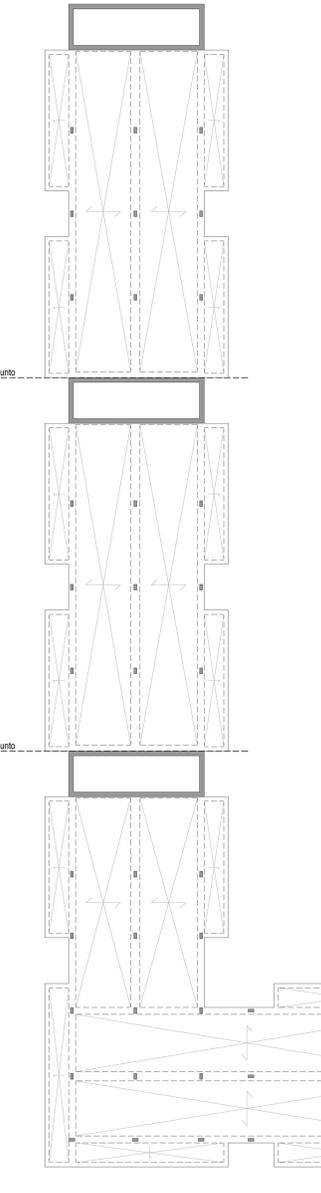
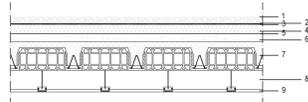


PIANTA SPECULARE DI UN SINGOLO MODULO RESIDENZIALE - SCALA 1:100



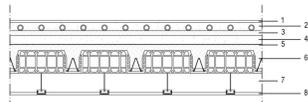
ORDITURA TRAVI, PILASTRI E SOLAI DEL FABBRICATO IN LINEA - SCALA 1:200

SOLAIO DI COPERTURA		
Elemento	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]
6. Solai in laterocemento	3,69	0,25
<b>TOTALE</b>	<b>3,69</b>	
Pannelli fotovoltaici		
1. Ghialia	0,51	
2. Strato di separazione in tessuto non tessuto	0,08	0,004
3. Manto impermeabile	0,08	0,004
4. Strato isolante	0,16	0,08
5. Barriera al vapore		0,002
6. Massetto portaplantami	1,47	0,07
8. Impianti a controsoffitto	0,50	0,188
<b>TOTALE</b>	<b>3,30</b>	
9. Neve	1,20	
<b>TOTALE</b>	<b>1,20</b>	



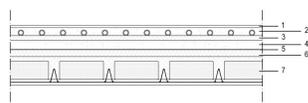
SCALA 1:20

SOLAIO INTERPIANO		
Elemento	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]
6. Solai in laterocemento	3,69	0,25
<b>TOTALE</b>	<b>3,69</b>	
1. Pavimento	0,50	0,02
2. Getto di completamento per pannelli radianti	1,20	0,07
3. Strato isolante	0,08	0,04
4. Massetto portaplantami	1,48	0,08
5. Barriera al vapore		0,002
7. Impianti a controsoffitto	0,50	0,188
Tramezzature interni	1,00	
<b>TOTALE</b>	<b>4,96</b>	
Residenziale	2,00	
<b>TOTALE</b>	<b>2,00</b>	



SCALA 1:20

SOLAIO PIANO TERRA		
Elemento	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]
7. Solai in lastre predalles	4,10	0,25
<b>TOTALE</b>	<b>4,10</b>	
1. Pavimento	0,50	0,02
2. Getto di completamento per pannelli radianti	1,20	0,07
3-6. Strato isolante	0,20	0,04 + 0,06
4. Massetto portaplantami	1,48	0,08
5. Barriera al vapore		0,002
Tramezzature	1,00	
<b>TOTALE</b>	<b>4,58</b>	
Commercio	4,00	
<b>TOTALE</b>	<b>4,00</b>	



SCALA 1:20

**SOLAIO: Progetto delle armature**  
Essendo a conoscenza dei materiali (vedi tabella sotto riportata), delle azioni interne e, nel caso del solaio, della geometria della sezione in calcestruzzo del travetto, è possibile determinare l'armatura.

MATERIALI	
CLASSE	ACCIAIO
200 MPa	500 MPa
30 MPa	300 MPa
3200 MPa	

Si suppone che la rottura del calcestruzzo avvenga per acciaio snervato e, con queste ipotesi, il dimensionamento delle armature può essere determinato con la formula:

$$A_s = M_{ed} / (0,9 \cdot d \cdot f_{yd})$$

dove  $M_{ed}$  è il momento massimo per ciascuna sezione del solaio, determinato grazie al diagramma degli involuppi, mentre  $d$  è la distanza tra il baricentro dell'armatura che lavora a trazione e l'estremità compressa del calcestruzzo, in questo caso 23 cm.

**Armatura al negativo**

$$M_{ed1} = -20,88 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = 20,88 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 230 \cdot 391) = 258 \text{ mm}^2 \quad 1010 + 1016$$

$$M_{ed2} = -23,74 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = 23,74 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 230 \cdot 391) = 293 \text{ mm}^2 \quad 1010 + 1018$$

$$M_{ed3} = -20,88 \text{ kNm}$$

$$A_{s3} = 20,88 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 230 \cdot 391) = 258 \text{ mm}^2 \quad 1010 + 1016$$

**Armatura al positivo**

$$M_{ed4} = 16,89 \text{ kNm}$$

$$A_{s4} = 16,89 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 230 \cdot 391) = 209 \text{ mm}^2 \quad 1010 + 1014$$

$$M_{ed5} = 15,20 \text{ kNm}$$

$$A_{s5} = 15,20 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 230 \cdot 391) = 188 \text{ mm}^2 \quad 1010 + 1012$$

**Verifica delle armature del solaio**

La verifica consiste nell'assicurarsi che il Momento Resistente  $M_{ed}$  sia maggiore o al limite uguale al momento sollecitante  $M_{sd}$ . Per eseguire tale controllo, è necessario determinare alcune grandezze adimensionali di seguito definite:

$$\text{Rapporto meccanico di armatura} \quad \xi = A_s \cdot f_{yd} / (B \cdot d^2 \cdot f_{cd})$$

$$\text{Posizione dell'asse neutro} \quad \xi = x / d$$

$$\text{Momento resistente adimensionale} \quad \mu_{ed} = M_{ed} / (B \cdot d^2 \cdot f_{cd})$$

dove  $B$  è la base della sezione del calcestruzzo, pari a 120 mm o 500 mm a seconda che la verifica avvenga in corrispondenza degli appoggi o delle campate.  
Una volta determinato il valore di  $\omega_s$  analiticamente,  $\xi$  e  $\mu_{ed}$  sono tabellati. Tramite il valore di  $\mu_{ed}$  è possibile determinare, infine, invertendo l'equazione sopra indicata, il valore del momento resistente  $M_{ed}$ .

$$\text{Momento resistente} \quad M_{ed} = \mu_{ed} \cdot B \cdot d^2 \cdot f_{cd} / 10^6$$

**Verifiche al negativo: sezioni 1 e 3**

$$\omega_s = (201,1 + 78,5) \cdot 391 / (120 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,249$$

$$\xi = 0,359$$

$$\mu_{ed} = 0,210$$

$$M_{ed} = 0,210 \cdot 120 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 21,20 \text{ kNm} > M_{ed1}$$

**Verifiche al negativo: sezione 2**

$$\omega_s = (78,5 + 254,5) \cdot 391 / (120 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,297$$

$$\xi = 0,435$$

$$\mu_{ed} = 0,245$$

$$M_{ed} = 0,245 \cdot 120 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 24,72 \text{ kNm} > M_{ed2}$$

**Verifiche al positivo: sezione A**

$$\omega_s = (78,5 + 153,9) \cdot 391 / (500 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,050$$

$$\xi = 0,119$$

$$\mu_{ed} = 0,050$$

$$M_{ed} = 0,050 \cdot 500 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 21,03 \text{ kNm} > M_{ed4}$$

**Verifiche al positivo: sezione B**

$$\omega_s = (78,5 + 113) \cdot 391 / (500 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,04$$

$$\xi = 0,104$$

$$\mu_{ed} = 0,04$$

$$M_{ed} = 0,04 \cdot 500 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 16,82 \text{ kNm} > M_{ed5}$$

Una volta determinata l'armatura necessaria per i travetti del solaio, si procede col disegno dei ferri. Da ricordare la lunghezza massima utilizzabile, stimabile attorno ai 12 m per problemi di trasportabilità. Per quanto riguarda, infine, la lunghezza di ancoraggio (in genere tra i 40 e i 50 Ø), essa è stata assunta nei calcoli pari a 45 Ø. Ai fini della pura rappresentazione grafica del momento resistente, vengono infine riportati i calcoli per la determinazione del momento generato dall'armatura corrente, ovvero i Ø 10.

$$\omega_s = 78,5 \cdot 391 / (120 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,074$$

$$\xi = 0,138$$

$$\mu_{ed} = 0,065$$

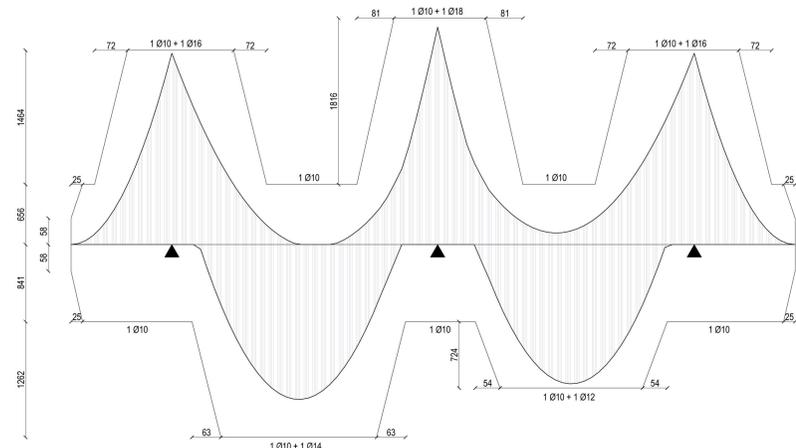
$$M_{ed} = 0,065 \cdot 120 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 6,56 \text{ kNm}$$

$$\omega_s = 78,5 \cdot 391 / (500 \cdot 230 \cdot 15,9) = 0,0168$$

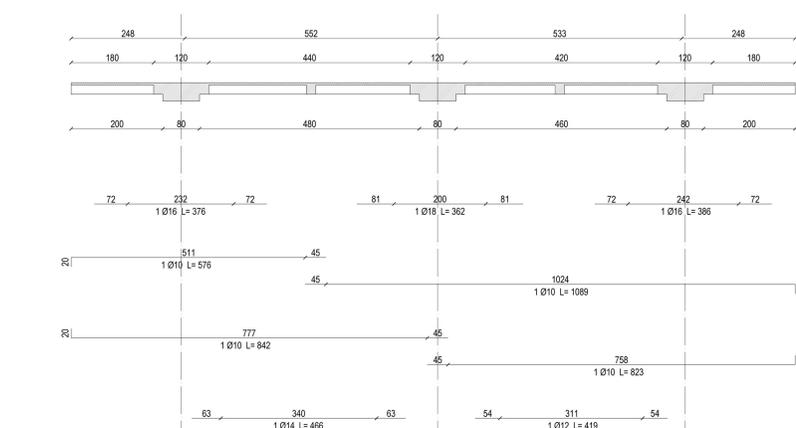
$$\xi = 0,072$$

$$\mu_{ed} = 0,02$$

$$M_{ed} = 0,02 \cdot 500 \cdot 230^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 8,41 \text{ kNm}$$



INVOLUPPO MOMENTI SOLLECITANTI, MOMENTO RESISTENTE - SCALA 1:50



ARMATURA SOLAIO - SCALA 1:50

**TRAVE DI SPINA: calcolo dei carichi sollecitanti**

Oltre ai carichi già analizzati bisogna tener conto del peso proprio della trave, stimabile attorno ai 2 kN/m. Nella formula compare un coefficiente moltiplicativo  $C$  che tiene conto della continuità del solaio (valore compreso tra 1,1 e 1,2 per le travi di spina e pari a 1 per le travi di bordo). Per una luce di influenza pari a 5,7 m si ottiene:

$$P_{s1} = C \cdot (P_{trave} + g_s) \cdot l_{infl} = 1,1 \cdot (2 + 3,69) \cdot 5,7 = 35,68 \text{ kN/m}$$

**Carichi Permanenti**

$$P_{s2} = C \cdot g_2 \cdot l_{infl} = 1,1 \cdot 5,36 \cdot 5,7 = 33,61 \text{ kN/m}$$

**Sovraccarichi Variabili**

$$P_s = C \cdot q \cdot l_{infl} = 1,1 \cdot 2 \cdot 5,7 = 12,54 \text{ kN/m}$$

A questo punto, si è in grado di determinare nuovamente  $G$  e  $Q$ , ovvero i carichi Permanenti e Variabili effettivi che agiscono su ogni metro lineare di trave.

$$G = (P_{s1} + P_{s2}) = (35,68 + 33,61) = 69,29 \text{ kN/m}$$

$$Q = P_s = 12,54 \text{ kN/m}$$

**Progettazione delle sezioni e delle armature longitudinali**

Essendo a conoscenza dei materiali, delle azioni interne e dell'altezza della trave (nel caso in esame, siccome estradossata, viene stimata pari a 40 cm), è possibile determinare la lunghezza della trave e l'armatura. In prima istanza viene ipotizzato un valore per il momento resistente adimensionale (per esempio un valore di  $\mu_{ed}$  compreso tra 0,16 e 0,2) e, sfruttando la definizione dello stesso, ugualandolo al momento flettente sollecitante, si determina la lunghezza della trave per la sezione di momento massimo.

$$B = M_{ed} / (\mu_{ed} \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 606,4 / (0,2 \cdot 0,36^2 \cdot 15900) = 147 \text{ cm}$$

Per il dimensionamento dell'armatura metallica, noto  $\mu_{ed}$  dalla tabella si ricava  $\omega_s$  e, ancora, sfruttando la definizione di quest'ultimo si determina l'armatura a trazione necessaria.

$$\omega_s = 0,233$$

$$A_s = \omega_s \cdot B \cdot d^2 \cdot f_{cd} / 10^6 = 0,233 \cdot 1500 \cdot 360^2 \cdot 15,9 / 391 = 5117 \text{ mm}^2 = 51,17 \text{ cm}^2$$

Preliminarmente, si ipotizza un'armatura corrente, con funzione anche di registafila, da disporre lungo l'intero sviluppo della trave, tenendo conto che la distanza tra due barre d'armatura successive non deve eccedere i 30, 35 cm. Successivamente, si dispongono le armature aggiuntive per le sezioni nelle quali il momento sollecitante eccede quello resistente. Nel caso in esame, per coprire il momento sollecitante massimo si è scelta un'armatura corrente pari a 4 Ø26, mentre i ferri aggiuntivi corrispondono a 6 Ø26.

**3.4.5 Verifica a flessione della trave**

Inizialmente è stata effettuata la verifica a flessione della trave (in corrispondenza della sezione soggetta al momento sollecitante massimo) tramite il programma GELFI VCA510, grazie al quale, inserendo alcuni dati riguardanti le dimensioni della sezione della trave e le aree dei ferri utilizzati, è possibile determinare il valore del momento resistente  $M_{ed}$ . Essendo la verifica pienamente soddisfatta, si è cercato, mantenendo costante il numero e la dimensione dei ferri utilizzati nonché lo spessore della trave, di ridurre la lunghezza della stessa (il dato di partenza era pari a circa 150 cm). Il programma restituisce un valore del momento resistente maggiore di quello sollecitante fino ad una lunghezza della trave pari a 80 cm, dimensione che viene, quindi, mantenuta come definitiva (giungendo a definire la sezione della trave, 80 x 40 cm).

Le restanti verifiche sono state eseguite analiticamente, utilizzando le note formule servite anche alla verifica a flessione per i travetti del solaio. Si ricorda che, per quanto riguarda i momenti agli appoggi, vale una riduzione degli stessi pari a:

$$\Delta M = R \cdot B / 8$$

Mentre, per il calcolo del momento resistente, sono state utilizzate le seguenti formule:

$$\omega_s = A_s \cdot f_{yd} / (B \cdot d^2 \cdot f_{cd})$$

$$\mu_{ed} = \text{tabellato}$$

$$M_{ed} = \mu_{ed} \cdot B \cdot d^2 \cdot f_{cd} / 10^6$$

**Verifiche al negativo: sezioni 3 e 4**

Il programma GELFI restituisce un momento sollecitante teorico pari a 562,2 kNm. La riduzione vale:

$$\Delta M = 830 \cdot 0,3 / 8 = 31,13 \text{ kNm}$$

Si ottiene, pertanto, un momento sollecitante effettivo pari a:

$$M_{ed} = 562,2 - 31,13 = 531,07 \text{ kNm}$$

L'armatura corrente copre già un momento pari a 263,76 kNm, lasciando scoperto un momento di 267,31 kNm per il quale si aggiungono 4 Ø26.

$$\omega_s = 2654,6 \cdot 391 / (800 \cdot 360 \cdot 15,9) = 0,227$$

$$\mu_{ed} = 0,195$$

$$M_{ed} = 0,195 \cdot 800 \cdot 360^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 321,46 \text{ kNm} > M_{ed}$$

**Verifiche al positivo: sezioni A ed E**

Il programma GELFI restituisce un momento sollecitante pari a 496,4 kNm. L'armatura corrente copre già un momento pari a 263,76 kNm, lasciando scoperto un momento di 232,64 kNm per il quale si aggiungono 4 Ø26.

$$\omega_s = 2123,7 \cdot 391 / (800 \cdot 360 \cdot 15,9) = 0,181$$

$$\mu_{ed} = 0,160$$

$$M_{ed} = 0,160 \cdot 800 \cdot 360^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 263,76 \text{ kNm} > M_{ed}$$

**Verifiche al positivo: sezione C**

Il programma GELFI restituisce un momento sollecitante pari a 350,5 kNm. L'armatura corrente copre già un momento pari a 263,76 kNm, lasciando scoperto un momento di 86,74 kNm per il quale si aggiungono 2 Ø26.

$$\omega_s = 1051,9 \cdot 391 / (800 \cdot 360 \cdot 15,9) = 0,091$$

$$\mu_{ed} = 0,085$$

$$M_{ed} = 0,085 \cdot 800 \cdot 360^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 140,12 \text{ kNm} > M_{ed}$$

**Verifiche al positivo: sezioni B e D**

Il programma GELFI restituisce un momento sollecitante pari a 288,1 kNm. L'armatura corrente copre già un momento pari a 263,76 kNm, lasciando scoperto un momento di 24,34 kNm per il quale si aggiunge 1 Ø20.

$$\omega_s = 314,2 \cdot 391 / (800 \cdot 360 \cdot 15,9) = 0,027$$

$$\mu_{ed} = 0,025$$

$$M_{ed} = 0,025 \cdot 800 \cdot 360^2 \cdot 15,9 / 10^6 = 41,21 \text{ kNm} > M_{ed}$$

**Progettazione e verifica delle armature a taglio**

La resistenza a taglio  $V_{rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati (in genere si considerano inclinati a 45°). In prima battuta si verifica che la sezione di calcestruzzo soddisfi la verifica di resistenza per il taglio massimo con la formula:

$$V_{rd} = f_{td} / 4 \cdot B \cdot 0,9 \cdot d \geq V_{ed,max}$$

Ricordando la generica formula per il taglio  $T = (p \cdot l) / 2$  si ottiene:

$$V_{ed} = 1,3 \cdot G + 1,5 \cdot Q = 1,3 \cdot 69,29 + 1,5 \cdot 12,54 = 109,68 \text{ kN/m}$$

$$V_{ed,max} = T_{max} \cdot (P_{ed} \cdot l / 2) = 485,3 \cdot (109,68 \cdot 0,30 / 2) = 468,9 \text{ kN}$$

dove  $T_{max}$  è il valore massimo del taglio restituito dal programma GELFI e  $l$  è la lunghezza dell'appoggio.

$$V_{rd} = 15900 / 4 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,36 = 1030,32 \text{ kN} > V_{ed,max}$$

Successivamente, ipotizzato un diametro minimo delle staffe, si calcola il valore del taglio resistente  $V_{rd}$  con il passo massimo previsto dalla normativa.

$$\text{Passo staffe } s = \min(30 \text{ cm}; 0,8 \cdot d)$$

$$V_{rd,min} = f_{td} \cdot A_{sw} / s \cdot 0,9 \cdot d$$

Nel caso in esame, il passo delle staffe corrisponde a:

$$s = \min(30; 0,8 \cdot 36) = 30 \text{ cm}$$

per tanto, la scelta delle staffe ricade su Ø10/30 cm, a 4 bracci.

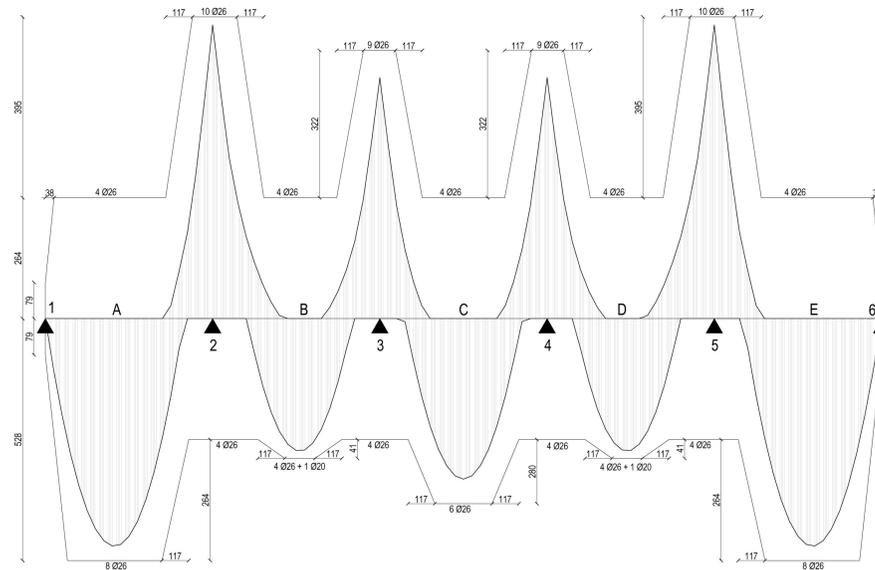
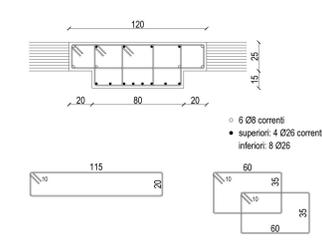
$$V_{rd,min} = 391 \cdot 4 \cdot 78,5 / 300 \cdot 0,9 \cdot 36 / 1000 = 132,60 \text{ kN}$$

Con tale armatura a taglio (corrispondente al minimo previsto dalla Normativa) si armano le sezioni per le quali  $V_{ed} \leq V_{rd,min}$  (ovvero le campate). Nei tratti di trave in cui  $V_{ed} > V_{rd,min}$  (ovvero in corrispondenza degli appoggi) si dispone la necessaria armatura a taglio, cercando di garantire, per quanto possibile, uniformità nella scelta dei diametri.

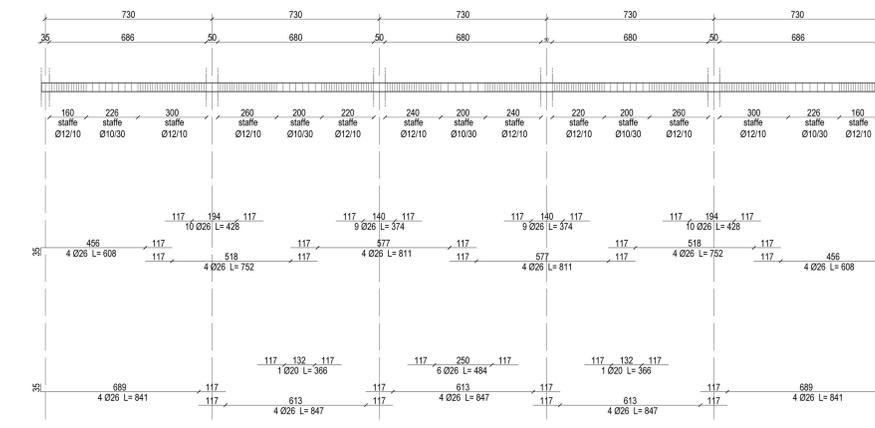
L'infilamento delle staffe viene, in questo caso, determinato sulla base del taglio sollecitante massimo, in corrispondenza dell'appoggio B. La verifica avviene tramite l'utilizzo di staffe Ø12/10 cm.

$$V_{rd} = 391 \cdot 4 \cdot 113,1 / 100 \cdot 0,9 \cdot 360 / 1000 = 573,12 \text{ kN} > V_{ed}$$

**SEZIONE - SCALA 1:20**



INVOLUPPO MOMENTI SOLLECITANTI, MOMENTO RESISTENTE - SCALA 1:100



ARMATURA TRAVE DI SPINA - SCALA 1:100