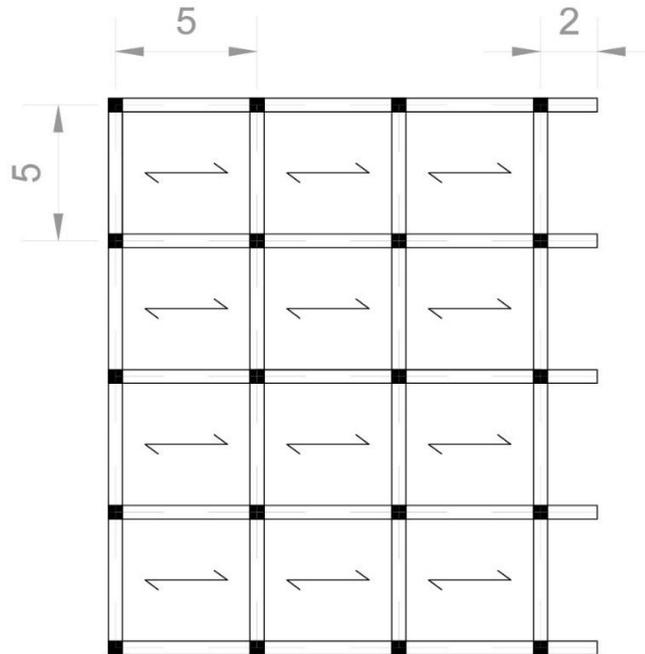
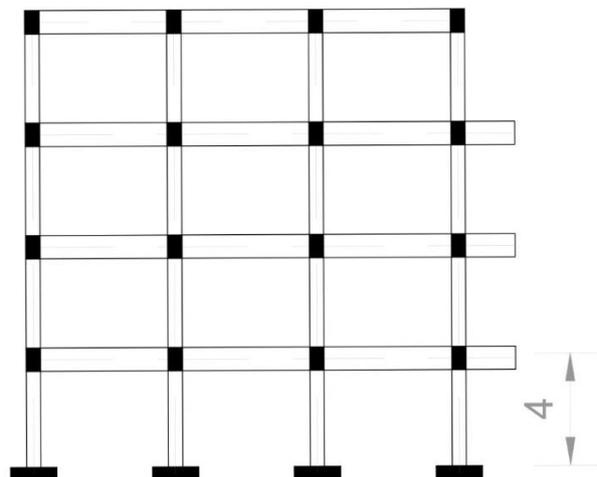


Calcestruzzo

L'esercitazione consiste nel dimensionare travi, pilastri e mensole di una struttura composta da telai piani in tre tecnologie: calcestruzzo, legno e acciaio. Comincio dal calcestruzzo.



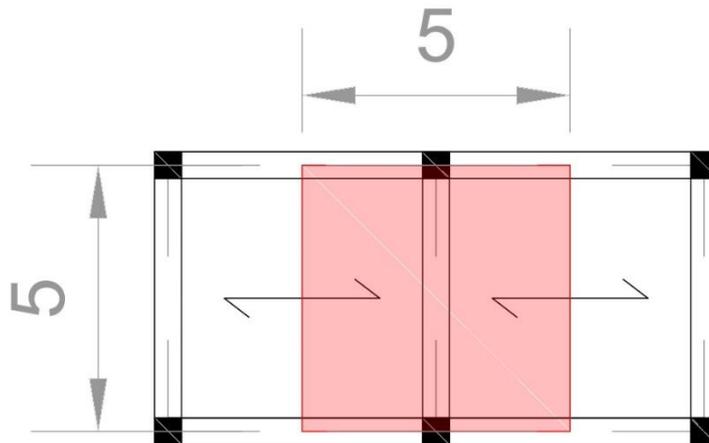
Pianta



Sezione

Trave

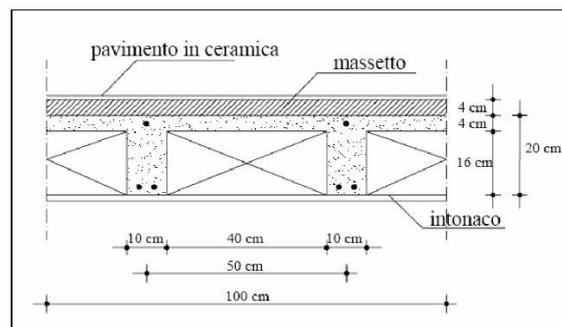
Comincio con il dimensionamento delle travi maggiormente sollecitata, ovvero quella centrale su cui poggia il solaio ed evidenzio l'area di influenza di questa trave.



Area influenza trave

Scrivo il valore dell'interasse di quest'area di influenza sulla tabella Excel. Come secondo passaggio inizio a calcolarmi i carichi agenti sul solaio sostenuto dalla trave.

Esistono tre tipi di carichi agenti: quello strutturale, quello permanente e quello accidentale. Inserisco i dati nella tabella Excel dei carichi espressi in Kn/m^2 .



- Carico strutturale q_s : lo ipotizzo. Lo calcolo moltiplicando il peso specifico dei materiali strutturali per l'area :

$$\text{Soletta} : (0,04 \text{ m} \times 1) \times 25 \text{ Kn/mc} = 1 \text{ Kn/mq}$$

$$\text{Travetti} : (0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}) \times 25 \text{ Kn/mc} \times 1/0,5\text{m} = 0,8 \text{ Kn/mq}$$

$$\text{Pignatte} : (0,16 \text{ m} \times 0,4) \times 2 \times 5,5 \text{ Kn/mc} = 0,76 \text{ Kn/mq}$$

$$q_s = 2,56 \text{ Kn/mq}$$

- Carico accidentale q_a : da normativa, ipotizzando sia un albergo di 2,00 Kn/mq
- Carico permanente q_p : lo ipotizzo io. Lo calcolo moltiplicando il peso specifico del materiale per lo spessore e aggiungendo a questo risultato dei valori medi di 1,00 Kn/mq per i tramezzi e 0,5 Kn/mq per gli impianti.

Pavimento : 0,02 m x 20 Kn/mc = 0,4 Kn/mq

Allettamento : 0,02 m x 20 Kn/mc = 0,4 Kn/mq

Massetto : 0,04 m x 18 Kn/mc = 0,72 Kn/mq

Intonaco : 0,02 m x 20 Kn/mc = 0,4 Kn/mq

$$q_p = 1,92 \text{ Kn/mq} + 1,00 \text{ Kn/mq} + 0,5 \text{ Kn/mq} = 3,42 \text{ Kn/mq}$$

La normativa infine prevede che ogni carico venga moltiplicato per il suo coefficiente moltiplicativo:

$$Q_{tot} = \gamma_s q_s + \gamma_p q_p + \gamma_a q_a = 1,3 \times 2,56 \text{ Kn/mq} + 1,5 \times 3,42 \text{ Kn/mq} + 1,5 \times 2,00 \text{ Kn/mq} = 11,46 \text{ Kn/mq}$$

Questo è il carico per 1mq quindi ora moltiplichiamo questo risultato per l'interasse dell'area di influenza per trovare il carico Q_u che rappresenta la combinazione di carico allo Stato Limite Ultimo dell'intera area di influenza.

interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_a (KN/m ²)	q_u (KN/m)	luce (m)
5,00	2,56	3,42	2,00	57,29	5,00
				62,65	5,00

A questo punto serve sapere il M_{max} sulla trave che viene calcolato direttamente da Excel conoscendo la luce della trave. Consideriamo la trave come una trave doppiamente appoggiata e quindi sappiamo che il momento massimo si trova nella mezzera ed è $M_{max} = ql^2/8 = 179,03 \text{ Knm}$

luce (m)	M_{max} (KN*m)
5,00	179,03
5,00	195,79

Ipotizzo che la sezione della trave in calcestruzzo sia rettangolare. Il cls è un materiale non omogeneo perché composto da calcestruzzo e acciaio. Quindi prendo la resistenza caratteristica per entrambi i materiali : per l'acciaio B450A $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$, per il calcestruzzo C32/40 $f_{yd} = 32 \text{ MPa}$

Il file excel mi carica in automatico le resistenze di progetto dei due materiali date dalle resistenze caratteristiche divise per un coefficiente parziale di sicurezza : $\gamma_s = 1,15$ (per l'acciaio) e $\gamma_c = 1,5$ (per il cls), che va poi moltiplicato per un coefficiente riduttivo $\alpha_{cc} = 0,85$ per i materiali di lunga durata.

f_{yk} (N/mm ²)	f_{yd} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)
450,00	391,30	32,00	18,13
450,00	391,30	32,00	18,13

Possiamo ora determinare l'altezza utile della sezione grazie a vari elementi come r e β che si ricavano grazie alle resistenze di progetto e alla base b della sezione che ipotizzo io di 30 cm. Excel mi calcola tutto in automatico fino a trovarmi anche $h_u = 43,12$ cm

interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_a (KN/m ²)	q_u (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yd} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)
5,00	2,56	3,42	2,00	57,29	5,00	179,03	450,00	391,30	32,00	18,13	0,41	2,38	30,00	43,12
				62,65	5,00	195,79	450,00	391,30	32,00	18,13	0,41	2,38	30,00	45,09

Mi trovo così l'altezza minima che mi serve nel progetto H_{min} aggiungendo ad h_u la distanza tra il baricentro dell'armatura e il filo del calcestruzzo teso δ

$$H_{min} = 43,12 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 48,12 \text{ cm} \text{ approssimata in } 50 \text{ cm}$$

Il calcestruzzo al contrario degli altri materiali prevede poi di calcolare il peso proprio della trave conoscendo il peso specifico del cls che è pari a 25 Kn/mc e moltiplicando per il coefficiente parziale di sicurezza 1,3.

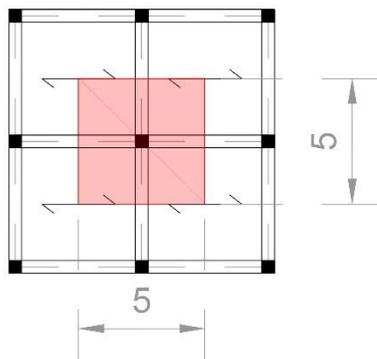
Aggiungo infine questo peso specifico alla combinazione di carico per lo Stato Limite Ultimo. Excel fa i calcoli in automatico e crea una seconda linea di sotto.

q_u (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yd} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{min} (cm)	H	H/l	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
57,29	5,00	179,03	450,00	391,30	32,00	18,13	0,41	2,38	30,00	43,12	5,00	48,12	50,00	0,10	0,15	3,75
62,17	5,00	194,27	450,00	391,30	32,00	18,13	0,41	2,38	30,00	44,92	5,00	49,92	verificata			

Il dimensionamento risulta così verificato in automatico, sapendo che l'altezza da me approssimata è maggiore dell'altezza min.

Pilastro

Passo al dimensionamento del pilastro maggiormente influenzato, ossia quello al centro in cui convergono 4 travi.



Area influenza
pilastro

Trattandosi di un elemento soggetto a presso-flessione devo calcolare l'area di progetto e il momento di inerzia minimo di progetto.

Nel file Excel comincio inserendo i dati delle luci principali (dove poggia il solaio) e secondarie. Inserisco poi il peso specifico delle travi che ho ipotizzato tutte uguali, calcolato precedentemente $p_{trave} = 3,75$ Kn/m.

Il totale del carico dovuto al peso proprio delle travi gravanti sul pilastro si ricava sommando i contributi di ogni trave, ottenuti moltiplicando il peso unitario per la lunghezza contenuta nell'area di maggiore influenza, ed è uguale a 48,75 Kn.

Mi ricalcolo di nuovo il carico dovuto dal peso del solaio moltiplicato stavolta per l'area di maggiore influenza.

L_p	L_s	Area	trave _p	trave _s	q_{trave}	q_s	q_p	q_a	q_{solaio}	n_{piani}	N
m	m	m ²	kN/m	kN/m	kN	kN/mq	kN/mq	kN/mq	kN		kN
5,00	5,00	25,00	3,75	3,75	48,75	2,56	3,42	2,00	286,45	4	1341

La forza di compressione che grava sul pilastro risulta quindi essere :

$$N = (q_{trave} + q_{solaio}) \times \text{num. Piani} = 1341 \text{ Kn}$$

Si può ora dimensionare la sezione a partire dalla resistenza del materiale. Scelgo C32/40 per il cls, quindi $f_{cd} = (0,85 \times f_{ck}) / 1,5$. Viene calcolato direttamente A_{min} della sezione prima che il materiale entra in crisi e si trova $A_{min} = N / f_{cd} = 1341 \text{ Kn} / 18,1 \text{ Kn/mm}^2 = 1341 \text{ Kn} / 18,1 \times 10 \text{ Kn/cm}^2 = 739,4 \text{ cm}^2$

Andando avanti inseriamo il modulo elastico sempre uguale a 21000 MPa, il valore β che dipende dai vincoli, nel caso del pilastro $\beta = 2$ e l'altezza del pilastro. Grazie a questi dati mi trovo il valore massimo di snellezza (< 200), il valore del raggio minimo di inerzia, il valore di base minimo per la sezione.

f_{ck}	f_{cd}	A_{min}	b_{min}	E	β	l	λ^*	ρ_{min}	b_{min}
Mpa	Mpa	cm ²	cm	Mpa		m		cm	cm
32,0	18,1	739,4	27,2	21000	2,00	4,00	106,91	7,48	25,92

A questo punto ipotizzo io dei valori da questi minimi approssimando per sovradimensionamento e verifico. Siccome il pilastro del cls non è soggetto solo a compressione, ma anche flessione, affinché sia verificato la tensione massima deve essere minore uguale alla resistenza di progetto $\sigma_{max} \leq f_{cd}$

b	h_{min}	h	A_{design}	I_{design}	I_{max}	W_{max}	q_t	M_t	σ_{max}	
cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	kN/m	kN*m	Mpa	
42,00	17,61	42,00	1764	259308	259308	12348,00	57,29	119,35	17,27	Si

Mensola

Infine dimensiono lo sbalzo di 2 m. Il metodo è inizialmente identico a quello per dimensionare le travi, quindi inserisco subito i dati dei carichi del solaio, la luce, l'interasse. È calcolato il M_{max} , che al contrario della trave doppiamente appoggiata, in questo caso si tratta di una mensola, quindi $M_{max} = ql^2/2$.

interasse (m)	q_s (kN/mq)	q_p (kN/mq)	q_a (kN/mq)	q_u (kN/m)	luce (m)	M_{max} (kN*m)
5	2,56	3,42	2,00	57,29	2	114,58
				62,65	2,00	125,31

Inserisco i dati delle resistenze caratteristiche del materiale come nel primo progetto di trave. Ipotizzo che anche questa mensola sia come le travi interne, quindi inserisco anche i dati approssimati e scelti da me di H e b della sezione, ovvero 30x50.

f_{yk} (N/mm ²)	f_{yd} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{min} (cm)	H (cm)
450	391,30	32	18,13	0,41	2,38	30	34,50	5	39,50	50
450,00	391,30	32,00	18,13	0,41	2,38	30,00	35,93	5,00	40,93	verificata

Per la verifica delle mensole bisogna effettuare la verifica di abbassamento allo SLE. Per calcolare lo spostamento servono il modulo elastico E e il momento di inerzia $I_x = bh^3/12$. Excel carica direttamente tramite questi due dati l'abbassamento v_{max} .

La normativa prevede che il rapporto tra la luce e lo spostamento massimo sia maggiore di 250.

$l/v \geq 250$.

area (m ²)	peso (kN/m)	q_e	E (N/mm ²)	I_x (cm ⁴)	v_{max} (cm)	l/v_{max}	
0,15	3,75	38,65	21000	312500	0,12	1697,93	Sì