

Ripartizione forze sismiche

Caso 1 : impalcato con telaio shear-type

1) Disegno su Rhino o direttamente su Sap la pianta del mio impalcato e pongo un centro fittizio degli assi di riferimento che mi aiuterà a trovare il baricentro del solaio.

2) Mediante le formule

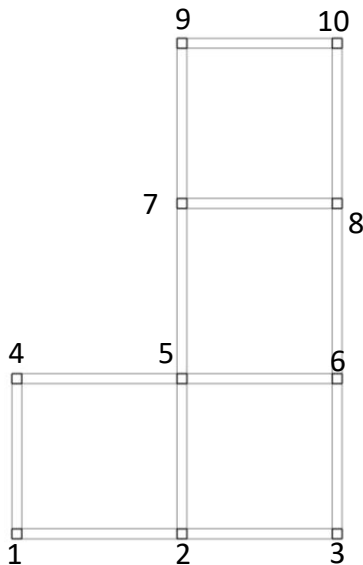
$$x_G = \frac{\delta y}{A_{tot}} \quad y_G = \frac{\delta x}{A_{tot}}$$

Otterrò le coordinate del baricentro che in questo caso non coincidono con il centro delle masse.

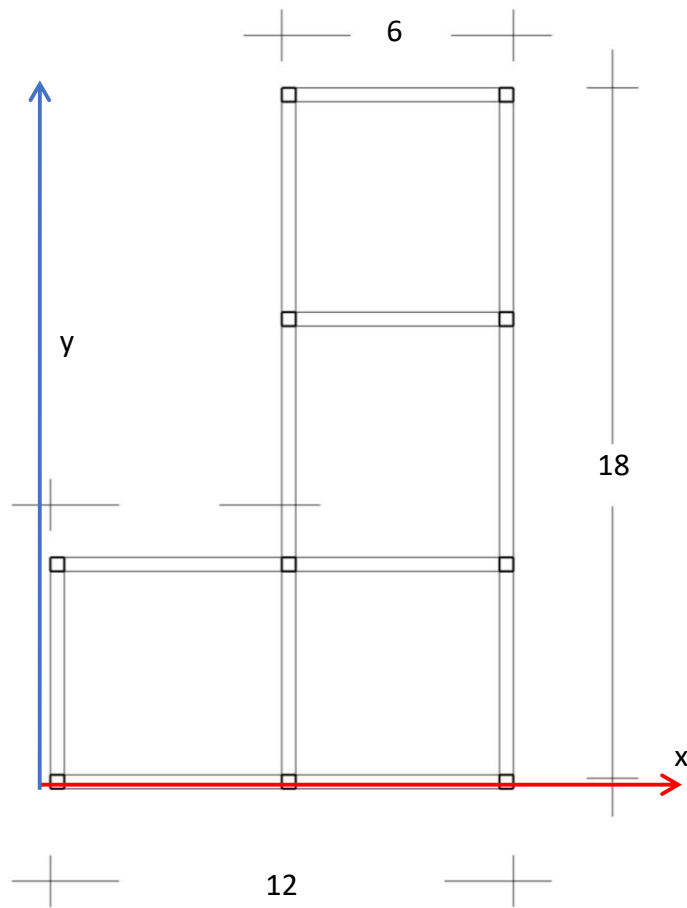
3) Essendo tale struttura composta da telai piani questi possono fungere da controventi e quindi aiutare a trasmettere oltre ai carichi verticali anche quelli dovuti a forze sismiche essendo in grado di resistere alle forze orizzontali.

4) Nel nostro caso individuiamo 7 telai di cui 4 paralleli all'asse x e 3 paralleli all'asse y .

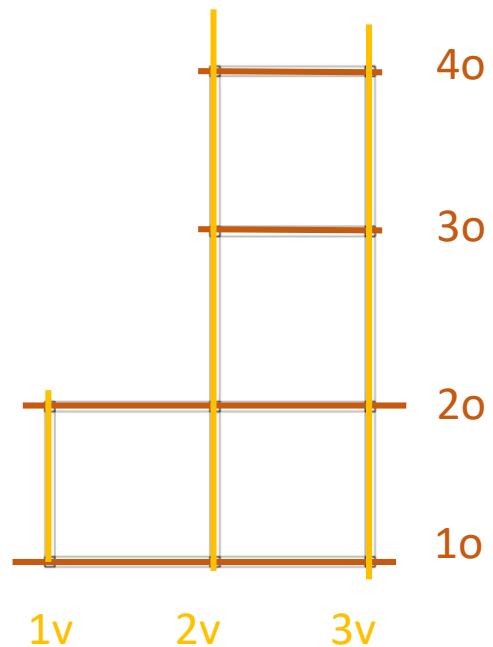
5) Andiamo a numerare le travi .



- Telaio 1 o** composto dai pilastri 1-2- 3
- Telaio 2 o** composto dai pilastri 4-5-6
- Telaio 3 o** composto dai pilastri 7-8
- Telaio 4 o** composto dai pilastri 9-10

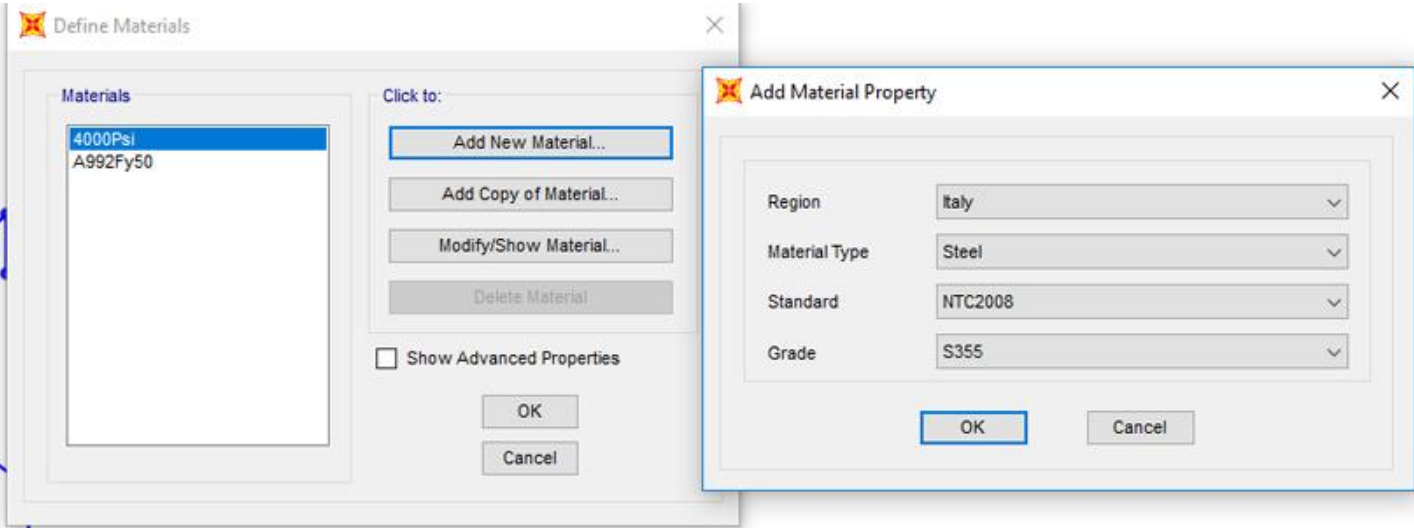


6) Numeriamo i telai.



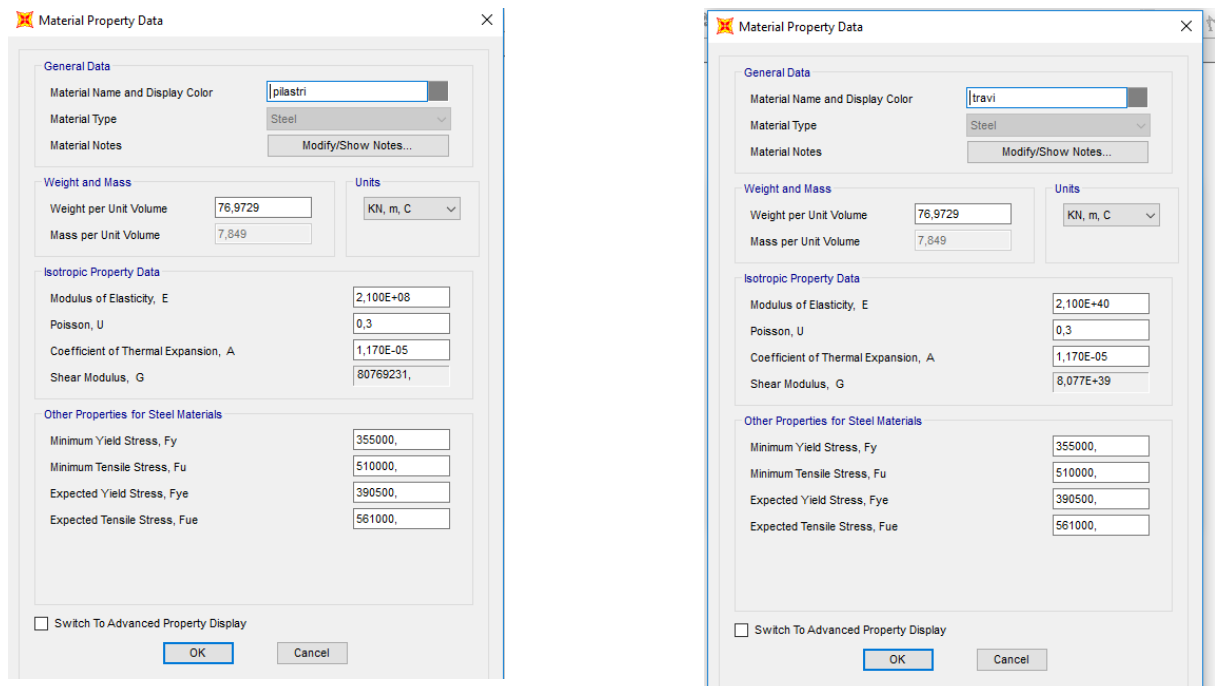
- Telaio 1 v** composto dai pilastri 1-4
- Telaio 2 v** composto dai pilastri 2-5-7-9
- Telaio 3 v** composto dai pilastri 3-6-8-10

7) Definiamo su Sap il materiale rispettivamente per i solai e per le travi del nostro impalcato.

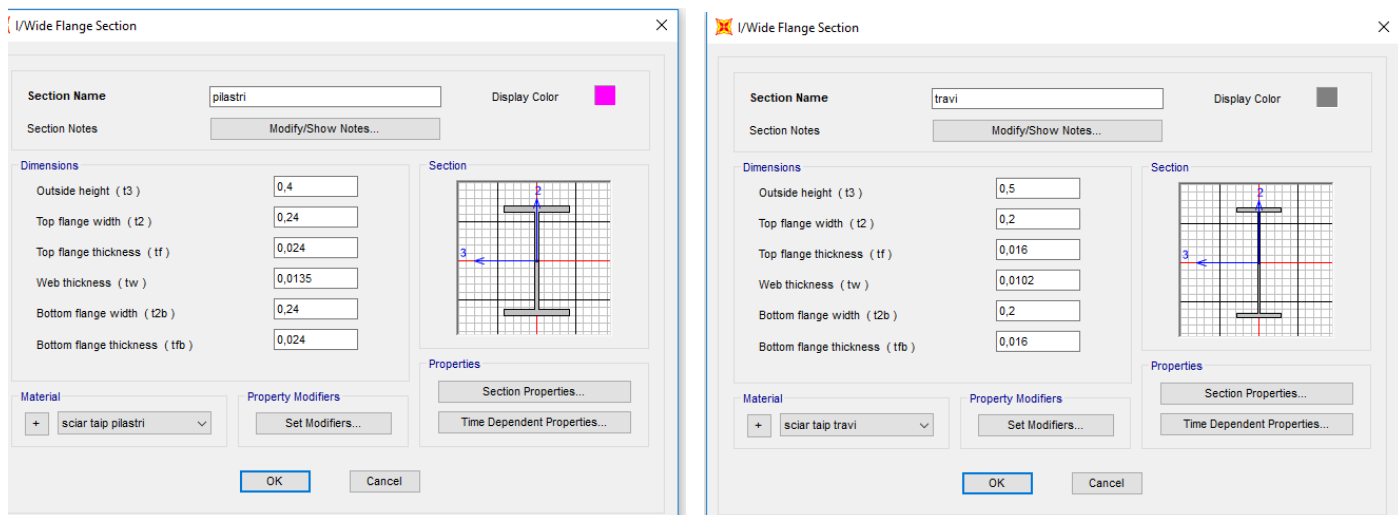


Quando impostiamo il materiale nelle travi per rendere il nostro impalcato verosimile al modello shear-type aumentiamo di molto il modulo di elasticità per renderlo 'infinitamente rigido assialmente'.

Define → Materilas → modify/show material → material property data.



8) Definiamo su Sap le sezioni rispettivamente per i solai e per le travi del nostro impalcato



9) Una volta assegnate le sezioni e i materiali alla struttura (fig 1) procedo con il porre i vincoli di incastro a terra (fig 2)

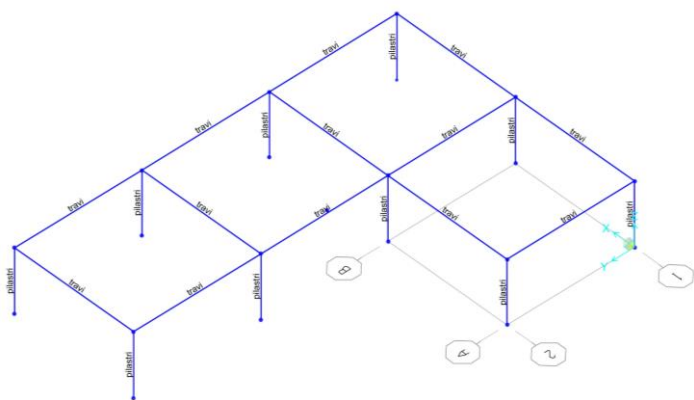


Fig 1

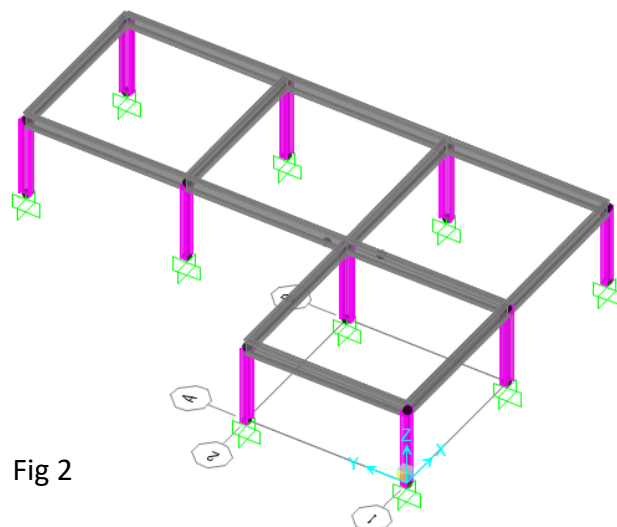
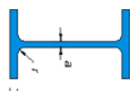


Fig 2

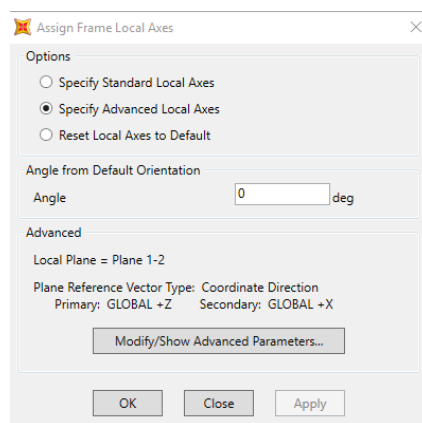
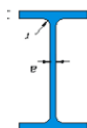
10) Arrivato a questo punto dispongo i pilastri in relazione alle forze che dovranno idealmente andare a contrastare quindi secondo i loro momenti di inerzia. Per fare questo su Sap devo orientare le sezioni :

Assain→Frame→ local axes→Specify advanced local axes→

11) I i pilastri 1-2-3-4-7-8 verranno disposti secondo questa direzione in quanto dovranno opporre un maggiore resistenza.



12) I pilastri 5-6-9-10 verranno disposti secondo questa direzione in quanto dovranno opporre un maggiore minore.



Di ogni pilastro consideriamo i 2 momenti di inerzia secondo le due direzioni x e y e li inseriamo nella struttura a seconda del momento di inerzia e in relazione alla forza che devono contrastare.

Telaio 1 o composto dai pilastri 1-2-3
 inerzia Pilastro 1 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 2 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 3 : 58000 cm^4

Telaio 1 v composto dai pilastri 1-4
 inerzia Pilastro 1 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 4 : 11000 cm^4

Telaio 2 o composto dai pilastri 4-5-6
 inerzia Pilastro 4 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 5 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 6 : 11000 cm^4

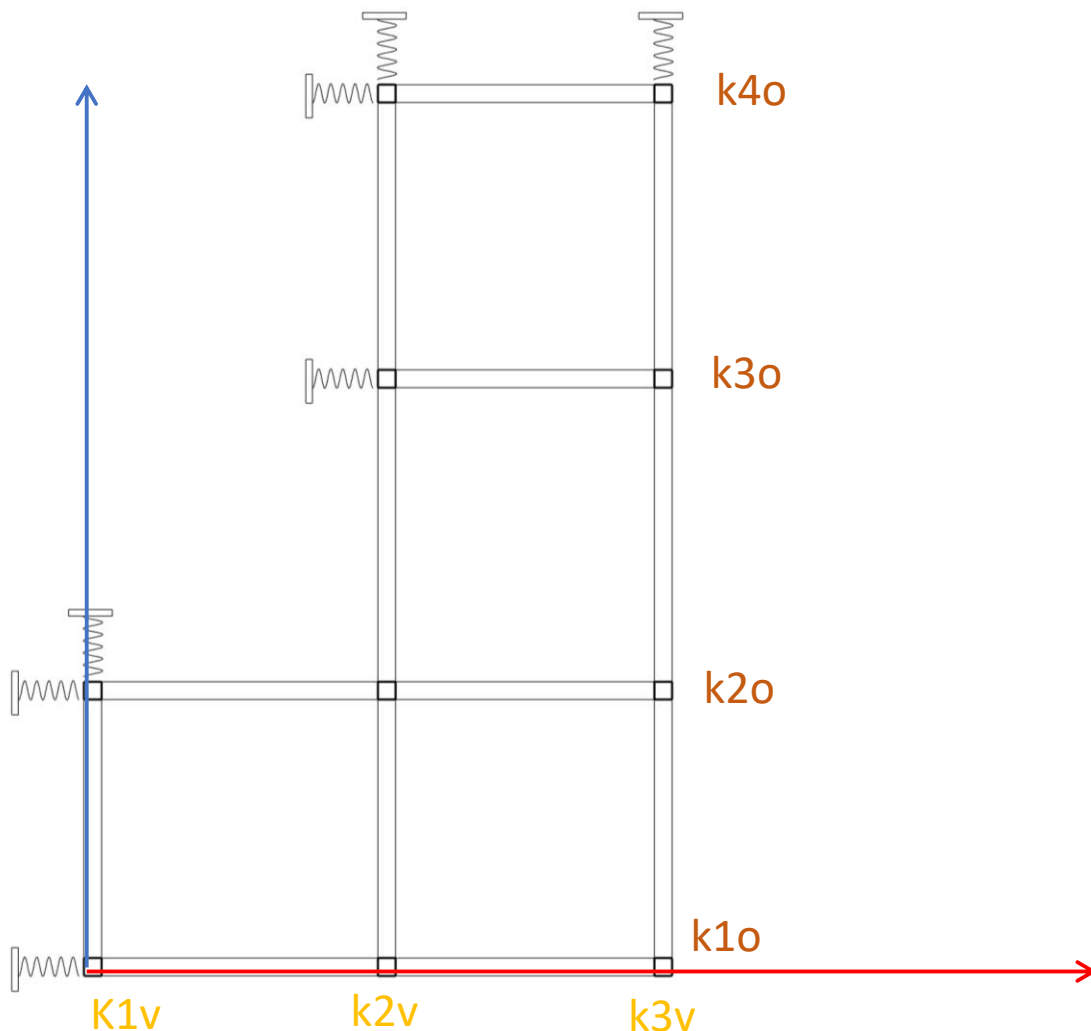
Telaio 2 v composto dai pilastri 2-5-7-9
 inerzia Pilastro 2 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 5 : 58000 cm^4
 inerzia Pilastro 7 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 9 : 58000 cm^4

Telaio 3 o composto dai pilastri 7-8
 inerzia Pilastro 7 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 8 : 58000 cm^4

Telaio 3 v composto dai pilastri 3-6-8-10
 inerzia Pilastro 3 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 6 : 58000 cm^4
 inerzia Pilastro 8 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 10 : 58000 cm^4

Telaio 4 o composto dai pilastri 9-10
 inerzia Pilastro 7 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 8 : 11000 cm^4

13) I controventi per il solaio rappresentano vincoli cedevoli elasticamente sono schematizzati nel piano dell'impalcato come molle, aventi un'adeguata rigidezza . Li vado a rappresentare nel modello.



14) Nel file excel viene calcolata la resistenza traslante di ciascun controvento (telaio) . In oltre dobbiamo specificare i vari momenti di inerzia legati ai pilastri , la loro altezza e il loro modulo Elastico.

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

Telaio 1v	1-4	pilastri che individuano il telaio	Telaio 1o	1-2-3	pilastri che individuano il telaio
E (N/mm ²)	210000,00	modulo di Young	E	210000,00	modulo di Young
H (m)	3,00	altezza dei pilastri	H	3,00	altezza dei pilastri
I ₁ (cm ⁴)	11000,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	58000,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	11000,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	58000,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	-	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	58000,00	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4
K _T (KN/m)	20533,33	rigidezza traslante telaio 1	K _T	162400,00	rigidezza traslante telaio 5
Telaio 2v	2-5-7-9	pilastri che individuano il telaio	Telaio 2o	4-5-6	pilastri che individuano il telaio
E	210000,00	modulo di Young	E	210000,00	modulo di Young
H	3,00	altezza dei pilastri	H	3,00	altezza dei pilastri
I ₁	110000,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	58000,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	58000,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	11000,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	11000,00	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	11000,00	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	58000,00	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4
K _T	221200,00	rigidezza traslante telaio 2	K _T	74666,67	rigidezza traslante telaio 6
Telaio 3v	3-6-8-10	pilastri che individuano il telaio	Telaio 3o	7-8	pilastri che individuano il telaio
E	210000,00	modulo di Young	E	210000,00	modulo di Young
H	3,00	altezza dei pilastri	H	3,00	altezza dei pilastri
I ₁	11000,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₁	58000,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₂	58000,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₂	58000,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₃	11000,00	momento d'inerzia pilastro 3	I ₃	-	momento d'inerzia pilastro 3
I ₄	58000,00	momento d'inerzia pilastro 4	I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4
K _T	128800,00	rigidezza traslante telaio 3	K _T	108266,67	rigidezza traslante telaio 7
Telaio 4o	9-10	pilastri che individuano il telaio	E	210000,00	modulo di Young
E	210000,00	modulo di Young	H	3,00	altezza dei pilastri
H	3,00	altezza dei pilastri	I ₁	11000,00	momento d'inerzia pilastro 1
I ₁	11000,00	momento d'inerzia pilastro 1	I ₂	11000,00	momento d'inerzia pilastro 2
I ₂	11000,00	momento d'inerzia pilastro 2	I ₃	-	momento d'inerzia pilastro 3
I ₃	-	momento d'inerzia pilastro 3	I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4
I ₄	-	momento d'inerzia pilastro 4	K _T	20533,33	rigidezza traslante telaio 4
K _T	20533,33	rigidezza traslante telaio 4			

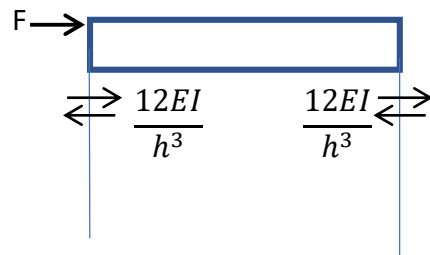
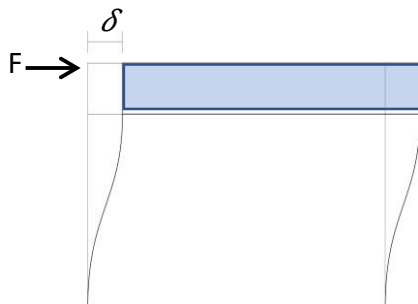
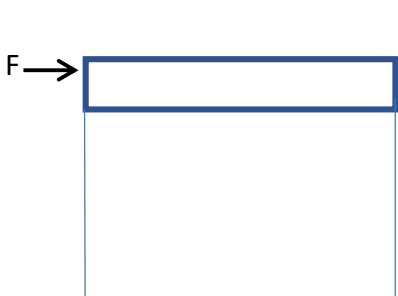
15) Essendo dei telai modellati secondo il modello shear-type la loro rigidezza sarà ricavata come segue .
 La rigidezza caratteristica di ogni singolo pilastro è di $\frac{12EI}{h^3}$. Questa formula parametrica varia al variare del numero di pilastri presenti nel telaio che stiamo analizzando.

$$k = \frac{12E}{h^3} (I_{1+} I_{2+} I_{3+} \dots I_n)$$

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

$$F = k \delta$$

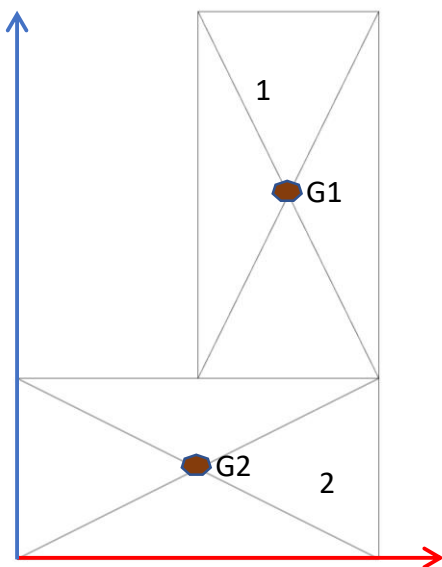
$$k = \left(\frac{12EI}{h^3} + \frac{12EI}{h^3} \right) \delta$$



Una volta riportati tutti i valori nella tabella excel il programma ci restituisce tutti i dati relativi alle rigidezze di ogni controvento sia orizzontale che verticale e le distanze di questi ultimi dal centro del sistema di riferimento da noi scelto .

Step 2: tabella sinottica controventi e distanze		
Kv1(KN/m)	20533,33	rigidezza traslante contr.vert.1
Kv2	221200,00	rigidezza traslante contr.vert.2
Kv3	128800,00	rigidezza traslante contr.vert.3
Kv4	0,00	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	0,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
Ko1(KN/m)	162400,00	rigidezza traslante contr.orizz.1
Ko2	74666,67	rigidezza traslante contr.orizz.2
Ko3	108266,67	rigidezza traslante contr.orizz.3
Ko4	20533,33	rigidezza traslante contr.orizz.4
do2	6,00	distanza verticale controvento punto O
do3	12,00	distanza verticale controvento punto O
do4	18,00	distanza verticale controvento punto O

16) Calcoliamo ora il centro delle aree dell'impalcato: essendo una forma complessa ricavare il centro di massa non è un'operazione immediata come lo sarebbe per una figura semplice quale il rettangolo o un quadrato quindi suddividiamo l'impalcato in figure elementari, appunto, due rettangoli identici .



$$\text{Area 1} = 72 \text{ mq}$$

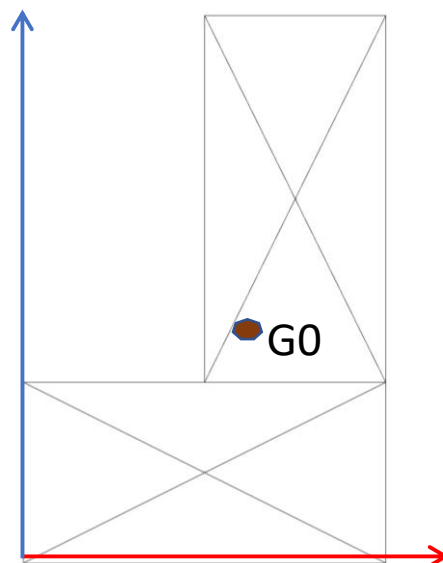
$$\text{Area 2} = 72 \text{ mq}$$

$$\text{Area tot} = 144 \text{ mq}$$

Con queste formule ricavo le coordinate del centro delle aree

$$XG = \frac{A1 \cdot xG1 + A2 \cdot xG2}{A \text{ tot}}$$

$$YG = \frac{A1 \cdot yG1 + A2 \cdot yG2}{A \text{ tot}}$$

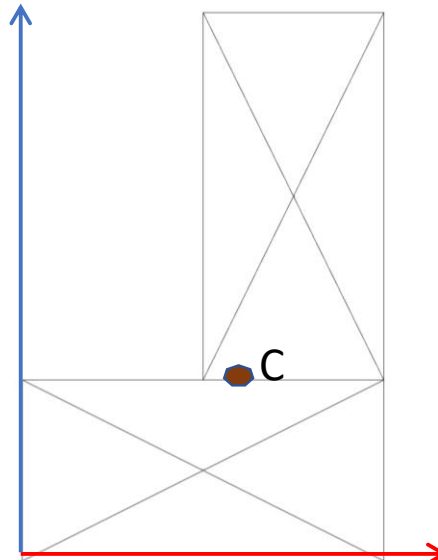
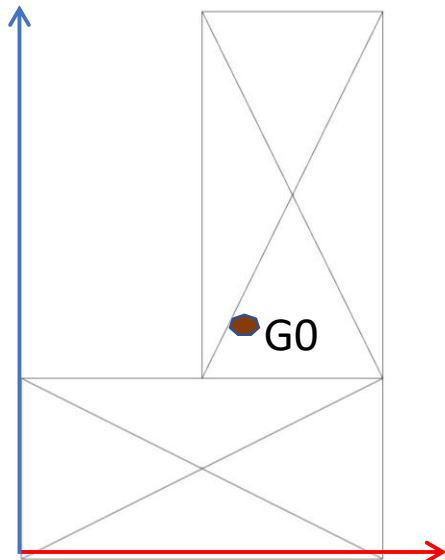


17) Una volta calcolato il centro delle aree passiamo al calcolo del centro delle rigidezze.

$$XC0 = \frac{K1v * d1v0 + k2v * d2v1 + K3v * d3v2}{Kv\ tot}$$

$$YC0 = \frac{k1o * d1o0 + k2o * d2o1 + k3o * d3o2 + k4o * d4o3}{A\ tot}$$

Dal risultato che esce dalle formule il centro di rigidezze non coincide con il centro delle aree.



18) Il file excel una volta inseriti tutti i dati otteniamo questo risultato

19) Il file excel una volta inseriti tutti i dati otteniamo questo risultato

Step 3: calcolo del centro di massa			Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali		
area_1 (mq)	72,00	misura dell'area superficie 1area 1 (misura)	Ko_tot	365866,67	rigidezza totale orizzontale
x_G1 (m)	6,00	coordinata X centro area 1	Kv_tot	370533,33	rigidezza totale verticale
y_G1	3,00	coordinata Y centro area 1	X_C (m)	7,75	coordinata X centro rigidezze
area_2	72,00	misura dell'area superficie 2	Y_C	5,79	coordinata Y centro rigidezze
x_G2	9,00	coordinata X centro area 2	dd_v1	-7,75	distanze controvento dal centro rigidezze
y_G2	12,00	coordinata Y centro area 2	dd_v2	-1,75	distanze controvento dal centro rigidezze
Area tot (mq)	144,00	Area totale impalcato	dd_v3	4,25	distanze controvento dal centro rigidezze
X_G	7,50	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)	dd_v4	-7,75	distanze controvento dal centro rigidezze
Y_G	7,50	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)	dd_o1	-5,79	distanze controvento dal centro rigidezze
			dd_o2	0,21	distanze controvento dal centro rigidezze
			dd_o3	6,21	distanze controvento dal centro rigidezze
			K_φ (KN*m)	13857811,80	rigidezza torsionale totale

20) Dopo aver posizionato centro di massa ed il centro delle rigidezze all'interno del sistema di riferimento in cui abbiamo disegnato l'impalcato ricordo che la forza sismica viene applicata nel centro di massa GO.

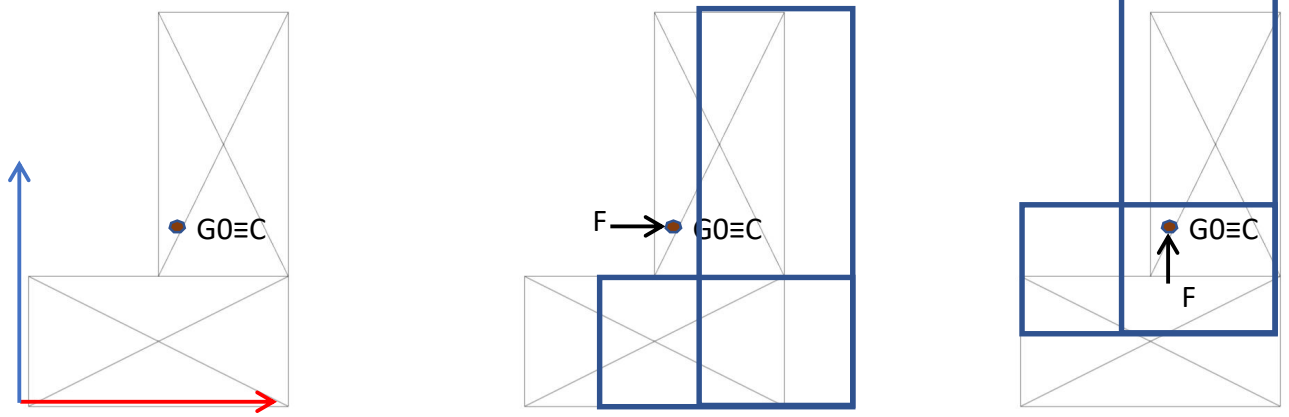
21)Prendo in esame tre possibili scenari

1- centro di massa e centro rigidezze coincidenti

2 -centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza orizzontale

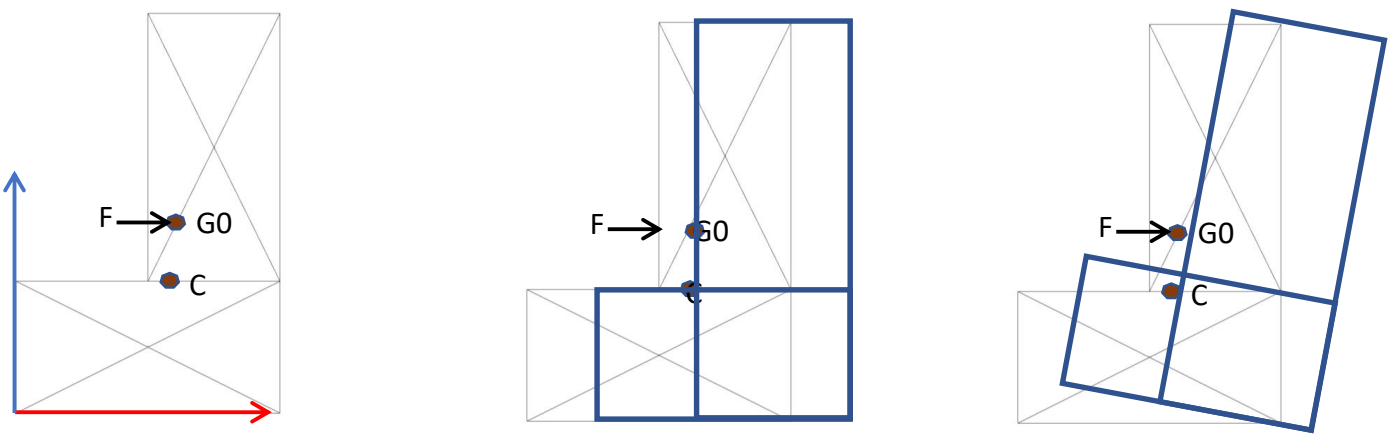
3-centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza verticale

1-centro di massa e centro rigidezze coincidenti e forza verticale e orizzontale concentrata sul centro delle aree



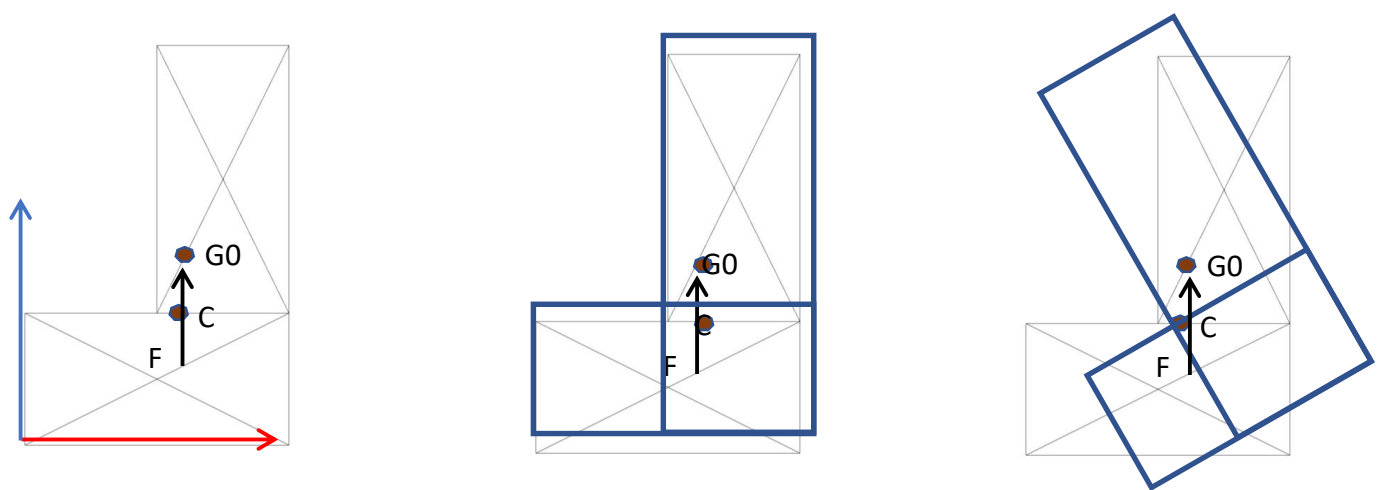
quando il centro di massa e il centro delle rigidezze coincidono qualunque sia la direzione della forza esterna applicata l'impalcato trasla, orizzontalmente o verticalmente a seconda della direzione della forza esterna, ma non ruota.

2 -centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza orizzontale con forza orizzontale



Il corpo subisce una traslazione orizzontale e una rotazione

3 -centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza orizzontale con forza verticale



Il corpo subisce una traslazione verticale e una rotazione

22) Oltre a calcolare le coordinate del centro di rigidezza, ricaviamo anche il valore della rigidezza torsionale calcolando tutte le distanze dei diversi controventi da centro delle Rigidezze C.

Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali		
Ko_tot	36586,67	rigidezze totale orizzontale
Kv_tot	37053,33	rigidezze totale verticale
X_C (m)	7,75	coordinata X centro rigidezze
Y_C	5,79	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-7,75	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-1,75	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	4,25	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	-7,75	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-5,79	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	0,21	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	6,21	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	1385781,18	rigidezze torsionale totale

$$k\phi = kv1 \cdot dd2v1 + kv2 \cdot dd2v2 + kv3 \cdot dd2v3 + kv4 \cdot dd2v4 + ko1 \cdot dd2o1 + ko2 \cdot dd2o2 + ko3 \cdot dd2o3$$

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)	720,00	carico totale permanente
Q (KN)	720,00	carico totale accidentale
ψ	0,80	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	1296,00	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	129,60	Forza sismica orizzontale

23) Di seguito si è svolta l'analisi dei carichi dovuti al sisma per ricavare il valore della forza sismica agente nel centro delle masse (aree).

- q_s = carico permanente strutturale
- q_p = carico permanente
- q_a = carico accidentale

Stralcio della norma NTC 2008

Categoria/Azione variabile	ψ _{0i}	ψ _{1i}	ψ _{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Questi carichi sono combinati per ottenere il

- Carico totale permanente G
- Carico totale accidentale Q

$$G = (q_s + q_p) \cdot Atot$$

$$Q = q_a \cdot Atot$$

Seguendo le direttive della norma NTC 2008 Calcoliamo il peso sismico W.

W = peso sismico

G = carico permanente

ψ_{2j} = coefficiente di contemporaneità

Q = carico accidentale

$$W = G + \psi_{2j} \cdot Q$$

Il peso sismico è accompagnato da un coefficiente di sicurezza che proviene direttamente dalla suddetta norma.

Il peso sismico si esprime in kN e rappresenta la forza dell'edificio che viene sprigionata dal rapporto tra la massa di quest'ultimo e la accelerazione di gravità.

Questa forza varia di luogo in luogo e per stimare questo valore viene aggiunto un coefficiente di intensità c. Abbiamo quindi che

$$F = W \cdot c$$

Ripartizione forze sismiche

Caso 2 impalcato in calcestruzzo armato

1) Disegno su Rhino o direttamente su Sap la pianta del mio impalcato e pongo un centro fittizio degli assi di riferimento che mi aiuterà a trovare il baricentro del solaio.

2) Mediante le formule

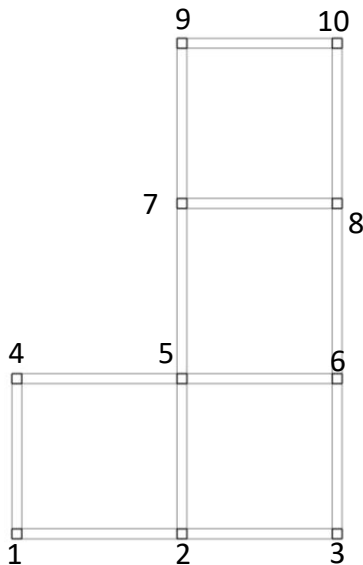
$$x_G = \frac{\delta y}{A_{tot}} \quad y_G = \frac{\delta x}{A_{tot}}$$

Otterrò le coordinate del baricentro che in questo caso non coincidono con il centro delle masse.

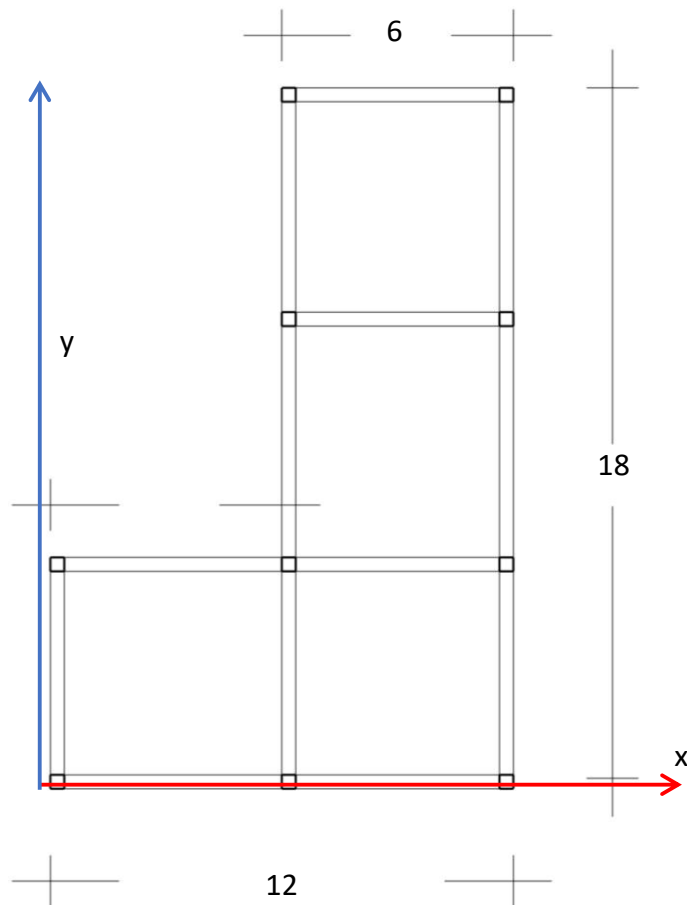
3) Essendo tale struttura composta da telai piani questi possono fungere da controventi e quindi aiutare a trasmettere oltre ai carichi verticali anche quelli dovuti a forze sismiche essendo in grado di resistere alle forze orizzontali.

4) Nel nostro caso individuiamo 7 telai di cui 4 paralleli all'asse x e 3 paralleli all'asse y .

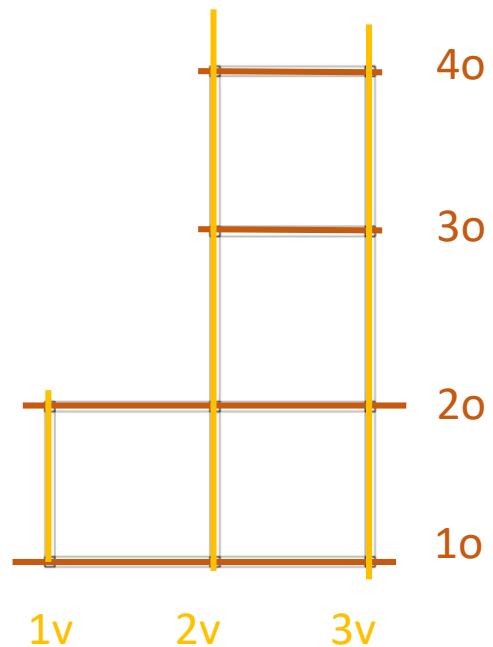
5) Andiamo a numerare le travi .



- Telaio 1 o** composto dai pilastri 1-2-3
- Telaio 2 o** composto dai pilastri 4-5-6
- Telaio 3 o** composto dai pilastri 7-8
- Telaio 4 o** composto dai pilastri 9-10



6) Numeriamo i telai.



- Telaio 1 v** composto dai pilastri 1-4
- Telaio 2 v** composto dai pilastri 2-5-7-9
- Telaio 3 v** composto dai pilastri 3-6-8-10

7) Definiamo su Sap il materiale e rispettivamente per i solai e per le travi del nostro impalcato scegliamo calcestruzzo standard conforme alla norma vigente .

Define Materials

Add Material Property

Region: Italy

Material Type: Concrete

Standard: UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004

Grade: C25/30

OK Cancel

8) Definiamo su Sap le sezioni per i pilastri e per le travi del nostro impalcato e ne osserviamo le caratteristiche meccaniche .

Rectangular Section

Section Name: cls pilastri

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions: Depth (t3): 300, Width (t2): 300

Material: C25/30

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Material Property Data

General Data: Material Name and Display Color: C25/30, Material Type: Concrete

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 2,500E-05, Mass per Unit Volume: 2,549E-09

Isotropic Property Data: Modulus of Elasticity, E: 31476, Poisson, U: 0.2, Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,000E-05, Shear Modulus, G: 13115

Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, fc: 25, Expected Concrete Compressive Strength: 25

OK Cancel

Property Data

Section Name: cls pilastri

Cross-section (axial) area	90000,	Section modulus about 3 axis	4500000,
Moment of Inertia about 3 axis	6,750E+08	Section modulus about 2 axis	4500000,
Moment of Inertia about 2 axis	6,750E+08	Plastic modulus about 3 axis	6750000,
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	6750000,
Shear area in 2 direction	75000,	Radius of Gyration about 3 axis	86,6025
Shear area in 3 direction	75000,	Radius of Gyration about 2 axis	86,6025
Torsional constant	1,141E+09	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

9) Una volta assegnate le sezioni e i materiali alla struttura (fig 1) procedo con il porre i vincoli di incastro a terra (fig 2)

Fig 1

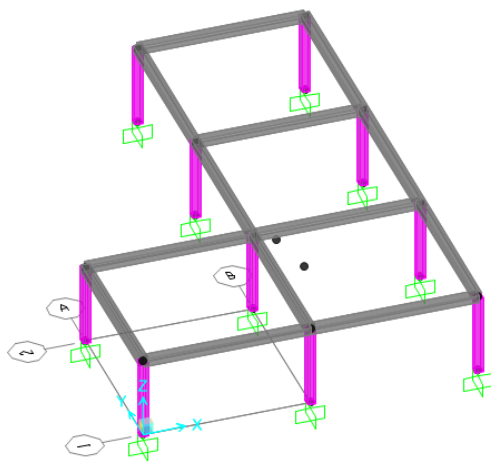
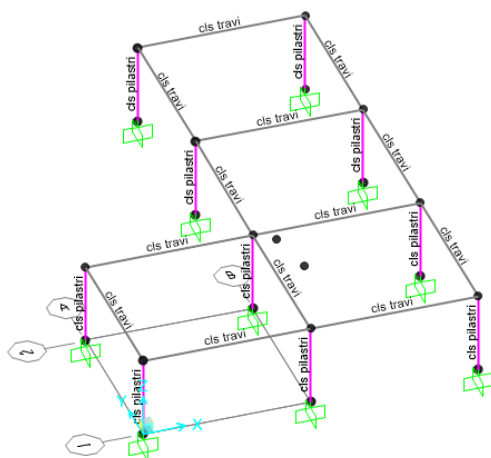


Fig 2



10) Arrivato a questo punto dispongo i pilastri in relazione alle forze che dovranno idealmente andare a contrastare quindi secondo i loro momenti di inerzia.

Nel caso del telaio in cls i pilastri presentano le stesse sezioni delle travi ad essi appoggiati

In linea generale di ogni pilastro consideriamo sempre i 2 momenti di inerzia secondo le due direzioni x e y e li inseriamo nella struttura a seconda del momento di inerzia e in relazione alla forza che devono contrastare.

Telaio 1 o composto dai pilastri 1-2-3
 inerzia Pilastro 1 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 2 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 3 : 58000 cm^4

Telaio 1 v composto dai pilastri 1-4
 inerzia Pilastro 1 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 4 : 11000 cm^4

Telaio 2 o composto dai pilastri 4-5-6
 inerzia Pilastro 4 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 5 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 6 : 11000 cm^4

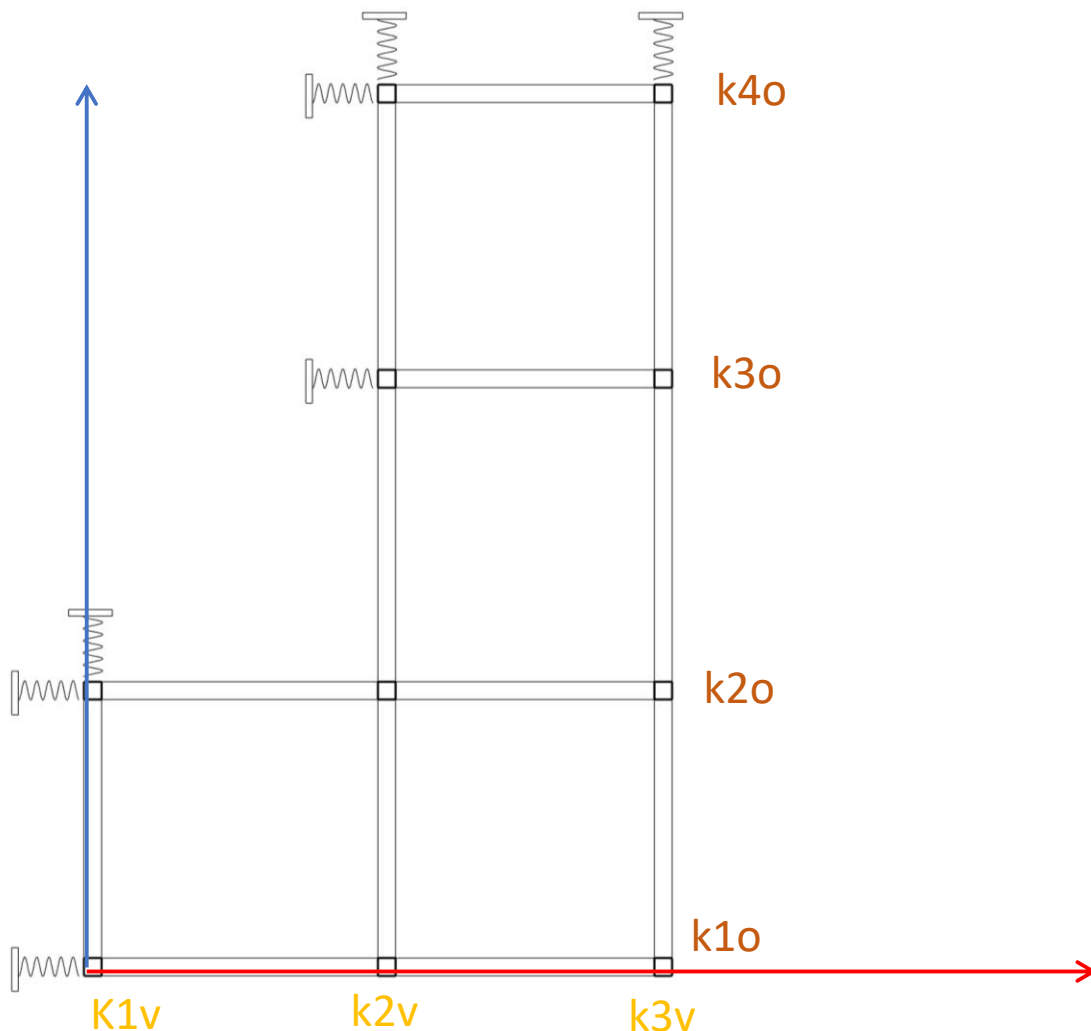
Telaio 2 v composto dai pilastri 2-5-7-9
 inerzia Pilastro 2 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 5 : 58000 cm^4
 inerzia Pilastro 7 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 9 : 58000 cm^4

Telaio 3 o composto dai pilastri 7-8
 inerzia Pilastro 7 : 58000 cm^4
 inerzia pilastro 8 : 58000 cm^4

Telaio 3 v composto dai pilastri 3-6-8-10
 inerzia Pilastro 3 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 6 : 58000 cm^4
 inerzia Pilastro 8 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 10 : 58000 cm^4

Telaio 4 o composto dai pilastri 9-10
 inerzia Pilastro 7 : 11000 cm^4
 inerzia pilastro 8 : 11000 cm^4

11) I controventi per il solaio rappresentano vincoli cedevoli elasticamente sono schematizzati nel piano dell'impalcato come molle, aventi un'adeguata rigidità. Li vado a rappresentare nel modello.



12) Nel file excel viene calcolata la resistenza traslante di ciascun controvento (telaio). In oltre dobbiamo specificare i vari momenti di inerzia legati ai pilastri, la loro altezza e il loro modulo Elastico.

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

Telaio 1v			Telaio 1o		
E (N/mm ²)	31476,00	pilastri che individuano il telaio	E	31476,00	pilastri che individuano il telaio
H (m)	3,00	modulo di Young	H	3,00	modulo di Young
I 1 (cm ⁴)	67500	altezza dei pilastri	I 1	67500	altezza dei pilastri
I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1	I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1
I 3	67500	momento d'inerzia pilastro 2	I 3	67500	momento d'inerzia pilastro 2
I 4	67500	momento d'inerzia pilastro 3	I 4	-	momento d'inerzia pilastro 3
K T (KN/m)	472140000	momento d'inerzia pilastro 4	K T	708210000	momento d'inerzia pilastro 4
		rigidezza traslante telaio 1			rigidezza traslante telaio 5
Telaio 2v			Telaio 2o		
E	31476,00	pilastri che individuano il telaio	E	31476,00	pilastri che individuano il telaio
H	3,00	modulo di Young	H	3,00	modulo di Young
I 1	67500	altezza dei pilastri	I 1	67500	altezza dei pilastri
I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1	I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1
I 3	67500	momento d'inerzia pilastro 2	I 3	67500	momento d'inerzia pilastro 2
I 4	67500	momento d'inerzia pilastro 3	I 4	-	momento d'inerzia pilastro 3
K T	944280000	momento d'inerzia pilastro 4	K T	708210000	momento d'inerzia pilastro 4
		rigidezza traslante telaio 2			rigidezza traslante telaio 6
Telaio 3v			Telaio 3o		
E	31476,00	pilastri che individuano il telaio	E	31476,00	pilastri che individuano il telaio
H	3,00	modulo di Young	H	3,00	modulo di Young
I 1	67500	altezza dei pilastri	I 1	67500	altezza dei pilastri
I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1	I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1
I 3	67500	momento d'inerzia pilastro 2	I 3	-	momento d'inerzia pilastro 2
I 4	67500	momento d'inerzia pilastro 3	I 4	-	momento d'inerzia pilastro 3
K T	944280000	momento d'inerzia pilastro 4	K T	472140000	momento d'inerzia pilastro 4
		rigidezza traslante telaio 3			rigidezza traslante telaio 7
Telaio 4o			Telaio 4o		
E	31476,00	pilastri che individuano il telaio	E	31476,00	pilastri che individuano il telaio
H	3,00	modulo di Young	H	3,00	modulo di Young
I 1	67500	altezza dei pilastri	I 1	67500	altezza dei pilastri
I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1	I 2	67500	momento d'inerzia pilastro 1
I 3	-	momento d'inerzia pilastro 2	I 3	-	momento d'inerzia pilastro 2
I 4	-	momento d'inerzia pilastro 3	I 4	-	momento d'inerzia pilastro 3
K T	472140000	momento d'inerzia pilastro 4	K T	472140000	momento d'inerzia pilastro 4
		rigidezza traslante telaio 4			rigidezza traslante telaio 4

12) Essendo l'impalcato composto da pilastri in cls la loro rigidezza sarà ricavata come segue .

La rigidezza caratteristica di ogni singolo pilastro è di $\frac{3EI}{h^3}$. Questa formula parametrica varia al variare del numero di pilastri presenti nel telaio che stiamo analizzando.

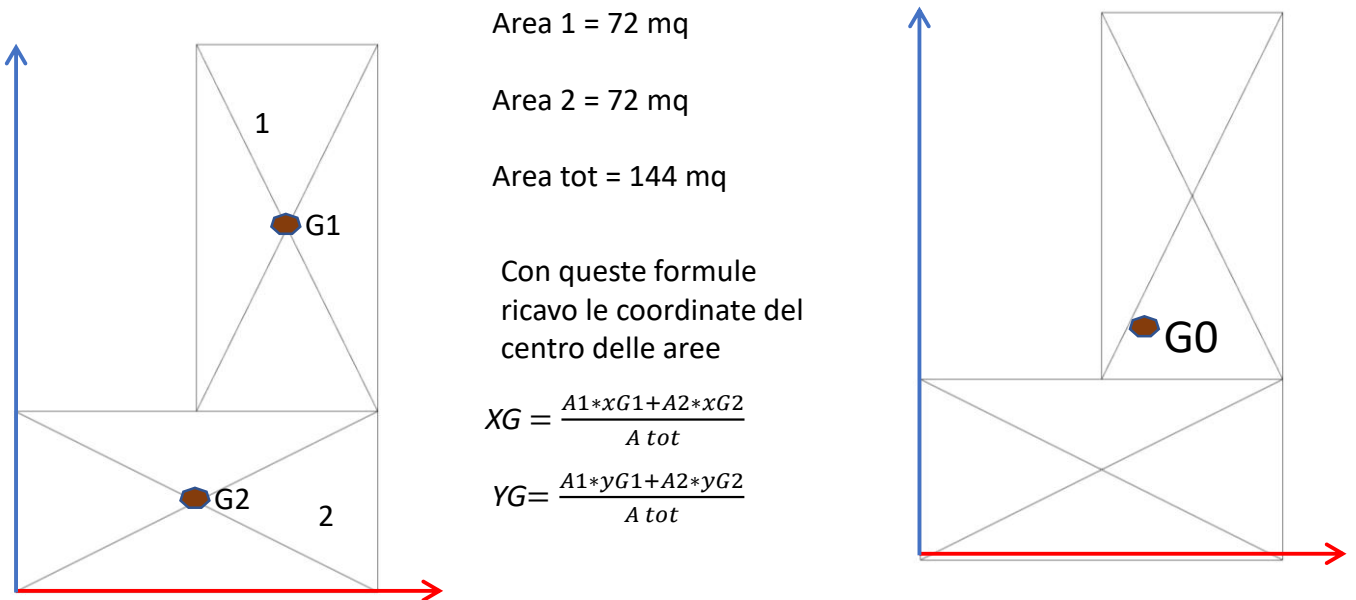
$$k = \frac{3E}{h^3} (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)$$

Step 2: tabella sinottica controventi e distanze		
Kv1(KN/m)	472140000,00	rigidezza traslante contr.vert.1
Kv2	944280000,00	rigidezza traslante contr.vert.2
Kv3	944280000,00	rigidezza traslante contr.vert.3
Kv4	0,00	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	0,00	distanza orizzontale controvento dal punto O
Ko1(KN/m)	708210000,00	rigidezza traslante contr.orizz.1
Ko2	708210000,00	rigidezza traslante contr.orizz.2
Ko3	472140000,00	rigidezza traslante contr.orizz.3
Ko4	472140000,00	rigidezza traslante contr.orizz.4
do2	6,00	distanza verticale controvento punto O
do3	12,00	distanza verticale controvento punto O
do4	18,00	distanza verticale controvento punto O

Una volta riportati tutti i valori nella tabella excel il programma ci restituisce tutti i dati relativi alle rigidezze di ogni controvento sia orizzontale che verticale e le distanze di questi ultimi dal centro del sistema di riferimento da noi scelto .

13) Calcoliamo ora il centro delle aree dell'impalcato: essendo una forma complessa

ricavare il centro di massa non è un'operazione immediata come lo sarebbe per una figura semplice quale il rettangolo o un quadrato quindi suddividiamo l'impalcato in figure elementari, appunto, due rettangoli identici .

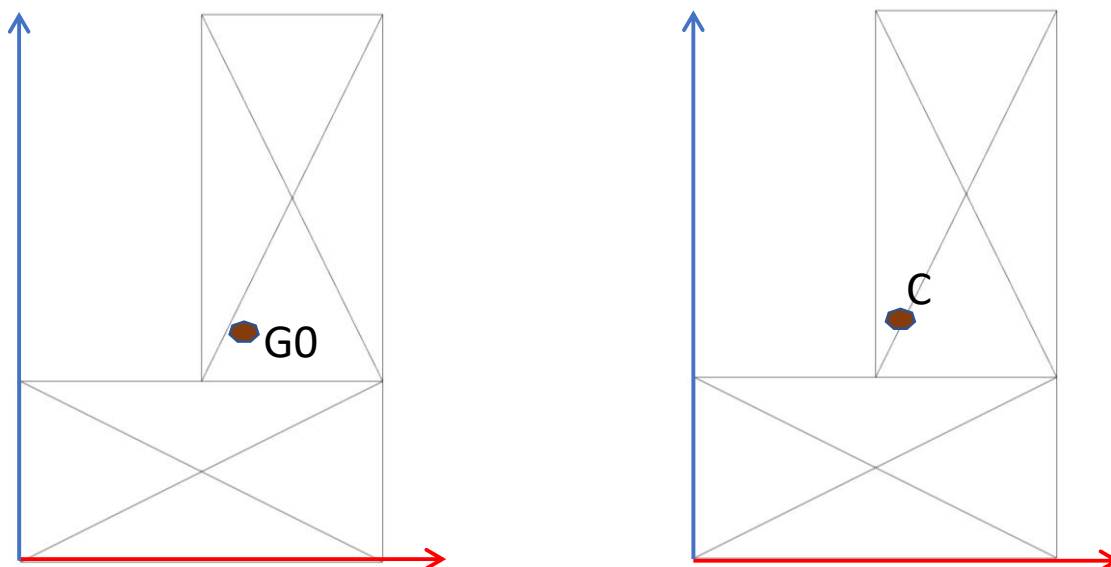


14) Una volta calcolato il centro delle aree passiamo al calcolo del centro delle rigidezze mediante l'utilizzo delle formule:

$$XC0 = \frac{K1v \cdot d1v0 + k2v \cdot d2v1 + K3v \cdot d3v2}{Kv \text{ tot}}$$

$$YC0 = \frac{k1o \cdot d1o0 + k2o \cdot d2o1 + k3o \cdot d3o2 + k4o \cdot d4o3}{A \text{ tot}}$$

Dal risultato che esce dalle formule il centro di rigidezze e molto vicino al centro delle aree però i due punti non sono coincidenti.



15) Il file excel una volta inseriti tutti i dati otteniamo questo risultato

Step 3: calcolo del centro di massa		
area_1 (mq)	72,00	misura dell'area superficie 1 area 1 (misura)
x_G1 (m)	6,00	coordinata X centro area 1
y_G1	3,00	coordinata Y centro area 1
area_2	72,00	misura dell'area superficie 2
x_G2	9,00	coordinata X centro area 2
y_G2	12,00	coordinata Y centro area 2
Area tot (mq)	144,00	Area totale impalcato
X_G	7,50	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)
Y_G	7,50	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)

16) Il file excel una volta inseriti tutti i dati otteniamo questo risultato

Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali		
Ko_tot	2360700000,00	rigidezza totale orizzontale
Kv_tot	2360700000,00	rigidezza totale verticale
X_C (m)	7,20	coordinata X centro rigidezze
Y_C	7,80	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-7,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-1,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	4,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	-7,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-7,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	-1,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	4,20	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	101302358400,00	rigidezza torsionale totale

17) Dopo aver posizionato centro di massa ed il centro delle rigidezze all'interno del sistema di riferimento in cui abbiamo disegnato l'impalcato ricordo che la forza sismica viene applicata nel centro di massa G0.

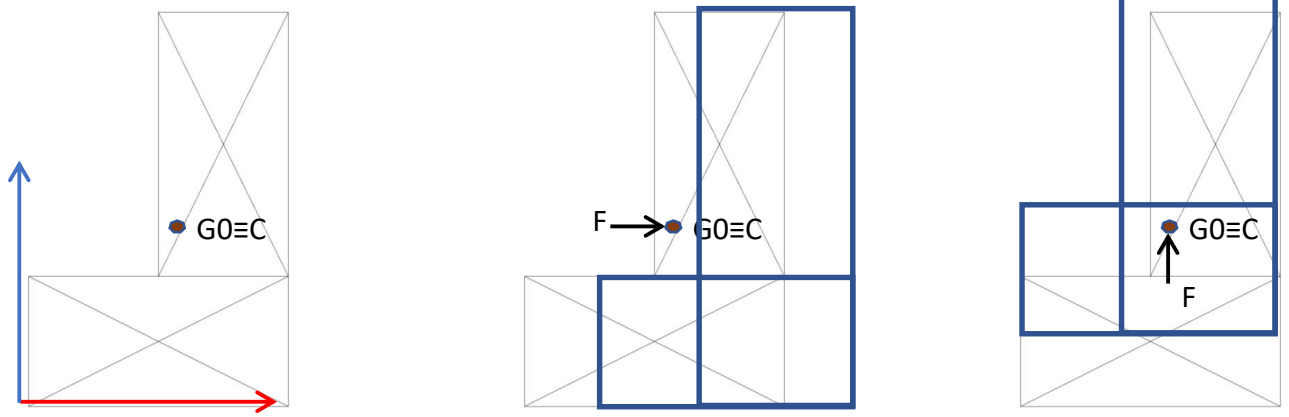
18) Prendo in esame tre possibili scenari

1- centro di massa e centro rigidezze coincidenti

2 -centro di massa e centro di rigidezze non coincidenti con forza orizzontale

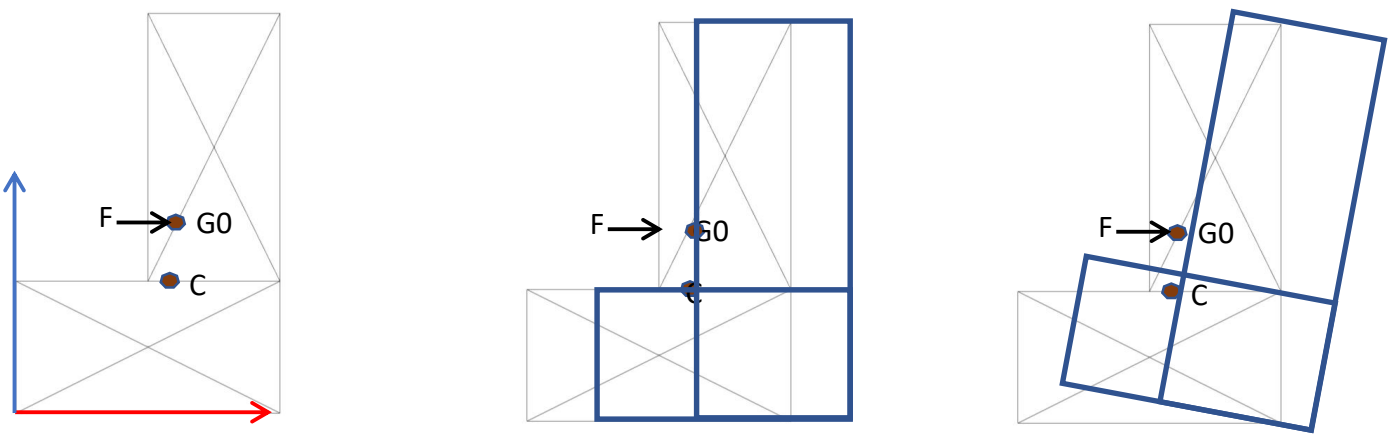
3-centro di massa e centro di rigidezze non coincidenti con forza verticale

1-centro di massa e centro rigidezze coincidenti e forza verticale e orizzontale concentrata sul centro delle aree



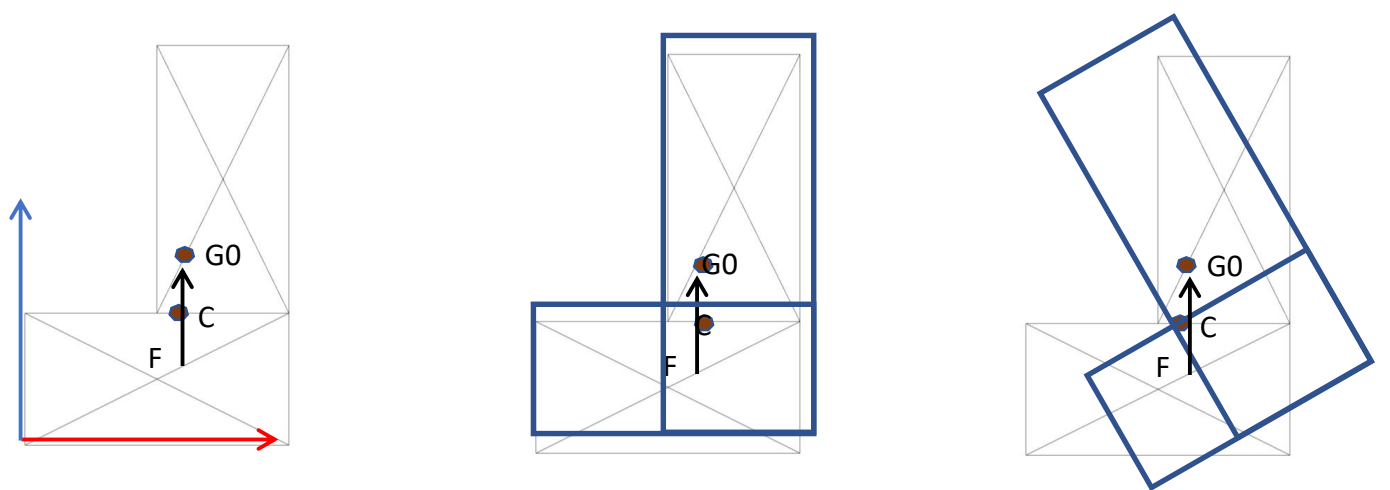
quando il centro di massa e il centro delle rigidezze coincidono qualunque sia la direzione della forza esterna applicata l'impalcato trasla, orizzontalmente o verticalmente a seconda della direzione della forza esterna, ma non ruota.

2 -centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza orizzontale con forza orizzontale



Il corpo subisce una traslazione orizzontale e una rotazione

3 -centro di massa e centro di rigidezza non coincidenti con forza orizzontale con forza verticale



Il corpo subisce una traslazione verticale e una rotazione

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

Ko_tot	2360700000,00	rigidezze totale orizzontale
Kv_tot	2360700000,00	rigidezze totale verticale
X_c (m)	7,20	coordinata X centro rigidezze
Y_c	7,80	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-7,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-1,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	4,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	-7,20	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-7,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	-1,80	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	4,20	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (kN*m)	101302358400,00	rigidezze torsionale totale

19) Oltre a calcolare le coordinate del centro di rigidezze, ricaviamo anche il valore della rigidezze torsionale calcolando tutte le distanze dei diversi controventi da centro delle Rigidezze C.

$$k\phi = kv1 \cdot dd2v1 + kv2 \cdot dd2v2 + kv3 \cdot dd2v3 + kv4 \cdot dd2v4 + ko1 \cdot dd2o1 + ko2 \cdot dd2o2 + ko3 \cdot dd2o3$$

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)	720,00	carico totale permanente
Q (KN)	720,00	carico totale accidentale
ψ	0,80	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	1296,00	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	129,60	Forza sismica orizzontale

20) Di seguito si è svolta l'analisi dei carichi dovuti al sisma per ricavare il valore della forza sismica agente nel centro delle masse (aree).

- q_s = carico permanente strutturale
- q_p = carico permanente
- q_a = carico accidentale

Stralcio della norma NTC 2008

Categoria/Azione variabile	ψ _{0i}	ψ _{1i}	ψ _{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Questi carichi sono combinati per ottenere il

- Carico totale permanente G
- Carico totale accidentale Q

$$G = (q_s + q_p) \cdot Atot$$

$$Q = q_a \cdot Atot$$

Seguendo le direttive della norma NTC 2008 Calcoliamo il peso sismico W.

W = peso sismico

G = carico permanente

ψ_{2j} = coefficiente di contemporaneità

Q = carico accidentale

$$W = G + \psi_{2j} \cdot Q$$

Il peso sismico è accompagnato da un coefficiente di sicurezza che proviene direttamente dalla suddetta norma.

Il peso sismico si esprime in kN e rappresenta la forza dell'edificio che viene sprigionata dal rapporto tra la massa di quest'ultimo e la accelerazione di gravità.

Questa forza varia di luogo in luogo e per stimare questo valore viene aggiunto un coefficiente di intensità c. Abbiamo quindi che

$$F = W \cdot c$$