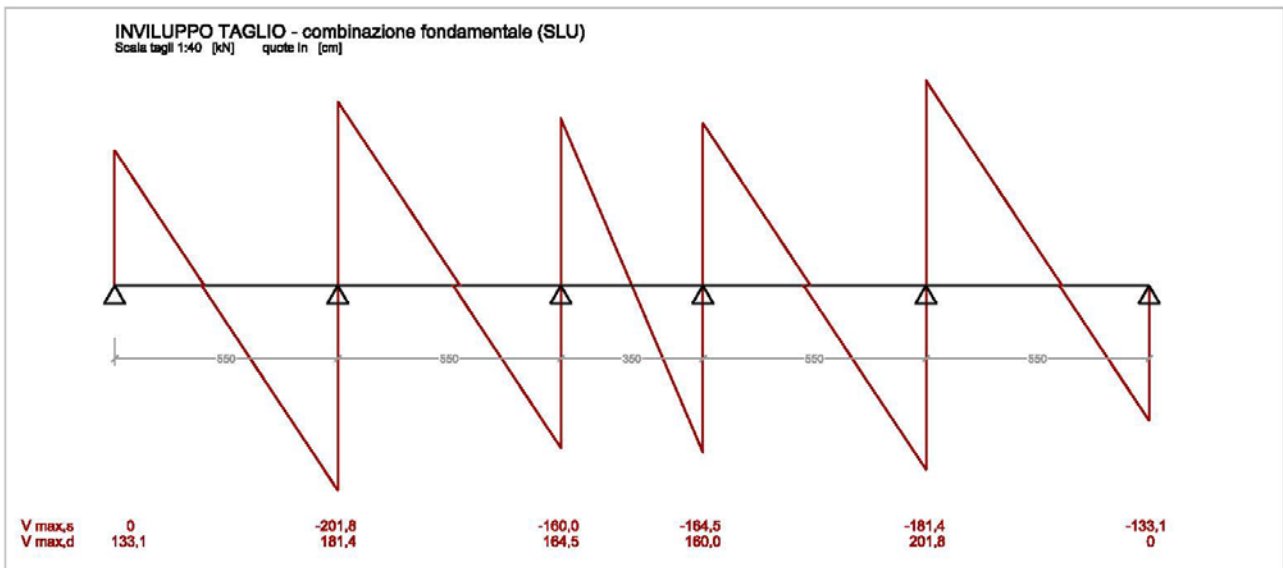




VERIFICHE DI S.L.U. SECONDO LE NTC 2008

TRAVE IN C.A. – PROGETTO E VERIFICA ARMATURA A TAGLIO

In questo esempio eseguiamo il progetto e la verifica delle armature trasversali di una trave continua necessarie per assorbire lo sforzo di taglio. Si supponga di aver già studiato la trave continua e di aver determinato le sollecitazioni di calcolo.



Supponiamo inoltre di avere già assegnate le dimensioni geometriche (costanti su tutta la trave) della sezione: 30x60 cm.

Le caratteristiche dei materiali impiegati sono:

- calcestruzzo C25/30

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

- acciaio B450C

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391,0 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: un corrente teso (armatura longitudinale), un corrente compresso (cls) e un sistema di bielle compresse (cls) e tese (armature trasversali). L'inclinazione θ delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave dovrà rispettare le limitazioni fissate dalla normativa (§4.1.2.1.3.2 delle NTC 2008):

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

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

$$V_{Rcd} = \frac{0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot (\alpha_{cc} \cdot f'_{cd}) \cdot (\cot \alpha + \cot \theta)}{1 + \cot^2 \theta}$$

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

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{i} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

dove:

d	è l'altezza utile della sezione (mm)		
b _w	è la larghezza minima della sezione (mm)		
$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$	è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 \cdot f_{cd}$)		
A _{sw}	è l'area dell'armatura trasversale		
i	è l'interasse tra due armature trasversali consecutive		
α	è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave		
$f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$	è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima		
α_{cc}	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature compresse
		$1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5 \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right)$	per $0,5 < \sigma_{cp} < f_{cd}$

La resistenza al taglio della trave si assume pari alla minore delle due sopra definite:

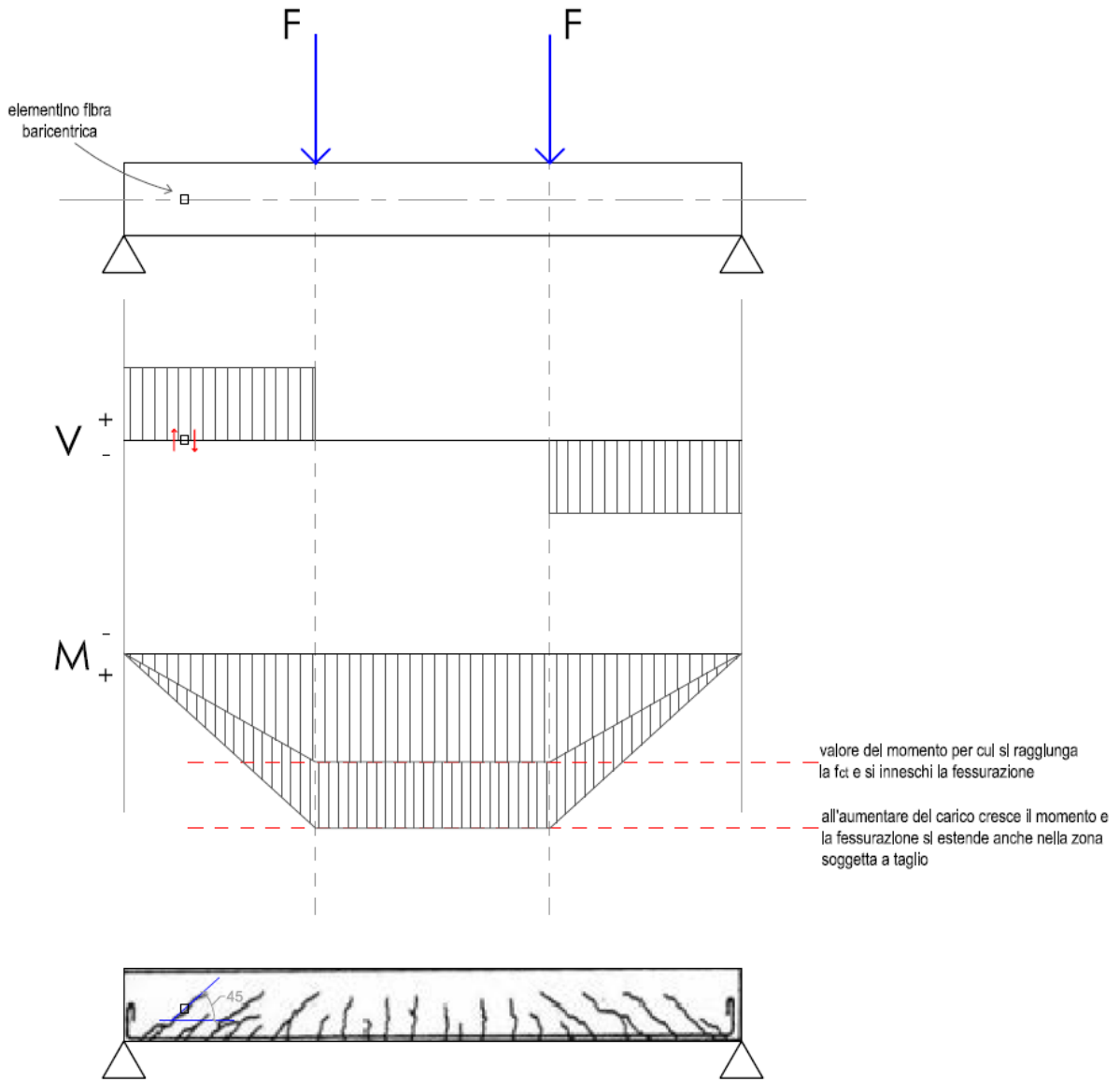
$$V_{Rd} = \min[V_{Rcd}; V_{Rsd}]$$

A riguardo però si può fare una considerazione, e cioè sarà bene verificare che risulti comunque $V_{Rsd} \leq V_{Rcd}$, questo per fare in modo che la resistenza a taglio sia raggiunta con lo snervamento delle armature trasversali.

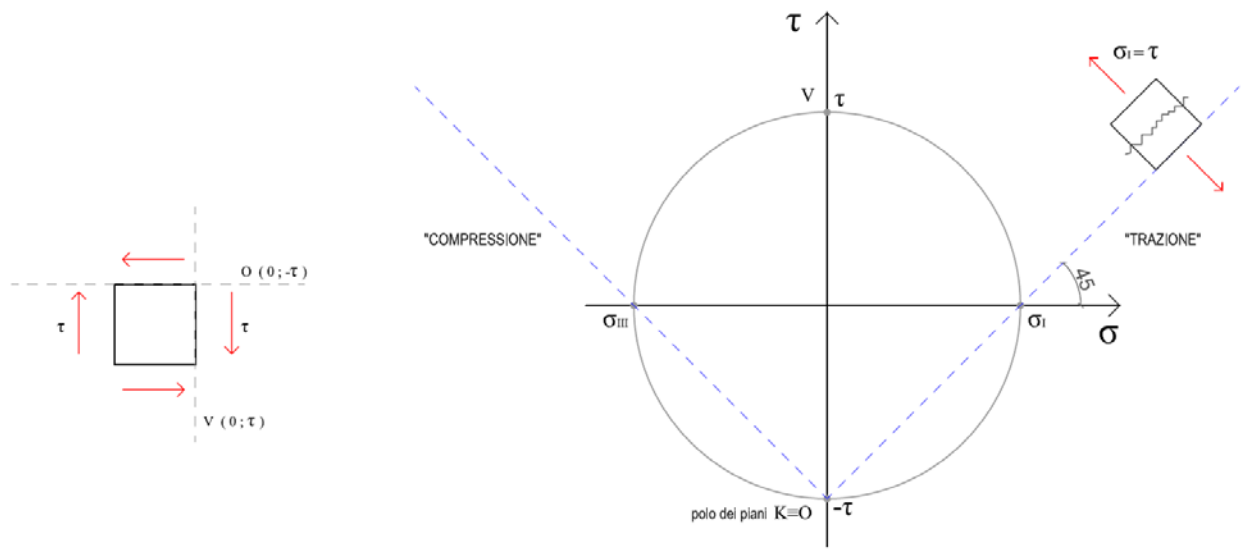
Si può osservare che, a parità degli altri parametri, la resistenza fornita dalle bielle compresse aumenta all'aumentare dell'inclinazione θ delle bielle stesse rispetto all'asse della trave; mentre la resistenza data dalle armature a taglio decresce all'aumentare di θ , questo perché per valori di θ elevati una generica fessura intercetta un minor numero di armature.

Considerando inoltre che la resistenza a "taglio compressione" delle bielle di calcestruzzo è sempre abbastanza elevata, possiamo pensare di assumere, in maniera cautelativa, $\theta = 45^\circ$ in modo da rendere minima la resistenza a "taglio trazione" fornita dalle bielle tese.

Tale assunzione non rappresenta una forzatura anche perché in una trave soggetta a flessione semplice e taglio, l'inclinazione delle fessure risulta proprio pari a 45° .



Andando a disegnare il cerchio di Mohor per l'elementino sulla fibra baricentrica:



L'approccio che adotteremo per la verifica a taglio consisterà nel verificare prima di tutto la resistenza della biella compressa di calcestruzzo. Successivamente, considerando un'armatura a taglio costituita da sole staffe, distribuiremo inizialmente su tutta la trave l'armatura minima per poi infittire opportunamente il passo delle staffe ove necessario.

Sulla base di quanto detto precedentemente assumiamo dunque:

- $\theta = 45^\circ$
- armatura a taglio costituita da sole staffe $\phi 8$ due braccia resistenti $\Rightarrow A_{sw} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ mm}^2$
- $\alpha = 90^\circ$
- essendo $N_{Ed} = 0 \Rightarrow \alpha_{cc} = 1$
- $f'_{cd} = 0,5 \cdot 14,2 = 7,1 \text{ N/mm}^2$
- $d = h - 40 = 600 - 40 = 560 \text{ mm}$
- $b_w = 300 \text{ mm}$

RESISTENZA BIELLA COMPRESSA

$$V_{Rcd} = \frac{0,9 \cdot 560 \cdot 300 \cdot (1 \cdot 7,1) \cdot (\cot 90 + \cot 45)}{1 + \cot^2 45} / 10^3 = 563,8 \text{ kN}$$

Il valore calcolato di V_{Rcd} sarà costante su tutta la trave rimanendo la sezione invariata.

RESISTENZA ARMATURA A TAGLIO

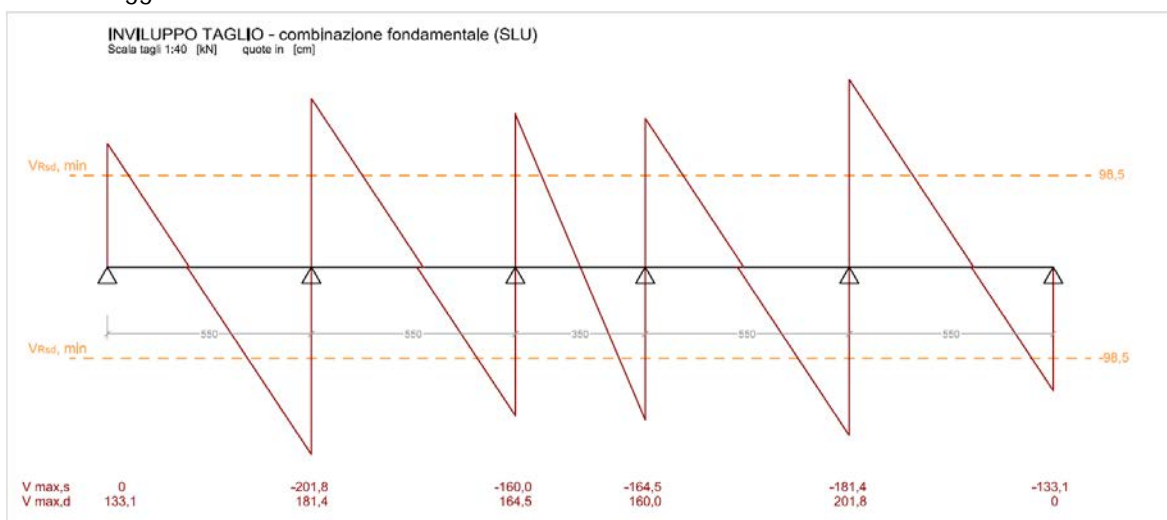
Vediamo innanzitutto qual è la resistenza che ci viene offerta dall'armatura minima:

$$\left(\frac{A_{sw}}{i}\right)_{\min} = 1,5 \cdot b_w = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$$

\Rightarrow impiegando staffe $\phi 8$ due braccia, $A_{sw} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ mm}^2 \rightarrow 5 \text{ st } \phi 8 / \text{m} = 500 \text{ mm}^2 / \text{m}$

$$V_{Rsd\min} = 0,9 \cdot 560 \cdot 500 \cdot 391 \cdot (\cot 90 + \cot 45) \cdot \sin 90 / 10^3 = 98,5 \text{ kN}$$

Tracciando una retta orizzontale pari a $V_{Rsd\min}$ sul diagramma di involuppo dei tagli, andiamo a leggere quelle che sono le distanze corrispondenti all'infittimento che deve essere eseguito per far fronte a valori del taglio sollecitante maggiori.



In tali tratti andremo poi a calcolare il nuovo passo che dovrà avere la staffatura.

APPOGGIO 1dx

$$V_{Ed} = 133,1 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{i} = \frac{133,1 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,56 \cdot 391} = 675 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow 7 \text{st } \phi 8 / \text{m} = 700 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad i = 100/700 = 0,14 \text{ m}$$

Calcoliamo la resistenza a taglio offerta dalle staffe con passo di 14 cm:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot 560 \cdot \frac{100}{0,14} \cdot 391 \cdot (\cot 90 + \cot 45) \cdot \sin 90 / 10^3 = 140,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 536,8; V_{Rsd} = 140,8 > V_{Ed} = 133,1$$

VERIFICA SODDISFATTA

APPOGGIO 2sx

$$V_{Ed} = -201,8 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{i} = \frac{201,8 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,56 \cdot 391} = 1024 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow 11 \text{st } \phi 8 / \text{m} = 1100 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad i = 100/1100 = 0,09 \text{ m}$$

Calcoliamo la resistenza a taglio offerta dalle staffe con passo di 9 cm:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot 0,56 \cdot \frac{100}{0,09} \cdot 391 \cdot (\cot 90 + \cot 45) \cdot \sin 90 / 10^3 = 219,0 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 536,8; V_{Rsd} = 219,0 > V_{Ed} = 201,8$$

VERIFICA SODDISFATTA

APPOGGIO 2dx

$$V_{Ed} = 181,4 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{i} = \frac{181,4 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,56 \cdot 391} = 920 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow 10 \text{st } \phi 8 / \text{m} = 1000 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad i = 100/1000 = 0,10 \rightarrow \text{anche a dx adottiamo } 0,09 \text{ m}$$

La resistenza a taglio sarà quindi la stessa dell'appoggio 2sx:

$$V_{Rsd} = 219,0 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 536,8; V_{Rsd} = 219,0 > V_{Ed} = 181,4$$

VERIFICA SODDISFATTA

APPOGGIO 3sx

$$V_{Ed} = -160,0 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{i} = \frac{160,0 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,56 \cdot 391} = 812 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow 9 \text{st } \phi 8 / \text{m} = 900 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad i = 100/900 = 0,11 \text{ m}$$

Calcoliamo la resistenza a taglio offerta dalle staffe con passo di 11 cm:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot 0,56 \cdot \frac{100}{0,11} \cdot 391 \cdot (\cot 90 + \cot 45) \cdot \sin 90 / 10^3 = 179,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 536,8; V_{Rsd} = 179,1 > V_{Ed} = 160,0$$

VERIFICA SODDISFATTA

APPOGGIO 3dx

$$V_{Ed} = 164,5 \text{ kN}$$

Adottando lo stesso passo di staffe, $i = 11 \text{ cm}$, del caso precedente (i valori del taglio sollecitante sono pressoché identici) otteniamo la medesima resistenza a taglio:

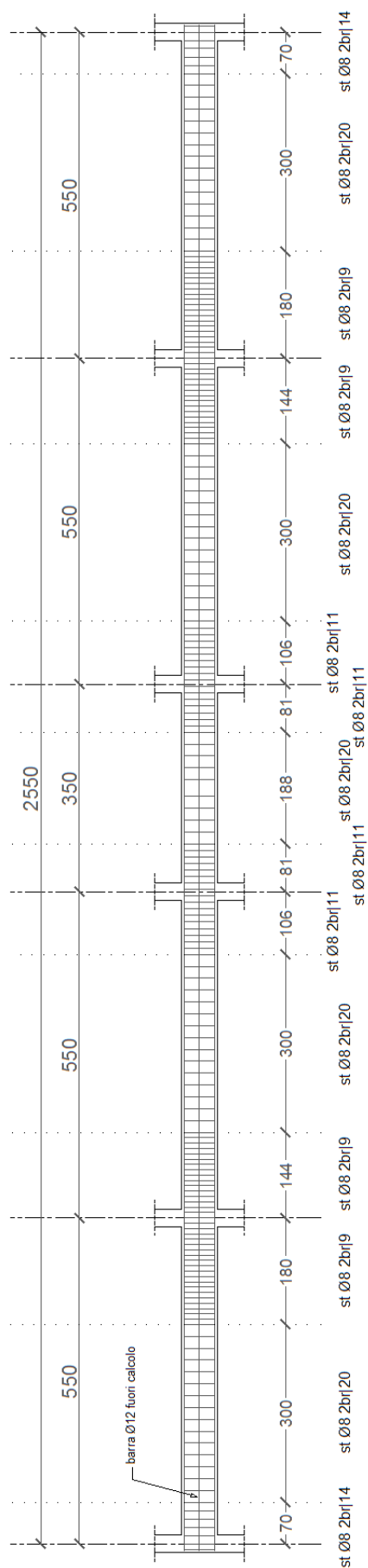
$$V_{Rsd} = 179,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 536,8; V_{Rsd} = 219,0 > V_{Ed} = 201,8$$

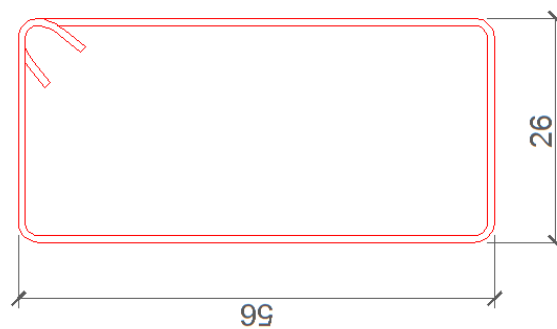
VERIFICA SODDISFATTA

Le restanti sezioni sugli appoggi della trave continua (4sx; 4dx; 5sx; 5dx; 6sx) rappresentano casi speculari a quelli già esaminati.

CARPENTERIA ARMATURE TRASVERSALI



staffa Ø8mm 2 braccia resistenti



L = 180cm