

## Svolgimento Esercitazione N. 7

### STATO LIMITE ULTIMO DI TAGLIO

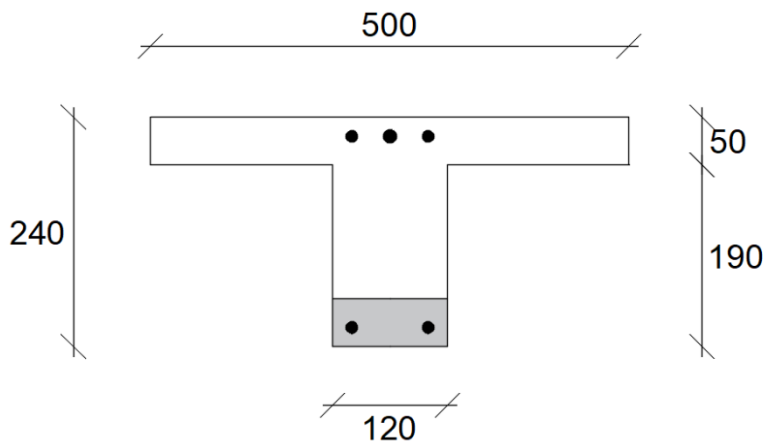
#### ESERCIZIO N.1

Verificare allo SLU per taglio la sezione trasversale all'appoggio di un travetto latero cementizio sollecitato a  $V_{Sd} = 15$  kN e a  $M_{Sd} = -28$  kNm (fibre tese superiori), di sezione  $h = 24$  cm,  $B = 50$  cm,  $b_0 = 12$  cm,  $s = 4$  cm,  $A_s = 2 \phi 12 + 1 \phi 14$  e  $A'_s = 2 \phi 12$ . Materiali impiegati calcestruzzo  $R_{ck} 30$  e acciaio B450C.

#### *Caratteristiche resistive dei materiali*

Calcestruzzo  $R_{ck} = 30$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,9$  N/mm<sup>2</sup>

#### *Caratteristiche geometriche della sezione*



Ambiente ordinario, classe di resistenza del calcestruzzo pari alla minima prevista, tolleranza di disposizione pari a 0,  $c = 20$  mm

$$A_s = 2 \phi 12 + 1 \phi 14 = 380 \text{ mm}^2 \quad A'_s = 2 \phi 12 = 226 \text{ mm}^2$$

$$d = h - c - \phi_{\max, \text{long}}/2 = 240 - 20 - 12/2 = 214 \text{ mm}$$

### Resistenza a taglio di elementi senza armature trasversali

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{ba} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{ba}$  è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

$$k = 1,97 \quad \rho_l = 0,0088 \quad \sigma_{cp} = 0 \quad v_{\min} = 0,483$$

Applicando le relazioni presenti nella formula 4.1.23 della NTC2018 si ricava

$$V_{Rd} = \max(16986; 12334) = 16,99 \text{ kN} > V_{Sd} = 15 \text{ kN} \quad \text{verificato}$$

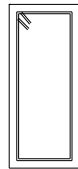
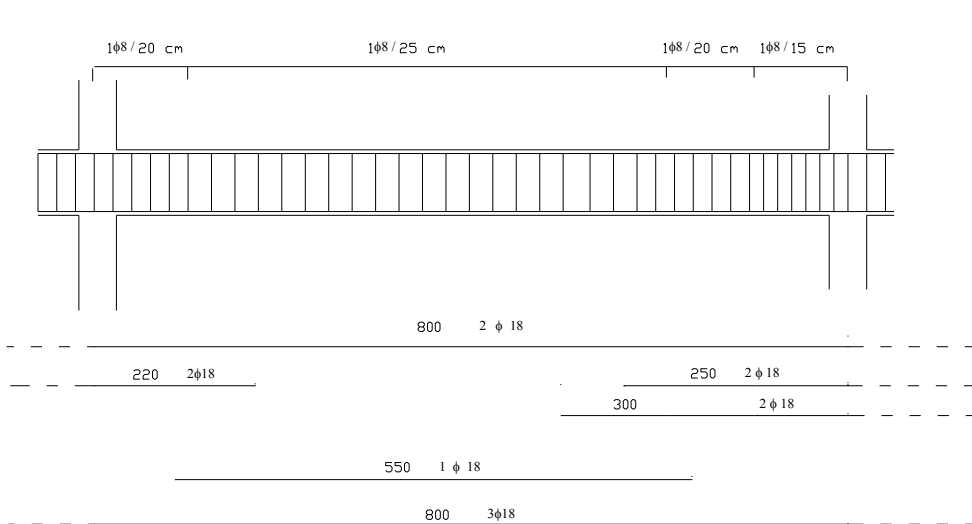
## ESERCIZIO N.2

Verificare allo SLU la trave in calcestruzzo armato di luce 8 m, con sezione costante 30 · 70 cm e armatura schematizzata in figura, sollecitata a

$$M_{Sd}(z) = -200 + 221z - 30z^2$$

$$V_{Sd}(z) = 221 - 60z$$

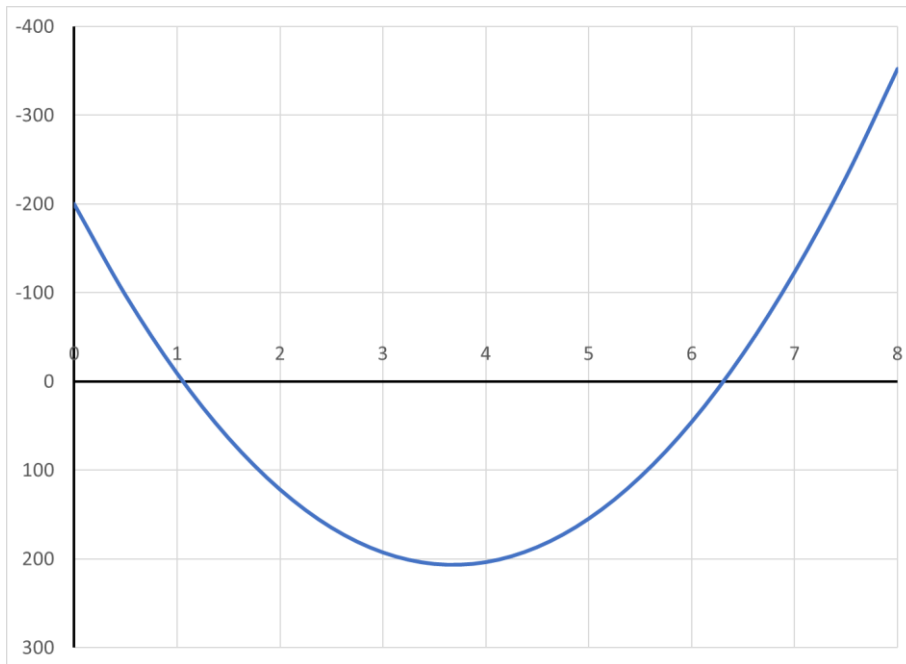
Materiali impiegati calcestruzzo  $R_{ck}$  35 e acciaio B450C.



70

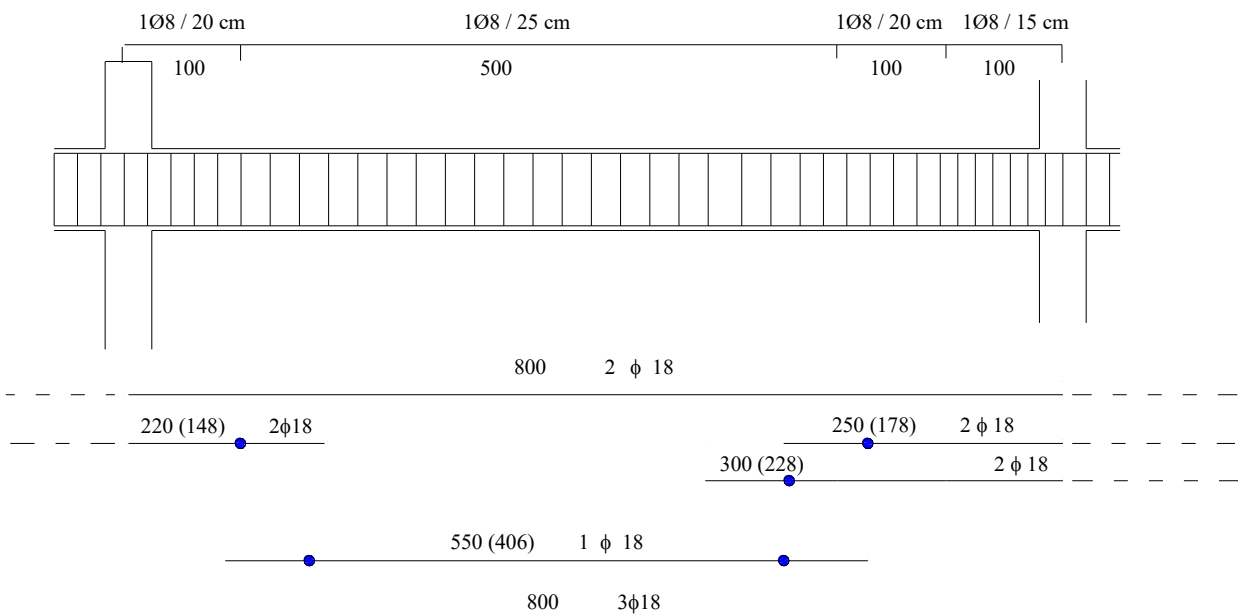
Nella Tabella sottostante sono riportati i valori del taglio sollecitante  $V_{Sd}$  e del momento flettente sollecitante  $M_{Sd}$ , è riportato inoltre il valore del momento flettente massimo  $M_{Sd, max}$  e la relativa posizione in campata  $z$  ( $M_{Sdmax}$ ).

z	$V_{Sd}$	$M_{Sd}$				
0	221	-200				
0,5	191	-97				
1	161	-9				
1,5	131	64				
2	101	122				
2,5	71	165				
3	41	193				
3,5	11	206				
4	-19	204	$M_{Sd max}$	207,0083	$z(M_{Sdmax}) =$	3,683333
4,5	-49	187				
5	-79	155				
5,5	-109	108				
6	-139	46				
6,5	-169	-31				
7	-199	-123				
7,5	-229	-230				
8	-259	-352				



Lunghezza di ancoraggio  $40 \varnothing = 40 \cdot 18 = 720 \text{ mm} = 72 \text{ cm}$ .

Nella figura successiva è indicata fra parentesi la lunghezza effettiva della barra di armatura al netto delle lunghezze di ancoraggio.



Si osserva inoltre che tutte le barre, al netto della lunghezza di ancoraggio, hanno lunghezza maggiore di  $40 \varnothing = 72 \text{ cm}$  e pertanto sono in grado di trasferire gli sforzi al calcestruzzo.

Analizziamo il quantitativo di armatura presente nelle sezioni più importanti

**Estremità di sinistra**  $A_s$ (armatura tesa, superiore) = 4  $\emptyset$  18,  $A'_s$  (armatura inferiore: tesa per il meccanismo di collasso di taglio, compressa per la flessione) = 3  $\emptyset$  18.

**Sezione di campata**  $A_s$ (armatura tesa, inferiore) = 4  $\emptyset$  18,  $A'_s$  (armatura compressa, superiore) = 2  $\emptyset$  18.

**Estremità di destra**  $A_s$ (armatura tesa, superiore) = 6  $\emptyset$  18,  $A'_s$  (armatura inferiore: tesa per il meccanismo di collasso di taglio, compressa per la flessione) = 3  $\emptyset$  18.

### Caratteristiche resistive dei materiali

Calcestruzzo:  $f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 0,83 \cdot 35 = 29,05 \text{ N/mm}^2$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 29,05 / 1,5 = 16,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,83 \text{ N/mm}^2$$

Acciaio:  $f_{yd} = 450/1,15 = 391 \text{ N/mm}^2$

$$\varepsilon_{yd} = 391/200.000 = 0,001957$$

### Verifica a flessione allo Stato Limite Ultimo

DATI	sezione estremità sinistra			MSd	200 kNm	
b	300					
h	700					
diametro	18	area	254,4690049			
A's 3 $\emptyset$ 18	763		interferro	54		
As 4 $\emptyset$ 18	1018					
Rck	35	B450C	fyk	450	Es	200.000
Scelte progettuali						
ricoprimento c 25 funzione dell'ambiente (ordinario) e di Rck						
d	658	d'	42			
Caratteristiche di progetto dei materiali						
calcestruzzo		fcd	16,46166667	N/mm2	fck	29,05
acciaio		fyd	391,3043478	$\varepsilon_{yd}$	0,001957	
Determinazione posizione asse neutro						
x	60,09197					
$\varepsilon'_s$	0,001054	$\sigma'_s$	210,7499191			
$\varepsilon_s$	0,034825	$\sigma_s$	391,3043478			
C	237.411	zC	634			
T'	160.888	zT'	616			
T	398.299					
$\Sigma N$	0	MRd	249.617.047	N mm		
x/d	0,091325					

DATI	sezione campata		MSd	207 kNm		
b	300					
h	700					
diametro	18	area	254,469005			
A's 2Ø18	509		interferro	54		
As 4 Ø18	1018					
Rck	35	B450C	fyk	450	Es	200.000
Scelte progettuali						
ricoprimento c						
		25	funzione dell'ambiente (ordinario) e di Rck			
d	658	d'	42			
Caratteristiche di progetto dei materiali						
calcestruzzo		fcd	16,4616667	N/mm2	fck	29,05
acciaio		fyd	391,304348	εyd	0,001957	
Determinazione posizione asse neutro						
x	67,09123					
ε's	0,001309	σ's	261,790746			
εs	0,030826	σs	391,304348			
C	265.064	zC	631			
T'	133.235	zT'	616			
T	398.299					
ΣN	0	MRd	249.371.677	N mm		
x/d	0,101962					

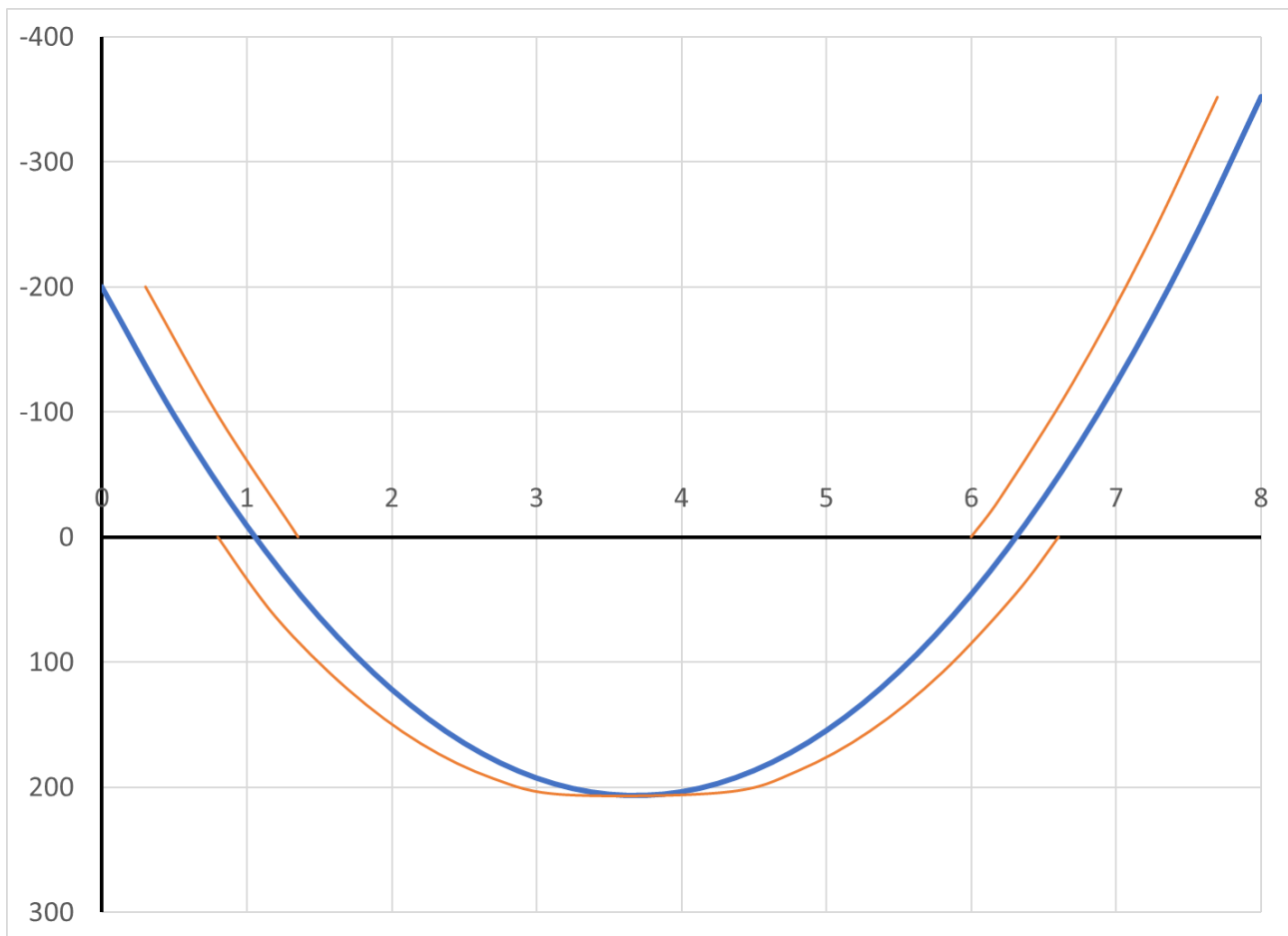
DATI	sezione estremità destra			MSd	352 kNm		
b	300						
h	700						
diametro	18	area	254,469005				
A's 3 Ø18	763		interferro	25,2			
As 6Ø18	1527						
Rck	35	B450C	fyk	450	Es	200.000	
Scelte progettuali							
ricoprimento c 25 funzione dell'ambiente (ordinario) e di Rck							
d	658	d'	42				
Caratteristiche di progetto dei materiali							
calcestruzzo		fcd	16,4616667	N/mm2	fck	29,05	
acciaio		fyd	391,304348	εyd	0,001957		
Determinazione posizione asse neutro							
x	83,77442						
ε's	0,001745	σ's	349,057556				
εs	0,02399	σs	391,304348				
C	330.976	zC	624				
T'	266.473	zT'	616				
T	597.449						
ΣN	0	MRd	370.838.627	N mm			
x/d	0,127317						

La trave è verificata a flessione se tutte le sezioni sono verificate, considerando anche la traslazione del diagramma dei momenti pari a  $0,9 d / 2 = 300$  mm, che genera in alcune sezioni la contemporanea presenza di momento flettente positivo che negativo. Pertanto, occorre verificare tutte le sezioni sovrapponendo il diagramma dei momenti sollecitanti traslati con i diagrammi dei momenti resistenti.

I momenti resistenti nelle sezioni intermedie devono essere valutati sulla base delle effettive armature disposte.

In questo caso si devono determinare i  $M_{Rd}$  della sezione intermedia armata:

$A_s$  inferiore = 4Ø18 e  $A_s$  superiore = 2Ø18.

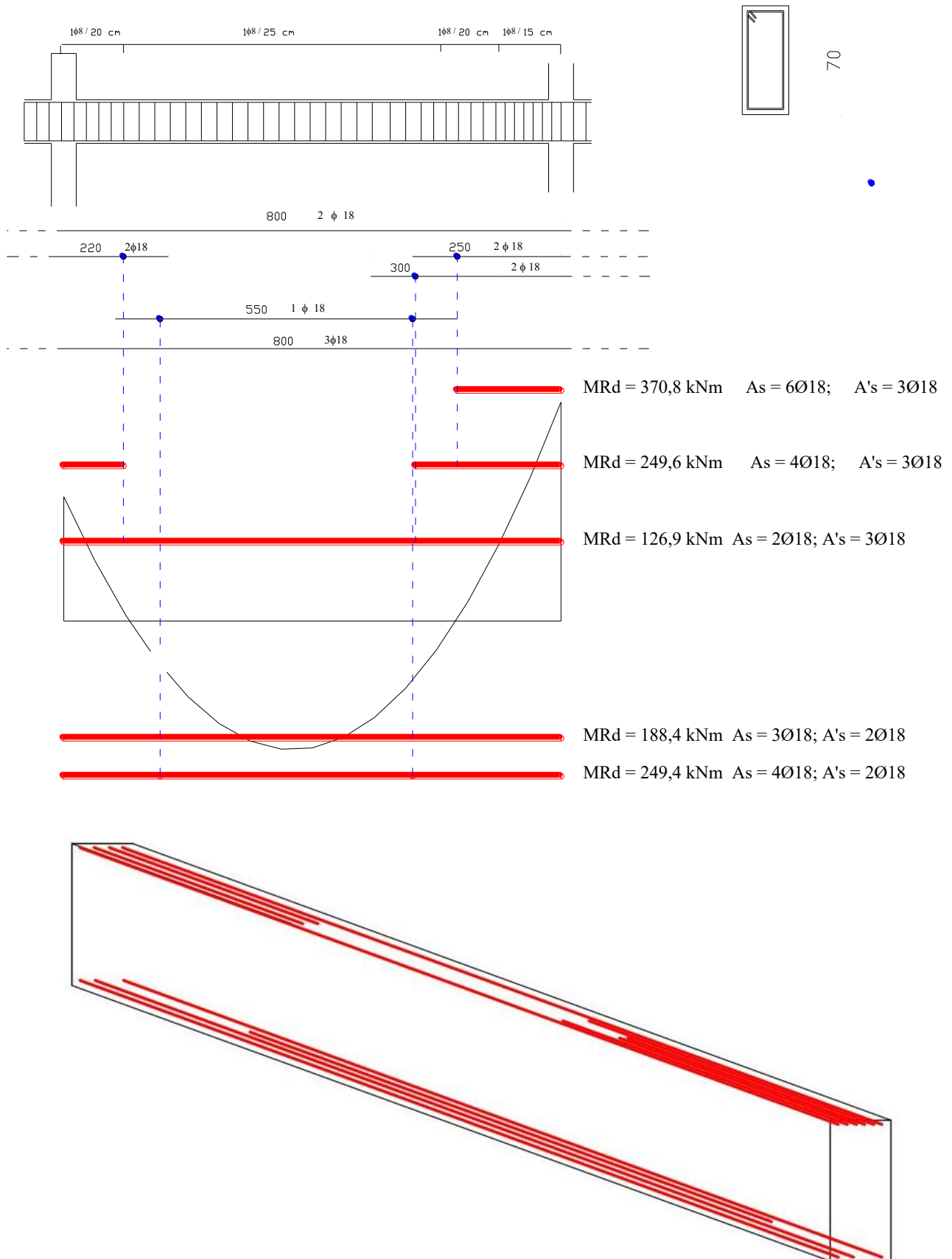


Se il diagramma dei momenti tende le fibre superiori  $A_s = 2\emptyset 18$  e  $A'_s = 4\emptyset 18$

b	300				
h	700				
diametro	18	area	254.4690049		
$A'_s$	763	interferro	54		
$A_s$	1018				
Rck	35	B450C	$f_{yk}$	450	$E_s$ 200,000
Scelte progettuali					
ricoprimento c	25 funzione dell'ambiente (ordinario) e di Rck				
d	658	d'	42		
Caratteristiche di progetto dei materiali					
calcestruzzo	$f_{cd}$	16.46166667	N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck}$	29.05
acciaio	$f_{yd}$	391.3043478	$\epsilon_{yd}$	0.001957	
Determinazione posizione asse neutro					
x	60.09197				
$\epsilon'_s$	0.001054	$\sigma'_s$	210.7499191		
$\epsilon_s$	0.034825	$\sigma_s$	391.3043478		
C	237,411	$z_C$	634		
T'	160,888	$z_{T'}$	616		
T	398,299				
$\Sigma N$	0	MRd	249,617,047	N mm	
x/d	0.091325				

Se il diagramma dei momenti tende le fibre inferiori  $A_s = 4\phi 18$  e  $A'_s = 2\phi 18$

b	300					
h	700					
diametro	18	area	254.469005			
A's 2 $\phi 18$	509		interferro	54		
As 4 $\phi 18$	1018					
Rck	35	B450C	fyk	450	Es	200,000
Scelte progettuali						
ricoprimento c		25	funzione dell'ambiente (ordinario) e di Rck			
d	658	d'	42			
Caratteristiche di progetto dei materiali						
calcestruzzo		fcd	16.4616667	N/mm <sup>2</sup>	fck	29.05
acciaio		fyd	391.304348	$\epsilon_{yd}$	0.001957	
Determinazione posizione asse neutro						
x	67.09123					
$\epsilon'_s$	0.001309	$\sigma'_s$	261.790746			
$\epsilon_s$	0.030826	$\sigma_s$	391.304348			
C	265,064	zC	631			
T'	133,235	zT'	616			
T	398,299					
$\Sigma N$	0	MRd	249,371,677	N mm		
x/d	0.101962					



Si osserva che tutte le sezioni sono verificate a flessione allo Stato Limite Ultimo e sono dotate di adeguata duttilità.

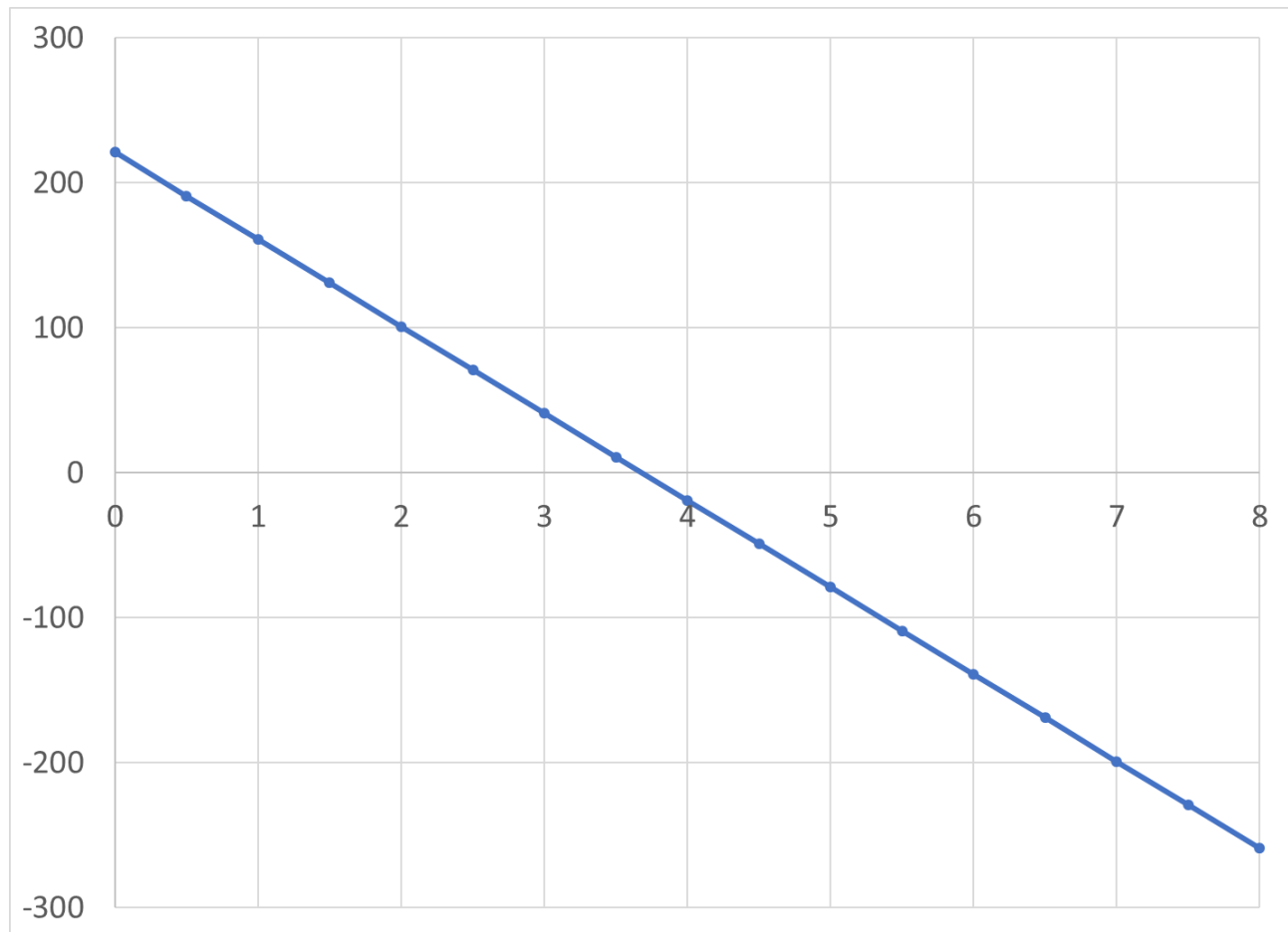
## Disposizioni costruttive di legge

Armatura minima:

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s,\min} = 322 \text{ mm}^2 \text{ e comunque non minore di } 257 \text{ mm}^2 \quad A_{s,\max} = 0,04 A_c = 8400 \text{ mm}^2$$

## Verifica a Taglio allo Stato Limite Ultimo



L'armatura alle estremità nell'intradosso deve essere in grado di sopportare una forza di trazione pari al taglio

$$V_{Sd,\max} \text{ (estremità destra)} = 259 \text{ kN}$$

$$A_s = V_{Sd}/f_{yd} = 259000/391,3 = 661 \text{ mm}^2$$

all'intradosso sono disposti  $3\varnothing 18 = 763 \text{ mm}^2$

Armatura trasversale realizzata con  $\varnothing 8$  a 2 bracci

$$\text{Area di 1 staffa } \varnothing 8 \text{ a 2 bracci} = 100 \text{ mm}^2$$

L'interasse massimo delle staffe deve rispondere alle seguenti limitazioni:

- 1)  $1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$        $1,5 \cdot 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$       n° staffe in 1 metro  $450/100 = 4,5$   
interasse massimo       $1000/4,5 = 222,2 \text{ mm}$
- 2) 3 staffe a metro      interasse massimo  $1000/3 = 333,3 \text{ mm}$
- 3) interasse massimo       $0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 658 = 526 \text{ mm}$

La disposizione delle staffe prevista nei disegni esecutivi prevede nella zona centrale  $1\varnothing 8/25 \text{ cm}$ , pertanto non è verificata.

Valutazione del taglio resistente  $V_{Rd}$

Occorre determinare il taglio compressione  $V_{Rcd}$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) = 731071 \text{ N}$$

$$d = 658 \text{ mm} \quad b_w = b = 300 \text{ mm} \quad \alpha_c = 1 \text{ (assenza di azione normale di compressione)}$$

$$f'_{cd} = 0,5 f_{cd} = 0,5 \cdot 16,46 = 8,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 90^\circ \text{ inclinazione delle staffe rispetto all'asse della trave} \quad \cotg \alpha = 0$$

$$\theta = 45^\circ \text{ inclinazione dei puntoni ovvero delle fessure in prossimità delle estremità} \quad \cotg \theta = 1$$

Occorre determinare il taglio trazione  $V_{Rwd}$ , considerando le disposizioni previste nei disegni esecutivi, che prevede passo delle staffe a sinistra  $1\varnothing 8/20 \text{ cm}$  e a destra nel primo tratto  $1\varnothing 8/15 \text{ cm}$  e successivamente  $1\varnothing 8/20 \text{ cm}$ :

$$1\varnothing 8/20 \text{ cm} \quad \text{a due bracci} \quad V_{Rwd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) \sin \alpha =$$

$$V_{Rwd} = 0,9 \cdot 658 \cdot 100/200 \cdot 391,3 (0 + 1) \cdot 1 = 115864 \text{ N}$$

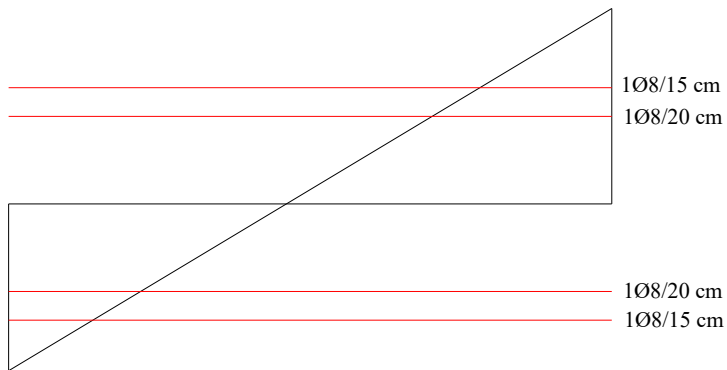
$$\text{dove } d = 658 \text{ mm}; A_{sw} = 100 \text{ mm}^2; s = 200 \text{ mm}; f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2; \cotg \alpha = 0; \cotg \theta = 1; \sin \alpha = 1$$

$$1\varnothing 8/15 \text{ cm} \quad \text{a due bracci} \quad V_{Rwd} = 0,9 \cdot 658 \cdot 100/150 \cdot 391,3 \cdot (0 + 1) \cdot 1 = 154485 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rcd}; V_{Rwd})$$

$$V_{Rd} (1\varnothing 8/20 \text{ cm}) = 115,9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} (1\varnothing 8/15 \text{ cm}) = 154,5 \text{ kN}$$



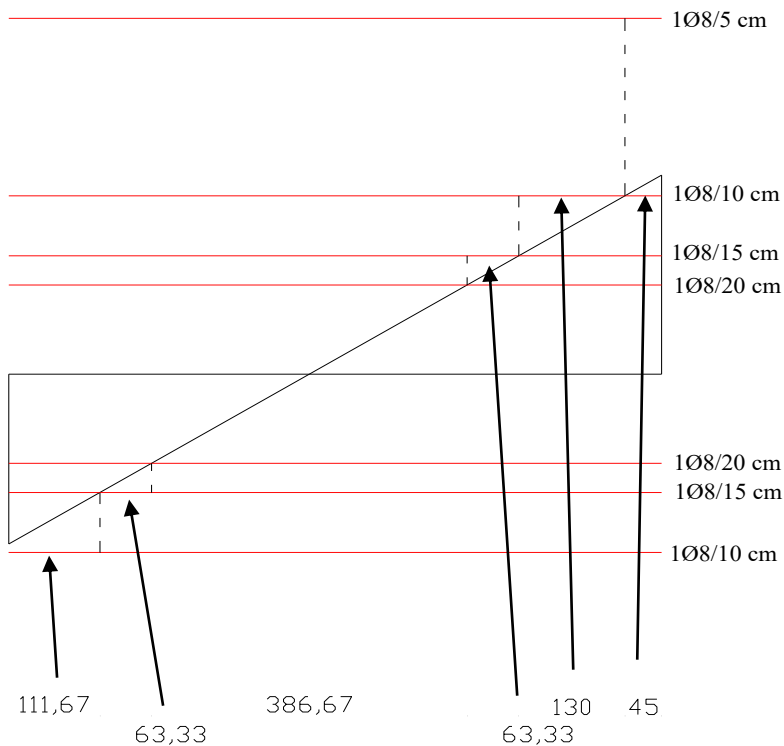
Si osserva che ci sono i tratti di estremità non verificati e pertanto occorre ravvicinare le staffe

In conclusione, l'armatura longitudinale soddisfa le verifiche a flessione, le staffe invece non sono disposte correttamente e si propone una modifica.

$$1\text{Ø}8/20 \text{ cm} \quad V_{Rwd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) \text{ sen } \alpha = 115864 \text{ N}$$

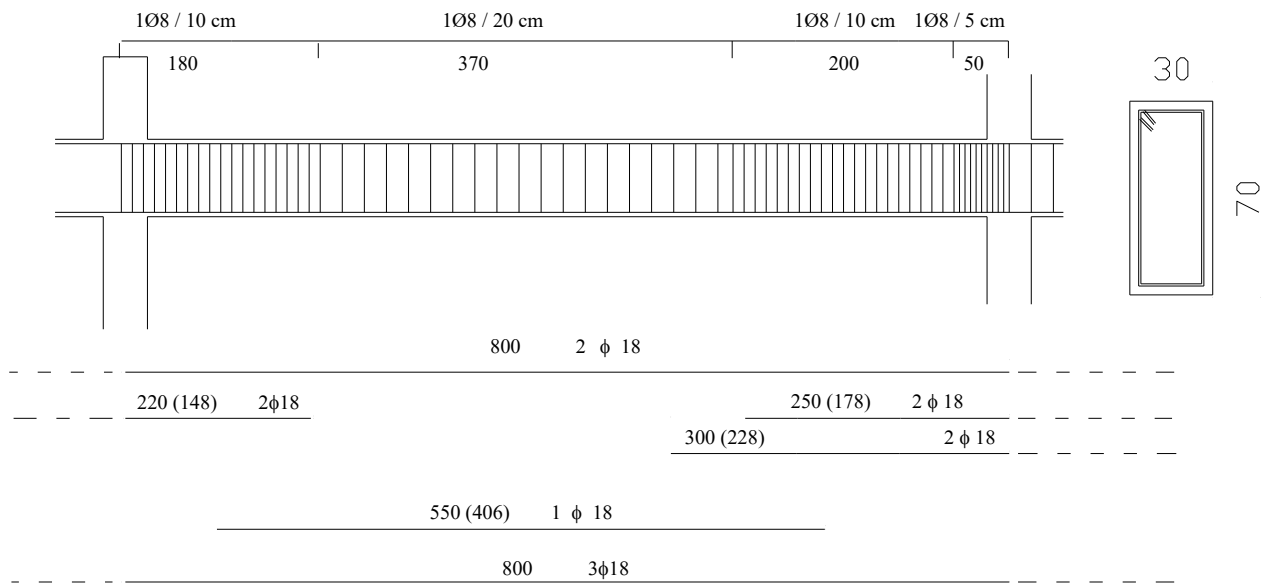
$$1\text{Ø}8/10 \text{ cm} \quad V_{Rwd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) \text{ sen } \alpha = 231728 \text{ N}$$

$$1\text{Ø}8/5 \text{ cm} \quad V_{Rwd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) \text{ sen } \alpha = 463456 \text{ N}$$



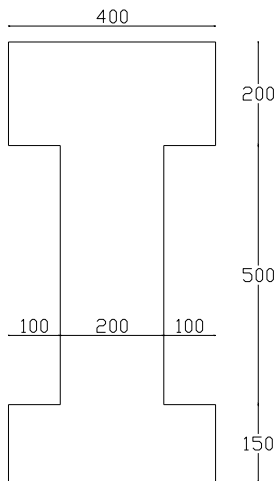
Lunghezze valutate nel disegno

*Disegno esecutivo modificato*



### ESERCIZIO N 3

Progettare le armature longitudinali e trasversali della trave inflessa di luce 10 m a sezione trasversale costante con le dimensioni indicate in figura espresse in mm, appoggiata alle estremità e sollecitata ad un carico ripartito allo SLU  $q_{sd} = 75 \text{ kN/m}$ . Materiali impiegati calcestruzzo  $R_{ck} 35$  e acciaio B450C.



#### *Caratteristiche resistive dei materiali*

Calcestruzzo:  $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 29,05 \text{ N/mm}^2$

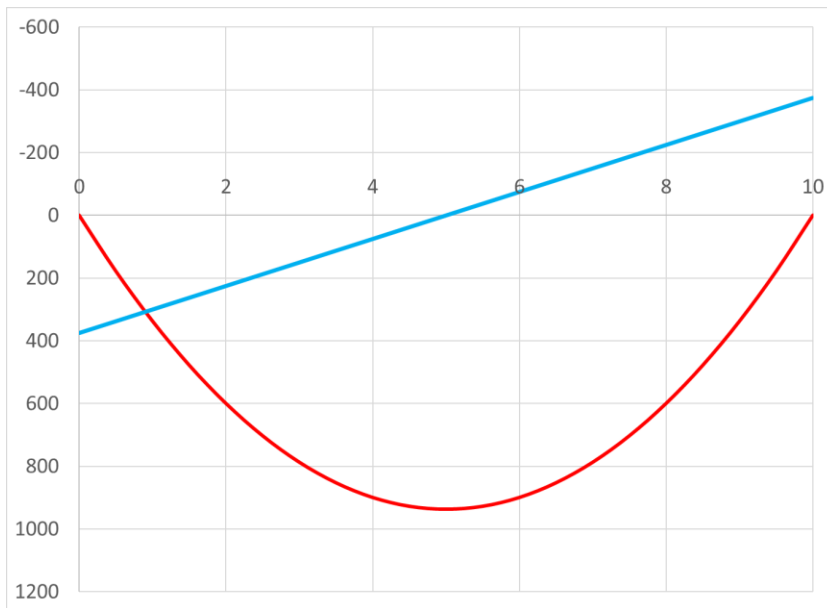
$$f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$$

Acciaio: B450C  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$        $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$        $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$        $\varepsilon_{yd} = 0,00196$

### Azioni sollecitanti

$q = 75 \text{ kN/m}$        $L = 10 \text{ m}$

$M_{\max} = 937,5 \text{ kNm}$        $V_{\max} = 375 \text{ kN}$



z (m)	$V_{Sd}$ (kN)	$M_{Sd}$ (kNm)
0.0	375.00	0.00
0.5	337.50	178.13
1.0	300.00	337.50
1.5	262.50	478.13
2.0	225.00	600.00
2.5	187.50	703.13
3.0	150.00	787.50
3.5	112.50	853.13
4.0	75.00	900.00
4.5	37.50	928.13
5.0	0.00	937.50
5.5	-37.50	928.13
6.0	-75.00	900.00
6.5	-112.50	853.13
7.0	-150.00	787.50
7.5	-187.50	703.13
8.0	-225.00	600.00
8.5	-262.50	478.13
9.0	-300.00	337.50
9.5	-337.50	178.13
10.0	-375.00	0.00

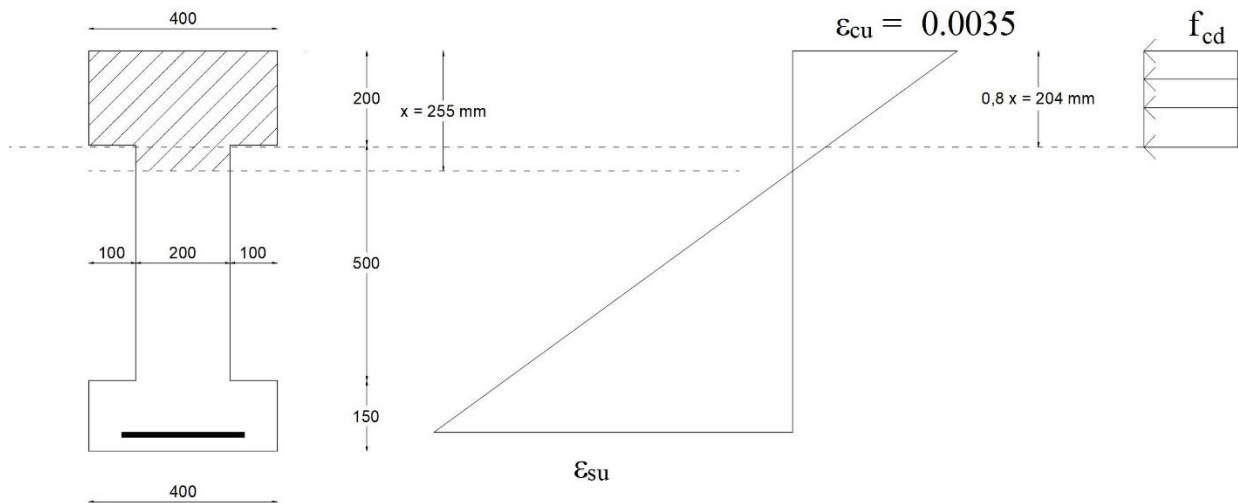
### Progettazione delle armature a flessione

Nella sezione in mezzzeria di momento massimo, si trascura il contributo resistivo delle armature compresse. La determinazione delle  $A_s$  avviene risolvendo il sistema seguente, determinando per prima la posizione dell'asse neutro dall'equilibrio alla rotazione e di seguito dall'equilibrio alla traslazione si ricavano le armature tese.

$$\begin{cases} -f_{cd} \cdot b \cdot 0,8 \cdot x - \sigma'_s \cdot A'_s + \sigma_s \cdot A_s = 0 \\ f_{cd} \cdot b \cdot 0,8 \cdot x \cdot (d - 0,4 \cdot x) + \sigma'_s \cdot A'_s \cdot (d - 40) = M_{Sd} \end{cases}$$

Si ottiene  $x = 255 \text{ mm}$  e  $A_s = 3432 \text{ mm}^2$ , avendo posto:

$f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$ ;  $b = 400 \text{ mm}$ ;  $\sigma_s = f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ ;  $d = h - 50 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$ ;  $M_{Sd} = 937,5 \text{ kNm}$ .



Si determina il numero e diametro delle barre da disporre in zona tesa:  $6 \text{ } \varnothing 28 = 3695 \text{ mm}^2$ .

in zona compressa, superiormente, verranno disposti lungo tutta l'estensione della trave  $A'_s = 2 \text{ } \varnothing 28 = 1232 \text{ mm}^2$ .

In alternativa ed in modo più semplice, l'armatura tesa  $A_s$  può essere determinata con la seguente relazione:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = 3328 \text{ mm}^2$$

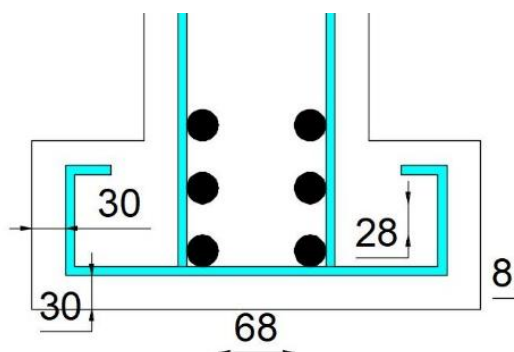
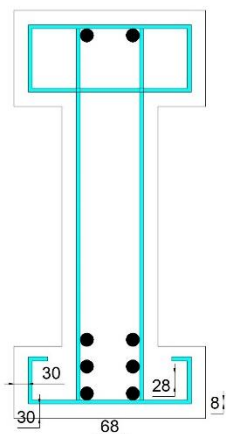
L'armatura tesa  $A_s$  va disposta all'interno della larghezza minima della sezione pari a 200 mm. Per assicurare le condizioni migliori di getto, sapendo che il diametro massimo degli aggregati è 16 mm, occorre valutare la minima mutua distanza fra le barre, ottenuta dal rispetto delle seguenti condizioni

interfero	• diametro della barra,	28
	• diametro max dell'aggregato + 5 mm	21
	• 20 mm	20

Pertanto, la mutua distanza fra le barre deve risultare almeno pari a 28 mm.

La trave è realizzata in un ambiente con aggressività ordinaria, la classe di resistenza del calcestruzzo è compresa tra classe di resistenza minima e ottimale, pertanto il copriferro  $c = 25 +$  la tolleranza di posa in opera (5 mm) = 30 mm.

Il rispetto della spaziatura fra le barre richiede che i 6  $\varnothing 28$  siano disposti su 3 file. La distanza del baricentro delle armature tese rispetto al lembo compresso risulta:  $d = h - c - \varnothing 8 - 2,5 \cdot \varnothing 28 = 742 \text{ mm}$ .



Verifica nella sezione di mezzeria sollecitata a momento massimo  $M_{sd} = 937.5 \text{ kNm}$

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE				mm e mm <sup>2</sup>	
b	400	h	850	c	30
∅long	28	As	615.7522		
A's	2∅28		1231.50432		
As	6∅28		3694.512961		
∅staffe	8				
d'	52	d	742		
x	182.9602846				
ε's	0.002505249	σ's	391.3043		
εs	0.010694337	σs	391.3043		
-C	-963785.9897	zC	668.8159		
-T'	-481892.9949	zT'	690		
T	1445678.985				
NRd	0				
MRd	977,101,547	x/d	0.246577		

Alle estremità e inferiormente deve essere disposta una armatura in grado di assorbire una forza pari al taglio che risulta  $V_{sd} = 375 \text{ kN}$ .

L'armatura longitudinale è costituita da ∅28, se si dispongono 2 ∅28 = 1232 mm<sup>2</sup>, si ottiene

$2 \cdot \text{∅}28 \cdot f_{yd} = 482 \text{ kN} > V_{sd}$ , pertanto sono adeguati.

Per valutare come modulare l'armatura all'interno della trave, valutiamo i Momenti Resistenti per le seguenti armature

caso 1)  $As = 2 \text{ ∅}28$ ;  $A's = 2 \text{ ∅}28$

caso 2)  $As = 3 \text{ ∅}28$ ;  $A's = 2 \text{ ∅}28$

caso 3)  $As = 4 \text{ ∅}28$ ;  $A's = 2 \text{ ∅}28$

caso 4)  $As = 5 \text{ ∅}28$ ;  $A's = 2 \text{ ∅}28$

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE			mm e mm <sup>2</sup>	
b	400 h	850 c		30
∅long	28 As	615,7522		
A's	2∅28	1231,50432		
As	2∅28	1231,50432		
∅staffe	8			
d'	52 d	742		
x	62,97033912			
ε's	0,00060975 σ's	121,9501		
εs	0,037741639 σs	391,3043		
-C	-331710,9544 zC	716,8119		
-T'	-150182,0405 zT'	690		
T	481892,9949			
NRd	7,33417E-09			
MRd	341.399.956 x/d	0,084866		

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE			mm e mm <sup>2</sup>	
b	400 h	850 c		30
∅long	28 As	615,7522		
A's	2∅28	1231,504		
As	3∅28	1847,256		
∅staffe	8			
d'	52 d	742		
x	79,97574288			
ε's	0,00122431 σ's	244,862		
εs	0,028972346 σs	391,3043		
-C	-421290,8866 zC	710,0097		
-T'	-301548,6057 zT'	690		
T	722839,4923			
NRd	6,65896E-08			
MRd	507.189.155 x/d	0,107784		

CARATTERISTICHE RESISTIVE DEI MATERIALI							
Rck		35 fcd		16,46167			
fyk		450 Es		200000			
fyd		391,3043478 $\epsilon_{yd}$		0,001957			
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE						mm e mm <sup>2</sup>	
b		400 h		850 c		30	
$\varnothing$ long		28 As		615,7522			
A's	2 $\varnothing$ 28			1231,50432			
As	4 $\varnothing$ 28			2463,00864			
$\varnothing$ staffe		8					
d'		52 d		742			
x		102,4082132					
$\epsilon$ 's		0,001722799 $\sigma$ 's		344,5598			
$\epsilon$ s		0,021859294 $\sigma$ s		391,3043			
-C		-539459,1582 zC		701,0367			
-T'		-424326,8315 zT'		690			
T		963785,9897					
NRd		8,96398E-09					
MRd		670.966.190 x/d		0,138016			

CARATTERISTICHE RESISTIVE DEI MATERIALI							
Rck		35 fcd		16,46167			
fyk		450 Es		200000			
fyd		391,3043478 $\epsilon_{yd}$		0,001957			
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE						mm e mm <sup>2</sup>	
b		400 h		850 c		30	
$\varnothing$ long		28 As		615,7522			
A's	2 $\varnothing$ 28			1231,504			
As	5 $\varnothing$ 28			3078,761			
$\varnothing$ staffe		8					
d'		52 d		742			
x		137,2202134					
$\epsilon$ 's		0,002173665 $\sigma$ 's		391,3043			
$\epsilon$ s		0,015425783 $\sigma$ s		391,3043			
-C		-722839,4923 zC		687,1119			
-T'		-481892,9949 zT'		690			
T		1204732,487					
NRd		0					
MRd		829.177.794 x/d		0,184933			

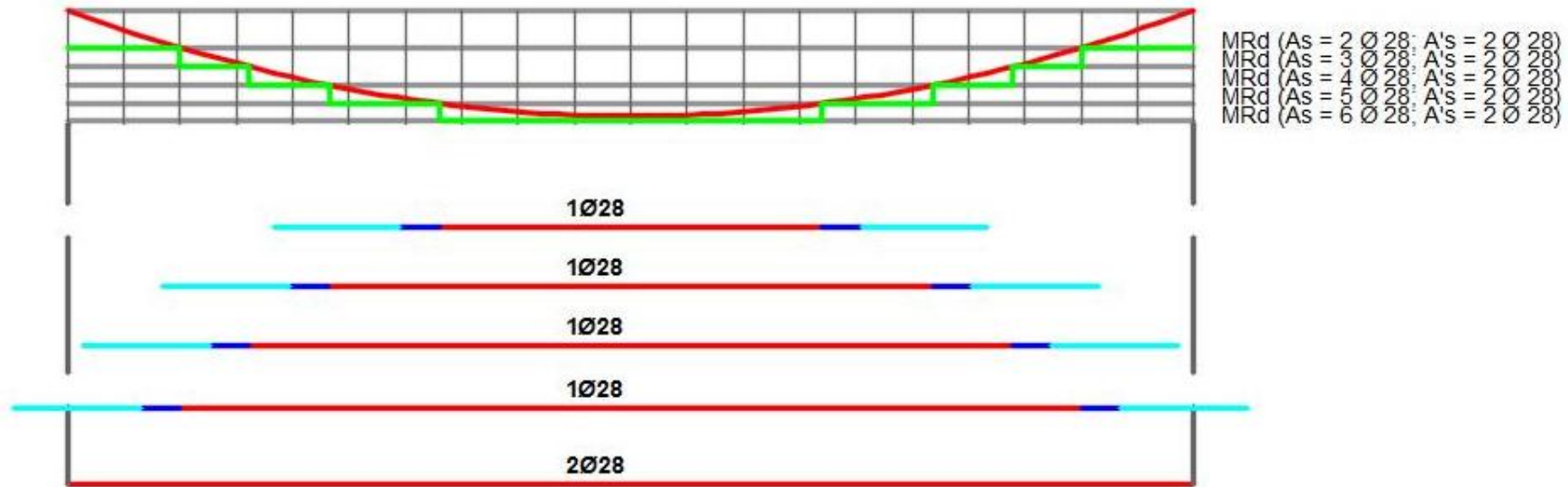
Le barre di armatura devono essere dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali ottenute trasladando il diagramma dei momenti flettenti della quantità  $z = 0,9 d/2 \approx 350$  mm.

Le barre di armatura devono essere ancorate, a partire dalla sezione dove non sono più necessarie vanno prolungate di  $40 \varnothing = 40 \cdot 28 = 1120$  mm.

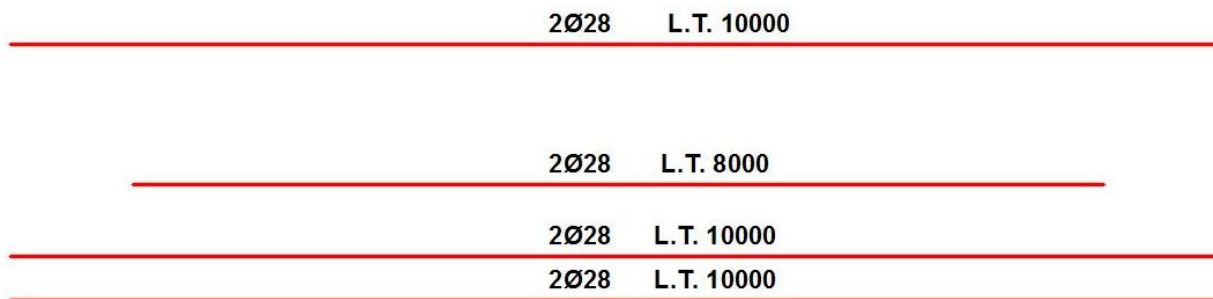
Teoricamente la disposizione dovrebbe seguire l'andamento riportato in figura:

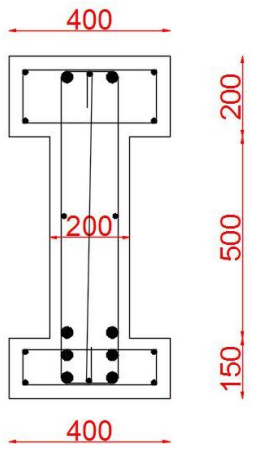
— traslazione diagramma dei momenti  $z = 350$  mm

— lunghezza di ancoraggio =  $40 \varnothing = 1120$  mm



Ma per semplificare la disposizione si propone la seguente cautelativa disposizione





Le armature disposte soddisfano i dettagli costruttivi, che prevedono che  $A_s$  risulta in tutte le sezioni  $\geq 0,26 f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_w \cdot d = 252 \text{ mm}^2$  e risulti anche  $\geq 0,0013 d \cdot b_w = 299 \text{ mm}^2$ , comunque inferiore  $0,04 A_c = 9600 \text{ mm}^2$ .

### Verifica a Taglio allo Stato Limite Ultimo

L'armatura minima trasversale deve soddisfare le seguenti prescrizioni minime:

3 staffe a metro            interasse            333    mm

interasse massimo 0,8 d                            594    mm

Il quantitativo di staffe in 1 metro deve risultare  $\geq 1,5b \text{ mm}^2/\text{m} = 300 \text{ mm}^2$ . Se si impiegano staffe  $\varnothing 8$  a due bracci si ottiene che ciascuna staffa reagisce con  $100 \text{ mm}^2$ . Il rispetto di questa prescrizione prevede che siano disposte almeno 3 staffe in un metro, quindi l'interasse massimo deve essere 333 mm.

Si valuta  $V_{Rwd}$  e  $V_{Rcd}$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rwd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad (4.1.18)$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad (4.1.19)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rwd}, V_{Rcd}) \quad (4.1.20)$$

$$VRcd = 0,9 \cdot 742 \cdot 200 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 16,46 / 2 = 549,6 \text{ kN}$$

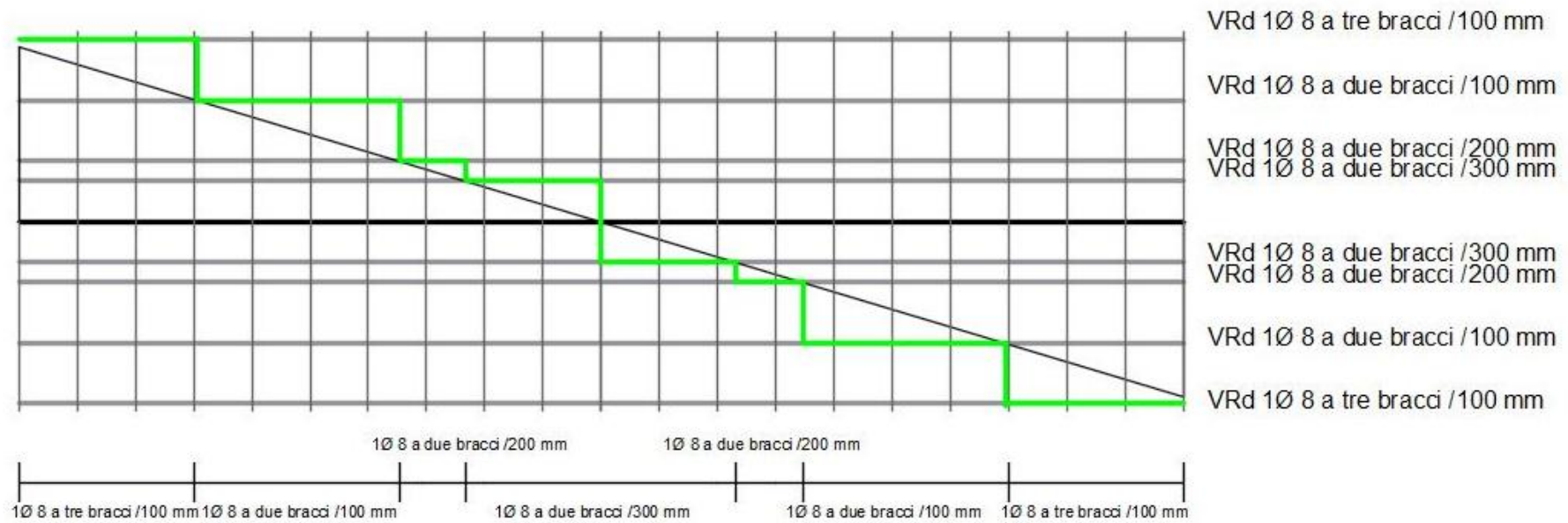
$$VRd (1\varnothing 8 \text{ a due bracci ogni } 300 \text{ mm}) = 87,11 \text{ kN} < V_{Sdmax}$$

$$VRd (1\varnothing 8 \text{ a due bracci ogni } 200 \text{ mm}) = 130,2 \text{ kN} < V_{Sdmax}$$

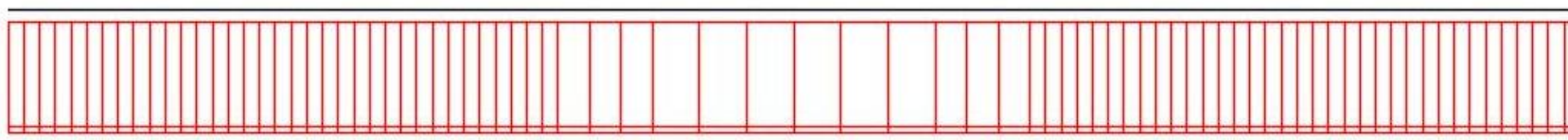
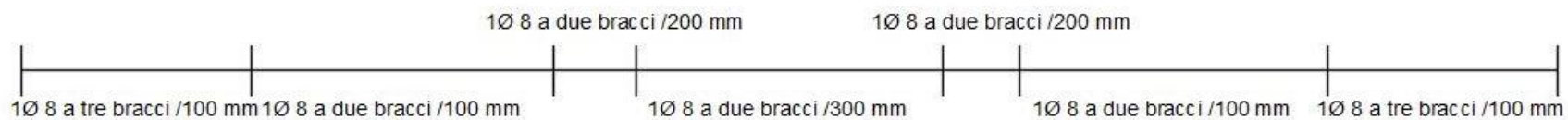
$$VRd (1\varnothing 8 \text{ a due bracci ogni } 100 \text{ mm}) = 260,4 \text{ kN} < V_{Sdmax}$$

$$VRd (1\varnothing 8 \text{ a tre bracci ogni } 100 \text{ mm}) = 390,6 \text{ kN} > V_{Sdmax}$$

L'interasse delle staffe va modulato in funzione della sollecitazione



*Disegni esecutivi*



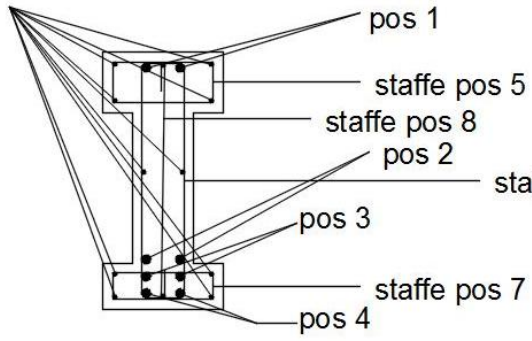
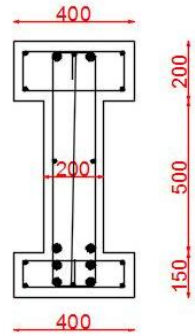
**2Ø28 pos 1 L.T. 10000**

**2Ø28 pos 2 L.T. 8000**

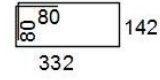
**2Ø28 pos 3 L.T. 10000**

**2Ø28 pos 4 L.T. 10000**

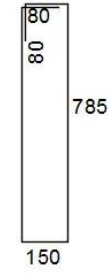
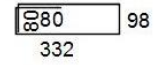
10Ø12 longitudinali L.T. 10000



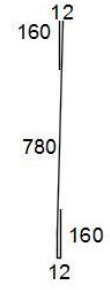
staffe pos 5  
1Ø8 L.T. 1108



staffe pos 7  
1Ø8 L.T. 1020



staffe pos 6  
1Ø8 L.T. 2030



staffe pos 8  
1Ø8 L.T. 1124