

Seconda Esercitazione Progettuale
Progetto di un Telaio Piano in C.A.

Analisi dei Carichi e Predimensionamento
delle Travi

PREMESSA

Il progetto di una struttura intelaiata in c.a. si esegue attraverso le fasi tipiche di qualsiasi procedura di progettazione strutturale; in particolare le principali fasi di cui si articola il progetto sono:

1. Analisi dei carichi;
2. Analisi delle sollecitazioni;
3. Progettazione delle sezioni (essenzialmente dell'armatura a flessione e taglio);
4. Verifica.

Poiché le strutture in c.a. (come quella in esame) generalmente hanno schema più volte iperstatico, le sollecitazioni che competono alle varie membrature non possono essere determinate utilizzando soltanto condizioni di equilibrio, ma è necessario coinvolgere anche condizioni di congruenza, in quanto esse dipendono dai rapporti di rigidità tra i vari elementi e, in definitiva, dalle dimensioni delle loro sezioni.

Pertanto, la scelta delle sezioni degli elementi strutturali (predimensionamento della struttura) rappresenta un passaggio preliminare indispensabile rispetto alla sequenza di fasi elencate sopra. Tale fase serve pure a definire compiutamente quella parte di azioni che competono alla struttura in quanto derivanti dal peso proprio degli elementi strutturali. Siccome il predimensionamento è preliminare all'analisi completa della struttura, esso può essere condotto facendo riferimento a schemi semplificati ottenuti estraendo le membrature dalla struttura nel suo insieme ed assegnando ad esse le azioni principali. Ad esempio, il predimensionamento delle travi può essere condotto estraendo le varie travi dalla struttura intelaiata ed assumendo per esse schemi strutturali semplificati (tipicamente di trave appoggiata o continua su più appoggi). L'analisi dei carichi trasmessi dal solaio sulle travi (condotta per "luci di influenza") consente di definire i carichi da assegnare a tali schemi semplificati.

Formule parimenti semplificate possono quindi, utilizzarsi per la valutazione delle massime sollecitazioni (ad esempio dei massimi momenti flettenti) in base alle quali progettare le dimensioni da assegnare alle varie sezioni.

Quello che segue è un esempio di predimensionamento di travi della struttura intelaiata condotto sulla base dei carichi determinati per il solaio progettato nella EP1.

VALUTAZIONE DEI CARICHI SULLE TRAVI

La valutazione dei carichi agenti sulle travi può essere condotta a partire dai carichi per unità di superficie presenti sul solaio. Si riportano nel seguito i valori numerici di tali carichi (da analisi dei carichi dell'EP1):

Impalcato Tipo			Copertura			Sbalzo		
g_1	3,28	kN/m^2	g_1	3,28	kN/m^2	g_1	2,82	kN/m^2
g_2	2,24	kN/m^2	g_2	2,24	kN/m^2	g_2	1,24	kN/m^2
q_k	3,00	kN/m^2	q_k	neve	kN/m^2	q_k	4,00	kN/m^2
			F_k	0,50	kN			

Valutazione del Carico da Neve (NTC 2008 § 3.4)

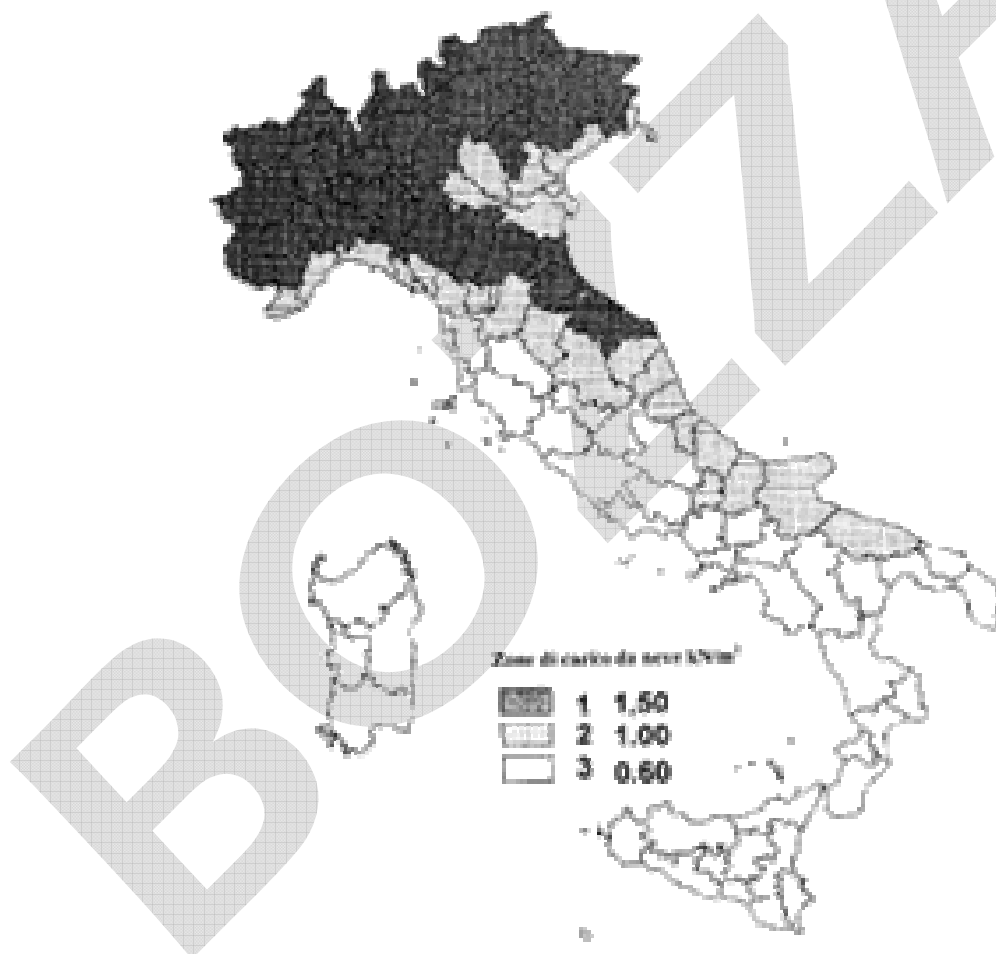
Il carico da neve in copertura è dato dalla seguente relazioni:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s è il carico da neve in copertura;
- q_{sk} è il carico da neve al suolo;
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura;
- C_E e C_t sono il coefficiente di esposizione e topografia rispettivamente.

Il carico da neve al suolo è fornito dalla Norma in funzione della zona geografica e dall'altitudine sul livello medio del mare.



Per la zona 3 che comprende il territorio campano si ha:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,51 \left[1 + \left(\frac{a_s}{481} \right)^2 \right]$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Il coefficiente di forma della copertura è funzione dell'inclinazione delle falde; in particolare per copertura piana (inclinazione pari a 0°) esso vale 0,8.

Assumendo i coefficienti di esposizione e topografia pari all'unità, e considerando come sito di riferimento il un comune a quota 330 m s.l.m. si ottiene:

$$q_{sk} = 0,51 \left[1 + \left(\frac{330}{481} \right)^2 \right] = 0,75 \text{ kN / m}^2$$

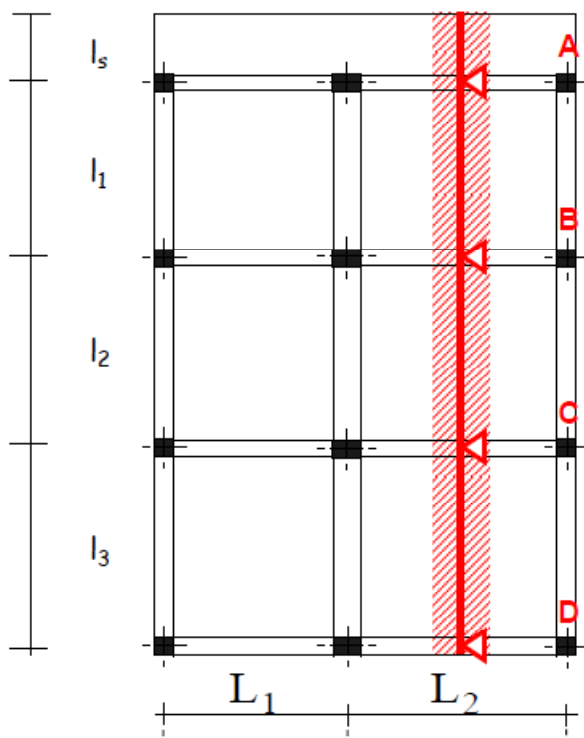
$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 0,60 \text{ kN / m}^2$$

Schemi di Predimensionamento

I valori di progetto del carico si ottengono moltiplicando le azioni permanenti G per un fattore parziale $\gamma_G = 1,3$ (1,0 se riduce la sollecitazione di progetto) e quelle variabili Q per un fattore $\gamma_Q = 1,50$ (0,0 se riduce la sollecitazione).

Si ricorda che le luci del solaio sono le seguenti:

l_s	l_1	l_2	l_3
1,20 m	5,15 m	5,65 m	4,30 m



Le larghezze dell'impalcato sono:

- $L_1 = 4,80 \text{ m}$
- $L_2 = 4,70 \text{ m}$

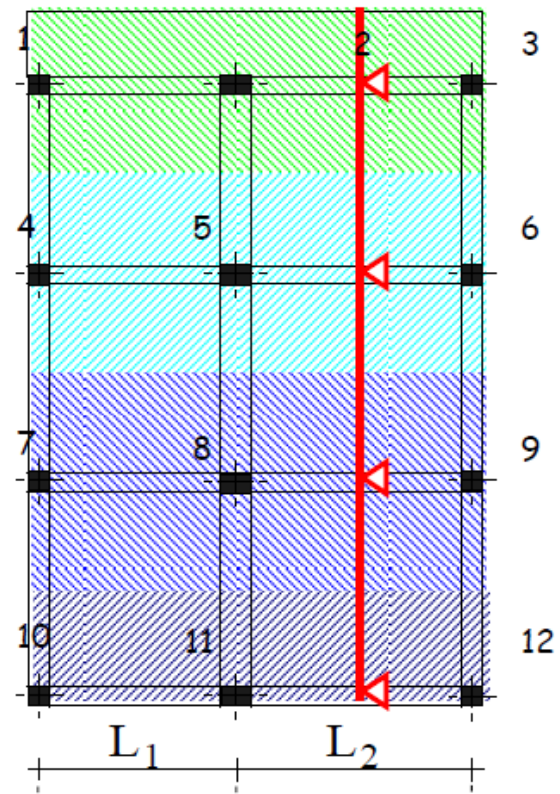
Con riferimento ai dati riepilogati sopra è possibile valutare il carico per unità di lunghezza sulle travi riconoscendo che tale carico corrisponde alle reazioni vincolari valutabili sullo schema di solaio riportato nella figura ed analizzato nel primo elaborato progettuale.

Avendo già analizzato tale schema è possibile trarne i valori delle reazioni vincolari a partire dalla soluzione "esatta" della trave continua.

Tuttavia, dovendo distinguere i carichi sulle travi tra azioni permanenti e variabili e potendo accettare qualche approssimazione nei valori numerici a vantaggio di una maggiore facilità e chiarezza nel calcolo, si procede alla valutazione dei carichi sulle travi ragionando per aree di influenza come evidenziato nella figura seguente. **Si ipotizza, cioè, che su ogni appoggio scarichino per metà le due campate adiacenti.**

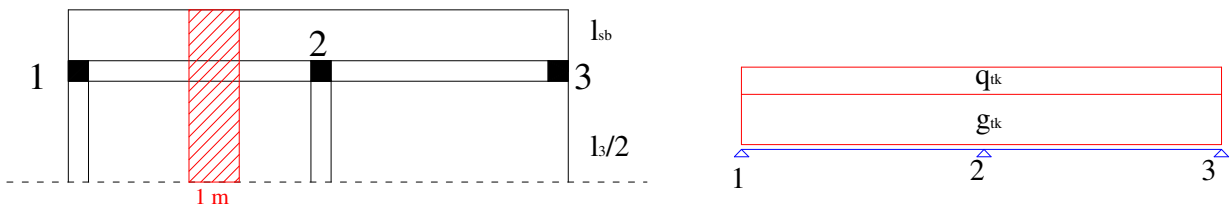
Procedendo in questo modo, non si terrebbe conto della continuità che contraddistingue il solaio in corrispondenza degli appoggi; questo fatto comporterebbe una sottostima del carico che compete alle travi centrali.

Per tener conto della continuità dello schema del solaio si può ricorrere all'utilizzo dei cosiddetti **coefficienti di continuità** per aumentare il carico che compete alle travi intermedie. Per lo schema di trave continua su 4 appoggi tale coefficiente si può porre con buona approssimazione **uguale a 1.10** (tale valore sarebbe proprio quello esatto se le luci fossero uguali e non ci fosse lo sbalzo). Sulla base di queste considerazioni è possibile valutare come segue i carichi che agiscono sulle travi.



Impalcato tipo (1° e 2° impalcato)

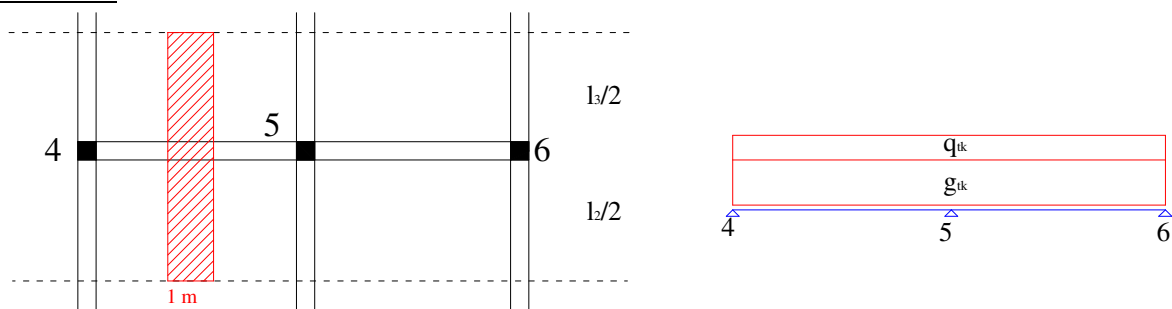
Trave 1-2-3



$$g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \frac{l_3}{2} + (g_{1, sb} + g_{2, sb}) \cdot l_{sb} \right] \cdot C_c = \left[5,52 \cdot \frac{5,15}{2} + 4,06 \cdot 1,20 \right] \cdot 1,00 = 19,09 \text{ kN / m}$$

$$q_{tk} = \left[q_k \cdot \frac{l_3}{2} + q_{k, sb} \cdot l_{sb} \right] \cdot C_c = \left[3,00 \cdot \frac{5,15}{2} + 4,00 \cdot 1,20 \right] \cdot 1,00 = 12,53 \text{ kN / m}$$

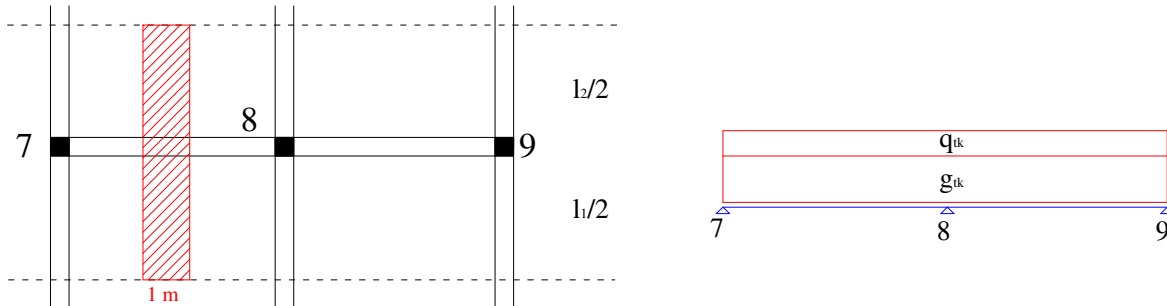
Trave 4-5-6



$$- g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_3}{2} + \frac{l_2}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{5,15}{2} + \frac{5,65}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 32,79 \text{ kN / m}$$

$$- q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_3}{2} + \frac{l_2}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(3,00) \cdot \left(\frac{5,15}{2} + \frac{5,65}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 17,82 \text{ kN / m}$$

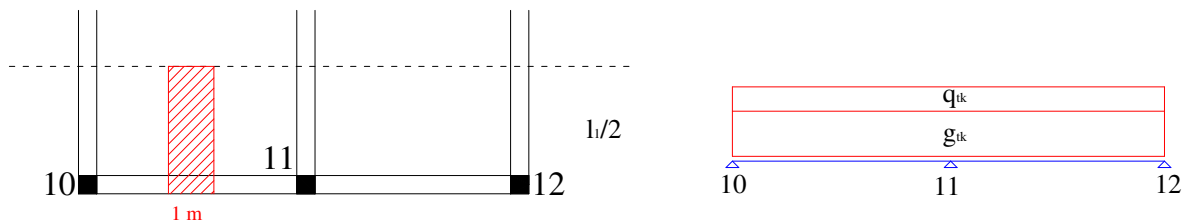
Trave 7-8-9



$$- g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_2}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{5,65}{2} + \frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 30,21 \text{ kN / m}$$

$$- q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_2}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(3,00) \cdot \left(\frac{5,65}{2} + \frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 16,42 \text{ kN / m}$$

Trave 10-11-12



$$- g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,00 = 11,87 \text{ kN / m}$$

$$- q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(3,00) \cdot \left(\frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,00 = 6,45 \text{ kN / m}$$

Impalcato tipo (3° impalcato)

Trave 1-2-3

$$- g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \frac{l_3}{2} + (g_{1, sb} + g_{2, sb}) \cdot l_{sb} \right] \cdot C_c = \left[5,52 \cdot \frac{5,15}{2} + 4,06 \cdot 1,20 \right] \cdot 1,00 = 19,09 \text{ kN / m}$$

$$- q_{tk} = \left[q_k \cdot \frac{l_3}{2} + q_{k, sb} \cdot l_{sb} \right] \cdot C_c = \left[0,60 \cdot \frac{5,15}{2} + 0,60 \cdot 1,20 \right] \cdot 1,00 = 2,26 \text{ kN / m}$$

Trave 4-5-6

$$g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_3}{2} + \frac{l_2}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{5,15}{2} + \frac{5,65}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 32,79 \text{ kN / m}$$

$$q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_3}{2} + \frac{l_2}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(0,60) \cdot \left(\frac{5,15}{2} + \frac{5,65}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 3,56 \text{ kN / m}$$

Trave 7-8-9

$$g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_2}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{5,65}{2} + \frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 30,21 \text{ kN / m}$$

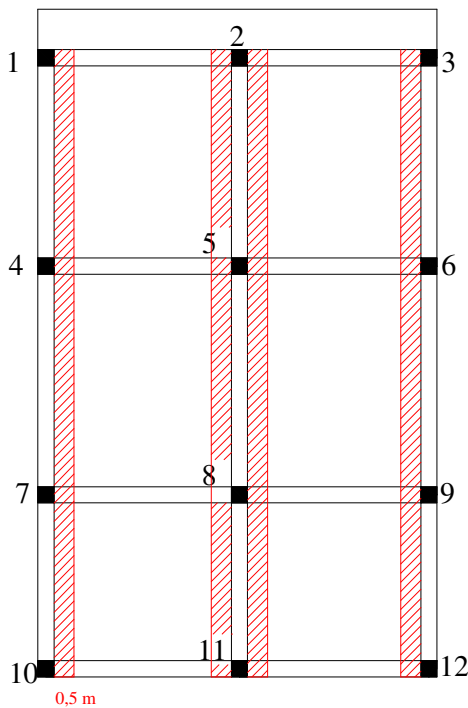
$$q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_2}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(0,60) \cdot \left(\frac{5,65}{2} + \frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,10 = 3,29 \text{ kN / m}$$

Trave 10-11-12

$$g_{tk} = \left[(g_1 + g_2) \cdot \left(\frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(5,52) \cdot \left(\frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,00 = 11,87 \text{ kN / m}$$

$$q_{tk} = \left[q_k \cdot \left(\frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot C_c = \left[(0,60) \cdot \left(\frac{4,30}{2} \right) \right] \cdot 1,00 = 1,29 \text{ kN / m}$$

La valutazione dei carichi che competono alle travi longitudinali può essere condotta come segue:



Travi 1-4-7-10 e 3-6-9-12

	<u>permanente</u>	<u>variabile</u>
Fascia di solaio larga 0,50 m	2,76	1,50
Tompagnatura esterna	9,60	0,00
Peso proprio (hp. 40x60)	6,00	0,00
	<hr/>	<hr/>
	$G_k = 18,36$ kN/m	$Q_k = 1,50$ kN/m

Trave 2-5-8-11

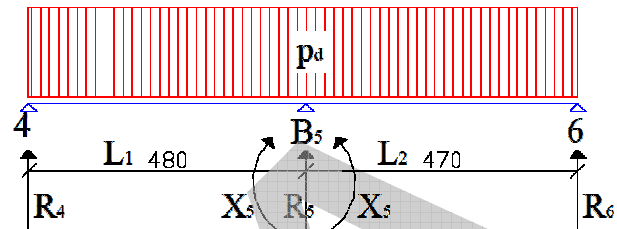
	<u>permanente</u>	<u>variabile</u>
Fascia di solaio larga 1,00 m	5,52	3,00
Peso proprio	6,00	0,00
	<hr/>	<hr/>
	$G_k = 11,52$ kN/m	$Q_k = 3,00$ kN/m

PREDIMENSIONAMENTO DELLE TRAVI

Avendo valutato i carichi che competono alle travi è ora possibile procedere al loro predimensionamento considerando le travi ai livelli più caricate (1° e 2° impalcato). Il calcolo sarà condotto come esempio soltanto per la trave 4-5-6 e 2-5-8-11.

Trave 4-5-6

Per la trave in oggetto (rappresentata nella figura) si deve valutare il momento massimo - in valore assoluto - risolvendo lo schema:



$$p_d = \gamma_G g_{tk} + \gamma_q q_{tk} = 1,3 \cdot 32,79 + 1,5 \cdot 17,82 = 69,39 \text{ kN / m}$$

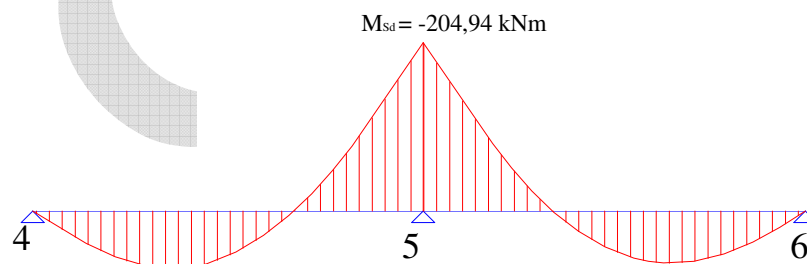
Risolvendo lo schema statico si ottiene:

$$X_5 = \frac{p_d}{8} \cdot \frac{(L_1^3 + L_2^3)}{(L_1 + L_2)} = 204,94 \text{ kNm}$$

$$R_4 = \frac{p_d L_1}{2} - \frac{X_5}{L_1} = 131,64 \text{ kN}$$

$$R_5 = \frac{p_d L_1}{2} - \frac{X_5}{L_1} + \frac{p_d L_2}{2} - \frac{X_5}{L_2} = 431,64 \text{ kN}$$

$$R_6 = \frac{p_d L_2}{2} - \frac{X_5}{L_2} = 127,10 \text{ kN}$$



Assumendo una base $b = 40 \text{ cm}$ si può progettare l'altezza della sezione in maniera tabellare; imponendo un valore di $\xi = 0,25$ per l'asse neutro adimensionalizzato ed adottando l'ipotesi (preliminare) di doppia armatura con rapporto tra armatura in compressione e trazione $\rho = 0,25$ la tabella di progetto (pag. 432 testo prof. Faella, vol. 1B) fornisce il seguente valore di r_u :

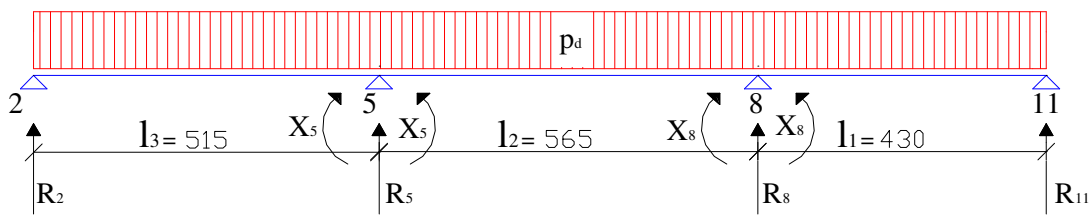
$$r_u = 0,2054$$

Si ottiene quindi:

$$h = r_u \cdot \sqrt{\frac{M_{Sd}}{b}} = 46,49 \text{ cm} \text{ (si ricorda che la formula va applicata esprimendo } M_{Sd} \text{ in kg)}$$

Approssimando per eccesso si adotterà un valore di $h = 50 \text{ cm}$.

Trave 2-5-8-11



Per la trave in oggetto si adotta lo schema in figura e si deve valutare il momento massimo:

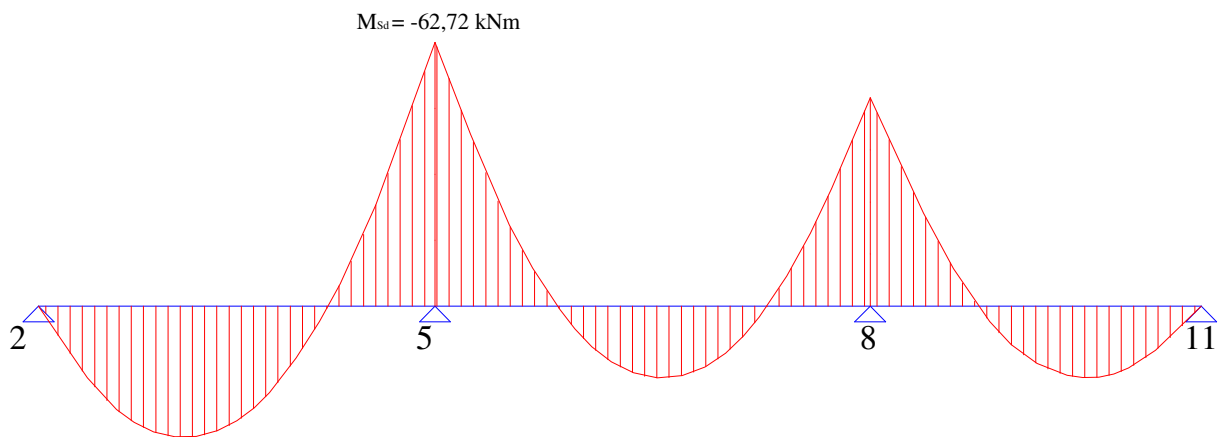
$$p_d = \gamma_G g_{tk} + \gamma_q q_{tk} = 1,3 \cdot 11,52 + 1,5 \cdot 3,00 = 20,63 \text{ kN / m}$$

risolvendo la trave si ottiene:

$$\begin{cases} -\frac{p_d l_3^3}{24EI} + \frac{X_5 l_3}{3EI} = \frac{p_d l_2^3}{24EI} - \frac{X_5 l_2}{3EI} - \frac{X_8 l_2}{6EI} \\ \frac{X_5 l_2}{6EI} + \frac{X_8 l_2}{3EI} - \frac{p_d l_2^3}{24EI} = -\frac{X_8 l_1}{3EI} + \frac{p_d l_1^3}{24EI} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} l_3 + l_2 & \frac{l_2}{2} \\ \frac{l_2}{2} & l_2 + l_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_5 \\ X_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{p_d l_2^3}{8} + \frac{p_d l_3^3}{8} \\ \frac{p_d l_1^3}{8} + \frac{p_d l_2^3}{8} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} X_{4-6} = 62,72 \text{ kNm} \\ X_{7-9} = 49,54 \text{ kNm} \end{cases}$$



Trattandosi di una trave interna che non portando il solaio risulta poco sollecitata si può ricorrere ad una trave a spessore di solaio assumendo quindi una altezza $h = 24 \text{ cm}$; si può progettare la base della sezione in maniera tabellare: imponendo un valore di $\xi = 0,25$ per l'asse neutro adimensionalizzato ed adottando l'ipotesi (preliminare) di semplice armatura $\rho = 0,00$ la tabella di progetto (pag. 433 testo prof. Faella, vol. 1B) fornisce il seguente valore di r_u :

$$r_u = 0,2373$$

Si ottiene quindi:

$$b = r_u^2 \cdot \frac{M_{Sd}}{h^2} = 58,30 \text{ cm} \text{ (si ricorda che la formula va applicata esprimendo } M_{Sd} \text{ in kg)}$$

Approssimando per eccesso si adotterà un valore di $b = 60$ cm.

Nel presente documento è stato proposto soltanto il dimensionamento delle due travi menzionate sopra.

Nello svolgimento dell'elaborato progettuale il predimensionamento deve essere effettuato per tutte le travi dell'impalcato.

BONMA