

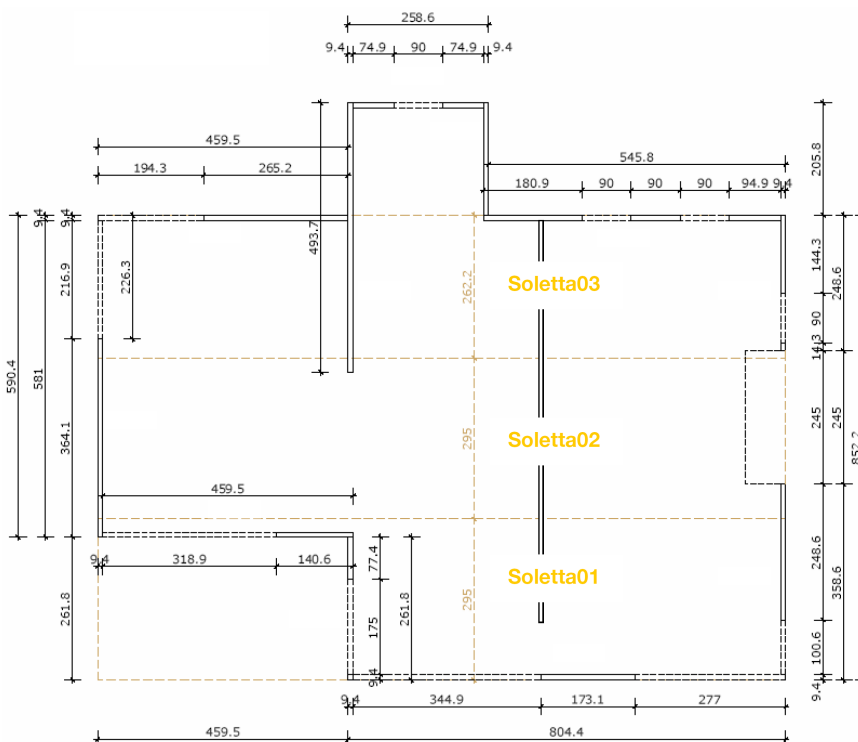
## 1 La struttura

La struttura oggetto di questo esempio di calcolo è un edificio per civile abitazione realizzato su due superfici fuori terra e piano interrato. Le pareti e le solette, portanti, del piano terra e del primo piano sono costituite da pannelli di legno massiccio a strati incrociati (XLAM) mentre il piano interrato è realizzato utilizzando elementi prefabbricati in calcestruzzo.

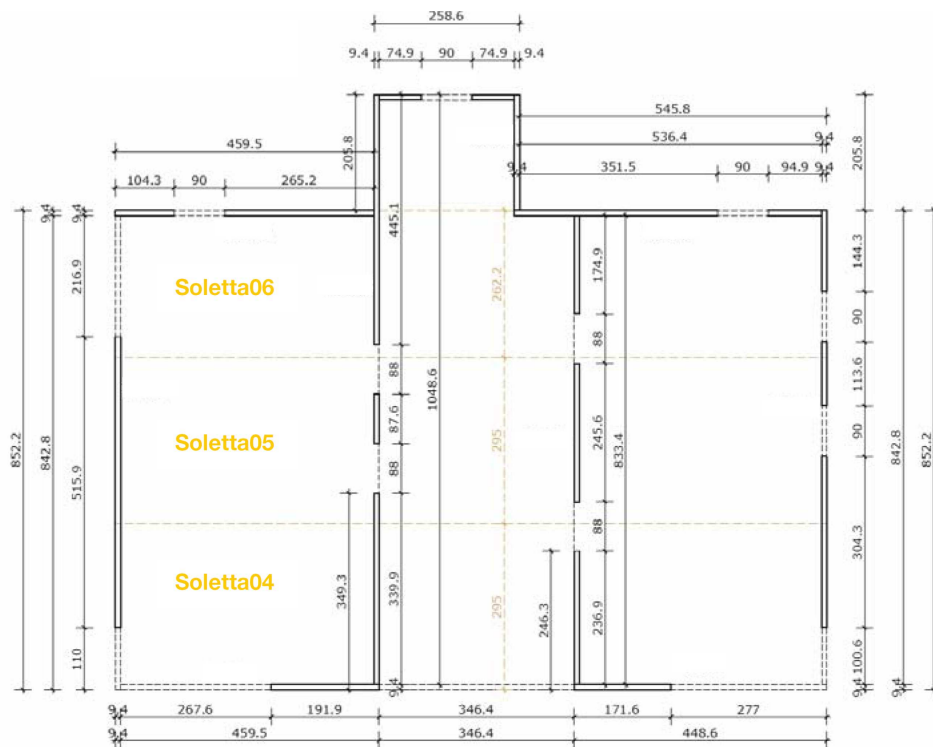


Il calcolo è svolto per i soli elementi di soletta del piano terra, rappresentati di seguito in pianta. Essi sono costituiti da pannelli XLAM a 5 strati (34/22/34/22/34 mm) e spessore complessivo di 146 mm. Essendo le solette prevalentemente sollecitate a flessione, i pannelli sono messi in opera con gli strati esterni e lo strato centrale disposti in direzione dell'orditura e con i restanti due strati disposti ortogonalmente ad essi.

Pianta Piano Terra

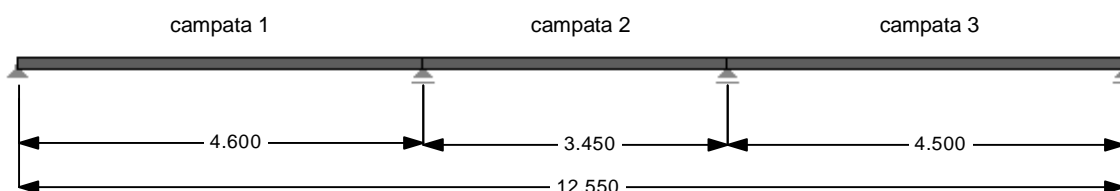


Pianta Primo Piano



Modello di calcolo

Il modello statico adottato presuppone che il pannello si comporti come una trave continua a tre campate di larghezza unitaria pari ad 1 metro, composta da 5 strati con connessione rigida. Lo schema statico considerato è qui di seguito rappresentato (le lunghezze sono espresse in m).



## 2 Analisi dei carichi

L'analisi dei carichi è svolta secondo le indicazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Le azioni agenti sugli elementi di soletta sono i carichi permanenti (strutturali e non) e quelli di esercizio relativi ad ambienti per uso residenziale.

### Carichi permanenti

Soletta piano terra:

- pavimento	= 0,05 kN/m <sup>2</sup>
- massetto	= 1,04 kN/m <sup>2</sup>
- isolante	= 0,06 kN/m <sup>2</sup>
- pannello XLAM	= 0,80 kN/m <sup>2</sup>
- pannello di cartongesso	= 0,15 kN/m <sup>2</sup>
	<hr/>
	<b>g = 2,10 kN/m<sup>2</sup></b>

I carichi permanenti appartengono alla classe di durata *permanente*.

### Carichi d'esercizio

I carichi di esercizio da considerare per un edificio ad uso residenziale sono pari a:

$$p = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

Essi sono disposti sulle varie campate in modo da produrre le sollecitazioni massime sulla struttura. I carichi d'esercizio appartengono alla classe di durata *media*.

### 3 Proprietà meccaniche del pannello

Per poter definire le resistenze di calcolo e le rigidità del pannello, si assume che esso sia composto da tavole/lamelle appartenenti alla categoria di classificazione C24.

#### Resistenze di calcolo

La determinazione dei valori di calcolo delle resistenze si basa sul modello sviluppato dall'Università Tecnica di Graz in combinazione, laddove non diversamente indicato, con i valori caratteristici definiti nel documento DT 206:2007 per il legno lamellare incollato della classe di resistenza (nel caso in esame GL24h) che si otterrebbe utilizzando lo stesso materiale di base (tavole/lamelle) del pannello considerato. Il coefficiente parziale di sicurezza per le proprietà dei materiali, nei confronti del legno lamellare, è stato ridotto rispetto alle normative italiana ed internazionali per via di un ancor maggiore processo di "omogeneizzazione" nelle varie fasi della produzione. Per elementi XLAM appartenenti alla classe di servizio 1 (elementi all'interno degli edifici in ambienti condizionati), come le solette dell'edificio in questione, e soggetti a carichi variabili appartenenti alla classe di *media* durata valgono quindi i seguenti coefficienti:

- $\gamma_M = 1,25$ ;
- $k_{mod} = 0,8$ .

Resistenza di calcolo a flessione:

$$f_{m, XLAM, d} = k_I \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{m, g, k}}{\gamma_M} = 1,1 \cdot \frac{0,80 \cdot 24,0}{1,25} = 16,9 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a compressione perpendicolare alla fibratura:

$$f_{c, 90, XLAM, d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c, 90, g, k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 2,7}{1,25} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a taglio:

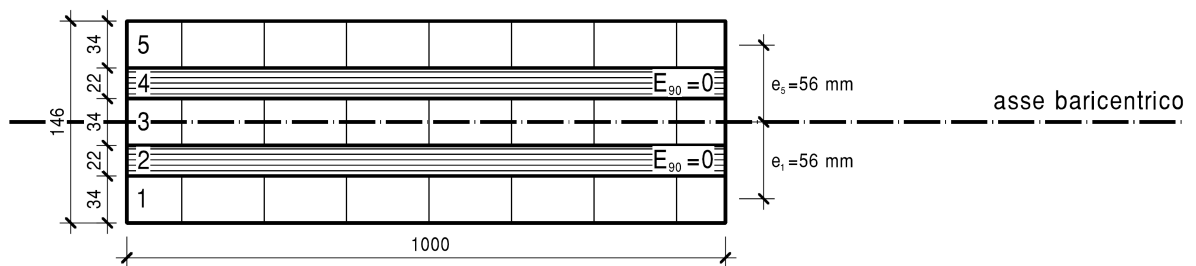
$$f_{v, XLAM, d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v, XLAM, k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 3,0}{1,25} = 1,92 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a taglio trasversale ("rolling shear"):

$$f_{r, XLAM, d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{r, XLAM, k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 1,25}{1,25} = 0,80 \text{ N/mm}^2$$

Rigidezze

Il calcolo delle rigidezze flessionale e a taglio, necessario, in generale, per la determinazione non solo delle deformazioni ma anche delle caratteristiche della sollecitazione (sistemi iperstatici), si basa sul modello di trave composta con connessione rigida, deformabile a taglio (trave di Timoshenko). Il fattore di taglio  $\kappa$  è calcolato (non in questa sede) per la sezione considerata. I moduli elastico  $E$  e di taglio  $G$  sono considerati nel loro valor medio conformemente a quanto definito nel documento tecnico DT 206:2007 per il legno lamellare incollato appartenente alla classe di resistenza GL24h. Il modulo elastico perpendicolare alle fibre  $E_{90, \text{mean}}$  è da considerarsi nullo.



Rigidezza flessionale del pannello:

$$K_{XLAM} = \sum_i (I_i \cdot E_i) + \sum_i (A_i \cdot e_i^2 \cdot E_i) = 3 \cdot 1000 \cdot \frac{34^3}{12} \cdot 11600 + 2 \cdot 1000 \cdot 34 \cdot 56^2 \cdot 11600 = 2,588 \cdot 10^{12} \text{ N/mm}^2$$

Rigidezza a taglio del pannello:

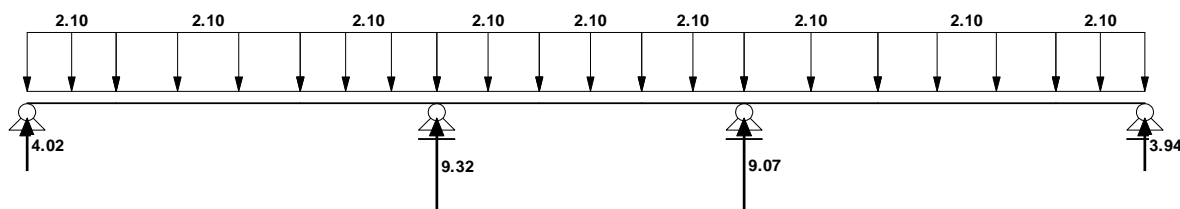
$$S_{XLAM} = \left( \sum_i (G_i \cdot A_i) \right) \cdot \kappa = (3 \cdot 34 \cdot 1000 \cdot 720 + 2 \cdot 22 \cdot 1000 \cdot 72) \cdot 0,256 = 1,961 \cdot 10^7 \text{ N}$$

## 4 Caratteristiche della sollecitazione

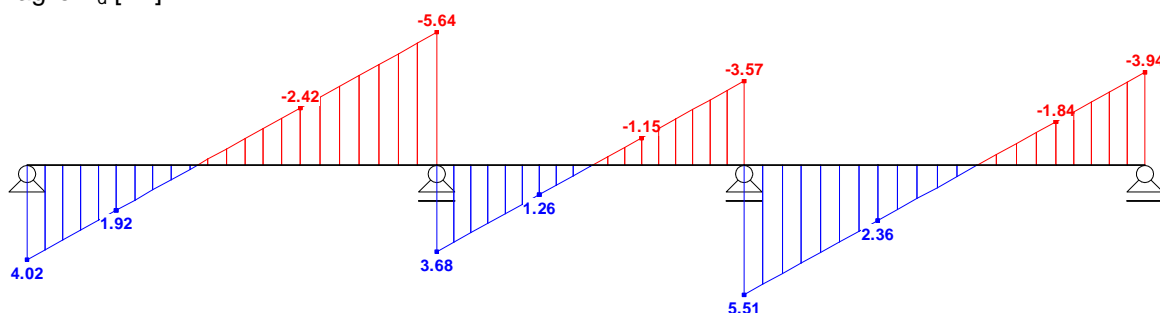
Le caratteristiche della sollecitazione necessarie al calcolo sono ricavate singolarmente per ogni condizione di carico. I carichi di esercizio sono rappresentati agenti separatamente su ogni campata per permettere di individuare la disposizione più svantaggiosa ai fini del calcolo.

### Carichi permanenti: $g$

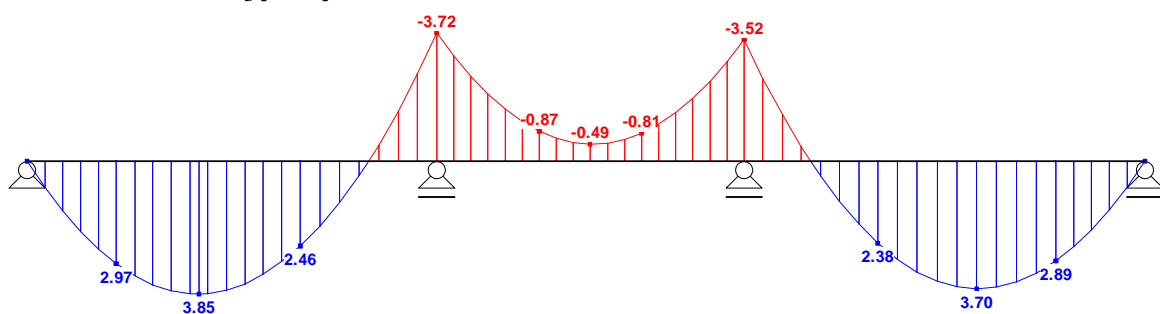
Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



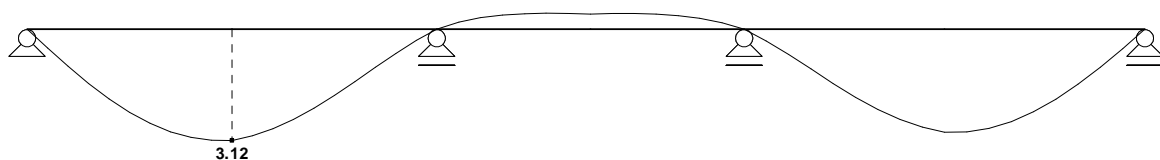
Taglio  $V_d$  [kN]



Momento flettente  $M_d$  [kNm]



Deformazioni  $u$  [mm]

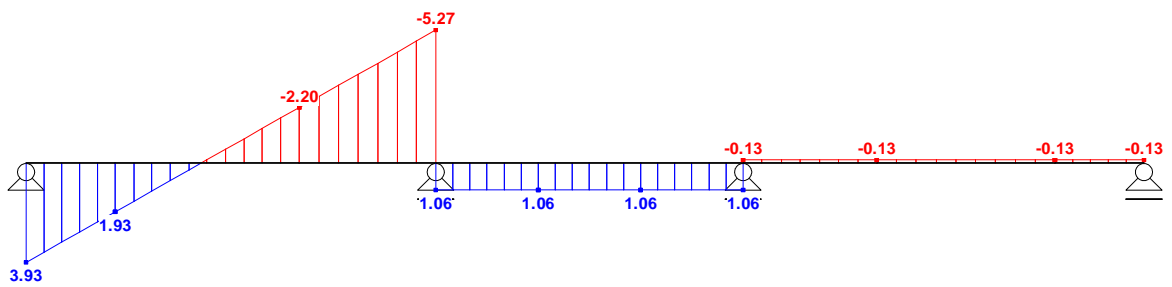


Carichi d'esercizio agenti sulla campata 1:  $p_1$

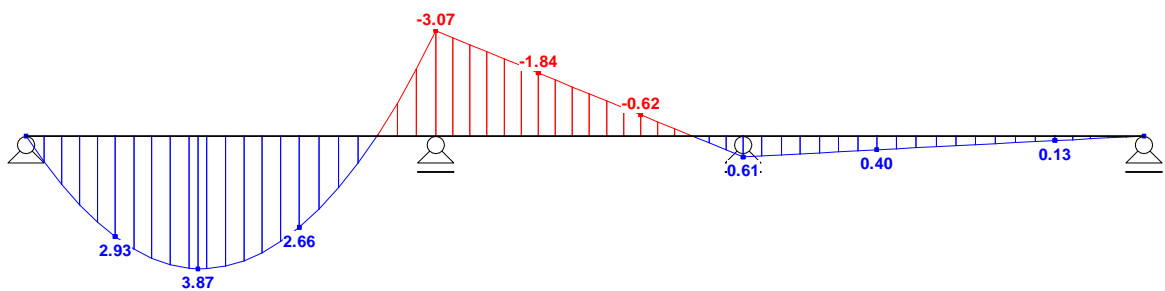
Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



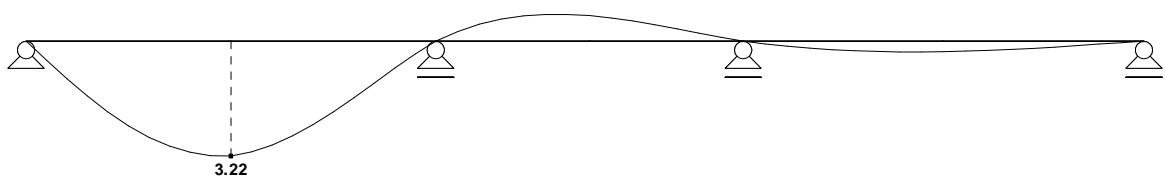
Taglio  $V_d$  [kN]



Momento flettente  $M_d$  [kNm]

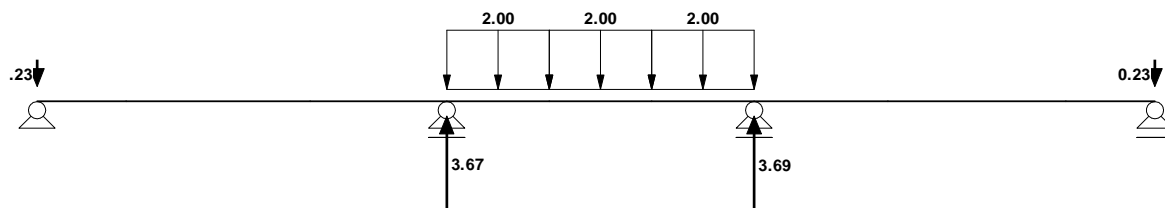


Deformazioni  $u$  [mm]

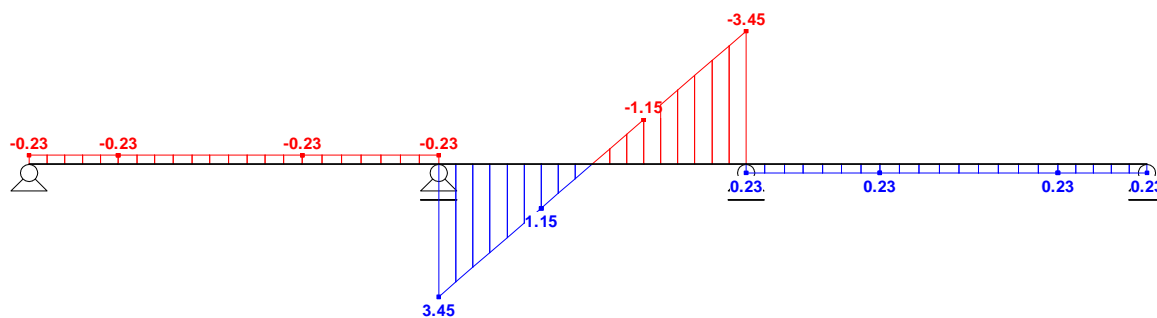


Carichi d'esercizio agenti sulla campata 2:  $p_2$

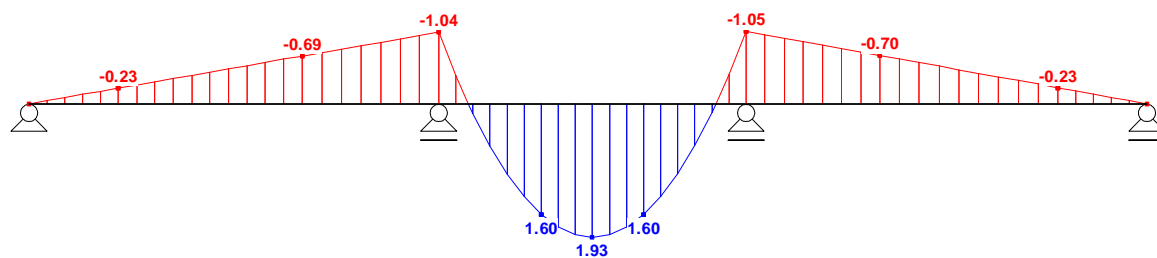
Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



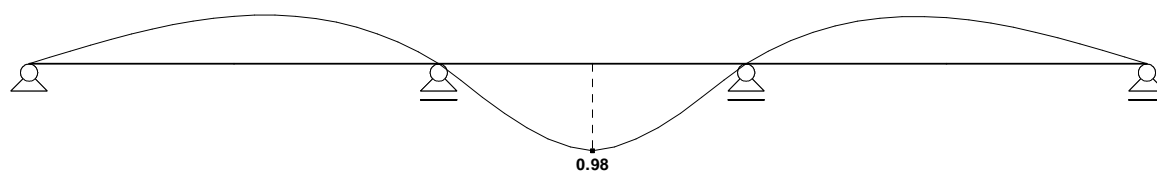
Taglio  $V_d$  [kN]



Momento flettente  $M_d$  [kNm]

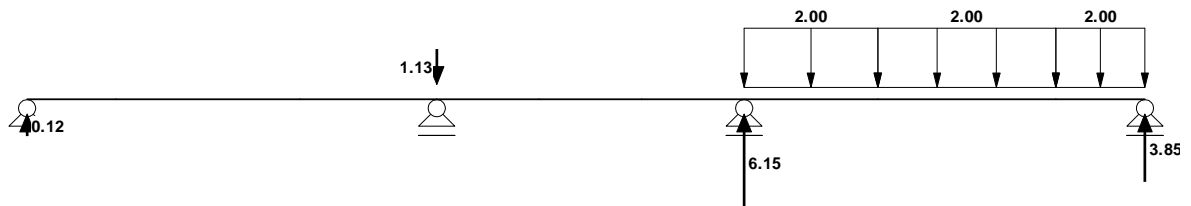


Deformazioni  $u$  [mm]

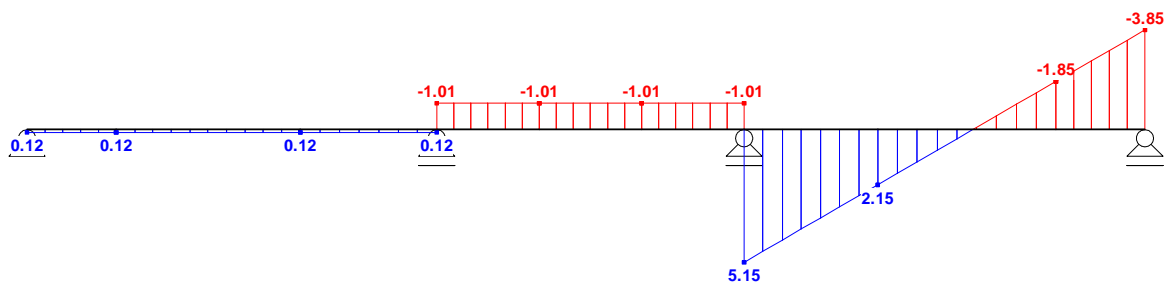


Carichi d'esercizio agenti sulla campata 3:  $p_3$

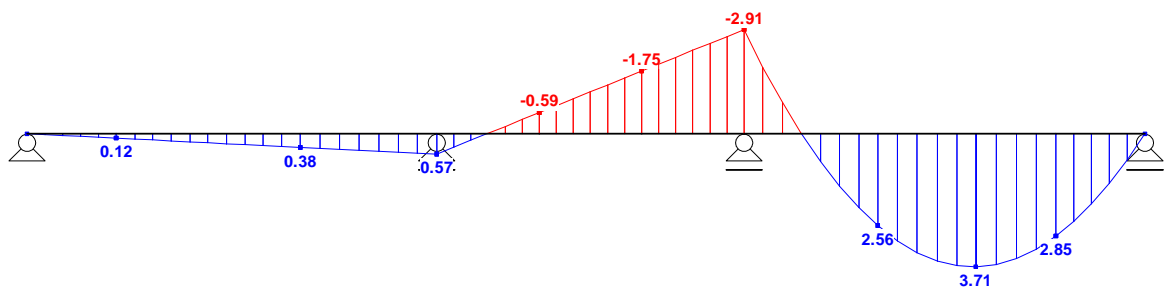
Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



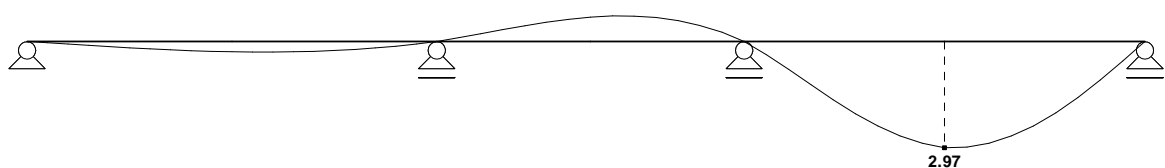
Taglio  $V_d$  [kN]



Momento flettente  $M_d$  [kNm]

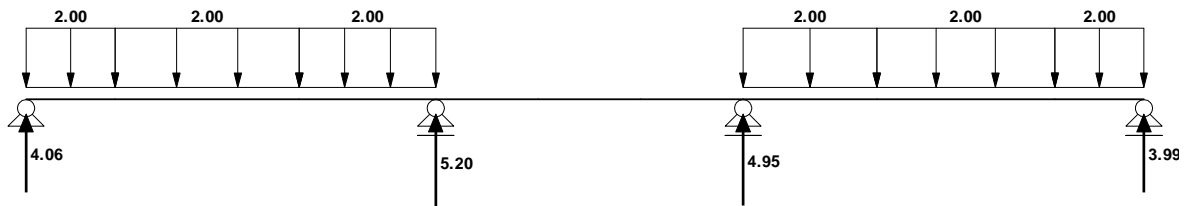


Deformazioni  $u$  [mm]

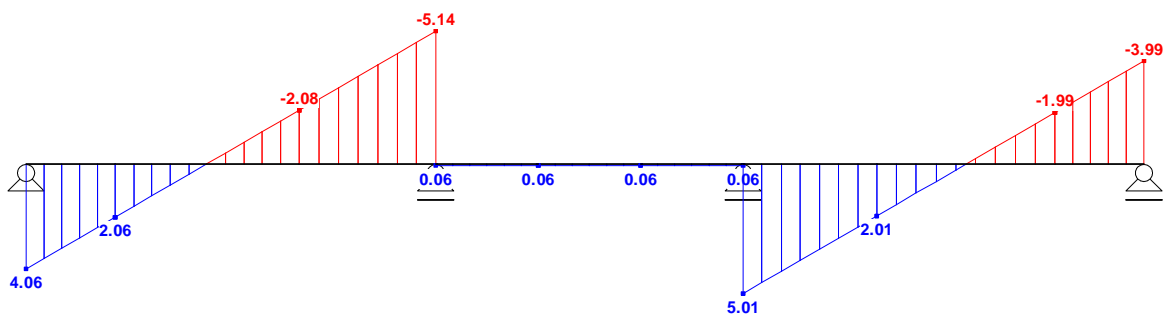


Carichi d'esercizio agenti sulle campate 1 e 3:  $p_1 + p_3$

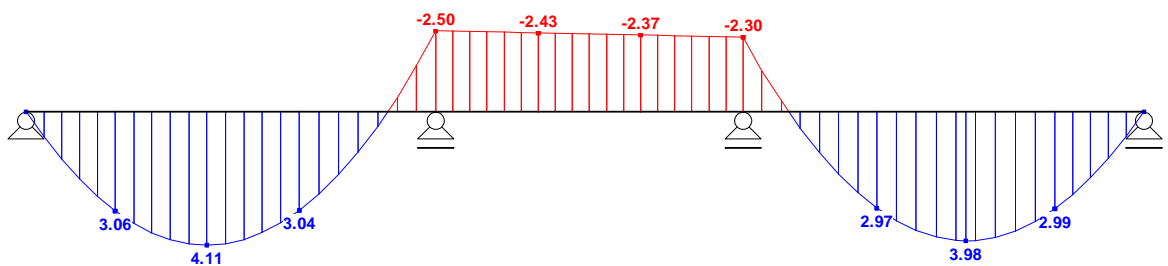
Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



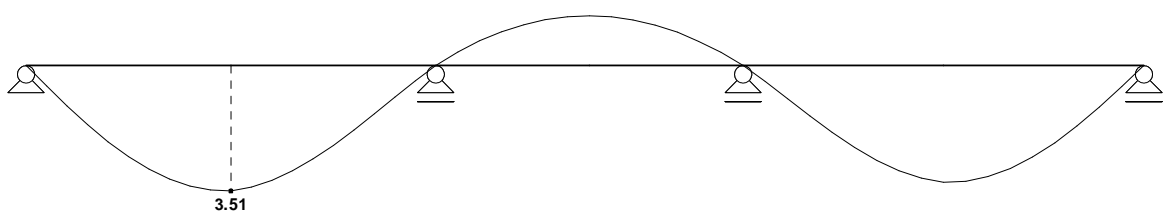
Taglio  $V_d$  [kN]



Momento flettente  $M_d$  [kNm]



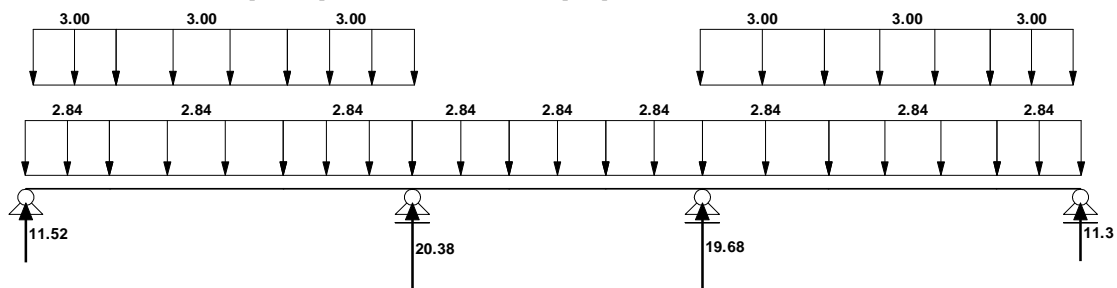
Deformazioni  $u$  [mm]



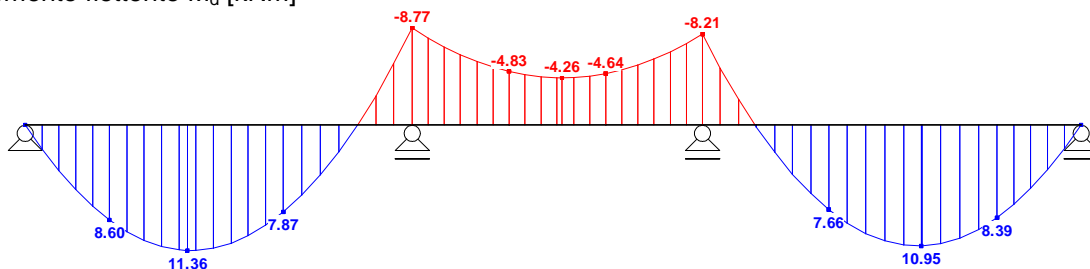
La combinazione di carico che massimizza il momento flettente è data da:

$$q_d = 1,35 \cdot g + 1,50 \cdot (p_1 + p_3)$$

Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



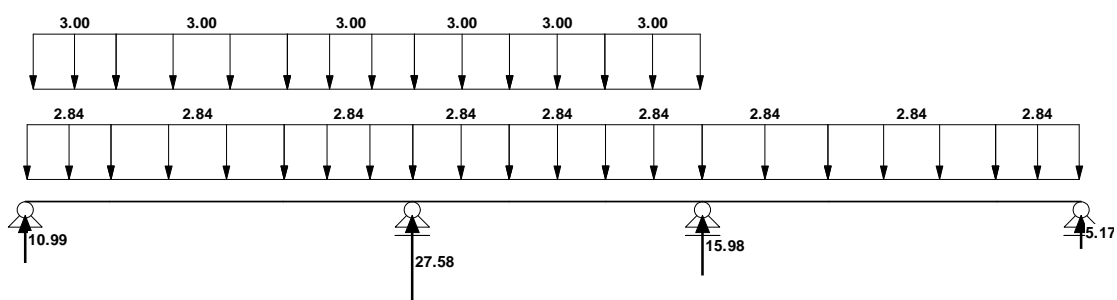
Momento flettente  $M_d$  [kNm]



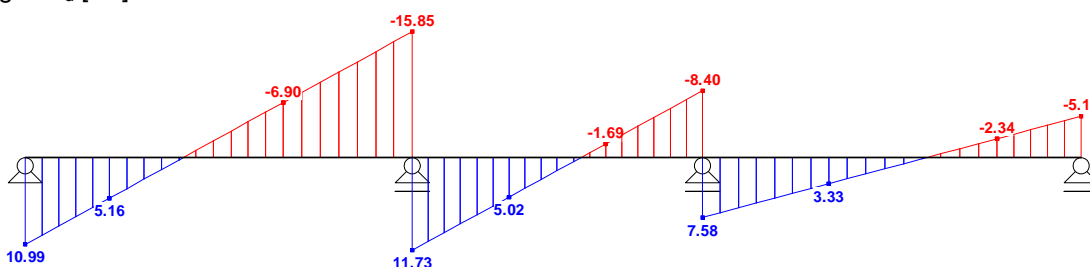
La combinazione di carico che massimizza il taglio e la reazione di appoggio è data da:

$$q_d = 1,35 \cdot g + 1,50 \cdot (p_1 + p_2)$$

Schema statico, carichi [kN/m] e reazioni vincolari [kN]



Taglio  $V_d$  [kN]



## 5 Verifiche agli stati limite ultimi

Momento massimo di calcolo:	$M_d = 11,36 \text{ kNm}$
Taglio massimo di calcolo:	$V_d = 15,85 \text{ kN}$
Reazione massima d'appoggio di calcolo:	$R_d = 27,58 \text{ kN}$

### Tensioni di calcolo

Tensione normale massima al bordo esterno:

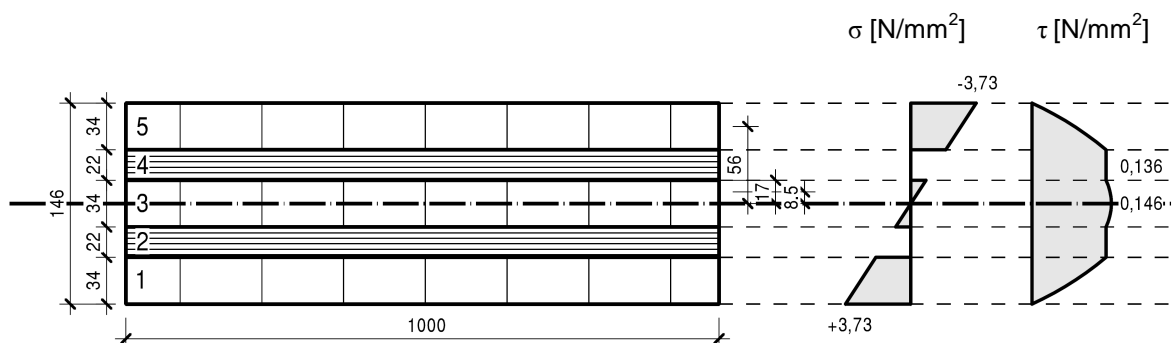
$$\sigma_{d, \max} = \frac{M_d}{K_{XLAM}} \cdot \left( e_{1/5} + \frac{t_{1/5}}{2} \right) \cdot E_{1/5} = \frac{11,36 \cdot 10^6}{2,588 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{146}{2} \cdot 11600 = \pm 3,73 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale massima in corrispondenza dell'asse baricentrico:

$$\tau_{d, \max} = \frac{V_d \cdot \sum (S_m \cdot E_m)}{K_{XLAM} \cdot b} = \frac{15,85 \cdot 10^3}{2,588 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot (34 \cdot 1000 \cdot 56 \cdot 11600 + 17 \cdot 1000 \cdot 8,5 \cdot 11600) = 0,146 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale in corrispondenza degli strati trasversali 2 e 4:

$$\tau_{r, d, \max} = \frac{V_d \cdot \sum (S_m \cdot E_m)}{K_{XLAM} \cdot b} = \frac{15,85 \cdot 10^3}{2,588 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot (34 \cdot 1000 \cdot 56 \cdot 11600) = 0,136 \text{ N/mm}^2$$



Tensione normale massima di compressione perpendicolare alla fibratura:

$$\sigma_{90, d, \max} = \frac{R_d}{A_{90}} = \frac{27,58 \cdot 10^3}{94000} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

ove  $A_{90} = \sum_i t_i \cdot b = (30 + 34 + 30) \cdot 1000 = 94000 \text{ mm}^2$  rappresenta la sezione dell'elemento di parete XLAM sottostante.

Verifiche

$$\frac{\sigma_{d,max}}{f_{m,XLAM,d}} = \frac{3,73}{16,9} = 0,22 < 1,0$$

$$\frac{\tau_{d,max}}{f_{v,XLAM,d}} = \frac{0,146}{1,92} = 0,08 < 1,0$$

$$\frac{\tau_{r,d,max}}{f_{r,XLAM,d}} = \frac{0,136}{0,80} = 0,17 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{90,d,max}}{k_{90} \cdot f_{c,90,XLAM,d}} = \frac{0,29}{1,75 \cdot 1,73} = 0,10 < 1,0$$

## 6 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nel calcolo delle deformazioni, oltre al contributo del momento flettente, si considera anche il contributo del taglio. Il coefficiente  $k_{def}$  è da considerarsi pari a 0,80.

Deformazione istantanea in campata 1 dovuta ai soli carichi permanenti:

$$u_g = u_{1,in} = 3,12 \text{ mm} (2,82 \text{ mm} + 0,30 \text{ mm})$$

Deformazione istantanea in campata 1 dovuta ai carichi d'esercizio agenti sulle campate 1 e 3:

$$u_p = u_{21,in} = 3,51 \text{ mm} (3,22 \text{ mm} + 0,29 \text{ mm})$$

In base alle indicazioni del documento DT 206:2007 e delle Norme Tecniche per le Costruzioni, la deformazione finale risulta:

$$u_{fin} = u_{1,in} \cdot (1 + k_{def}) + u_{21,in} \cdot (1 + \psi_{21} \cdot k_{def}) = 3,12 \cdot (1 + 0,8) + 3,51 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 9,97 \text{ mm}$$

### Verifiche

$$u_{21,in} = 3,51 \text{ mm} < l/300 = 4600/300 = 15,3 \text{ mm}$$

$$u_{21,fin} = u_{21,in} \cdot (1 + \psi_{21} \cdot k_{def}) = 3,51 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 4,36 \text{ mm} < l/200 = 4600/200 = 23,0 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = 9,97 \text{ mm} < l/250 = 4600/250 = 18,4 \text{ mm}$$