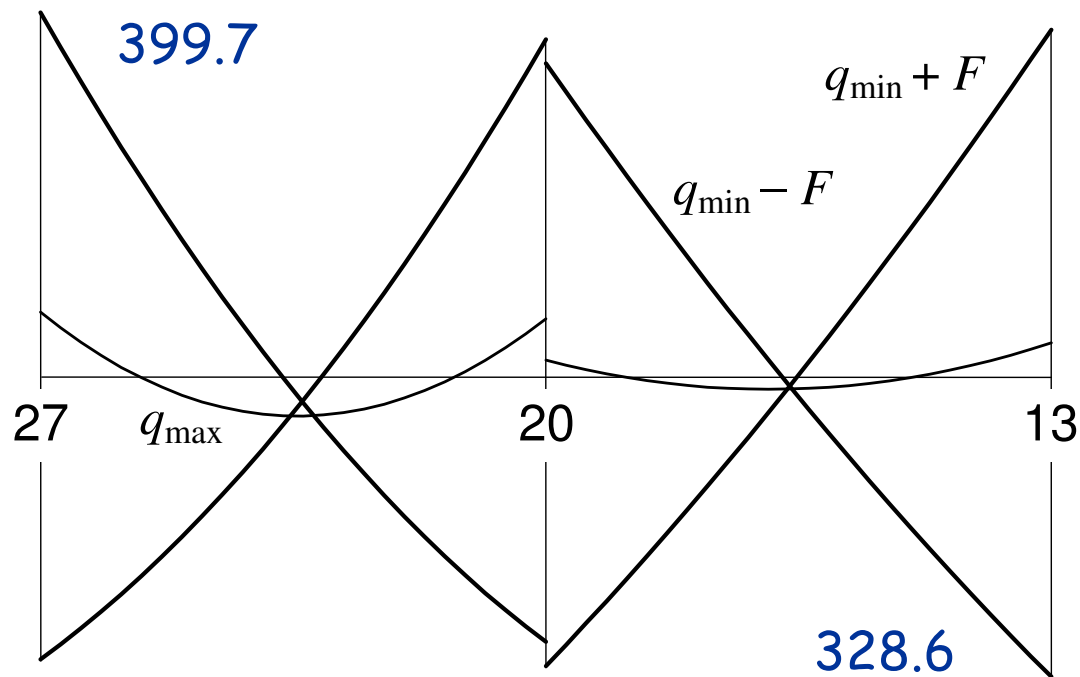
II impalcato

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	sisma x	sisma y	y+0.3 x
27	-70.1	-44.6	26.1	289.3	32.7	48.2	58.9	337.5	355.1
20	-58.1	-36.2	-24.8	-274.0	-31.0	-45.6	-55.8	-319.6	-336.3
20	-14.2	-10.6	24.8	274.0	31.0	45.6	46.3	265.4	279.2
13	-38.2	-26.5	-26.1	-289.3	-32.7	-48.2	-43.2	-247.5	-260.4

Seconda soluzione (bilanciata, travi 30x70)

Trave 27-13

diagramma del momento flettente



La sezione richiede:

12.8 cm² sup

11.4 cm² inf

(leggermente minori
rispetto alla prima
soluzione)

Seconda soluzione (bilanciata, travi 30x70)

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

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

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

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

Campata 17-18

sollecitazioni di calcolo (CD "A")

Esempio - prima campata

sinistra

sup. 1 Ø20 + 3 Ø14

inf. 3 Ø14

$q=31.7$ kN/m

destra

sup. 1 Ø20 + 4 Ø14

inf. 3 Ø14 + 1 Ø20

M_{Rd} (kNm)

-161.1

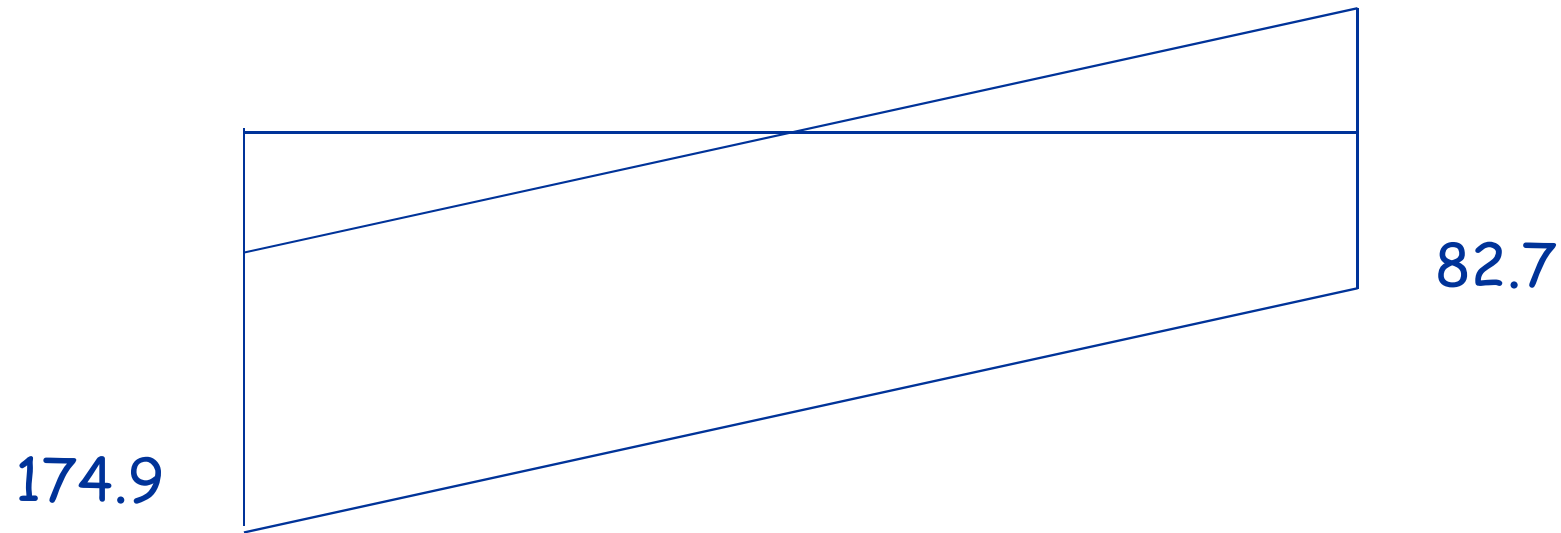
+97.3

-192.4

+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



$$\begin{aligned} V &= \frac{ql}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2 \frac{97.3 + 192.4}{2.70} = \\ &= 46.1 + 128.8 = 174.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Campata 17-18

sollecitazioni di calcolo (CD "A")

Esempio - prima campata

sinistra

sup. 1 Ø20 + 3 Ø14

inf. 3 Ø14

$q=31.7$ kN/m

destra

sup. 1 Ø20 + 4 Ø14

inf. 3 Ø14 + 1 Ø20

M_{Rd} (kNm)

-161.1

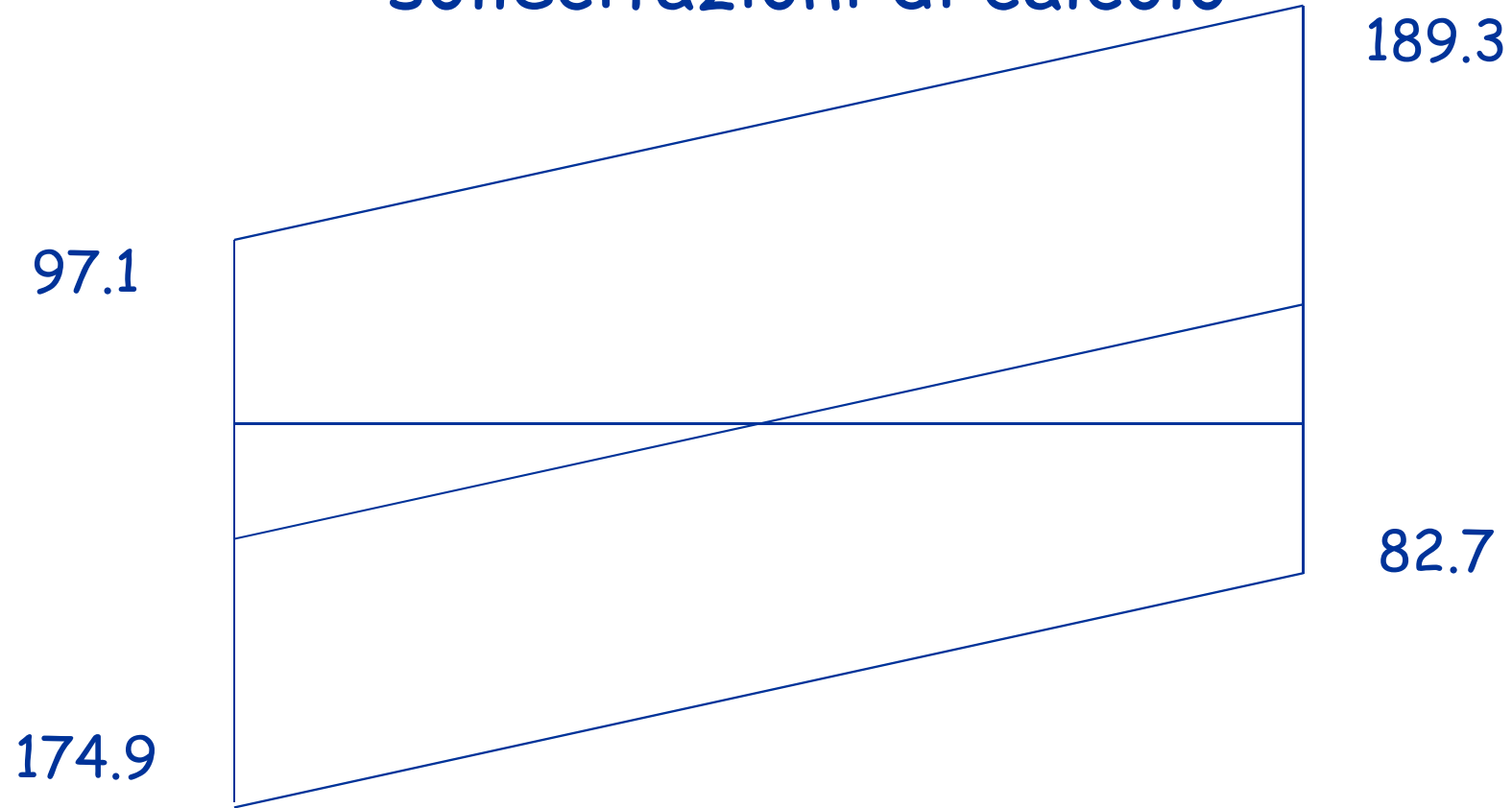
+97.3

-192.4

+161.2

$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,sin} + M_{Rd,des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2 \frac{161.1 + 161.1}{2.70} =$$
$$= 46.1 + 143.2 = 189.3 \text{ kN}$$

Taglio sollecitazioni di calcolo



$$V = \frac{q l}{2} + \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd, sin} + M_{Rd, des}}{l} = \frac{34.1 \times 2.70}{2} + 1.2 \frac{161.1 + 161.1}{2.70} =$$
$$= 46.1 + 143.2 = 189.3 \text{ kN}$$

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 $\varnothing_{\min, \text{tra}}$ (per DC"B") 6 $\varnothing_{\min, \text{tra}}$ (per DC"A")
- 24 $\varnothing_{\text{staffe}}$

avendo $\varnothing 14$: $6 \times 14 = 84 \text{ mm}$

se $\varnothing 16$: $6 \times 16 = 96 \cong 100 \text{ mm}$

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 $\varnothing 8 / 10 \text{ cm}$ 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 $\cot \theta = 1$