



Si vuole analizzare la deformabilità della trave a sbalzo più sollecitata nel solaio di carpenteria preso in considerazione. La trave più sollecitata è quella dell'interasse B, che presenta le seguenti caratteristiche:

Luce: 3 m
 Interasse: 5 m
 Area d'influenza: 15 mq

LEGNO

Caratteristiche del solaio in legno:

- qs = 0,51 KN/mq (escluso il peso proprio della trave)
- qp = 3,215 KN/mq
- qa = 2 KN/mq (edificio per uffici non aperto al pubblico)

Inserendo questi valori in un foglio Excel, si ricava il carico ultimo $qu = (1,3 \cdot qs + 1,5 \cdot qp + 1,5 \cdot qa) \cdot i$

Conoscendo il valore del carico e della luce, si ricava il $M_{max} = qu \cdot l^2 / 2$ della mensola.

interasse (m)	qs (kN/mq)	qp (kN/mq)	qa (kN/mq)	qu (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)
5	0,51	3,215	2,00	42,4275	3	190,92375

Si sceglie di utilizzare un legno lamellare GL24C, con una resistenza caratteristica $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$, con una classe di durata lunga e una classe di servizio 2, quindi il $k_{mod} = 0,70$.

Si calcola poi la resistenza di progetto, definita dal prodotto della resistenza caratteristica del legno $f_{m,k}$ per il coefficiente di degrado nel tempo k_{mod} diviso il coefficiente di sicurezza $\gamma_m = 1,45$:

$$f_d = (24 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,7) / 1,45 = 11,59 \text{ N/mm}^2$$

Si imposta una base di 30 cm e si ricava $h_u = (6 \cdot M / (b \cdot f_d))^{0,5} = 57,41 \text{ cm}$. Si ingegnerizza scegliendo un'altezza di 60 cm.

f _{m,k} (N/mm ²)	k _{mod}	γ _m	f _d c	b (cm)	h _{min} (cm)	H (cm)
24	0,7	1,45	11,59	30	57,41	60

Terminata la fase di progetto si passa alla **verifica di deformabilità** della mensola allo SLE, controllando l'abbassamento massimo, che si avrà nell'estremo libero della mensola.
 La verifica si effettua allo Stato Limite di Esercizio perché si deve controllare che non vi siano abbassamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza dell'edificio.

$$q_e = (q_s + q_p + 0,5 \cdot q_a) \cdot i$$

Nel legno il peso proprio della trave viene trascurato, considerando la leggerezza del materiale.

A questo punto si calcola:

$$I_x = b \cdot h^3 / 12$$

$$v_{max} = (q_e \cdot l^4) / (8 \cdot E \cdot I)$$

In questo caso la **sezione è verificata** in quanto $l/v_{max} > 250$.

b (cm)	h _{min} (cm)	H (cm)	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	q _e (kN/m)	v _{max} (cm)	l/v _{max}	
30	57,41	60	8000	540000	24	0,55	541,80	Si

Se usassi un legno di classe GL28C, con un $k_{mod} = 0,8$ e un $\gamma_m = 1,5$ e scegliessi una base di 30 cm, andrebbe sempre bene un'altezza di 60 cm, ma a questo punto la sezione non sarebbe verificata perché $l/v_{max} < 250$.

f _{mk} (N/mm ²)	k _{mod}	γ _m	f _d C	b (cm)	h _{min} (cm)	H (cm)	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	q _e (kN/m)	v _{max} (cm)	l/v _{max}	
24	0,7	1,45	11,59	30	57,41	60	8000	540000	24	0,55	541,80	Si
28	0,8	1,50	14,93	30	50,57	55	8000	415938	24	1,29	232,38	No

ACCIAIO

Caratteristiche solaio in acciaio:

$$q_s = 1,66 \text{ KN/mq (escluso il peso proprio della trave)}$$

$$q_p = 5,73 \text{ KN/mq}$$

$$q_a = 2 \text{ KN/mq}$$

Inserendo i valori nella tabella Excel si ottiene un $M_{max} = 309,44 \text{ KN} \cdot \text{m}$.

Si sceglie di utilizzare un acciaio s235 e si ottiene un $W_x = M/f_d = 1382,62 \text{ cm}^3$

interasse (m)	q _s (kN/mq)	q _p (kN/mq)	q _a (kN/mq)	q _e (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _d (N/mm ²)	W _{x,min} (cm ³)
5	1,66	5,73	2,00	68,765	3	309,4425	235	223,81	1382,62

Si sceglie un IPE450 con $W_x = 1500 \text{ cm}^3$ e $I_x = 33740 \text{ cm}^4$ e peso = $77,6 \text{ kg/m} = 0,776 \text{ KN/m}$.

M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _d (N/mm ²)	W _{x,min} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	peso (kN/m)
309,4425	235	223,81	1382,62	33740	0,776

Una volta terminata la fase progettuale si passa alla **verifica** allo SLE.

Nel carico di esercizio (q_e) si considera anche il peso della trave, in quanto il peso dell'acciaio è rilevante.

$$q_e = (q_s + q_p + 0,5 \cdot q_a) \cdot i + \text{peso trave}$$

Si calcola lo spostamento massimo: $v_{max} = (q_e \cdot l^4) / (8 \cdot E \cdot I)$
 In questo caso la **mensola è verificata** in quanto $l/v_{max} > 250$.

luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	W _{el,min} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	peso (kN/m)	q _e (kN/m)	E (N/mm ²)	v _{max} (cm)	l/v _{max}	
3	309,4425	235	223,81	1382,62	33740	0,776	42,726	210000	0,611	491,358	SI

CLS

Caratteristiche solaio in calcestruzzo:

q_s = 2,46 KN/mq (escluso il peso proprio della trave)
 q_p = 3,25 KN/mq
 q_a = 2 KN/mq

Si inseriscono i dati nel foglio Excel, si sceglie per l'armatura un f_{yk} = 450 N/mm² e un calcestruzzo ordinario C40/50, con f_{ck} = 40 N/mm² ;

b = 30 cm
 copriferro: 5 cm

In base al valore ottenuto di h_u, si sceglie l'altezza della sezione: H = 55 cm

M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{ctd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H (cm)
249,14	450	391,30	40	22,67	0,46	2,26	30	43,19	5	48,19	55
273,27	450,00	391,30	40,00	22,67	0,46	2,26	30,00	45,23	5,00	50,23	verificata

Aggiungendo al carico ultimo il peso della trave, la mensola risulta verificata a flessione.

M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{ctd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H (cm)
249,14	450	391,30	40	22,67	0,46	2,26	30	43,19	5	48,19	55
273,27	450,00	391,30	40,00	22,67	0,46	2,26	30,00	45,23	5,00	50,23	verificata
249,14	450	391,30	40	22,67	0,46	2,26	30	43,19	5	48,19	50
271,08	450,00	391,30	40,00	22,67	0,46	2,26	30,00	45,05	5,00	50,05	non verificato

Se avessimo scelto H=50 cm la sezione non sarebbe risultata verificata a flessione. Tuttavia, risulterebbe verificata a deformazione.

H (cm)	area (m ²)	peso (kN/m)	q _e	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	v _{max} (cm)	l/v _{max}	
55	0,17	4,13	37,68	21000	415938	0,44	686,94	SI
50	0,15	3,75	37,30	21000	312500	0,58	521,30	SI

Si può passare, una volta finita la fase progettuale, alla fase di verifica della deformabilità.

Anche in questo caso, come nell'acciaio, nel calcolo del carico d'esercizio, si somma anche il peso della trave.

Per verificare lo spostamento è necessario conoscere il modulo elastico E = 21000 N/mm² e il momento d'inerzia che dipende dalla sezione I_x = b*h³/12.

Come per gli altri materiali si calcola lo spostamento massimo: $v_{max} = (q_e \cdot l^4) / (8 \cdot E \cdot I)$
 In questo caso la **mensola è verificata** in quanto $l/v_{max} > 250$.

H (cm)	area (m ²)	peso (kN/m)	q _e	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	v _{max} (cm)	l/v _{max}	
55	0,17	4,13	37,68	21000	415938	0,44	686,94	SI