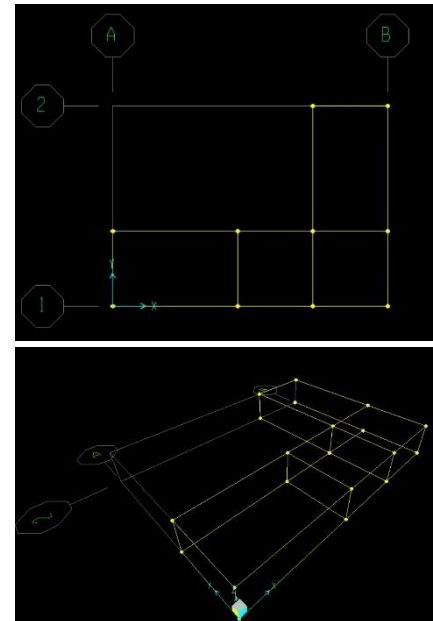
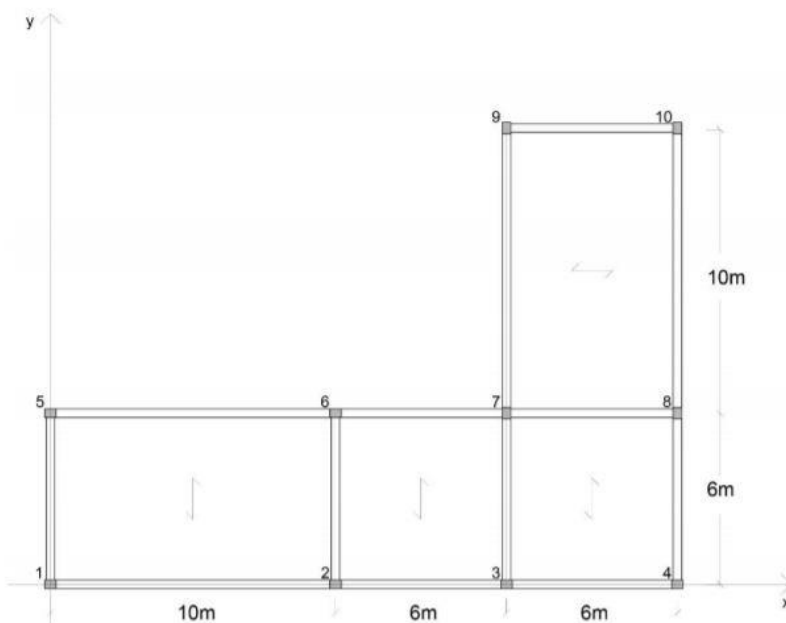


Esercitazione 2 _ Centro delle rigidzze e ripartizione delle forze sismiche

L'esercitazione ha l'obiettivo di calcolare come viene ripartita una forza orizzontale, ad esempio quella sismica o la forza del vento, sui diversi telai che compongono una struttura, applicando il metodo delle rigidzze.

Prendiamo in riferimento una struttura di un edificio con pianta ad L e solaio rigido nel suo unico piano, composta da telai in cemento armato del tipo *SHEAR-TYPE*.



Come si può vedere la struttura esaminata è composta da 7 telai, 4 verticali (paralleli ad y) e 3 orizzontali (paralleli ad x) con pilastri di sezione 40x40cm:

- Telaio 1v composto da: Pilastri 1 e 5
- Telaio 2v composto da: Pilastri 2 e 6
- Telaio 3v composto da: Pilastri 3, 7 e 9
- Telaio 4v composto da: Pilastri 4, 8 e 10
- Telaio 1o composto da: Pilastri 1, 2, 3 e 4
- Telaio 2o composto da: Pilastri 5, 6, 7 e 8
- Telaio 3o composto da: Pilastri 9 e 10

I controventi, che per il solaio rappresentano vincoli cedevoli elasticamente, possono essere schematizzati come molle nel piano dell'impalcato, aventi un'adeguata rigidzza.

Tramite il foglio excel calcoliamo la rigidzza traslante associata a tutti i controventi: essendo modellati come telai *SHEAR-TYPE*, la loro rigidzza di ricava tramite la formula:

$$F = \left(\frac{12EI_1}{h^3} + \frac{12EI_2}{h^3} \right) \delta$$

$$F = k * \delta$$

$$k = \frac{12EI_1}{h^3} + \frac{12EI_2}{h^3}$$

Il primo passo è quello di calcolare le rigidezze dei controventi dell'edificio che dipendono dal modulo di Young, dall'altezza del pilastro e momento d'inerzia.

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = 213333,30 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12} = 213333,30 \text{ cm}^4$$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Step 1: calcolo delle rigidezze traslanti dei controventi dell'edificio							
2								
3								
4	Telaio 1v	1-5	pilastri che individuano il telaio		Telaio 1o	1-2-3-4	pilastri che individuano il telaio	
5	E (N/mmq)	25000,00	modulo di Young		E	25000,00	modulo di Young	
6	H (m)	3,00	altezza dei pilastri		H	3,00	altezza dei pilastri	
7	I 1 (cm ⁴)	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1		I 1	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1	
8	I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2		I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2	
9	I 3	0,00	momento d'inerzia pilastro 3		I 3	213333,30	momento d'inerzia pilastro 3	
10	I 4	0,00	momento d'inerzia pilastro 4		I 4	213333,30	momento d'inerzia pilastro 4	
11	K T (KN/m)	47407,40	rigidezza traslante telaio 1		K T	94814,80	rigidezza traslante telaio 5	
12								
13	Telaio 2v	2-6	pilastri che individuano il telaio		Telaio 2o	5-6-7-8	pilastri che individuano il telaio	
14	E	25000,00	modulo di Young		E	25000,00	modulo di Young	
15	H	3,00	altezza dei pilastri		H	3,00	altezza dei pilastri	
16	I 1	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1		I 1	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1	
17	I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2		I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2	
18	I 3	0,00	momento d'inerzia pilastro 3		I 3	213333,30	momento d'inerzia pilastro 3	
19	I 4	0,00	momento d'inerzia pilastro 4		I 4	213333,30	momento d'inerzia pilastro 4	
20	K T	47407,40	rigidezza traslante telaio 2		K T	94814,80	rigidezza traslante telaio 6	
21								
22	Telaio 3v	3-7-9	pilastri che individuano il telaio		Telaio 3o	9-10	pilastri che individuano il telaio	
23	E	25000,00	modulo di Young		E	25000,00	modulo di Young	
24	H	3,00	altezza dei pilastri		H	3,00	altezza dei pilastri	
25	I 1	20000,00	momento d'inerzia pilastro 1		I 1	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1	
26	I 2	45000,00	momento d'inerzia pilastro 2		I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2	
27	I 3	45000,00	momento d'inerzia pilastro 3		I 3	0,00	momento d'inerzia pilastro 3	
28	I 4	0,00	momento d'inerzia pilastro 4		I 4	0,00	momento d'inerzia pilastro 4	
29	K T	12222,22	rigidezza traslante telaio 3		K T	47407,40	rigidezza traslante telaio 7	
30								
31	Telaio 4v	4-8-10	pilastri che individuano il telaio					
32	E	25000,00	modulo di Young					
33	H	3,00	altezza dei pilastri					
34	I 1	213333,30	momento d'inerzia pilastro 1					
35	I 2	213333,30	momento d'inerzia pilastro 2					
36	I 3	213333,30	momento d'inerzia pilastro 3					
37	I 4	0,00	momento d'inerzia pilastro 4					
38	K T	71111,10	rigidezza traslante telaio 4					
39								

Nello STEP 2 abbiamo una tabella riassuntiva, in cui vengono riportate le rigidezze di tutti i controventi, orizzontali e verticali, calcolate nel primo step.

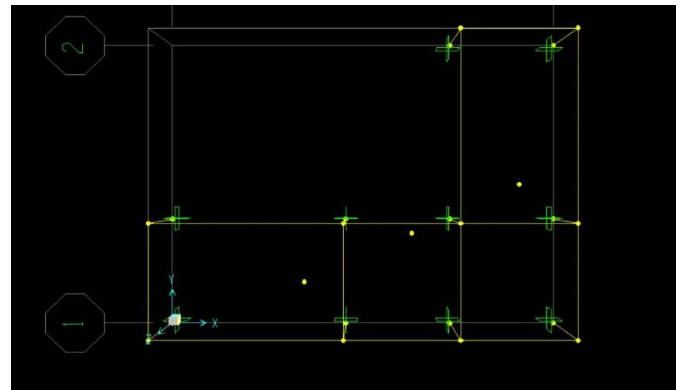
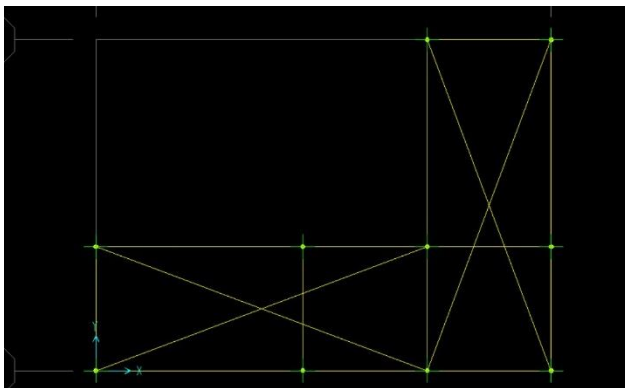
39			
40	Step 2: tabella sinottica controventi e distanze		
41			
42			
43	Kv1(KN/m)	47407,40	rigidezza traslante contr.vert.1
44	Kv2	47407,40	rigidezza traslante contr.vert.2
45	Kv3	71111,10	rigidezza traslante contr.vert.3
46	Kv4	71111,10	rigidezza traslante contr.vert.4
47	dv2 (m)	10,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
48	dv3	16,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
49	dv4	22,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
50	Ko1(KN/m)	94814,80	rigidezza traslante contr.orizz.1
51	Ko2	94814,80	rigidezza traslante contr.orizz.2
52	Ko3	47407,40	rigidezza traslante contr.orizz.3
53	do2	6,00	distanza verticale controvento punto O
54	do3	16,00	distanza verticale controvento punto O
55			

Per trovare il centro di massa dell'impalcato, riconduciamo la forma "complessa" a due rettangoli e troviamo le coordinate del centro di massa applicando le seguenti formule:

$$X_G = \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2}{A_{tot}} =$$

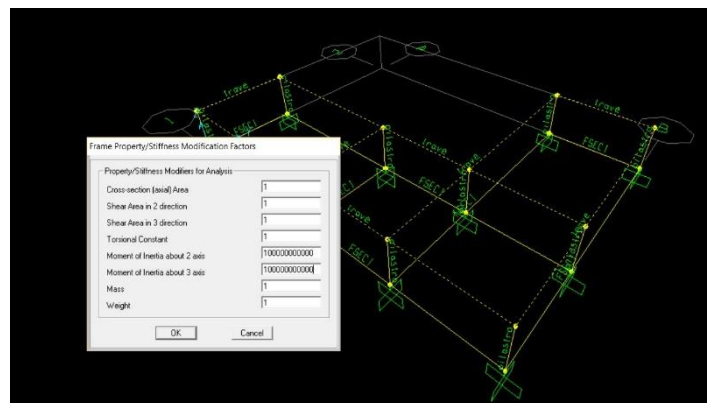
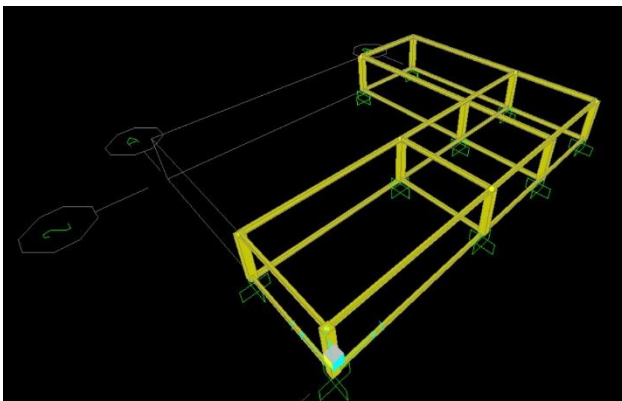
$$Y_G = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_{tot}} =$$

56			
57	Step 3: calcolo del centro di massa		
58			
59			
60	area_1 (mq)	96,00	misura dell'area superficie 1 area 1 (misura)
61	x_G1 (m)	8,00	coordinata X centro area 1
62	y_G1	3,00	coordinata Y centro area 1
63	area_2	96,00	misura dell'area superficie 2
64	x_G2	19,00	coordinata X centro area 2
65	y_G2	8,00	coordinata Y centro area 2
66	Area tot (mq)	192,00	Area totale impalcato
67	X_G	13,50	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)
68	Y_G	5,50	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)
69			
70			



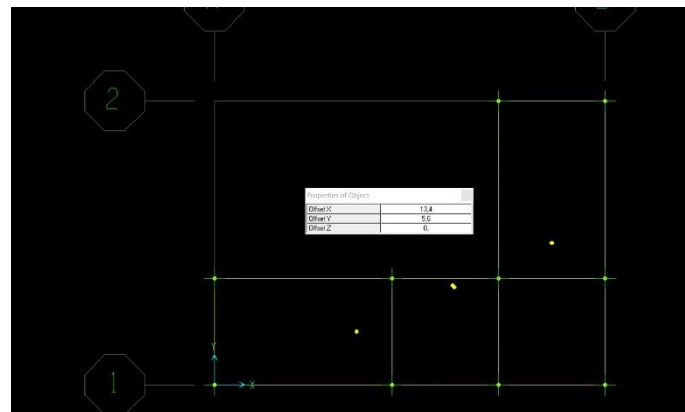
Il centro di rigidezza C non coinciderà con il centro di massa G, dunque lo calcoliamo tramite tabella excel.

Ancoriamo la struttura a terra attraverso i vincoli "incastro" e assegno alle travi una sezione di 70x40cm e, essendo un telaio *SHEAR-TYPE*, aumentiamo la rigidezza delle travi in maniera esponenziale, in quanto nel modello è ipotizzata come fittizia.



Nello STEP 4 si calcolano: rigidezza totale orizzontale, somma delle rigidezze dei singoli controventi orizzontali, la rigidezza totale verticale, somma delle rigidezze dei singoli controventi verticali, le coordinate del centro delle rigidezze dell'impalcato e la rigidezza torsionale totale.

Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali		
Ko_tot	237037,00	rigidezze totale orizzontale
Kv_tot	237037,00	rigidezze totale verticale
X_C (m)	13,40	coordinata X centro rigidezze
Y_C	5,60	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-13,40	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-3,40	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	2,60	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	8,60	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-5,60	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	0,40	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	10,40	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	22916737,16	rigidezze torsionale totale



Notiamo che il centro delle rigidezze risulta molto vicino al centro delle masse, fattore positivo per la progettazione dei controventi, in quanto la loro distanza influenza il comportamento della struttura sotto l'azione del carico sismico: la forza viene considerata applicata al centro di massa G, dunque la sua vicinanza al centro delle rigidezze C presuppone un braccio molto ridotto.

Per eseguire l'analisi dei carichi sismici, dobbiamo conoscere la stratigrafia del nostro solaio per calcolare i carichi permanenti, accidentali e strutturali.

Step 5: analisi dei carichi sismici		
q_s (KN/mq)	3,42	carico permanente di natura strutturale
q_p	7,50	sovraccarico permanente
q_a	2,00	sovraccarico accidentale
G (KN)	2096,64	carico totale permanente
Q (KN)	384,00	carico totale accidentale
ψ	0,30	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	2211,84	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	221,18	Forza sismica orizzontale

Lo STEP 6 – 7 sono i passaggi finali e portano a determinare la ripartizione della forza sismica sui controventi e gli effetti cinematici sull'impalcato, in termini di traslazione e di rotazione rigida.

Step 7: ripartizione forza sismica lungo Y		
M (KN*M)	22,12	momento torcente
v_o (KN)	0,001	traslazione verticale
φ	0,00000	rotazione impalcato
Fv1 (KN)	43,62	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	44,08	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	66,53	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	66,95	Forza sul controvento verticale 4
Fo1	-0,51	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	0,04	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	0,48	Forza sul controvento orizzontale 3
	221,18	
		44,24
		44,24
		66,36
		66,36
		221,18

Step 6: ripartizione forza sismica lungo X		
M (KN*m)	22,12	momento torcente (positivo se antiorario)
u_o (m)	0,001	traslazione orizzontale
φ	0,00000	rotazione impalcato (positiva se antioraria)
Fv1 (KN)	-0,61	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	-0,16	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	0,18	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	0,59	Forza sul controvento verticale 4
Fo1	87,96	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	88,51	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	44,71	Forza sul controvento orizzontale 3
	221,18	
		88,47
		88,47
		44,24
		221,18

