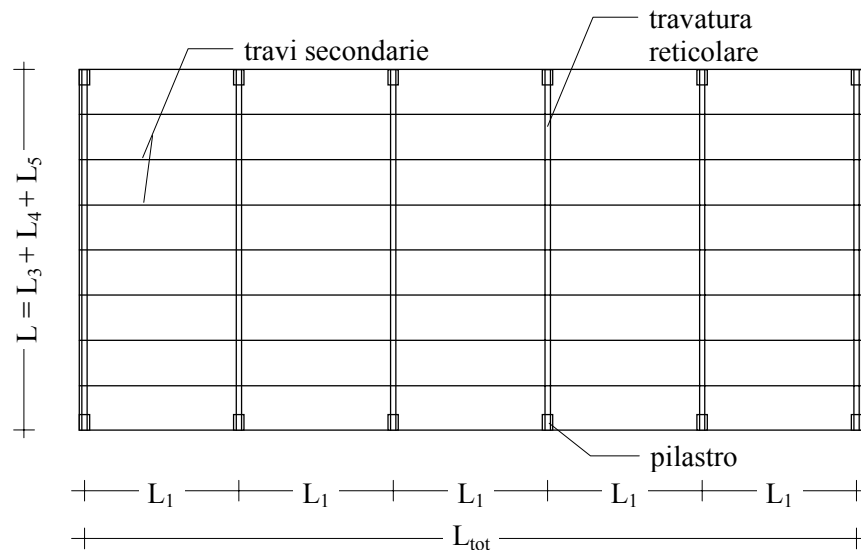


PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO



FASI DEL PROGETTO

- Analisi dei carichi sui pilastri
- Dimensionamento della sezione
- Verifica della sezione
- Dettagli esecutivi e impostazione della tavola

Ubicazione	quota	550 m s.l.m	distanza dal mare	>30 km
Destinazione d'uso	piano terra:	sala lettura	piani interrati:	deposito libri
Tipo di trave reticolare	tipologia	1		
Carpenteria solaio	alternativa	B		
Piano da analizzare	piano interrato			
Trave da analizzare	trave 4			
Dati geometrici	$L_1 = 7.80$ m	$L_2 = 2.10$ m	$L_3 = 6.70$ m	$L_4 = 5.00$ m
	$L_5 = 6.20$ m	$L_6 = 0.00$ m	$L_{tot} = 39.00$ m	

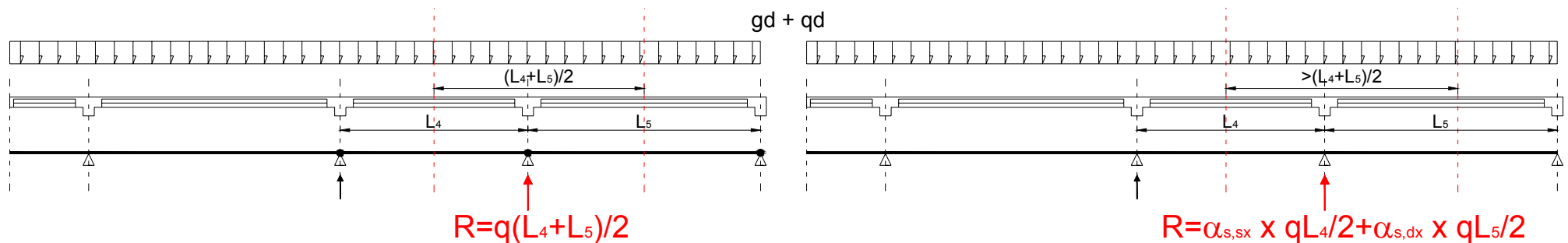
PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ

Per determinare i carichi sui pilastri è necessario considerare che:

- il carico sui pilastri è rappresentato dalla reazione dell'appoggio trasmessi dalle travi nello schema di trave continua
- il carico sulla trave è rappresentato dalla reazione dell'appoggio nello schema di solaio, le cui campate sono “continue”.

Per tenere conto della continuità tra le campate di solaio è necessario **stimare** il valore da attribuire al coefficiente di continuità α_s che modifica la reazione degli appoggi dello schema in funzione dei momenti di estremità.

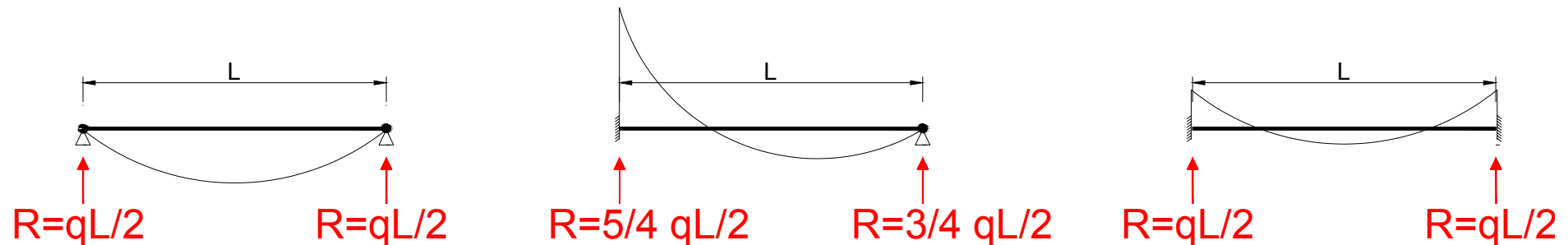


Vediamo come si valuta il coefficiente di continuità di uno schema di trave continua.

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ

Per valutare il coefficiente di continuità ci si può ricondurre ove possibile ai seguenti schemi limite:

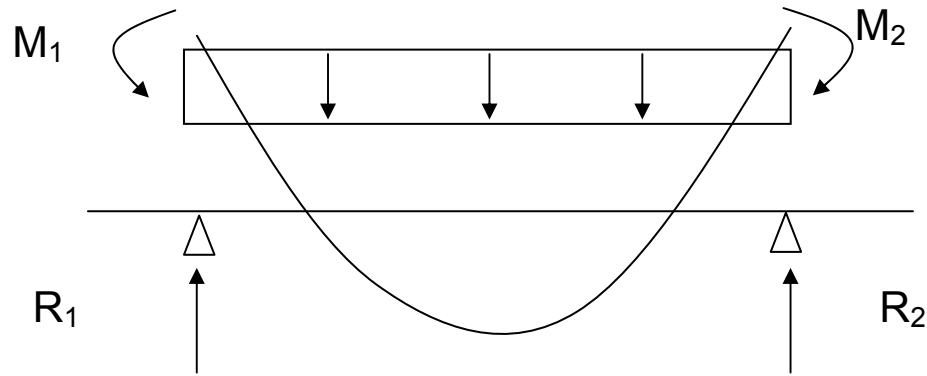


Quando i momenti ai due estremi sono di pari valore (trave appoggiata e trave incastrata) la reazione di ogni appoggio è pari a $qL/2$.

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ

Se invece vi è differenza tra i momenti alle due estremità della trave (caso limite lo schema di trave incastrata-appoggiata) le reazioni agli appoggi sono diverse:



$$R_1 = qL/2 + M_1/L - M_2/L$$

$$R_2 = qL/2 - M_1/L + M_2/L$$

Posto

$$R_1 = \alpha_1 qL/2$$

$$R_2 = \alpha_2 qL/2$$

si ottiene:

$$R_1 = qL/2 + M_1/L - M_2/L = \alpha_1 qL/2$$

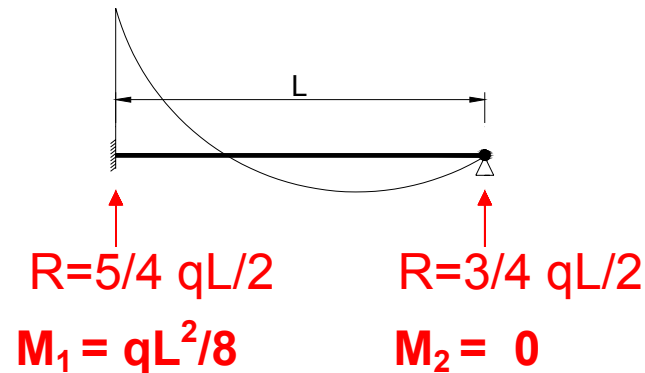
$$R_2 = qL/2 - M_1/L + M_2/L = \alpha_2 qL/2$$

da cui

$$\alpha_1 = 1 + 2 \times (M_1 - M_2)/(qL^2) \quad \alpha_2 = 1 + 2 \times (M_2 - M_1)/(qL^2)$$

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO**FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ**

Nel caso limite di trave appoggiata-incastata sono 1.25 e 0.75 volte $qL/2$.



$$\alpha_1 = 1 + 2 \times (M_1 - M_2)/(qL^2) = 1 + 2 \times qL^2/8 / (qL^2) = 1.25$$

$$\alpha_2 = 1 + 2 \times (M_2 - M_1)/(qL^2) = 1 - 2 \times qL^2/8 / (qL^2) = 0.75$$

Pertanto all'incastro il coefficiente di continuità vale $\alpha = 1.25$ ed è il valore più alto che può assumere. In genere si evita di considerare coefficienti di continuità inferiori all'unità.

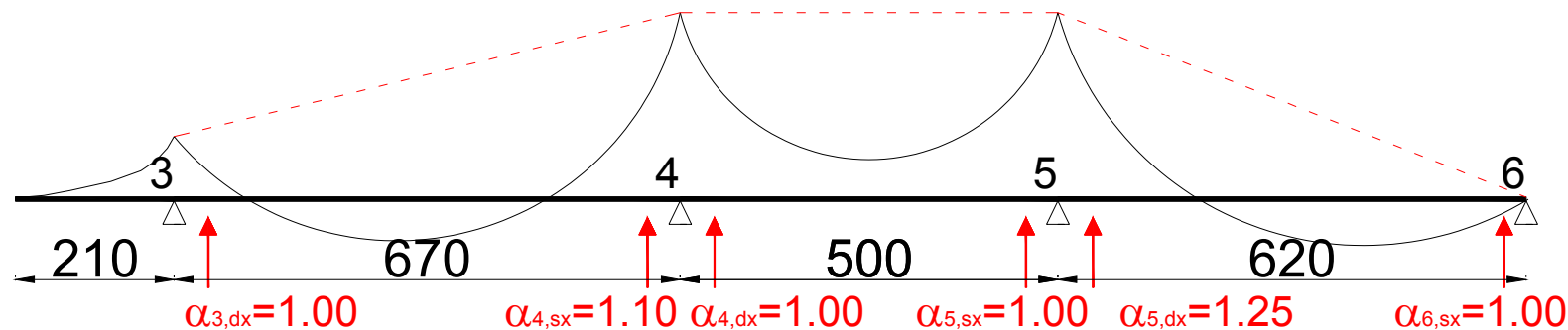
$$\alpha_2 = 1 + 2 \times (M_2 - M_1)/(qL^2) = 1 - 2 \times qL^2/8 / (qL^2) = \cancel{0.75} \longrightarrow 1.00$$

Il coefficiente di continuità si considera riferito alla combinazione di carico con il sovraccarico variabile su tutte le campate.

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ

Per tutte le situazioni intermedie bisogna assumere un valore compreso tra 1.00 e 1.25 in relazione al rapporto tra i momenti alle estremità. Vediamo il caso in esame.



La reazione all'appoggio 3 è: $R_3 = qL_2 + \alpha_{3,dx} \times qL_3/2$

$$R_3 = (8.74+9.00) \times 2.10 + 1.00 \times (8.74+9.00) \times 6.70/2 = 96.68 \text{ kN m}^{-1}$$

La reazione all'appoggio 4 è: $R_4 = \alpha_{4,sx} \times qL_3/2 + \alpha_{4,dx} \times qL_4/2$

$$R_4 = 1.10 \times (8.74+9.00) \times 6.70/2 + 1.00 \times (8.74+9.00) \times 5.00/2 = 109.72 \text{ kN m}^{-1}$$

La reazione all'appoggio 5 è: $R_5 = \alpha_{5,sx} \times qL_4/2 + \alpha_{5,dx} \times qL_5/2$

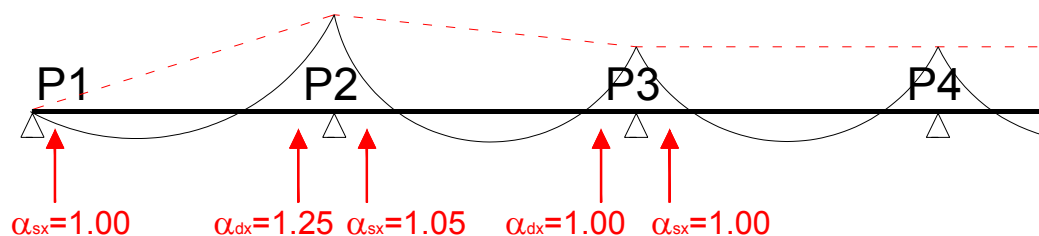
$$R_5 = 1.00 \times (8.74+9.00) \times 5.00/2 + 1.25 \times (8.74+9.00) \times 6.20/2 = 113.10 \text{ kN m}^{-1}$$

La reazione all'appoggio 6 è: $R_6 = \alpha_{6,sx} \times qL_5/2 = 1.00 \times (8.74+9.00) \times 6.20/2 = 54.99 \text{ kN m}^{-1}$

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: COEFFICIENTI DI CONTINUITÀ

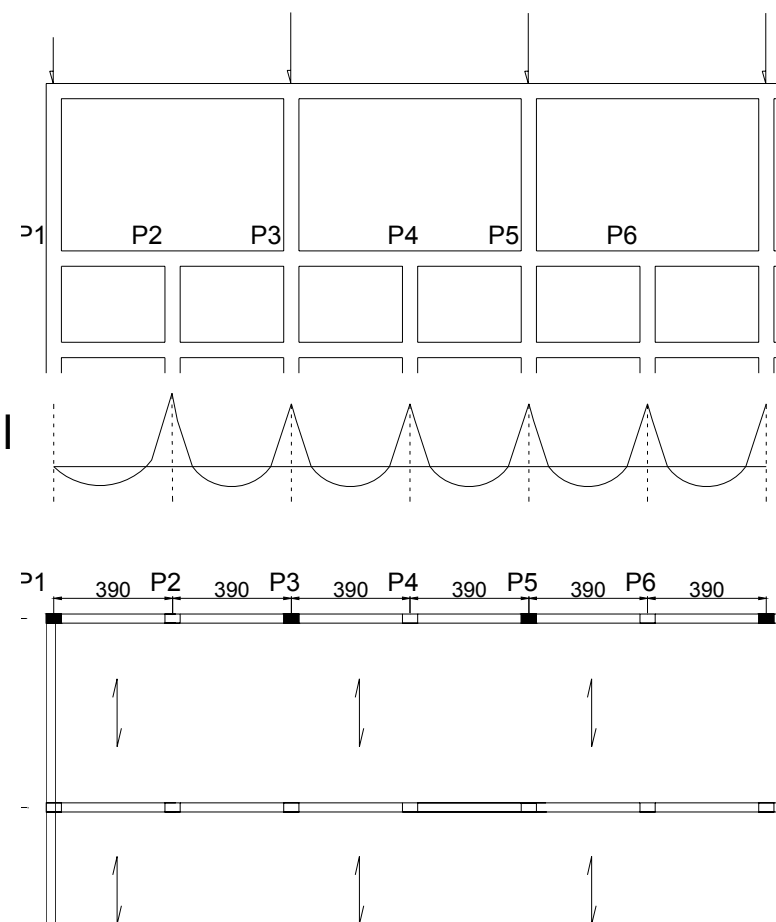
Allo stesso modo per la trave è necessario stimare il coefficiente di continuità che amplifica lo “scarico” sul pilastro (appoggio nello schema di trave) rispetto al valore che assumerebbe se le campate fossero indipendenti.



Ad esempio sul pilastro P2 la trave trasmette il seguente carico:

$$R_{P2} = \alpha_{t,sx} \times Q_{tr} L/2 + \alpha_{t,dx} \times Q_{tr} L/2$$

$$R_{P2} = 1.25 \times Q_{tr} \times 3.90/2 + 1.05 \times Q_{tr} \times 3.90/2$$

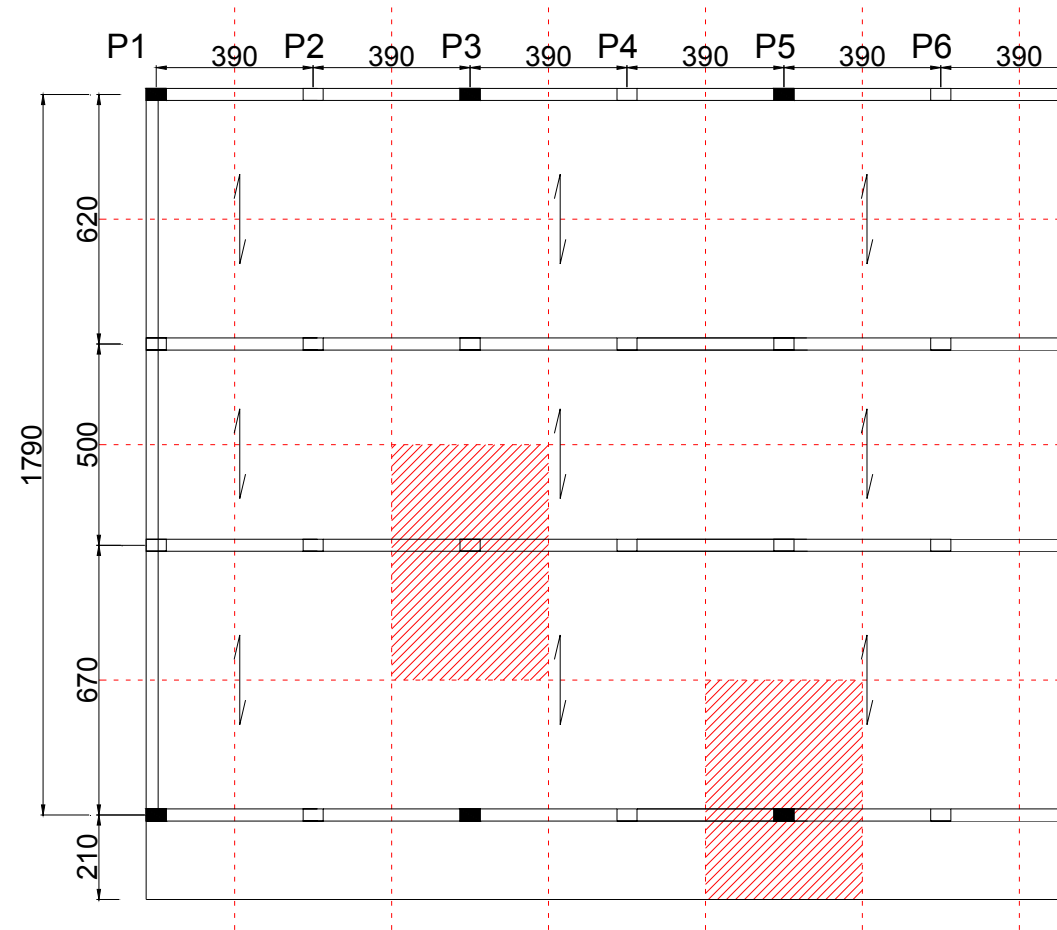


PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: AREE DI INFLUENZA

Noti i coefficienti di continuità per il solaio e per la trave è possibile stimare il carico gravante su ciascun pilastro attraverso le “**aree di influenza**”.

Se non vi fosse la continuità tra campi di solai e campate di trave, l'area gravante su ogni pilastro sarebbe individuate dalle linee mediane.



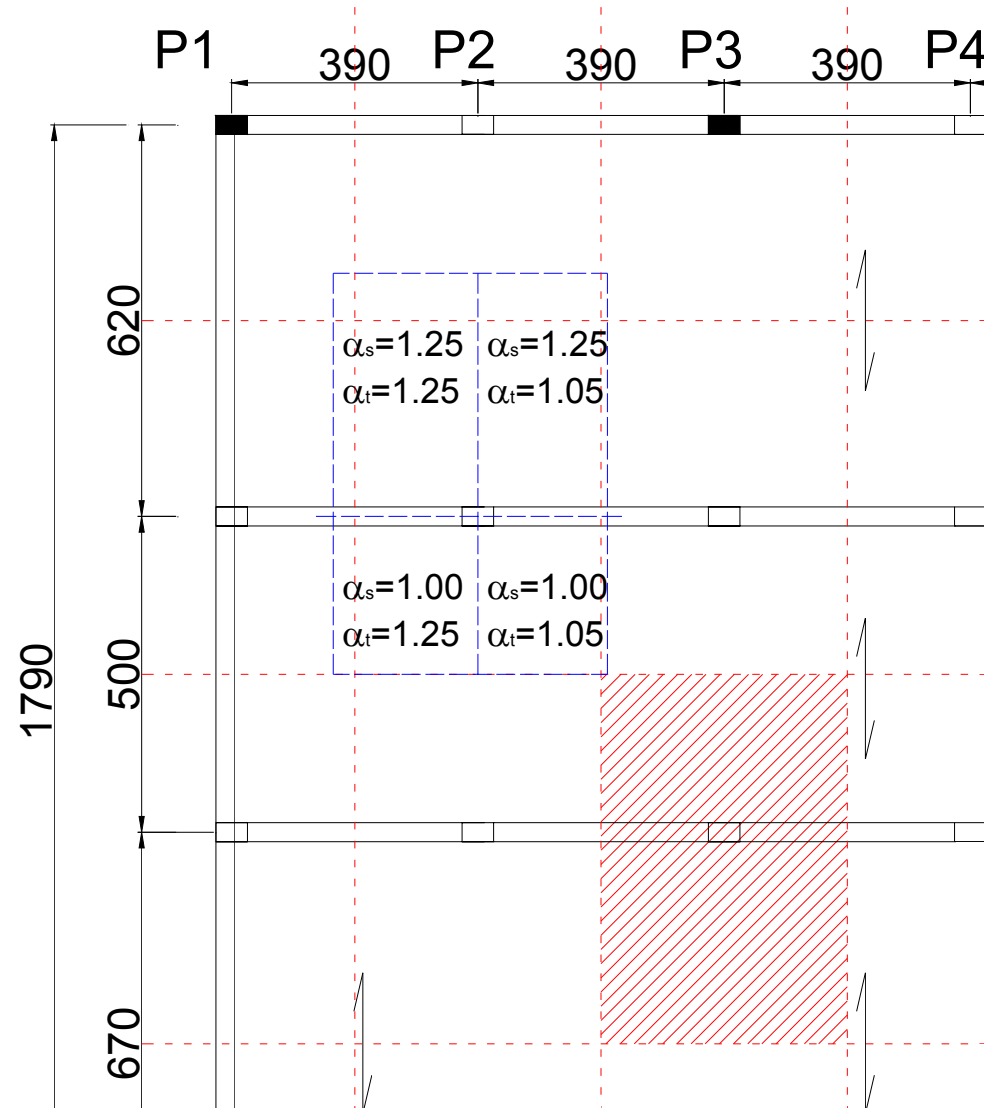
PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: AREE DI INFLUENZA

La continuità varia l'area di influenza di ciascun pilastro attraverso il coefficiente α_s relativo allo schema del solaio e al coefficiente α_t relativo allo schema di trave.

Per ogni pilastro centrale bisogna individuare 4 coefficienti di continuità (2 per il solaio e 2 per la trave), per ogni pilastro laterale o d'angolo sono da valutare 2 coefficienti di continuità (1 per il solaio e 1 per la trave).

Facciamo qualche esempio.



PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: AREE DI INFLUENZA

Pilastro centrale – interrato (deposito $q_d=6.00 \text{ kNm}^{-2}$)

- solaio	$\frac{1.25 \times 6.20 + 5.00}{2} \times \frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	28.59 m ²	17.74 kNm ⁻²	507.22 kN
- trave	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	3.75 kNm ⁻¹	16.84 kN
- peso proprio	$2.50 \times 0.30 \times 0.50$	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	<u>9.38 kN</u>
SOMMANO				533.44 kN

Pilastro centrale – piano terra (biblioteca $q_d=4.00 \text{ kNm}^{-2}$)

- solaio	$\frac{1.25 \times 6.20 + 5.00}{2} \times \frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	28.59 m ²	14.74 kNm ⁻²	421.42 kN
- trave	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	3.75 kNm ⁻¹	16.84 kN
- peso proprio	$2.50 \times 0.30 \times 0.50$	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	<u>9.38 kN</u>
SOMMANO				447.64 kN

$N_{\text{tot}} = 981.08 \text{ kN}$

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: AREE DI INFLUENZA

Pilastro laterale P2 – pari (piano interrato)

- solaio	$\frac{1.00 \times 6.20}{2} \times \frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	13.90 m ²	17.74 kNm ⁻²	246.64 kN
- trave	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	3.75 kNm ⁻¹	16.84 kN
- tamponamento (h=2.50m)	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	5.00 kNm ⁻¹	22.45 kN
- peso proprio	2.50 × 0.30 × 0.50	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	<u>9.38 kN</u>
SOMMANO				295.31 kN

Pilastro laterale P2 – pari (piano terra)

- solaio	$\frac{1.00 \times 6.20}{2} \times \frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	13.90 m ²	14.74 kNm ⁻²	205.48 kN
- trave	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	3.75 kNm ⁻¹	16.84 kN
- tamponamento (h=5.00m)	$\frac{1.25 \times 3.90 + 3.90 \times 1.05}{2}$	4.49 m	10.00 kNm ⁻¹	44.90 kN
- peso proprio	2.50 × 0.30 × 0.50	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	<u>9.38 kN</u>
SOMMANO				276.60 kN

N_{tot} = 571.91 kN

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: AREE DI INFLUENZA

Pilastro laterale P3 – dispari (piano interrato)

- solaio	$\frac{1.00 \times 6.20}{2} \times \frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	12.09 m ²	17.74 kNm ⁻²	214.48 kN
- trave	$\frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	3.90 m	3.75 kNm ⁻¹	14.62 kN
- tamponamento (h=2.50m)	$\frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	3.90 m	5.00 kNm ⁻¹	19.50 kN
- peso proprio	2.50 × 0.30 × 0.50	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	<u>9.38 kN</u>
SOMMANO				257.98 kN

Pilastro laterale P3 – dispari (piano terra)

- solaio	$\frac{1.00 \times 6.20}{2} \times \frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	12.09 m ²	14.74 kNm ⁻²	178.21 kN
- trave p.t.	$\frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	3.90 m	3.75 kNm ⁻¹	14.62 kN
- tamponamento (h=5.00m)	$\frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	3.90 m	10.00 kNm ⁻¹	39.00 kN
- peso proprio	2.50 × 0.30 × 0.50	0.38 m ³	25.00 kNm ⁻³	9.38 kN
- <i>pilastro svettante</i>	5.00 × 0.30 × 0.50	0.76 m ³	25.00 kNm ⁻³	18.72 kN
- <i>trave svettante</i>	$\frac{1.00 \times 3.90 + 3.90 \times 1.00}{2}$	3.90 m	3.75 kNm ⁻¹	14.62 kN
- scarico copertura combinazione 1 (<i>combinazione 3</i>)			(-24.45 kN)	<u>110.30 kN</u>
SOMMANO				(250.10 kN)
				384.85 kN

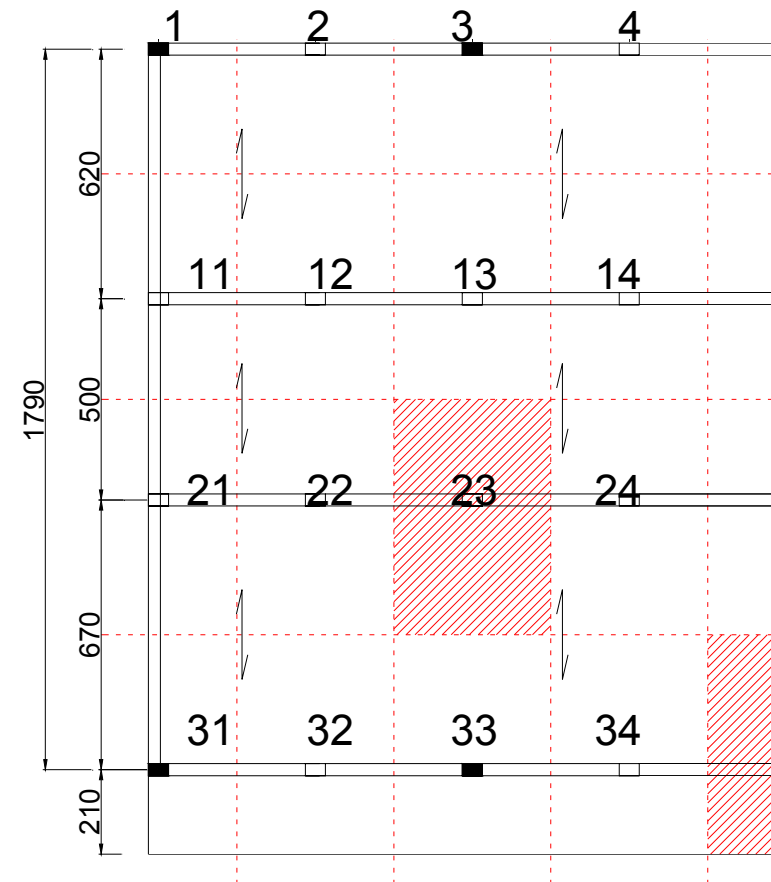
$$F_H^+ = 31.75 \text{ kN} \quad F_H = 15.88 \text{ kN} \quad M_H^+ = 123.8 \text{ kNm} \quad M_H = 61.9 \text{ kNm}$$

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: analisi dei carichi sui pilastri: TABELLA RIEPILOGATIVA

SFORZI ASSIALI NEI PILASTRI

	PIL.1 [kN]	PIL.2 [kN]	PIL.3 [kN]	PIL.12 [kN]	PIL.... [kN]
PIANO TERRA	...	276.60	384.85 (250.10)	447.64	...
PIANO INTERR.	571.91	642.83 (508.08)	981.08



PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto di sezione e armature – NORMATIVA E CONSIGLI

DIMENSIONI DELLA SEZIONE (EC2 – par. 5.4.1.1. Dimensioni minime)

La minima dimensione trasversale ammissibile per un pilastro è:

- | 200 mm | per pilastri a sezione piena gettati in opera (verticalmente);
- | 140 mm | per pilastri prefabbricati gettati in orizzontale.

Tuttavia si consiglia di non assumere sezioni di dimensione minima inferiore a 30 cm.

ARMATURE (5.4.1.2.1. Armature longitudinali)

Di regola le barre d'armatura devono avere **diametro non minore di 12 mm.**

La **quantità minima di armatura longitudinale** totale $A_{s,min}$ deve di regola essere determinata con la seguente equazione:

$$A_{s,min} = \frac{0.15 N_{sd}}{f_{yd}} \geq 0.003 A_c$$

Di regola, anche nelle sovrapposizioni, l'area dell'armatura **non deve essere maggiore di 0,08 A_c .**

Le barre longitudinali devono, di regola, essere distribuite lungo il perimetro della sezione.

E' buona norma – da rispettare nel progetto – disporre un'armatura longitudinale pari all'1% di A_c .

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto di sezione e armature – NORMATIVA E CONSIGLI

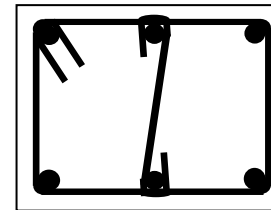
ARMATURE (5.4.1.2.2. Armature trasversali)

Le staffe hanno la funzione di contenimento del calcestruzzo ed evitano lo sbandamento delle armature longitudinali di spigolo.

La normativa italiana stabilisce dei limiti minimi di staffe da disporre per una sezione $b \cdot h$:

- diametro minimo: $\leq \begin{cases} 0.25 \phi_{\max} \\ \phi 6 \end{cases}$

- passo tra le staffe: $\leq \begin{cases} 12 \phi_{\min} \\ 30 \text{ cm} \\ \min(b, h) \end{cases}$



In corrispondenza dei nodi (intersezioni con travi o piastre) e per un tratto pari alla dimensione massima del pilastro, **il passo verrà ridotto al 60%**.

Per evitare lo sbandamento laterale degli eventuali ferri longitudinali non di spigolo è opportuno, pertanto, che ciascuno sia “tenuto” da un elemento chiamato a lavorare a trazione (Spillo).

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto della sezione – CONSIDERAZIONI GENERALI

In genere il progetto della sezione dei pilastri è effettuato sulla base del massimo sforzo assiale. Poiché all'armatura è affidato il compito di assorbire il 15% dello sforzo assiale il rimanente 85% deve essere affidato al calcestruzzo:

$$A_{C,\min} = \frac{0.85 N_{sd}}{\alpha f_{cd}}$$

La normativa italiana impone di ridurre il “tasso di lavoro” della sezione per ridurre gli effetti viscosi correlati alle tensioni elevate agenti sul calcestruzzo.

Per il progetto della sezione può impiegarsi la formula:

$$A_{C,nec} = \frac{0.85 N_{sd}}{\frac{\alpha f_{cd}}{1.25}} = 1.06 \frac{N_{sd}}{\alpha f_{cd}}$$

Si ricava una nuova relazione per l'armatura indipendente dallo sforzo normale

$$A_{sl} = 0.15 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{0.15}{0.85 \cdot 1.25} \frac{\alpha f_{cd}}{f_{yd}} A_{C,nec} \cong 0.14 \frac{\alpha f_{cd}}{f_{yd}} A_{C,nec}$$

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto della sezione – ESEMPIO

Progettiamo la sezione soggetta a prevalente sforzo assiale (pil. 12: $N_{Sd} = 981.08$ kN)

$$A_{C,nec} = 1.06 \frac{N_{Sd}}{\alpha f_{cd}} = 1.06 \frac{981.08}{11.02} \times 10 = 943 \text{ cm}^2$$

Si sceglie una **sezione 30x40** $\rightarrow A_c = 1200 \text{ cm}^2$

L'armatura da disporre è:

$$A_{S,min} = \frac{0.15 N_{Sd}}{f_{yd}} = \frac{0.15 \times 981.08}{374} \times 10 = 3.93 \text{ cm}^2 \geq 0.003 A_c = 3.6 \text{ cm}^2$$

Si disporranno 4 barre $\phi 12$ agli spigoli (e si aggiungeranno 2 barre sul lato lungo per problemi legati alle verifiche in esercizio).

Per le staffe si impiegano barre $\phi 8$ disposte ad interasse di 15cm che verrà ridotto a 9 cm in corrispondenza dei nodi .

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

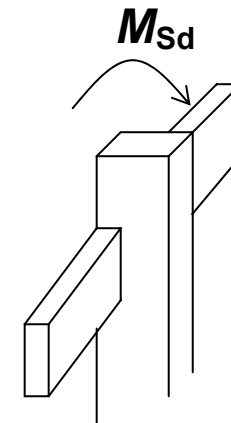
FASI DEL PROGETTO: progetto della sezione – CONSIDERAZIONI GENERALI

Nel caso in esame, trattandosi di una struttura a pochi piani, lo sforzo assiale è meno rilevante del momento flettente che può agire in presenza di vento. In particolare la sezione in testa ai pilastri del piano interrato è soggetta ad un basso sforzo normale e ad un momento flettente elevato e si potrebbe **progettarla a flessione**:

$$d = r' \sqrt{\frac{M_{Sd}}{b}}$$

Il momento flettente applicato si distribuirà tra il pilastro e le travi in funzione della rigidezza flessionale del primo e di quella torsionale delle seconde. Se trascuriamo tale rigidezza è possibile assumere cautelativamente come valore del momento sollecitante:

$$M_{Sd} = M_+ = 123.8 \text{ kNm}$$



PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

FASI DEL PROGETTO: progetto della sezione – ESEMPIO

Progettiamo la sezione soggetta a prevalente momento flettente (pil. 3: $M_{Sd} = 123.8 \text{ kNm}$)

$$d = r' \sqrt{\frac{M_{Sd}}{b}} = 0.020 \sqrt{\frac{123.8}{0.30}} = 0.41 \text{ m}$$

Si sceglie una **sezione 30x50** $\rightarrow A_c = 1500 \text{ cm}^2$

L'armatura da disporre è:

$$A_{S,\min} = \frac{M_{Sd}}{0.9 d f_{yd}} = \frac{123.8}{0.9 \times 0.46 \times 374} \times 10 = 8.0 \text{ cm}^2 \geq 0.003 A_c = 4.5 \text{ cm}^2$$

Si disporranno 4 barre $\phi 16$ su ogni lato corto (e si aggiungeranno 2 barre sul lato lungo per problemi legati alle verifiche in esercizio).

Per le staffe si impiegano barre $\phi 8$ disposte ad interasse di 15cm che verrà ridotto a 9 cm in corrispondenza dei nodi .