

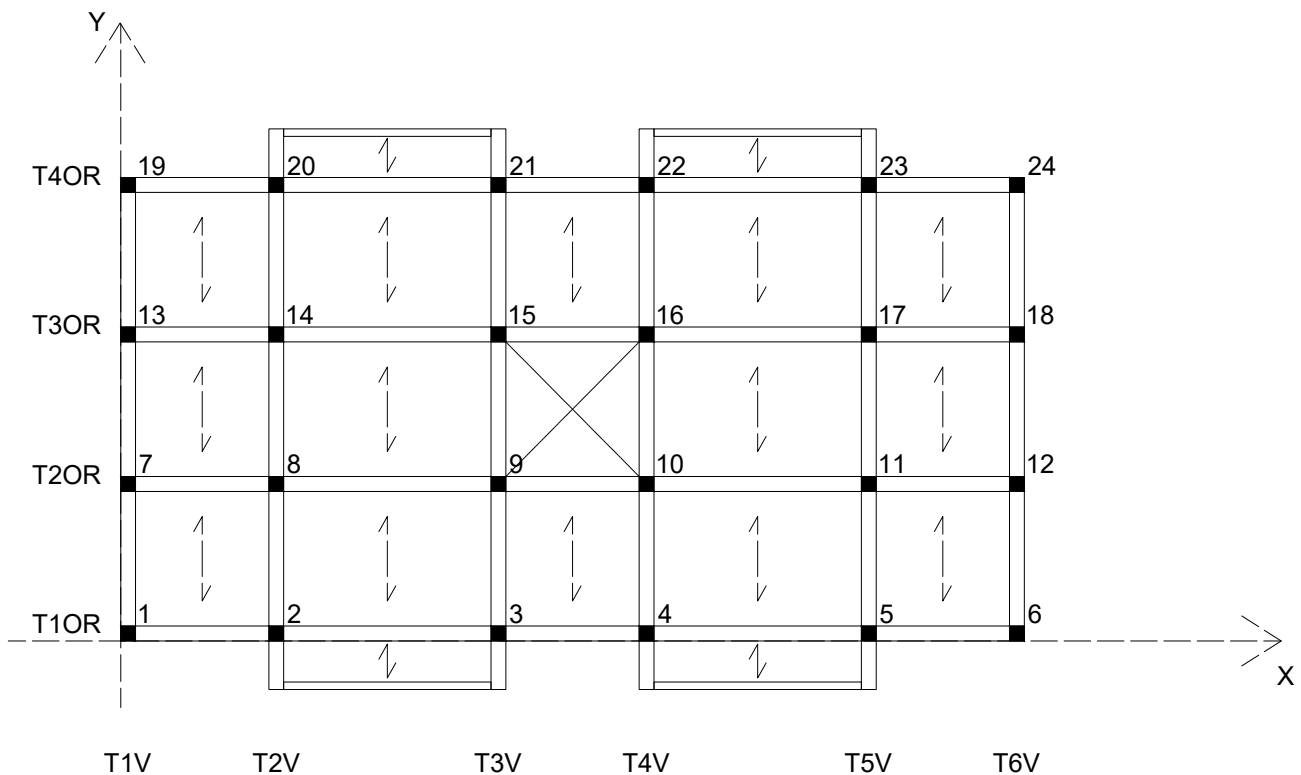
## ESERCITAZIONE 3

### Verifica di un edificio intelaiato in CA in zona sismica

L'esercitazione ha lo scopo di mettere in evidenza attraverso il metodo delle rigidzze, come una forza orizzontale (vento o sisma) venga ripartita sui diversi telai che compongono una struttura.

Il modello teorico a cui facciamo riferimento è quello del *telaio shear-type*, quindi con travi con rigidzza assiale e flessionale infinita e pilastri con rigidzza assiale infinita.

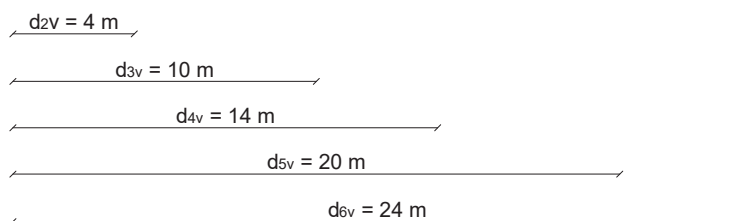
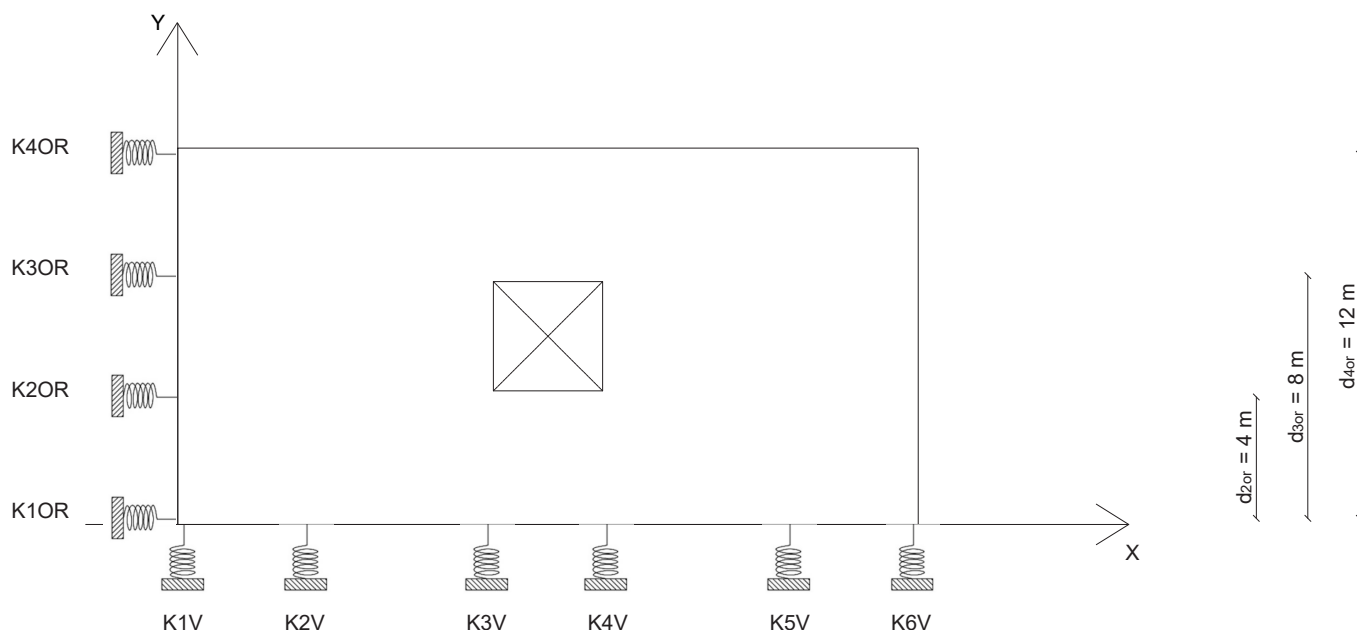
Andiamo quindi a studiare il comportamento dell'edificio in cemento armato precedentemente analizzato: individuiamo nelle due direzioni (verticale e orizzontale) i telai piani che compongono la struttura e che, oltre a trasmettere i carichi verticali in fondazione, fungono da controventi in grado di sopportare le azioni orizzontali.



L'impalcato è composto da 10 telai piani (6 lungo l'asse X e 4 lungo l'asse Y), con pilastri di sezione 50X50 cm e altezza  $h=2,7$  m:

- Telaio 1V – pilastri 1,7,13,19
- Telaio 2V – pilastri 2,8,14,20
- Telaio 3V – pilastri 3,9,15,21
- Telaio 4V – pilastri 4,10,16,22
- Telaio 5V – pilastri 5,11,17,23
- Telaio 6V – pilastri 6,12,18,24
  
- Telaio 1OR – pilastri 1,2,3,4,5,6
- Telaio 2OR – pilastri 7,8,9,10,11,12
- Telaio 3OR – pilastri 13,14,15,16,17,18
- Telaio 4OR – pilastri 19,20,21,22,23,24

I controventi possono essere raffigurati tramite **molle**, in quanto rappresentano dei vincoli cedevoli elasticamente:



Calcoliamo la rigidità  $k$  dei controventi. Avendo definito il comportamento dei telai assimilabile al model

lo shear-type di cui sappiamo che la rigidità dei pilastri è  $k = \frac{12 EI}{h^3}$ , possiamo calcolare la rigidità dei

controventi come somma delle rigidità dei pilastri che li compongono:  $k_{controvento} = \frac{12E}{h^3} \sum_{i=1}^n I_i$

Ad esempio  $K1V = 12E/h^3 * (I1+I7+I13+I19)$

con  $E$  modulo elastico = 33346 MPa per pilastri in CA

$h$  altezza pilastro = 2.7 m

I momento d'inerzia  $[I_{\text{rettangolo}} = (b * h^3) / 12]$

NB: il momento d'inerzia sarà diverso a seconda dell'orientamento dei pilastri.

Inserendo i dati nel foglio di calcolo excel otteniamo:

**Step 1: calcolo delle rigidzze traslanti dei controventi dell'edificio**

<b>Telaio 1v</b>			<b>1-7-13-19</b>	pilastri che individuano il telaio
E (N/mmq)	33346,00	modulo di Young		
H (m)	2,70	altezza dei pilastri		
I_1 (cm <sup>4</sup> )	520833	momento d'inerzia pilastro 1		
I_7	520833	momento d'inerzia pilastro 7		
I_13	520833	momento d'inerzia pilastro 13		
I_19	520833	momento d'inerzia pilastro 19		
<b>K_T (KN/m)</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 1</b>		
<b>Telaio 2v</b>			<b>2-8-14-20</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_2	520833,30	momento d'inerzia pilastro 2		
I_8	520833,30	momento d'inerzia pilastro 8		
I_14	520833,30	momento d'inerzia pilastro 14		
I_20	520833,30	momento d'inerzia pilastro 20		
<b>K_T</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 2</b>		
<b>Telaio 3v</b>			<b>3-9-15-21</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_3	520833	momento d'inerzia pilastro 3		
I_9	520833	momento d'inerzia pilastro 9		
I_15	520833	momento d'inerzia pilastro 15		
I_21	520833	momento d'inerzia pilastro 21		
<b>K_T</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 3</b>		
<b>Telaio 4v</b>			<b>4-10-16-22</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_4	520833	momento d'inerzia pilastro 4		
I_10	520833	momento d'inerzia pilastro 10		
I_16	520833	momento d'inerzia pilastro 16		
I_22	520833	momento d'inerzia pilastro 22		
<b>K_T</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 4</b>		
<b>Telaio 5v</b>			<b>5-11-17-23</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_5	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
I_11	520833,30	momento d'inerzia pilastro 11		
I_17	520833,30	momento d'inerzia pilastro 17		
I_23	520833,30	momento d'inerzia pilastro 23		
<b>K_T</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 5</b>		
<b>Telaio 6v</b>			<b>6-12-18-24</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_6	520833	momento d'inerzia pilastro 6		
I_12	520833	momento d'inerzia pilastro 12		
I_18	520833	momento d'inerzia pilastro 18		
I_24	520833	momento d'inerzia pilastro 24		
<b>K_T</b>	<b>423538,05</b>	<b>rigidezza traslante telaio 6</b>		

<b>Telaio 1or</b>			<b>1-2-3-4-5-6</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_1	520833,30	momento d'inerzia pilastro 1		
I_2	520833,30	momento d'inerzia pilastro 2		
I_3	520833,30	momento d'inerzia pilastro 3		
I_4	520833,30	momento d'inerzia pilastro 4		
I_5	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
I_6	520833,30	momento d'inerzia pilastro 6		
<b>K_T</b>	<b>635307,08</b>	<b>rigidezza traslante telaio 7</b>		
<b>Telaio 2or</b>			<b>7-8-9-10-11-12</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_7	520833,30	momento d'inerzia pilastro 7		
I_8	520833,30	momento d'inerzia pilastro 8		
I_9	520833,30	momento d'inerzia pilastro 9		
I_10	520833,30	momento d'inerzia pilastro 10		
I_11	520833,30	momento d'inerzia pilastro 11		
I_12	520833,30	momento d'inerzia pilastro 12		
<b>K_T</b>	<b>635307,08</b>	<b>rigidezza traslante telaio 8</b>		
<b>Telaio 3or</b>			<b>13-14-15-16-17-18</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_13	520833,30	momento d'inerzia pilastro 1		
I_14	520833,30	momento d'inerzia pilastro 2		
I_15	520833,30	momento d'inerzia pilastro 3		
I_16	520833,30	momento d'inerzia pilastro 4		
I_17	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
I_18	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
<b>K_T</b>	<b>635307,08</b>	<b>rigidezza traslante telaio 9</b>		
<b>Telaio 4or</b>			<b>19-20-21-22-23-24</b>	pilastri che individuano il telaio
E	33346,00	modulo di Young		
H	2,70	altezza dei pilastri		
I_19	520833,30	momento d'inerzia pilastro 1		
I_20	520833,30	momento d'inerzia pilastro 2		
I_21	520833,30	momento d'inerzia pilastro 3		
I_22	520833,30	momento d'inerzia pilastro 4		
I_23	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
I_24	520833,30	momento d'inerzia pilastro 5		
<b>K_T</b>	<b>635307,08</b>	<b>rigidezza traslante telaio 10</b>		

**Step 2: tabella sinottica controventi e distanze**

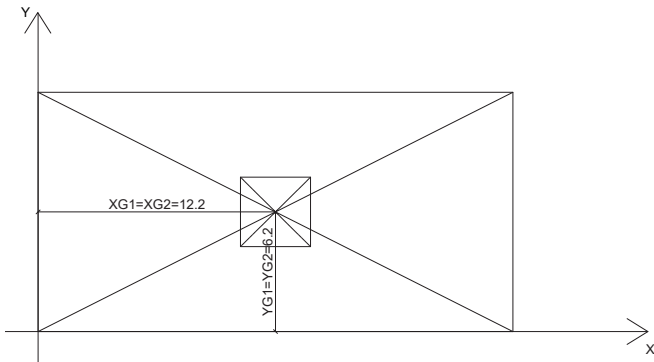
Kv1(KN/m)	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.1
Kv2	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.2
Kv3	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.3
Kv4	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.4
Kv5	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.5
Kv6	423538,05	rigidezza traslante contr.vert.6
dv2 (m)	4,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv3	10,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv4	14,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv5	20,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
dv6	24,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
Ko1(KN/m)	635307,08	rigidezza traslante contr.orizz.1
Ko2	635307,08	rigidezza traslante contr.orizz.2
Ko3	635307,08	rigidezza traslante contr.orizz.3
Ko4	635307,08	rigidezza traslante contr.orizz.4
do2	4,00	distanza verticale controvento punto O
do3	8,00	distanza verticale controvento punto O
do4	12,00	distanza verticale controvento punto O

• **Step 3\_Calcolo del centro di massa**

Troviamo le coordinate del centro di massa applicando la seguente formula:

$$X_G = \frac{A_1 X_1 - A_2 X_2}{A_1 - A_2}$$

$$Y_G = \frac{A_1 Y_1 - A_2 Y_2}{A_1 - A_2}$$



Tenendo presente che dobbiamo sottrarre all'impalcato il vuoto della scala.

**Step 3: calcolo del centro di massa**

area_1 (mq)	302,56	misura dell'area superficie 1area 1 (misura)
x_G1 (m)	12,20	coordinata X centro area 1
y_G1	6,20	coordinata Y centro area 1
area_2 (mq)	12,96	misura dell'area superficie 1area 1 (misura)
x_G2 (m)	12,20	coordinata X centro area 1
y_G2	6,20	coordinata Y centro area 1
Area tot (mq)	289,60	Area totale impalcato
<b>X_G</b>	12,20	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)
<b>Y_G</b>	6,20	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)

• **Step 4\_Calcolo del centro delle rigidezze:**

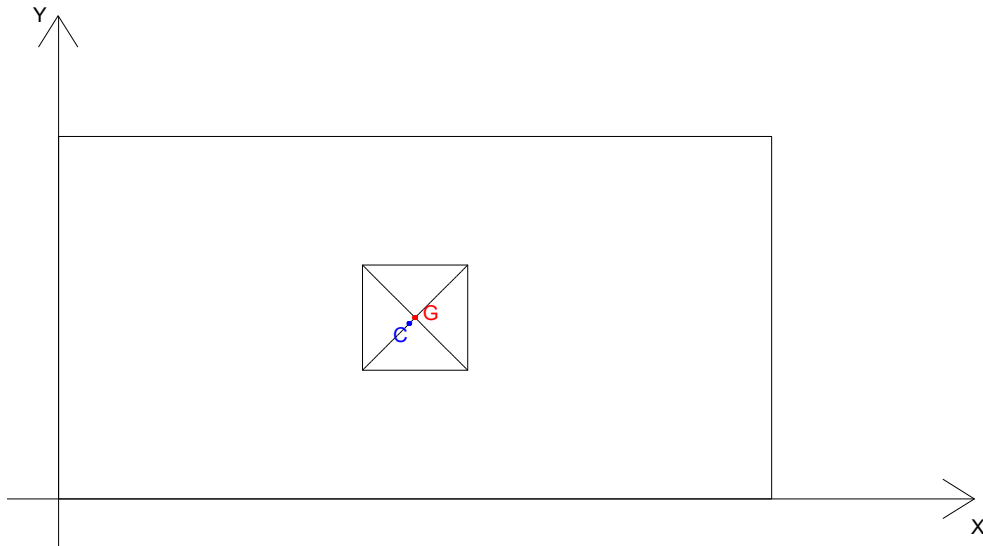
Per determinare le coordinate del centro C possiamo sfruttare la stessa formula vista per il centro di massa riadattandola: il centro delle rigidezze avrà infatti coordinate pari alla sommatoria del prodotto fra le rigidezze di ogni controvento per le rispettive distanze, diviso la rigidezze totale

$$X_C = \frac{\sum K_{vi} * d_{vi}}{K_{vtot}} ; Y_C = \frac{\sum K_{oi} * d_{oi}}{K_{vtot}}$$

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

Kv_tot	2541228,31	rigidezze totale orizzontale
Kor_tot	2541228,31	rigidezze totale verticale
X_C (m)	12,00	coordinata X centro rigidezze
Y_C	6,00	coordinata Y centro rigidezze

dd_v1	-12,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-8,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	-2,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	2,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v5	8,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v6	12,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-6,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	-2,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	2,00	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o4	6,00	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	230404699,98	rigidezze torsionale totale



Confrontando il centro di massa con quello delle rigidezze notiamo che sono molto vicini tra loro; se così non fosse stato avrei dovuto riprogettare i controventi fino ad accorciare il più possibile la loro distanza, in quanto le forze orizzontali ipotizzate agenti in G provocherebbero una rotazione dell'edificio.

• **Step 5\_ Analisi dei carichi sismici**

Per l'analisi dei carichi facciamo riferimento all'esercitazione 2.

Una volta definito il solaio con i suoi carichi per unità di superficie, calcoliamo il carico totale permanente G e il carico totale accidentale Q:  $G = (q_s + q_p) A_{tot}$  ;  $Q = q_a * A_{tot}$

Utilizziamo la combinazione sismica data dalla norma per definire i pesi sismici:  $W = G + \psi_2 Q$

**Step 5: analisi dei carichi sismici**

q_s (KN/mq)	8,44	carico permanente di natura strutturale
q_p	3,12	sovraccarico permanente
q_a	2,00	sovraccarico accidentale
G (KN)	3347,78	carico totale permanente
Q (KN)	579,20	carico totale accidentale
y	0,80	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	3811,14	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	381,11	Forza sismica orizzontale

Moltiplicando il peso sismico W per il coefficiente di intensità sismica c, che tiene conto della sismicità del luogo di progettazione dell'edificio, si ottiene la forza sismica F:  $F = W * c$

• Step 6-7\_ Ripartizione forza sismica lungo X e Y

Avendo il centro di massa e il centro delle rigidezze coordinate molto simili, si può notare che non si sviluppa alcuna rotazione, ma solo una piccola traslazione lungo x e lungo y.

**Step 6: ripartizione forza sismica lungo X**

M (KN*m)	-76,22	momento torcente (positivo se antiorario)
u_o (m)	0,0001	traslazione orizzontale
$\phi$	0,00000	rotazione impalcato (positiva se antioraria)
Fv1 (KN)	1,68	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	1,12	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	0,28	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	-0,28	Forza sul controvento verticale 4
Fv5	-1,12	Forza sul controvento verticale 5
Fv6	-1,68	Forza sul controvento verticale 6
Fo1	96,54	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	95,70	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	94,86	Forza sul controvento orizzontale 3
Fo4	94,02	Forza sul controvento orizzontale 4

287,10

95,28
95,28
95,28
95,28

**Step 7: ripartizione forza sismica lungo Y**

M (KN*M)	-76,22	momento torcente
v_o (KN)	0,0001	traslazione verticale
$\phi$	0,00000	rotazione impalcato
Fv1 (KN)	65,20	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	64,64	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	63,80	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	63,24	Forza sul controvento verticale 4
Fv5	62,40	Forza sul controvento verticale 5
Fv6	61,84	Forza sul controvento verticale 6
Fo1	1,26	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	0,42	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	-0,42	Forza sul controvento orizzontale 3
Fo4	-1,26	Forza sul controvento orizzontale 4

382,37

63,52
63,52
63,52
63,52
63,52
63,52

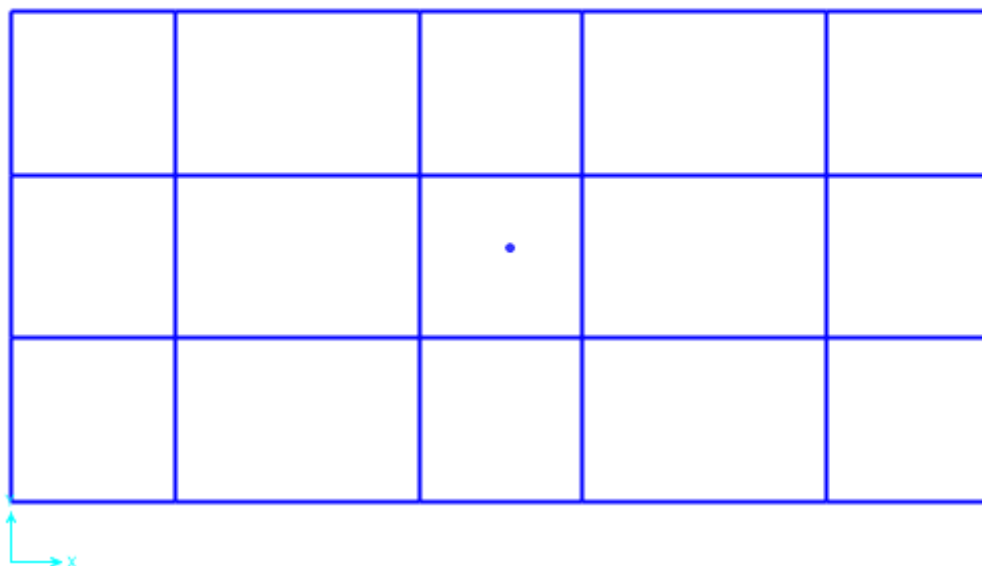
• **Step 8\_Distribuzione di piano della forza sismica**

Step 8: ripartizione forza sismica per piano				
		x		y
3	287,10	<b>19,14</b>	382,37	<b>25,49</b>
6	287,10	<b>38,28</b>	382,37	<b>50,98</b>
9	287,10	<b>57,42</b>	382,37	<b>76,47</b>
12	287,10	<b>76,56</b>	382,37	<b>101,97</b>
15	287,10	<b>95,70</b>	382,37	<b>127,46</b>
45				

**MODELLO**

Riprendiamo il modello dell'esercitazione 2 e andiamo a creare dei diaphragm diversi per ogni piano, nei quali andremo ad includere il punto rappresentante il centro di massa, su cui poi assegneremo la forza lungo x e lungo y.

Properties of Object	
Offset X	12,2
Offset Y	6,2
Offset Z	0,



Creiamo i nuovi casi di carico FX e Fy:

Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
FY	Dead	0	
DEAD	Dead	1	
Qp	Dead	0	
Qs	Dead	0	
Qa	Dead	0	
PP	Dead	1	
FX	Dead	0	
FY	Dead	0	

Click To:

- Add New Load Pattern
- Add Copy of Load Pattern
- Modify Load Pattern
- Modify Lateral Load Pattern...
- Delete Load Pattern
- Show Load Pattern Notes...

OK Cancel

Creiamo le combinazioni di carico SISMA X e SISMA Y che includeranno oltre alle forze orizzontali, rispettivamente lungo x e lungo y, anche i pesi verticali definiti nella precedente esercitazione.

S Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) SISMA X

Notes Modify/Show Notes...

Load Combination Type Linear Add

Options

Convert to User Load Combo Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

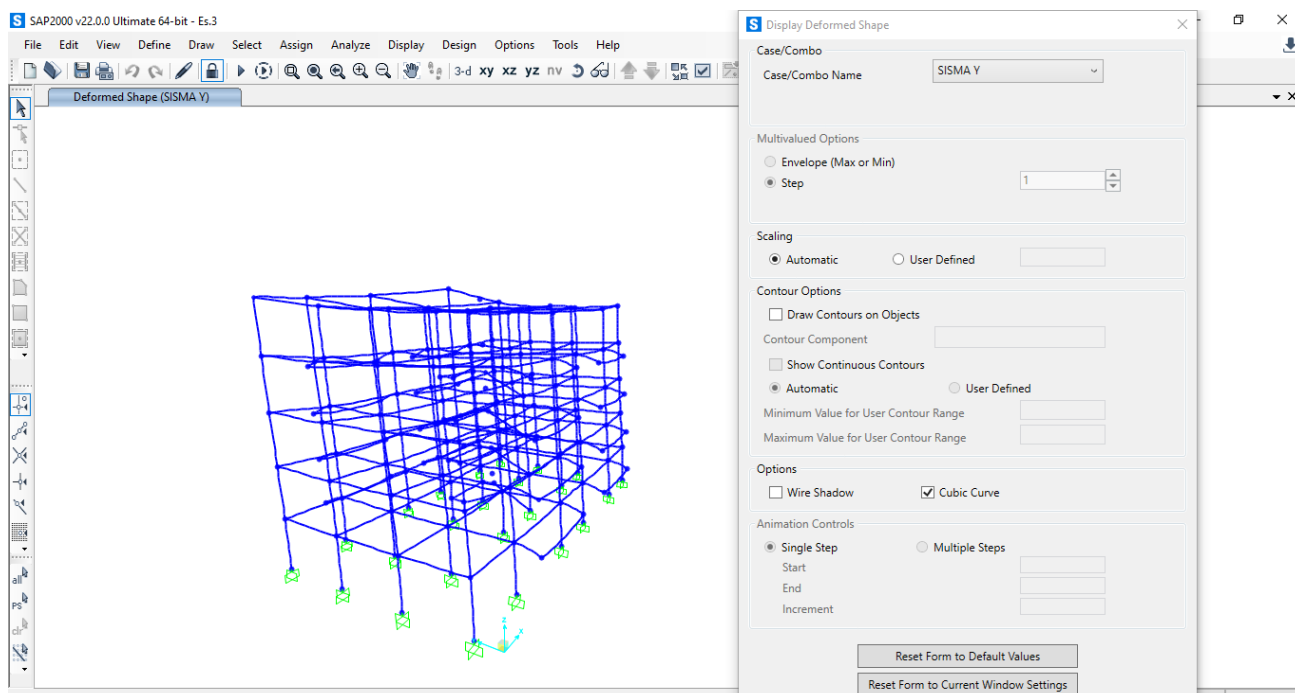
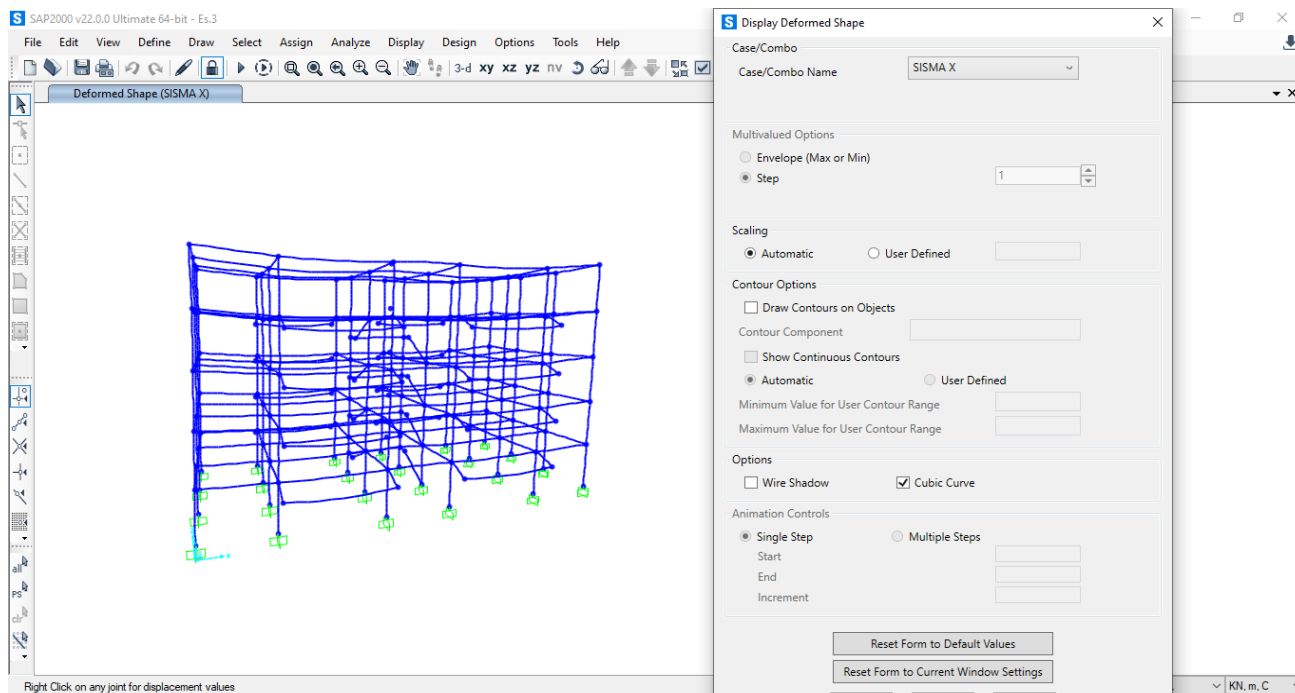
Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
FX	Linear Static		1
SLU	Combination		1
FX	Linear Static		1

Add Modify Delete

OK Cancel



Possiamo a questo punto lanciare l'analisi e vedere cosa succede alla configurazione deformata sotto l'azione delle due combinazioni di carico:



Dopo esserci accertati che la struttura non subisca rotazioni ma solamente traslazioni, dobbiamo andare ad effettuare una nuova verifica a pressoflessione come precedentemente fatto nell'esercitazione 2.