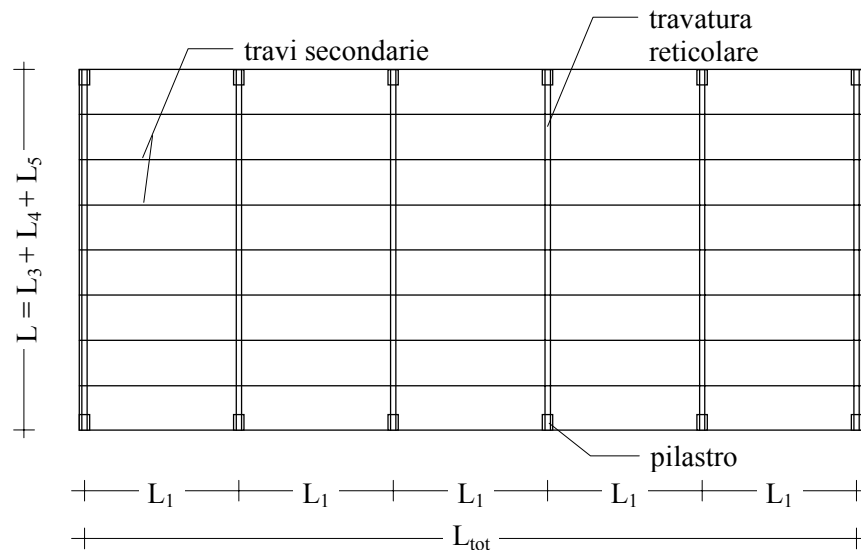


# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO



## FASI DEL PROGETTO

- Progetto delle armature
- Momento resistente della sezione
- Verifica rigorosa della sezione
- Impostazione della tavola

Ubicazione	quota	550 m s.l.m	distanza dal mare	>30 km
Destinazione d'uso	piano terra:	sala lettura	piani interrati:	deposito libri
Tipo di trave reticolare	tipologia	1		
Carpenteria solaio	alternativa	B		
Piano da analizzare	piano interrato			
Trave da analizzare	trave 4			
Dati geometrici	$L_1 = 7.80 \text{ m}$	$L_2 = 2.10 \text{ m}$	$L_3 = 6.70 \text{ m}$	$L_4 = 5.00 \text{ m}$
	$L_5 = 6.20 \text{ m}$	$L_6 = 0.00 \text{ m}$	$L_{\text{tot}} = 39.00 \text{ m}$	

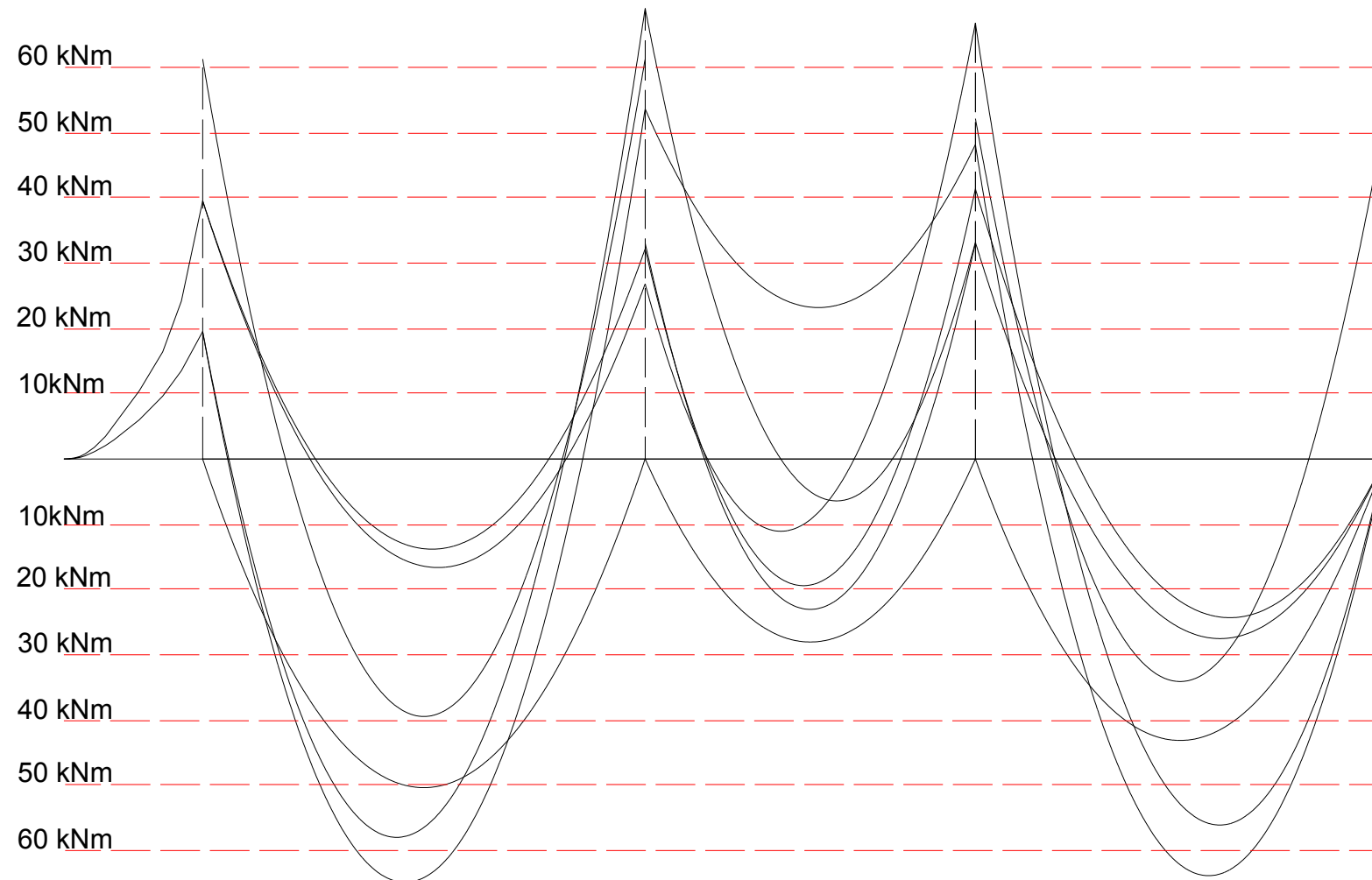
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: schema di calcolo del solaio - RIEPILOGO

Combinazione di carico	$M_{sb}$ [ kN m ]	$M_{3-4}$ [ kN m ]	$M_{4-5}$ [ kN m ]	$M_{5-6}$ [ kN m ]	$M_4$ [ kN m ]	$M_5$ [ kN m ]	$M_6$ [ kN m ]
1° combinazione	-19.3	63.4	-22.9	61.4	-53.0	-47.6	-
2° combinazione	-39.1	13.6	19.0	21.5	-31.8	-40.9	-
3° combinazione	-19.3	55.8	4.9	25.6	-68.2	-32.8	-
4° combinazione	-39.1	16.2	9.2	52.2	-26.5	-66.0	-
1° schema limite	-	49.8	27.7	42.6	-	-	-
2° schema limite	- 60.6	16.6	9.3	14.2	- 60.6	- 51.5	- 51.5

# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: schema di calcolo del solaio– INVILUPPO DEI DIAGRAMMI



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – CRITERI PROGETTUALI

### SULLA DIMENSIONE DELLE BARRE

- la lunghezza massima delle barre è di **12.00m**
- è preferibile **limitare**, per quanto possibile, **la lunghezza delle barre** per facilitarne la messa in opera;
- ove possibile, è opportuno **evitare eccessivi sfridi** di armatura utilizzando misure complementari a 12.00m e arrotondando a lunghezze multiple di 5 o 10cm;

### SUL DIAMETRO DELLE BARRE

- è opportuno impiegare **2 diametri** di armatura;
- i diametri da scegliere dovrebbero determinare aree della sezione trasversale prossime al **rapporto 1 a 2** (ad esempio  $\phi 10$  e  $\phi 14$  oppure  $\phi 12$  e  $\phi 16$ );
- scegliere la coppia in funzione dei carichi gravanti sul solaio (ad es. ARCHIVIO  $\rightarrow \phi 12$  e  $\phi 16$ );

$$A_{s,\phi 12} = 1.13 \text{ cm}^2 \quad A_{s,\phi 16} = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\phi 10} = 0.78 \text{ cm}^2 \quad A_{s,\phi 14} = 1.54 \text{ cm}^2$$

# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – CRITERI PROGETTUALI

### SULLA DISPOSIZIONE DELLE BARRE

- deve essere garantito il **copriferro minimo** delle armature come da prospetto (EC2 –prosp.4.2)

		Classe di esposizione definita nel prospetto 4.1								
		1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c <sup>3) 4)</sup>
copriferro minimo <sup>2)</sup> (mm)	barre di armatura	15	20	25	40   (I:35)	40   (I:35)	40   (I:35)	25	30	40
	acciaio da precompresso	25   (I:20)	30	35	50   (I:40)	50   (I:40)	50   (I:40)	35	40   (I:35)	50   (I:45)

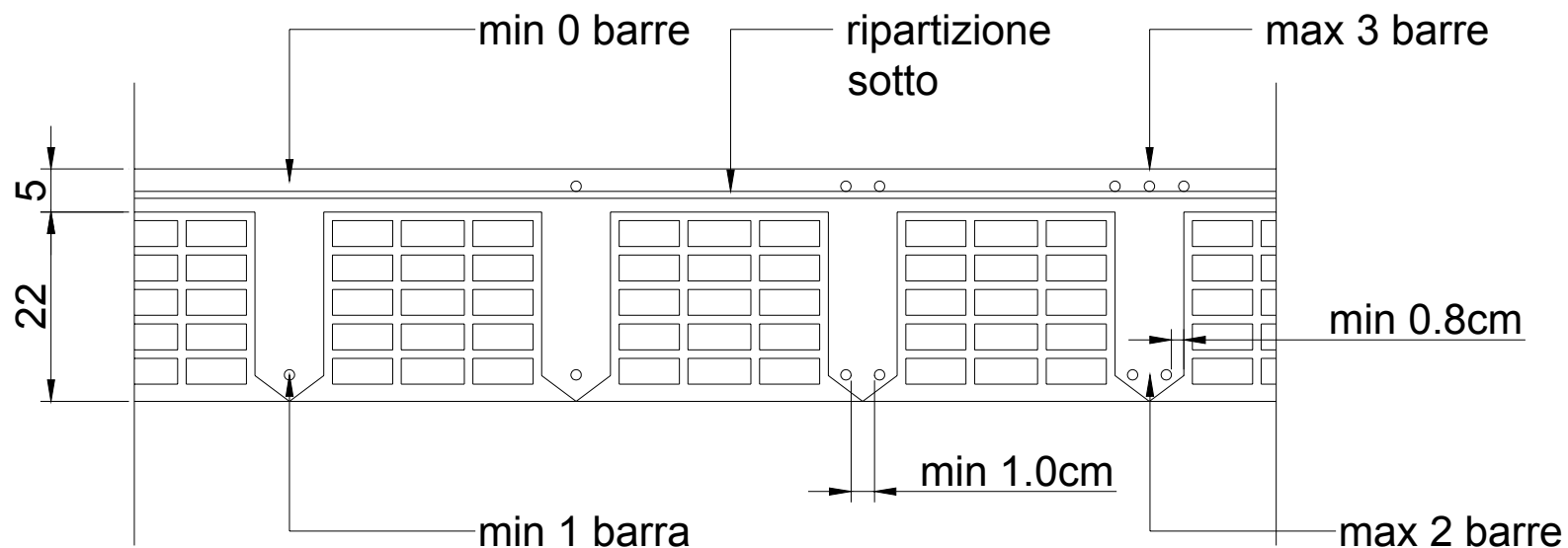
- il D.M. 9/1/96 richiede che il **ricoprimento sia non inferiore a 0.8mm** (punto 6.1.4.)
- il D.M. 9/1/96 richiede che **l'interferro non sia inferiore a 1.0cm** (punto 7.1.5.1.) per le barre dentro al travetto e inferiore a 2.0 cm (punto 6.1.4.) per le altre;
- l'armatura longitudinale deve essere superiore a  $A_{s \min} \geq 0,07 h \text{ cm}^2$  al metro, ove h è l'altezza del solaio espressa in cm (D.M. 9/1/96 punto 7.1.4.7).

# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – CRITERI PROGETTUALI

### SUL NUMERO DELLE BARRE

- è obbligatorio **disporre inferiormente** almeno **una barra** per travetto;
- il numero massimo di barre da disporre inferiormente non deve essere superiore a due;
- il numero massimo di barre da disporre superiormente non deve essere superiore a tre;



## PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

### FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **FORMULE DI PROGETTO**

Dato il momento flettente l'armatura necessaria è fornita dalla relazione:

$$A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}} = \frac{M}{0.9 \times 0.25 \times 374} \times 10 = 0.119 M$$

Invertendo la relazione possiamo conoscere il contributo al momento resistente fornito da una barra di assegnato diametro (ad es.  $\phi 12$  e  $\phi 16$ ):

$$M_{Rd,\phi 12} = n_{tr} \times [A_{s,\phi 12} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{yd}] = 3 \times 1.13 \text{ cm}^2 \times 0.9 \times 0.25 \text{ m} \times 374 \text{ MPa} \times 10^{-1} = 28.53 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,\phi 16} = n_{tr} \times [A_{s,\phi 16} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{yd}] = 3 \times 2.01 \text{ cm}^2 \times 0.9 \times 0.25 \text{ m} \times 374 \text{ MPa} \times 10^{-1} = 50.74 \text{ kNm}$$

Possiamo valutare l'armatura necessaria per ogni sezione e quella che andremo a disporre.

## PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **CALCOLO DELLE QUANTITÀ**

SEZIONE	$M_{sd}$ [ kN m ]	$A_{s,nec}$ [ cm <sup>2</sup> / ml ]	$A_{s,nec}$ [ cm <sup>2</sup> / tr.]	Barre per travetto	$A_{s,disp}$ [ cm <sup>2</sup> / tr.]
Campata 3-4	63.4	7.53	2.51	1 $\phi$ 12 + 1 $\phi$ 16	3.14
Campata 4-5	27.7 ( -22.9)	3.29 (2.72)	1.10 (0.91)	1 $\phi$ 12 (1 $\phi$ 12)	1.13 (1.13)
Campata 5-6	61.4	7.30	2.43	1 $\phi$ 12 + 1 $\phi$ 16	3.14
Appoggio 3	-60.6	4.65	1.55	2 $\phi$ 12	2.26
Appoggio 4	-68.2	8.10	2.70	3 $\phi$ 12	3.39
Appoggio 5	-66.0	7.85	2.62	3 $\phi$ 12	3.39
Appoggio 6	-51.5	6.13	2.04	2 $\phi$ 12	2.26

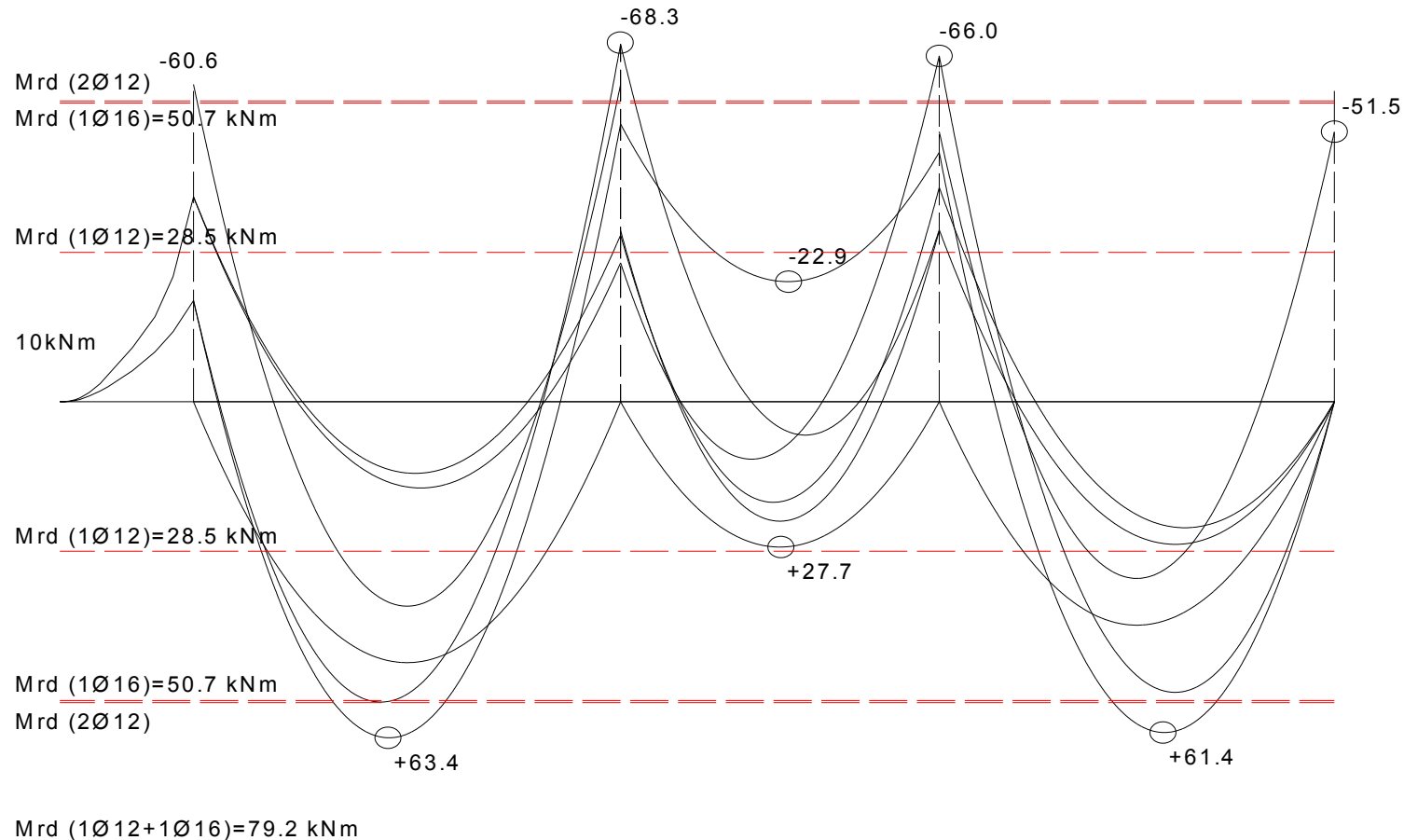
Le quantità di armatura ottenute in tabella possono essere rappresentate graficamente.



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

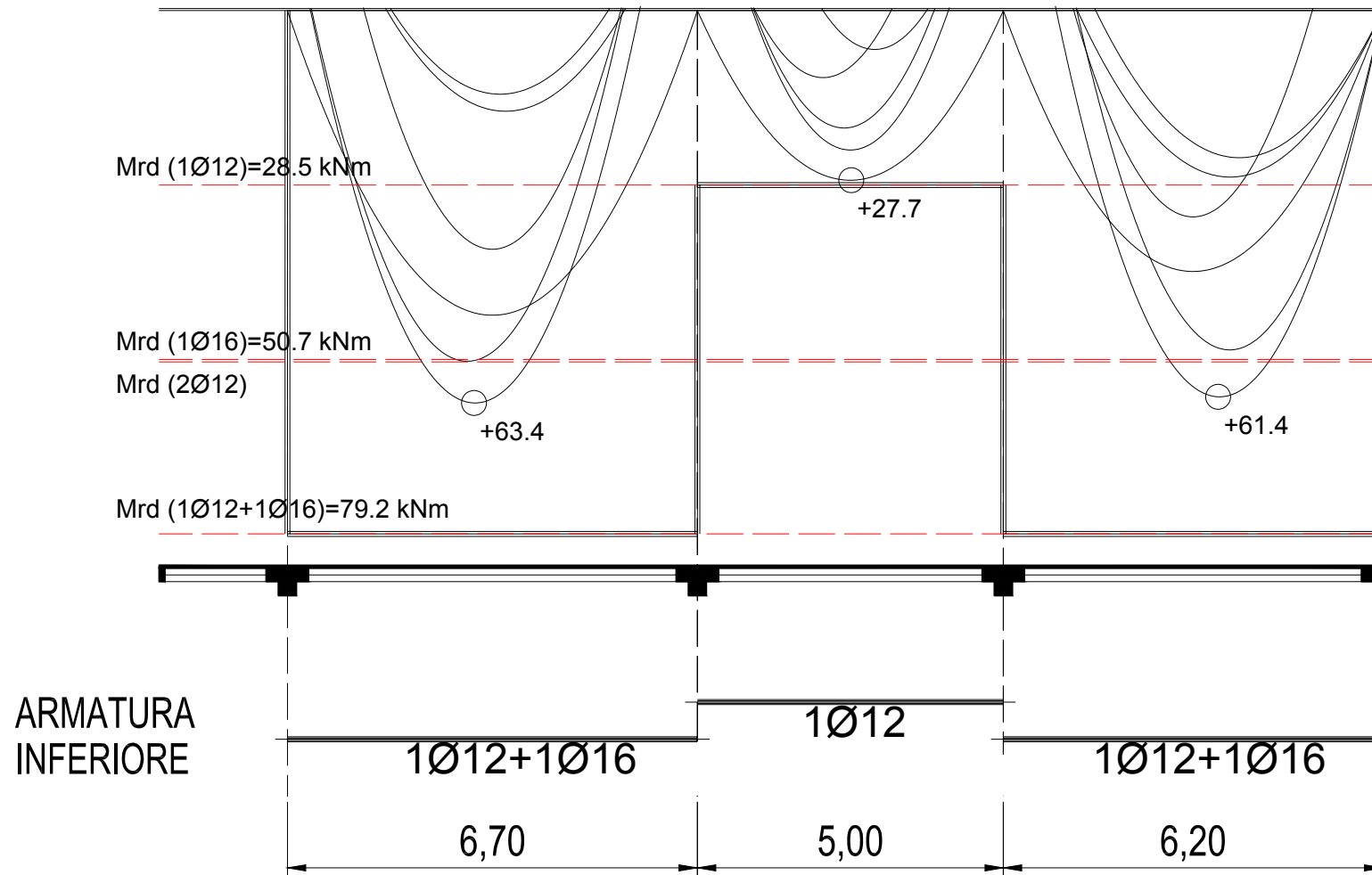
## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **CALCOLO DELLE QUANTITÀ**

Mrd (1Ø12+1Ø16)=79.2 kNm



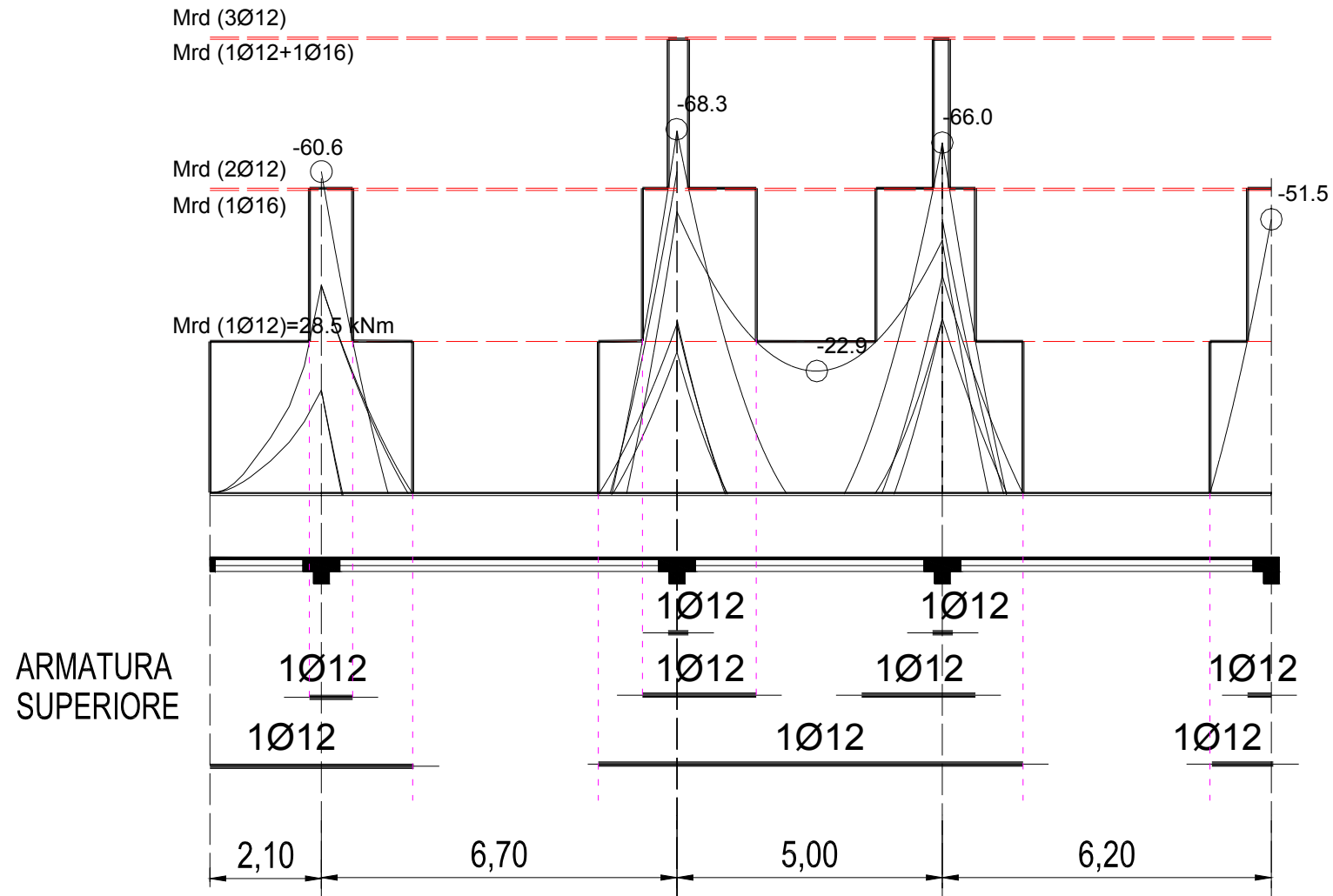
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **ARMATURA INFERIORE**



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **ARMATURA SUPERIORE**

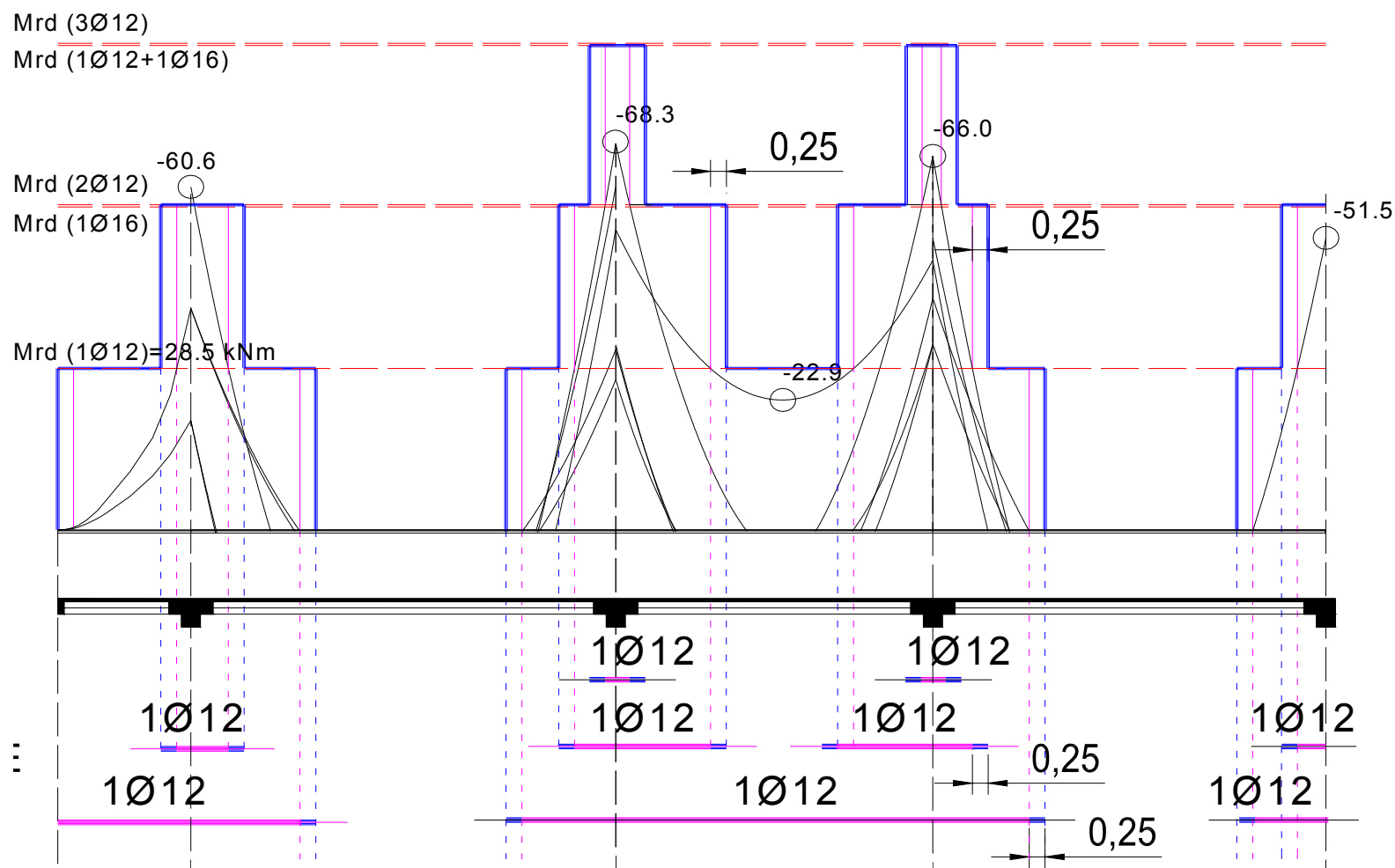


# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **ARMATURA SUPERIORE**

### TRASLAZIONE DEL DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE

Nel progetto dell'armatura superiore è necessario considerare la traslazione del momento flettente; il diagramma del momento resistente dell'armatura deve scostarsi dall'involuppo di un'altezza utile  $d$ .



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **DETTAGLI COSTRUTTIVI**

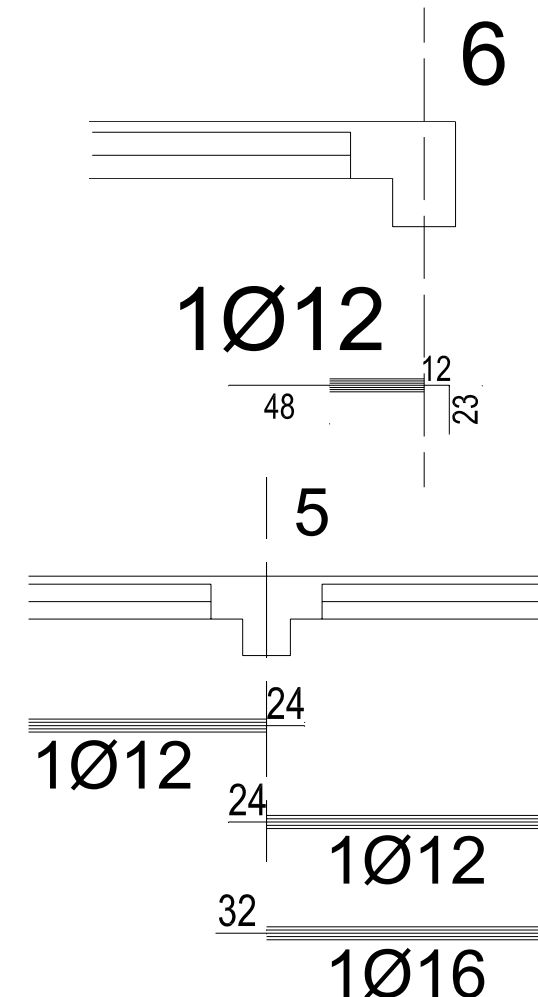
### **ANCORAGGI E SOVRAPPOSIZIONI**

L'ancoraggio può essere eseguito dritto o con piega.

Nelle **barre superiori** l'ancoraggio dritto viene generalmente eseguito mediante una lunghezza pari a **40 volte il diametro** della barra: (ad es.  $\phi 12 \rightarrow l_a = 48 \text{ cm}$ ).

Se l'ancoraggio è eseguito con piegatura verso il basso la lunghezza di ancoraggio può ridursi di un **fattore 0.7** (ad es.  $\phi 12 \rightarrow l_{a,\text{net}} = 0.7 \times 48 \sim 35 \text{ cm}$ ).

Nelle **barre inferiori** l'ancoraggio viene eseguito dritto; poiché il tasso di lavoro della barra è pressoché nullo (il momento è negativo) la lunghezza netta di ancoraggio può essere ridotta di un **fattore 0.5**: (ad es.  $\phi 12 \rightarrow l_{a,\text{net}} = 0.5 \times 48 = 24 \text{ cm}$ ; ad es.  $\phi 16 \rightarrow l_{a,\text{net}} = 0.5 \times 64 = 32 \text{ cm}$ ).

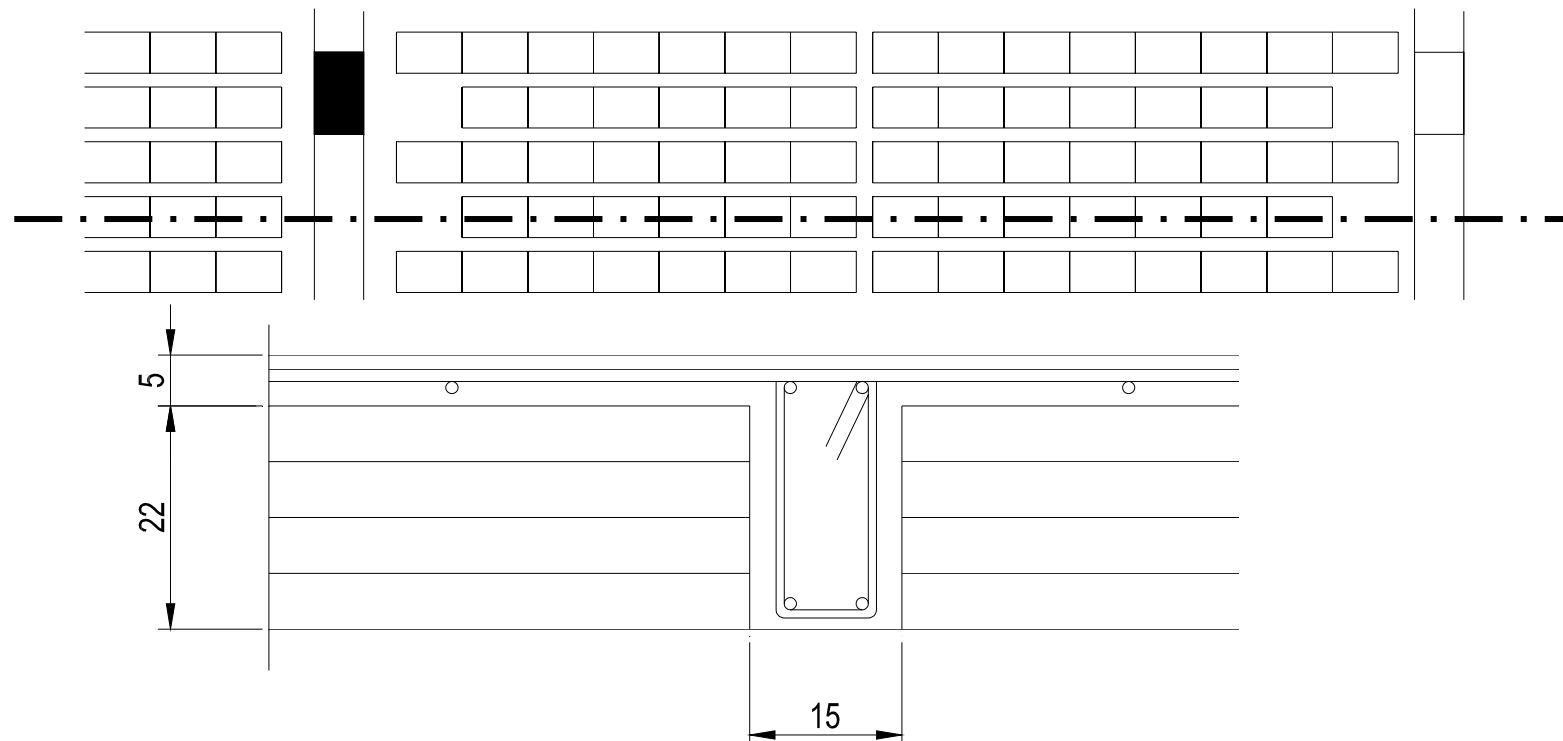


# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **DETTAGLI COSTRUTTIVI**

### **TRAVETTO ROMPITRATTA**

Nei campi di solaio di lunghezza superiore a 4.50m è necessario disporre un travetto trasversale all'orditura detto **travetto rompitratta**. Tale elemento di larghezza compresa tra **10 e 20 cm** garantisce una maggiore solidarietà tra le nervature del solaio e quindi una maggiore capacità di ripartizione dei carichi gravanti sul solaio.



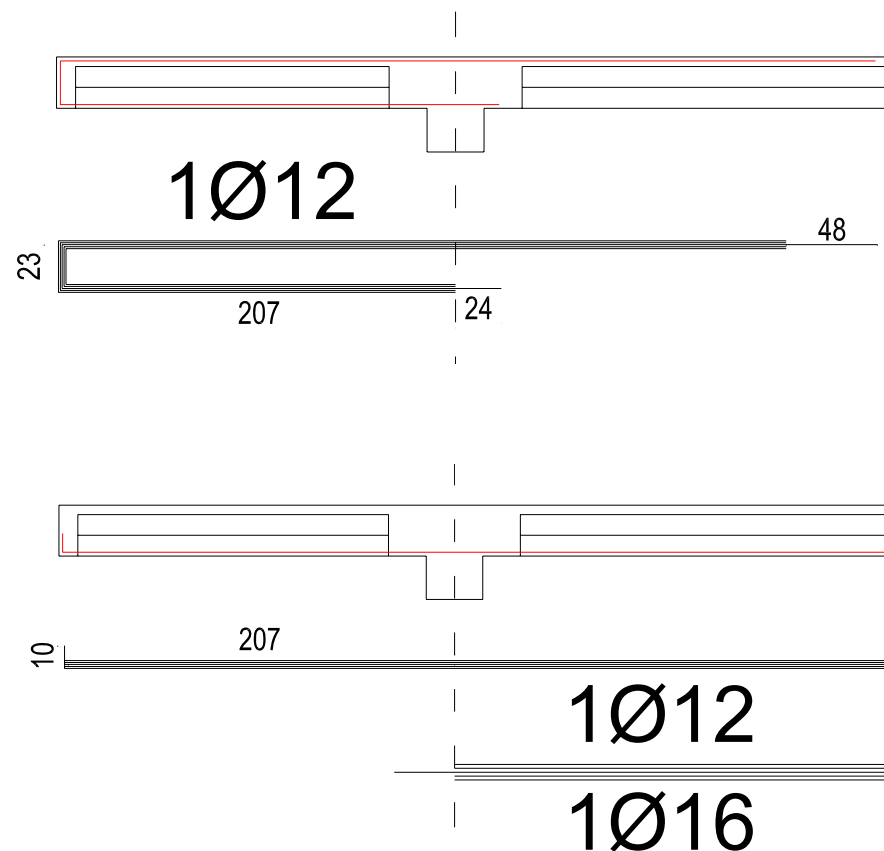
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: progetto delle armature – **DETTAGLI COSTRUTTIVI**

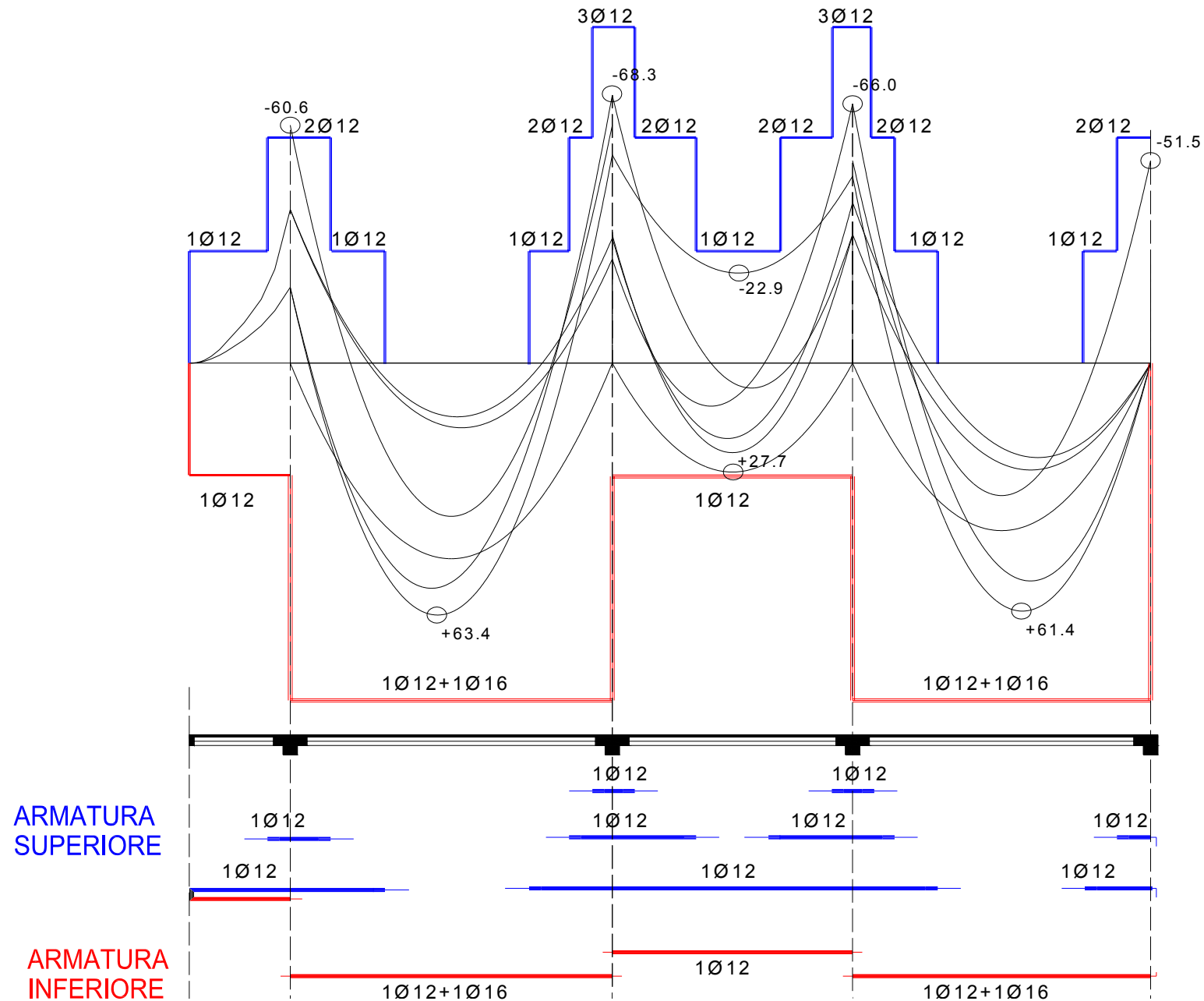
### **SBALZI**

E' buona norma disporre negli sbalzi anche un'armatura inferiore. Si può optare per la disposizione di un **"ferro a molla"** che funge da armatura superiore ed inferiore.

In alternativa si può disporre l'armatura nello sbalzo **prolungando** una barra per ciascun travetto della campata adiacente.



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO





# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: momento resistente del calcestruzzo

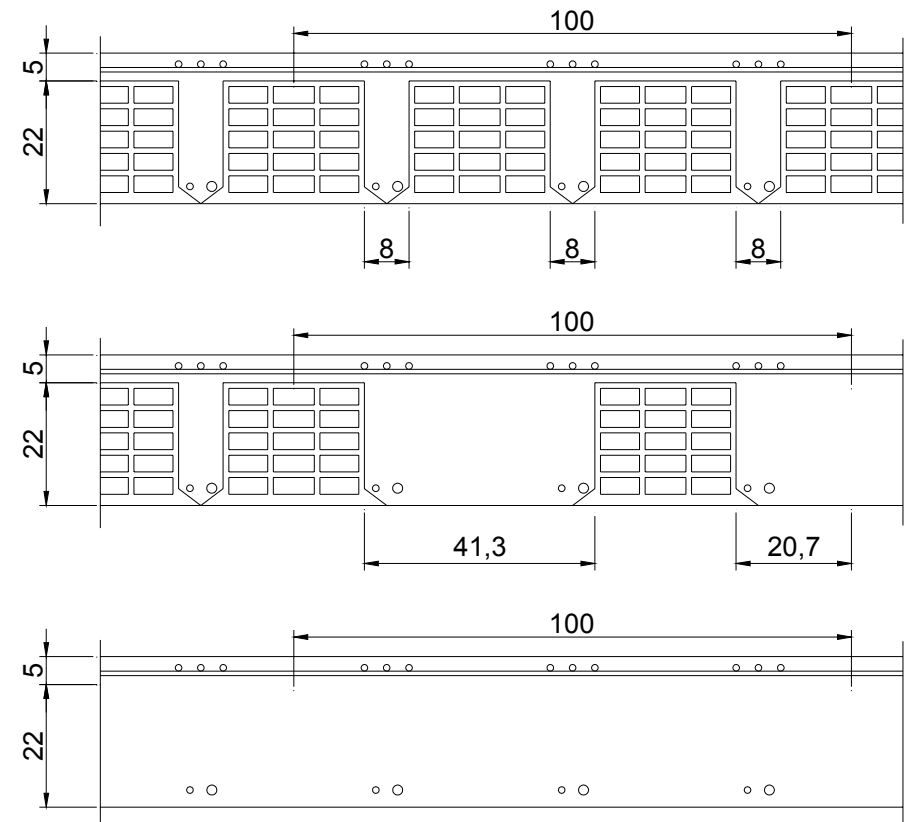
Si può facilmente valutare il momento resistente della sezione in calcestruzzo trascurando, cautelativamente, la presenza dell'armatura compressa, nei tre casi di solo travetto, di fascia semipiena e di fascia piena:

$$M_{Rd,cls} = \left( \frac{d}{r} \right)^2 \cdot b = \left( \frac{0.25}{0.022} \right)^2 \times b = 129.1 \times b$$

$$M_{Rd,cls} = 129.1 \times 0.24 = 31.0 \text{ kNm}$$

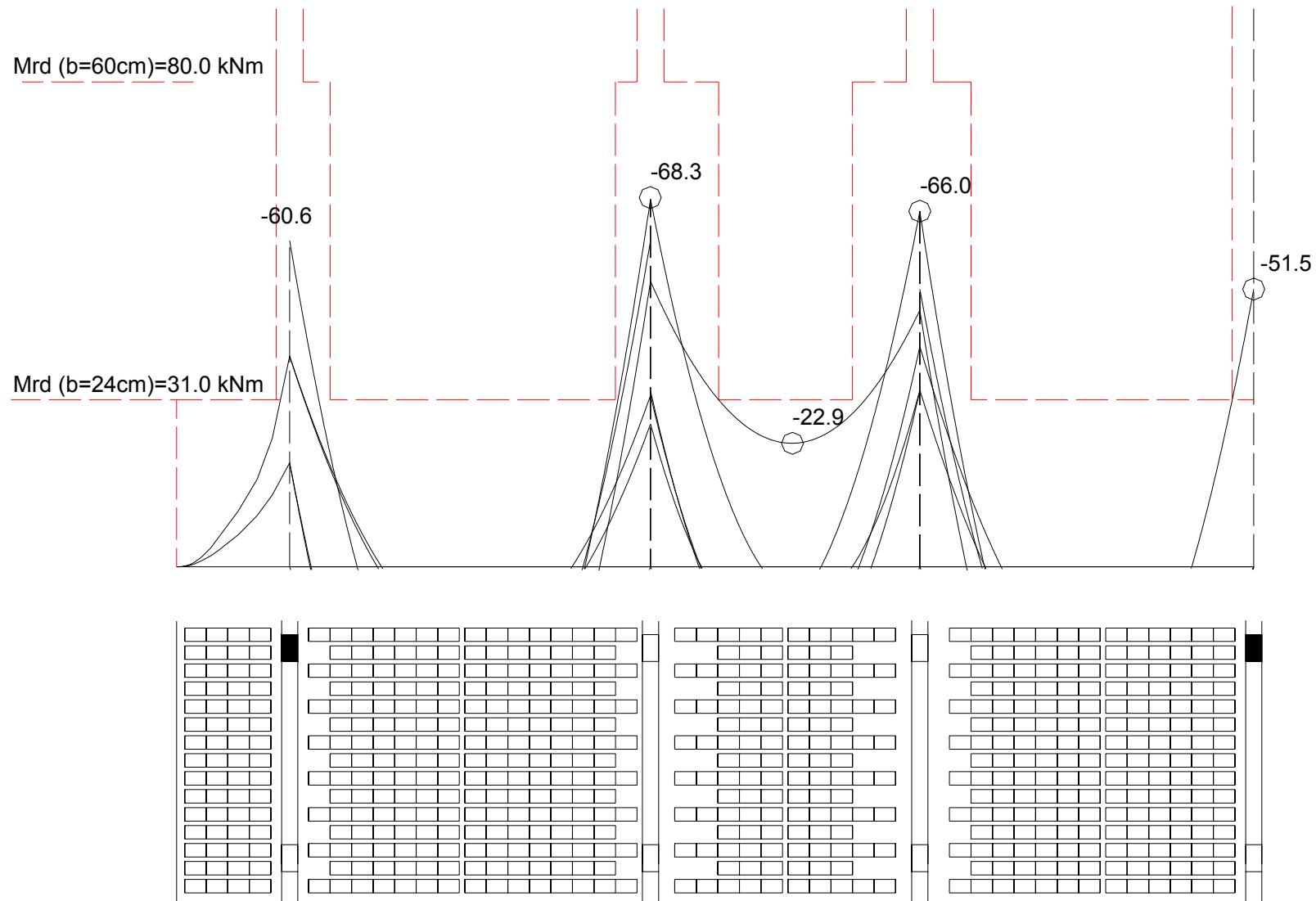
$$M_{Rd,cls} = 129.1 \times 0.62 = 80.0 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,cls} = 129.1 \times 1.00 = 129.1 \text{ kNm}$$



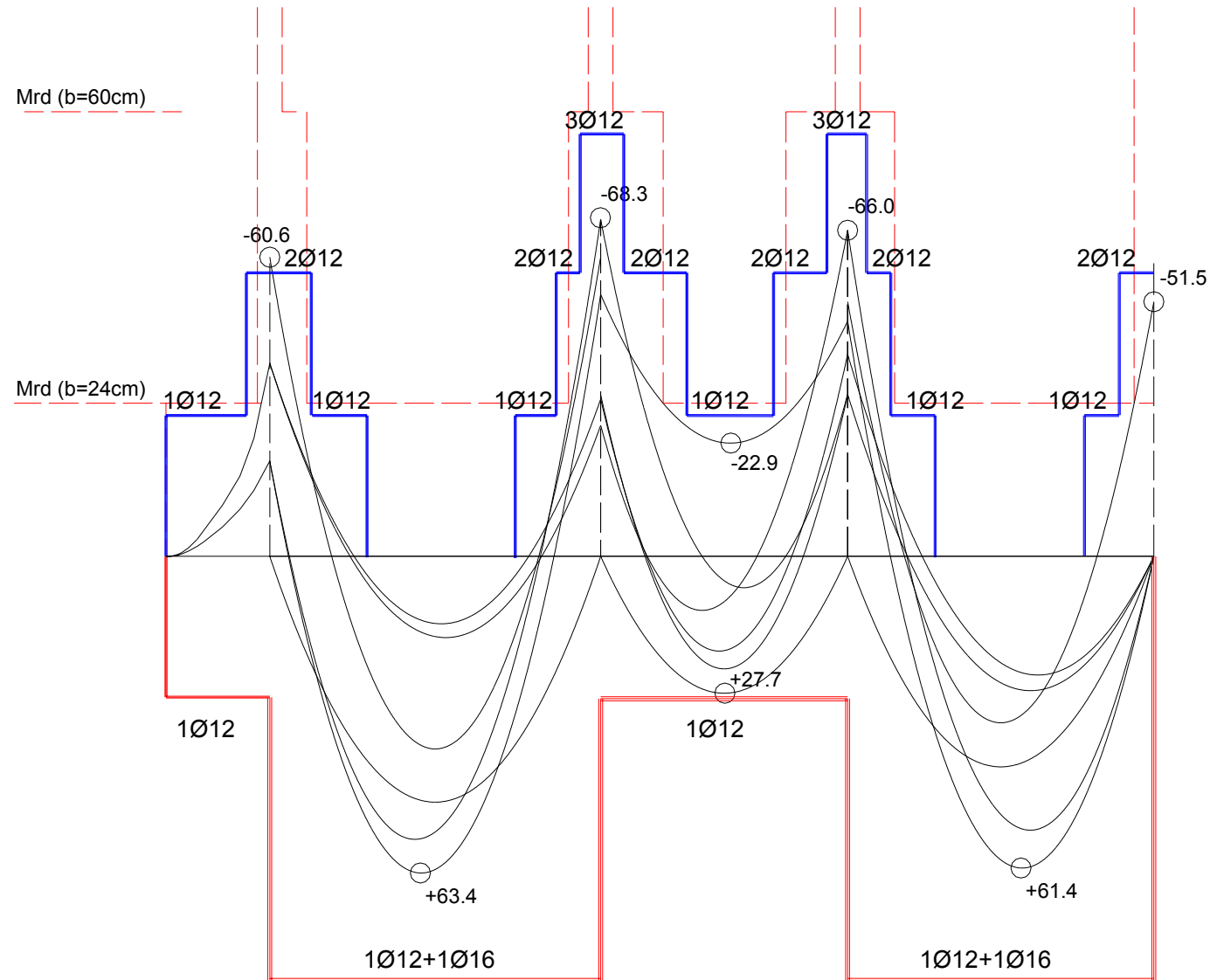
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: momento resistente del calcestruzzo



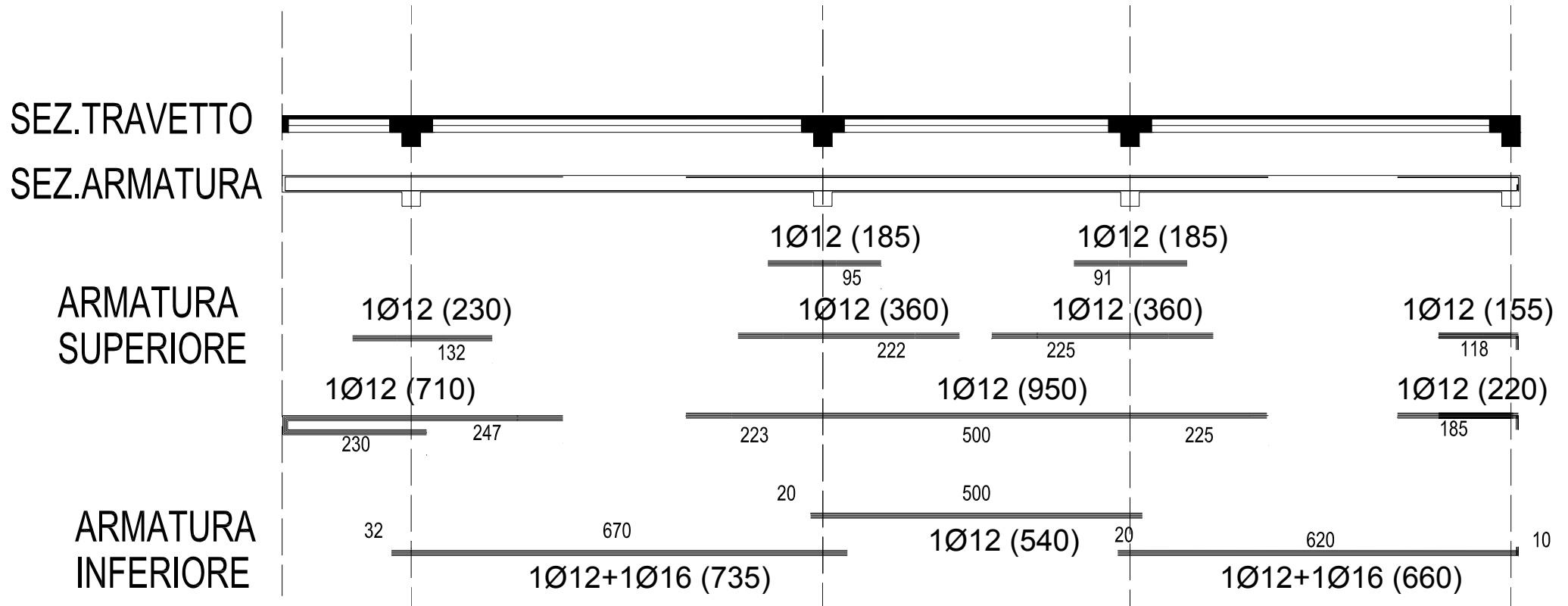
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: momento resistente e del momento sollecitante



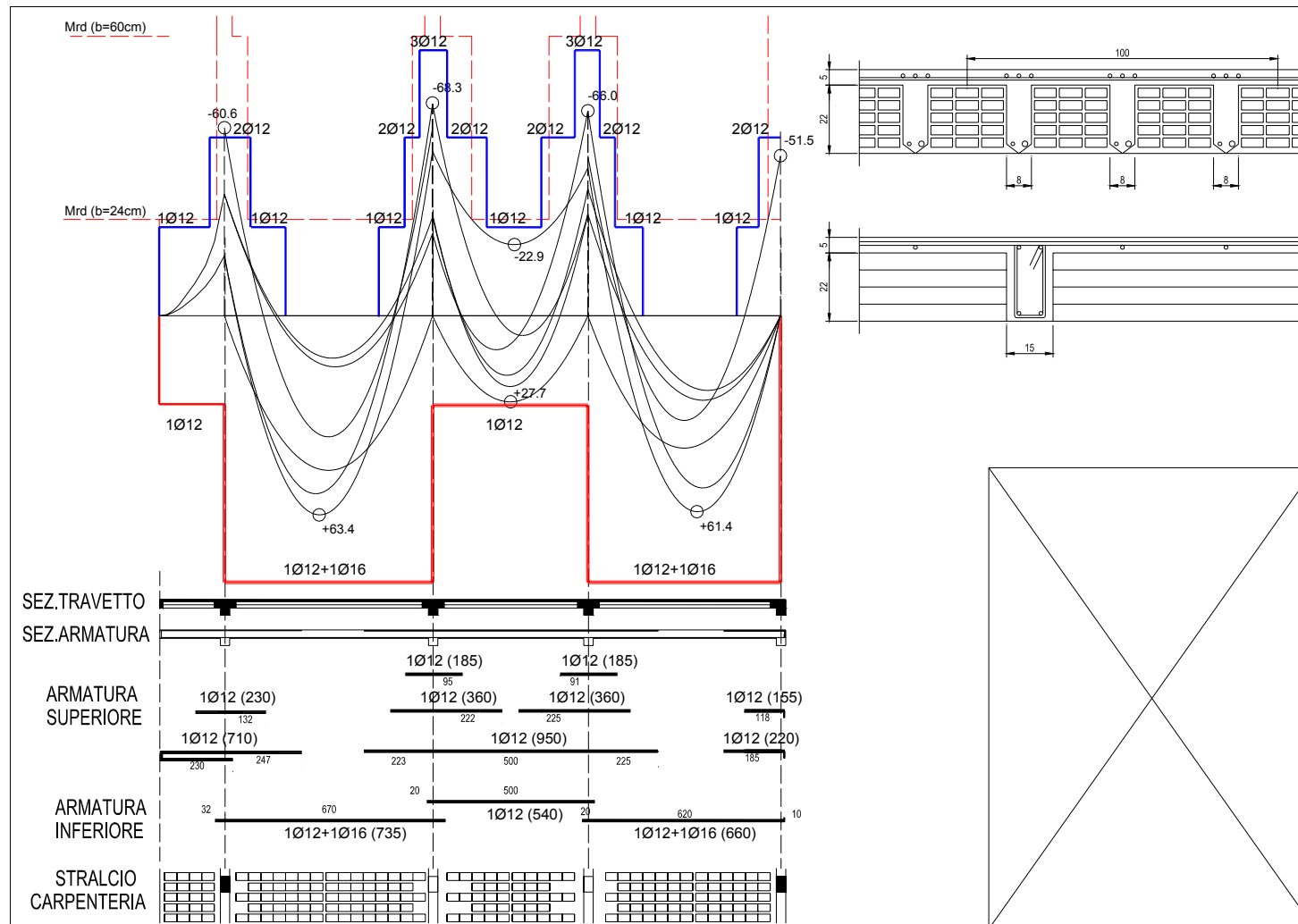
# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: distinta delle armature



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

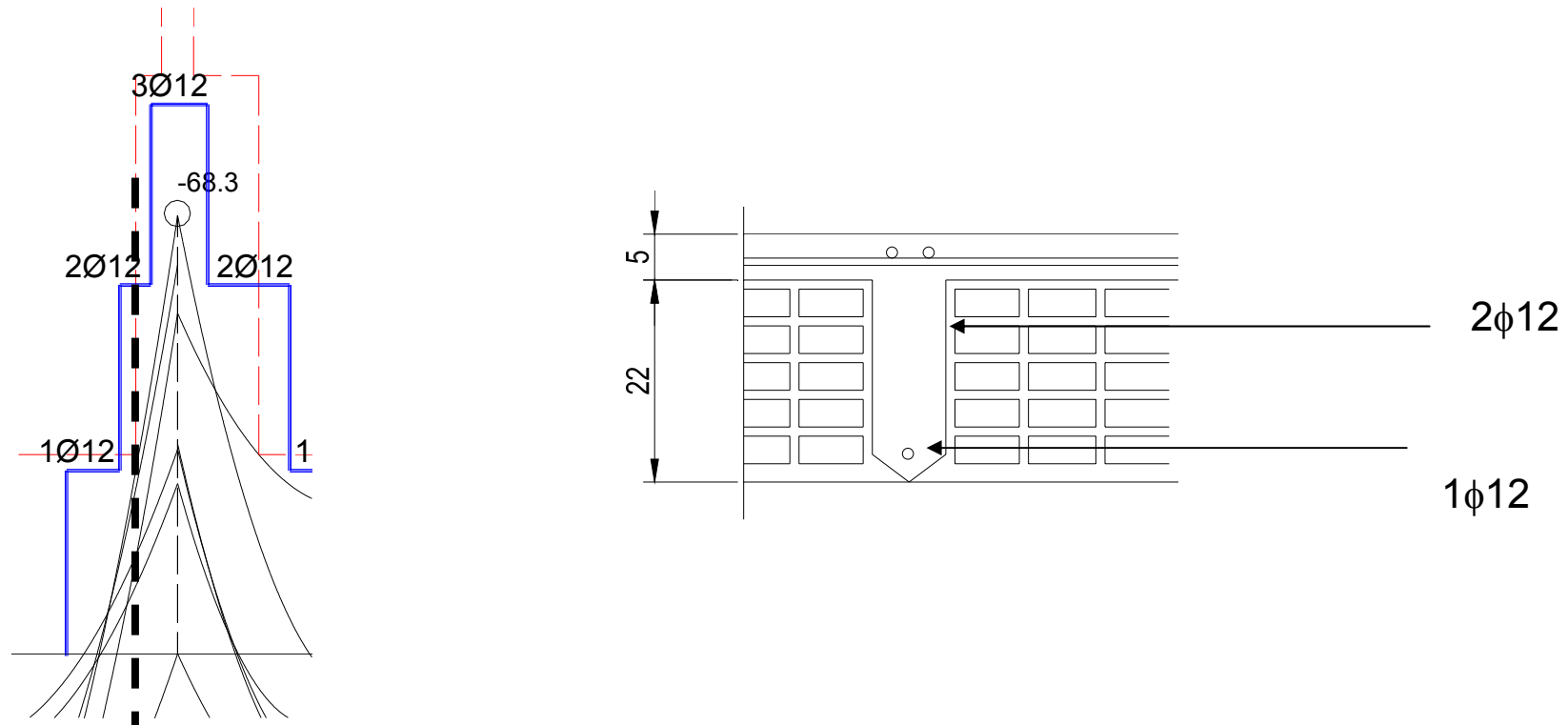
## FASI DEL PROGETTO: tavola



# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: verifica rigorosa di una sezione

1) Si sceglie una sezione significativa (ad es.  $b=24$  cm con momento  $M_{sd} = -19.3$  kNm)



2) L'armatura compressa (inferiore) è snervata se:

$$x \geq \frac{|\epsilon_{cu}|}{|\epsilon_{cu}| - \epsilon_{yd}} c = \frac{0.0035}{0.0035 - 0.00187} \times 2.0 = 4.3 \text{ cm}$$

# PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## FASI DEL PROGETTO: verifica rigorosa di una sezione

### 3) Si valuta la posizione dell'asse neutro:

*se l'armatura compressa è snervata*

$$x = \frac{A_s - A'_s}{\beta b \alpha f_{cd}} f_{yd} = \frac{3.39}{0.81 \times 24 \times 11.02} \times 374 = 5.91 \text{ cm}$$

*se l'armatura non è snervata*

$$u_1 = \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{yd}} u = \frac{0.0035}{0.00187} \times 0.5 = 0.936 \quad \omega = \frac{A_s}{b d} \frac{f_{yd}}{\alpha f_{cd}} = \frac{6.78}{24 \times 25} \times \frac{374}{11.02} = 0.384$$

$$x = \frac{\omega}{2\beta} \left[ 1 - u_1 + \sqrt{(1 - u_1)^2 + \frac{4\beta}{\omega} u_1 \frac{c}{d}} \right] d = \frac{0.384}{2 \times 0.81} \left[ 1 - 0.936 + \sqrt{(1 - 0.936)^2 + \frac{4 \times 0.81}{0.384} 0.936 \frac{2.0}{25.0}} \right] 25.0 = 5.10 \text{ cm}$$

### 4) Si calcola il momento resistente:

$$s' = \frac{E_s \varepsilon'_s}{f_{yd}} = \frac{E_s}{f_{yd}} \frac{x - c}{x} \varepsilon_{cu} = \frac{200.000}{374} \times \frac{5.10 - 2.00}{5.10} \times 0.0035 = 1.13 \rightarrow s' = 1 \text{ (arm. compressa snervata)}$$

$$M_{Rd} = [A_s (d - kx) + s' A'_s (kx - c)] f_{yd} = [6.84 (25 - 0.416 \times 5.10) + 3.39 (0.416 \times 5.10 - 2.0)] \times 374 = 58.7 \text{ kNm}$$