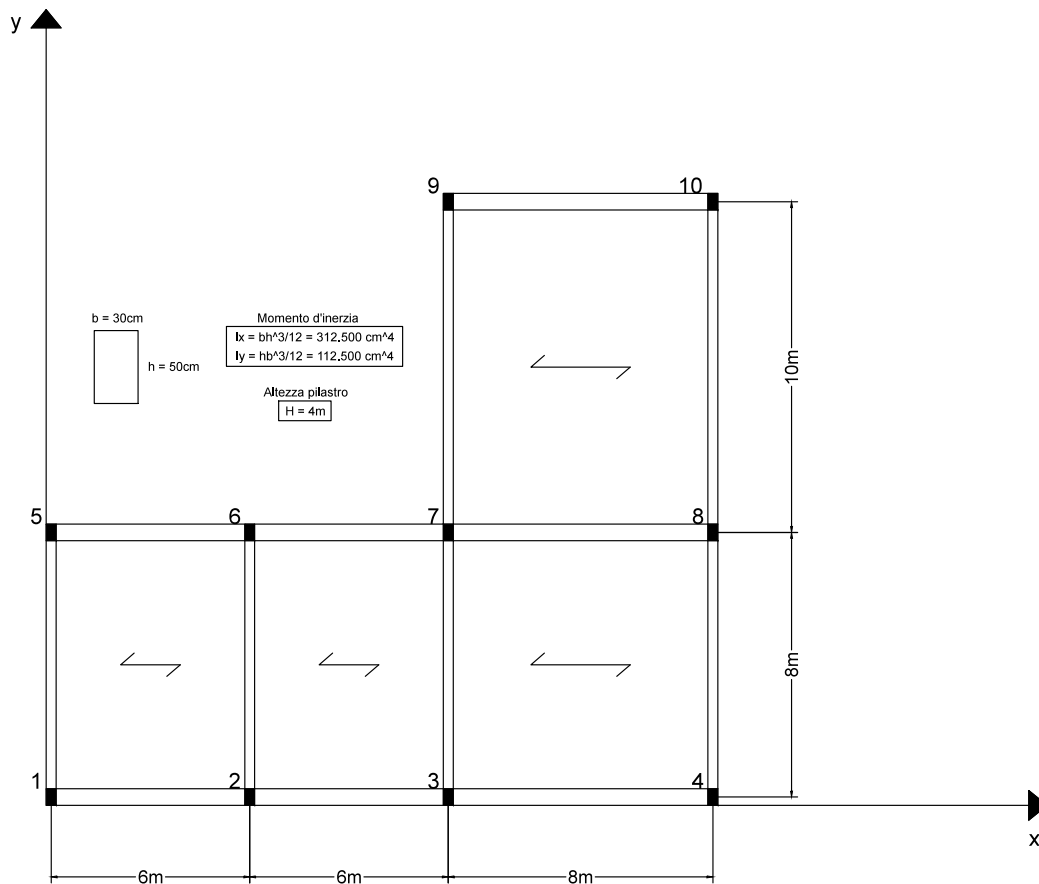


ESERCITAZIONE 2 – RIPARTIZIONE FORZE SISMICHE

Questa esercitazione permette di individuare il metodo di ripartizione di una forza orizzontale, come ad esempio la forza sismica, sui diversi telai che costituiscono una struttura, applicando il metodo delle rigidzze.

Viene preso in considerazione un edificio generico di un solo piano la cui struttura è composta da telai piani che, oltre a trasmettere i carichi verticali alla fondazione, sono anche dei controventi per le azioni orizzontali. In particolare l'impalcato preso in considerazione per lo svolgimento dell'esercizio è uno Shear type, cioè una struttura composta di travi infinitamente rigide a flessione e pilastri infinitamente rigidi assialmente.

Di seguito viene illustrato l'impalcato strutturale preso in considerazione, di cui sono stati indicati: le dimensioni di sezione del pilastro, la sua altezza e i valori dei momenti di inerzia della sezione del pilastro relativi all'asse x e all'asse y.

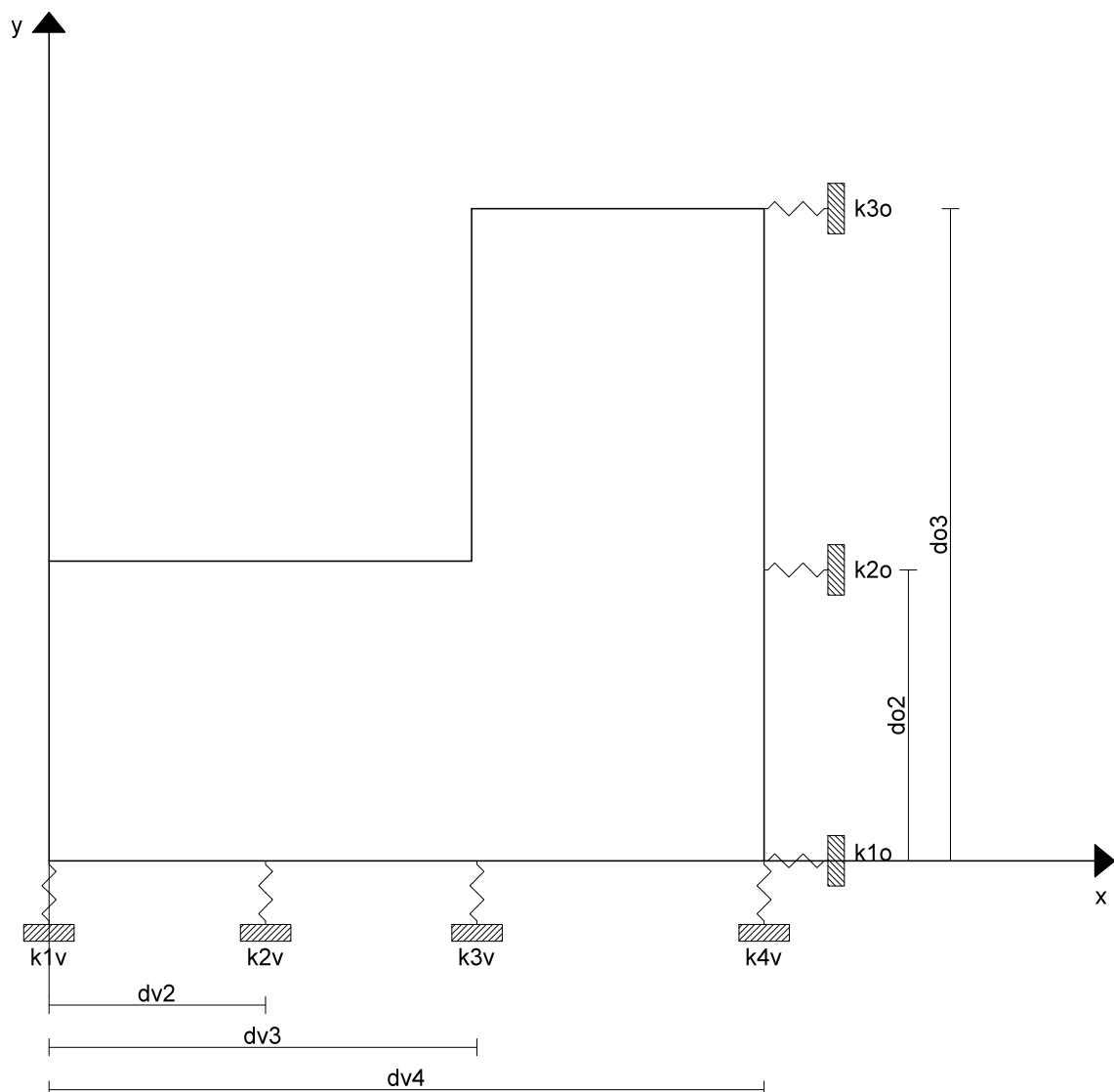


Vengono individuati di seguito gli impalcati della struttura e i pilastri che li compongono.

- Telaio 1 verticale: 1-5
- Telaio 2 verticale: 2-6
- Telaio 3 verticale: 3-7-9
- Telaio 4 verticale: 4-8-10

- Telaio 1 orizzontale: 1-2-3-4
- Telaio 2 orizzontale: 5-6-7-8
- Telaio 3 orizzontale: 9-10

I controventi, che per il telaio rappresentano vincoli cedevoli elasticamente, possono essere schematizzati nel piano dell'impalcato come molle.



Dopo avere calcolato i valori dei momenti di inerzia della sezione del pilastro relativi all'asse x e all'asse y, vengono inseriti nella tabella Excel. Nella seguente tabella vengono inseriti anche i dati relativi al modulo di Young del materiale e l'altezza dei pilastri. Si procede poi con il calcolo della rigidezza traslante associata a tutti i controventi.

Trattandosi di telai Shear type, per trovare la rigidezza traslante di un telaio composto da n pilastri si utilizza la formula:

$$k = \frac{12E}{h^3} \sum_{i=1}^n I_i$$

Dove:

per i telai verticali $I_x = 312.500 \text{ cm}^4$

per i telai orizzontali $I_y = 112.500 \text{ cm}^4$

Step 1: calcolo delle rigidezze traslanti dei controventi dell'edificio

Telaio 1v			Telaio 1o		
E (N/mmq)	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H (m)	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I ₁ (cm ⁴)	312500,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	112500,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	312500,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	112500,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	0,00	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	112500,00	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	0,00	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	112500,00	momento d'inerzia pilastro 4
K_T (KN/m)	24609,38	rigidezza traslante telaio 1	K_T	17718,75	rigidezza traslante telaio 5
Telaio 2v			Telaio 2o		
E	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I ₁	312500,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	112500,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	312500,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	112500,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	0,00	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	112500,00	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	0,00	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	112500,00	momento d'inerzia pilastro 4
K_T	24609,38	rigidezza traslante telaio 2	K_T	17718,75	rigidezza traslante telaio 6
Telaio 3v			Telaio 3o		
E	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I ₁	312500,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	112500,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	312500,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	112500,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	312500,00	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	0,00	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	0,00	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	0,00	momento d'inerzia pilastro 4
K_T	36914,06	rigidezza traslante telaio 3	K_T	8859,38	rigidezza traslante telaio 7
Telaio 4v					
E	21000,00	modulo di Young			
H	4,00	altezza dei pilastri			
I ₁	312500,00	momento d'inerzia pilastro 1			
I ₂	312500,00	momento d'inerzia pilastro 2			
I ₃	312500,00	momento d'inerzia pilastro 3			
I ₄	0,00	momento d'inerzia pilastro 4			
K_T	36914,06	rigidezza traslante telaio 4			

Si ottiene anche una seconda tabella riassuntiva della precedente in cui vengono riportate le rigidezze di tutti i controventi calcolati. Nella stessa tabella vengono inserite anche le distanze di ogni controvento dall'origine degli assi x e y.

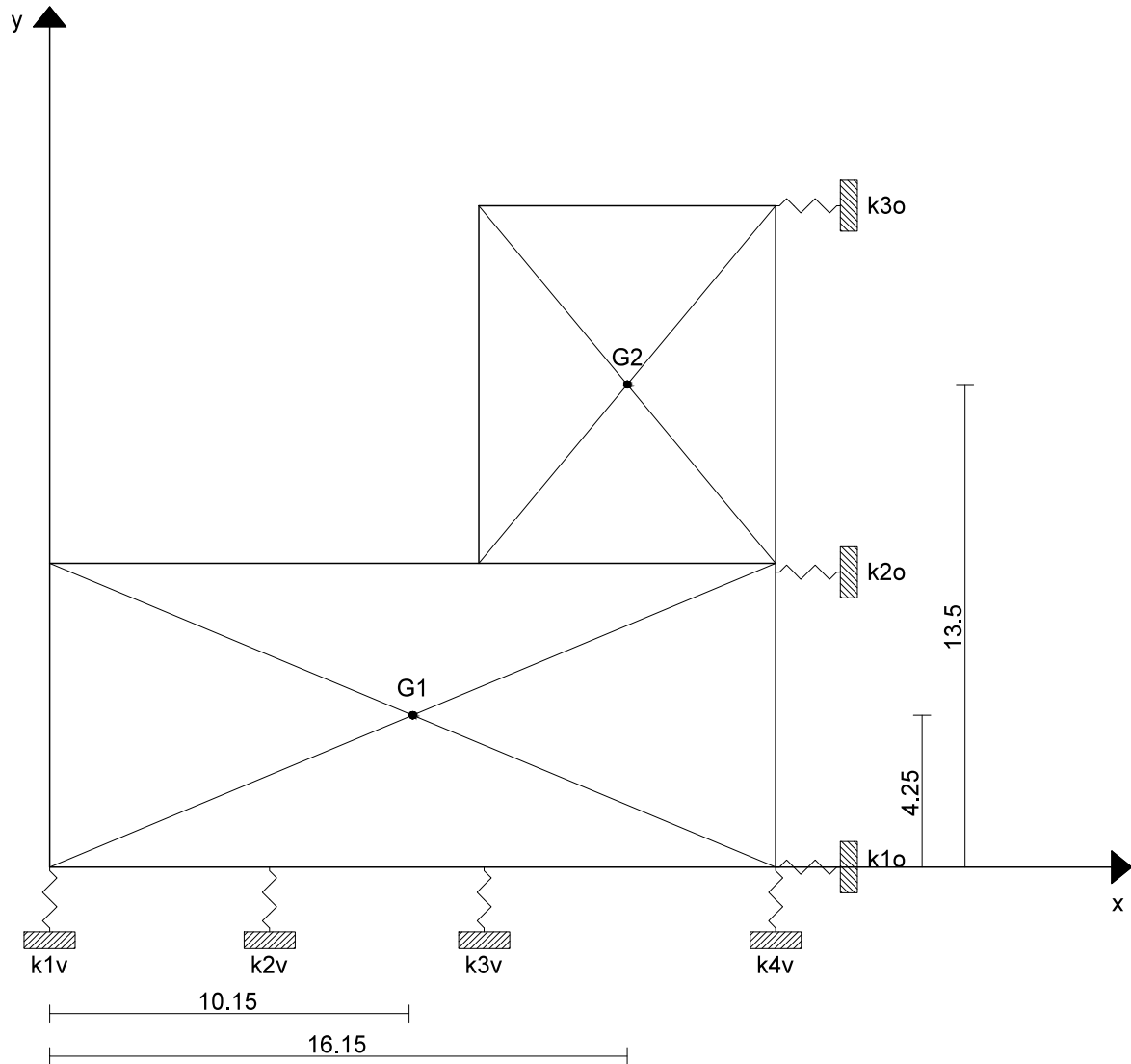
Step 2: tabella sinottica controventi e distanze		
Kv1(KN/m)	24609,38	rigidezza traslante contr.vert.1
Kv2	24609,38	rigidezza traslante contr.vert.2
Kv3	36914,06	rigidezza traslante contr.vert.3
Kv4	36914,06	rigidezza traslante contr.vert.4
dv2 (m)	6,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv3	12,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv4	20,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
Ko1(KN/m)	17718,75	rigidezza traslante contr.orizz.1
Ko2	17718,75	rigidezza traslante contr.orizz.2
Ko3	8859,38	rigidezza traslante contr.orizz.3
do2	8,00	distanza verticale controvento punto O
do3	18,00	distanza verticale controvento punto O

In seguito viene calcolato il centro di massa dell'edificio, che corrisponde al centro delle aree dato che si considera l'impalcato con densità di massa uniforme, suddividendo la struttura in due figure elementari di cui si conosce in centro in modo intuitivo.

Per farlo si utilizza la formula derivata da quella per ottenere le coordinate del centro di un sistema di vettori paralleli:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot X_{Gi}}{A_{tot}}$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot Y_{Gi}}{A_{tot}}$$



Step 3: calcolo del centro di massa

area_1 (mq)	172,55	misura dell'area superficie 1 area 1 (misura)
x_G1 (m)	10,15	coordinata X centro area 1
y_G1	4,25	coordinata Y centro area 1
area_2	83,00	misura dell'area superficie 2
x_G2	16,15	coordinata X centro area 2
y_G2	13,50	coordinata Y centro area 2
Area tot (mq)	255,55	Area totale impalcato
X_G	12,10	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)
Y_G	7,25	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)

Il quarto passaggio consiste nel calcolare la rigidezza totale orizzontale, data dalla somma delle singole rigidezze dei controventi orizzontali, e la rigidezza totale verticale, data dalla somma delle singole rigidezze dei controventi verticali. In questo modo sarà possibile calcolare sia il centro delle rigidezze riadattando la formula precedentemente utilizzata per il centro di massa, sia la rigidezza torsionale totale.

Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali

Ko_tot	44296,88	rigidezza totale orizzontale
Kv_tot	123046,88	rigidezza totale verticale
X_C (m)	10,80	coordinata X centro rigidezze
Y_C	6,80	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-10,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-4,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	1,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	9,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-6,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	1,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	11,20	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	8571150,00	rigidezza torsionale totale

In questo modo vengono individuati il centro di massa G e il centro delle rigidezze C dell'intero impalcato.

Si effettua ora l'analisi dei carichi sismici per ricavare la forza che agisce nel centro di massa. Si calcola il carico totale permanente (G) e accidentale (Q) del solaio, partendo dal valore dei carichi per unità di superficie [KN/mq] e utilizzando le seguenti formule:

$$G = (q_s + q_u) A_{tot}$$

$$Q = q_a A_{tot}$$

In accordo con la normativa tecnica si utilizza la combinazione sismica per calcolare i pesi sismici:

$$W = G + \Psi_{2j} Q$$

In cui Ψ rappresenta il coefficiente di contemporaneità indicato dalla normativa.

$$F = W c$$

Moltiplicando W, ossia il peso sismico, per un coefficiente di intensità sismica c che tiene conto della sismicità del luogo di progettazione dell'edificio, si ottiene F, la forza sismica da applicare al centro di massa.

Step 5: analisi dei carichi sismici

q_s (KN/mq)	2,50	carico permanente di natura strutturale
q_p	2,50	sovraccarico permanente
q_a	5,00	sovraccarico accidentale
G (KN)	1277,75	carico totale permanente
Q (KN)	1277,75	carico totale accidentale
y	0,80	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	2299,95	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	230,00	Forza sismica orizzontale

Ora si considera l'azione della forza sismica lungo x e poi lungo y. Si trova lo spostamento orizzontale, verticale e la rotazione tramite le seguenti formule:

$$u = \frac{F}{k_{o_tot}} \quad v = \frac{F}{k_{v_tot}} \quad \varphi = \frac{M}{k_{\varphi}}$$

Ora che abbiamo tale forza la andiamo ad applicare nel centro d'area creando due casi:

- Forza applicata in direzione x, che comporterà una possibile rotazione e traslazione orizzontale dell'impalcato
- Forza applicata in direzione y, che comporterà una possibile rotazione e traslazione verticale dell'impalcato

Step 6: ripartizione forza sismica lungo X

M (KN*m)	-104,49	momento torcente (positivo se antiorario)
u_o (m)	0,005	traslazione orizzontale
ϕ	-0,00001	rotazione impalcato (positiva se antioraria)
Fv1 (KN)	3,24	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	1,44	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	-0,54	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	-4,14	Forza sul controvento verticale 4
Fo1	93,47	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	91,74	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	44,79	Forza sul controvento orizzontale 3
	230,00	
		92,00
		92,00
		46,00
		230,00

Step 7: ripartizione forza sismica lungo Y

M (KN*M)	298,70	momento torcente
v_o (KN)	0,002	traslazione verticale
ϕ	0,00003	rotazione impalcato
Fv1 (KN)	36,74	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	41,88	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	70,54	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	80,83	Forza sul controvento verticale 4
Fo1	-4,20	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	0,74	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	3,46	Forza sul controvento orizzontale 3
	230,00	
		46,00
		46,00
		69,00
		69,00
		230,00