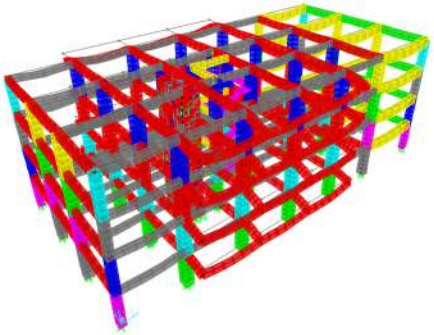
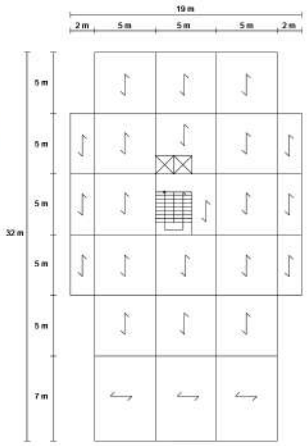
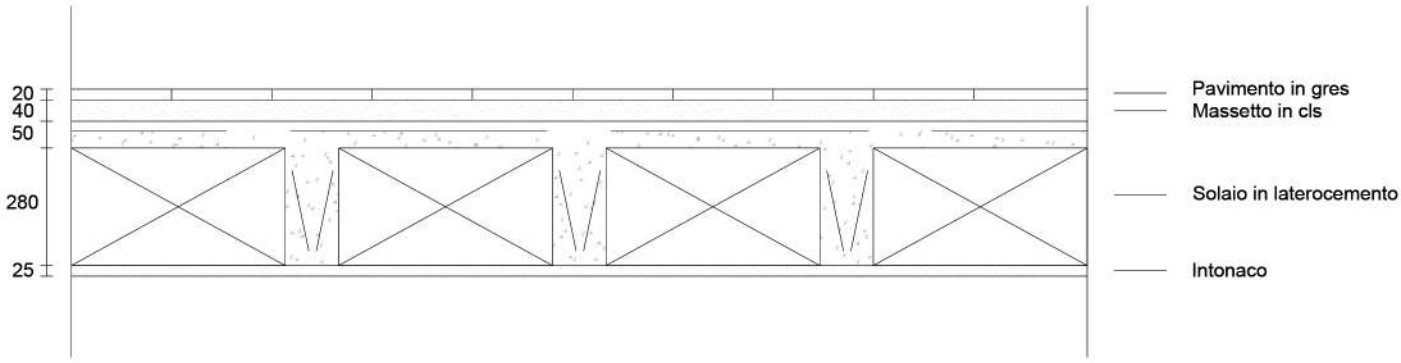
0 - Creazione del progetto

In questa esercitazione si vuole dimensionare strutturalmente una palazzina residenziale di 4 piani di dimensioni 19x32 mq e di altezza 12 m con un telaio composto da travi principali e secondarie, pilastri e blocchi scala e ascensore interni. Il materiale che viene impiegato è il calcestruzzo C20/25.





1 - Analisi dei carichi - Solaio in laterocemento



Analisi carico strutturale del solaio "Gk1"

P travetti in c.a. (approssimati a rettangoli): 1.1 KN/mq
P pignatte: 1.06 KN/mq
P soletta in c.a.: 1.25 KN/mq
TOTALE: 3.41 KN/mq

→ Calcolo effettuato nell'unità di superficie:
P=Area elemento x P. specifico / interasse

→ **P=Spessore x P. specifico**

Analisi carico non strutturale (permanente) "Gk2"

P pavimentazione in gres: 0.4 KN/mq
P massetto: 0.8 KN/mq
P intonaco: 0.4 KN/mq
Incidenza tramezzi + incidenza impianti secondo NTC2018: 1.6 KN/mq
TOTALE: 3.2 KN/mq

Analisi carico variabile (accidentale) "Qk1"

P Civile abitazione secondo NTC2018: 2 KN/mq

Combinazioni secondo NTC2018:

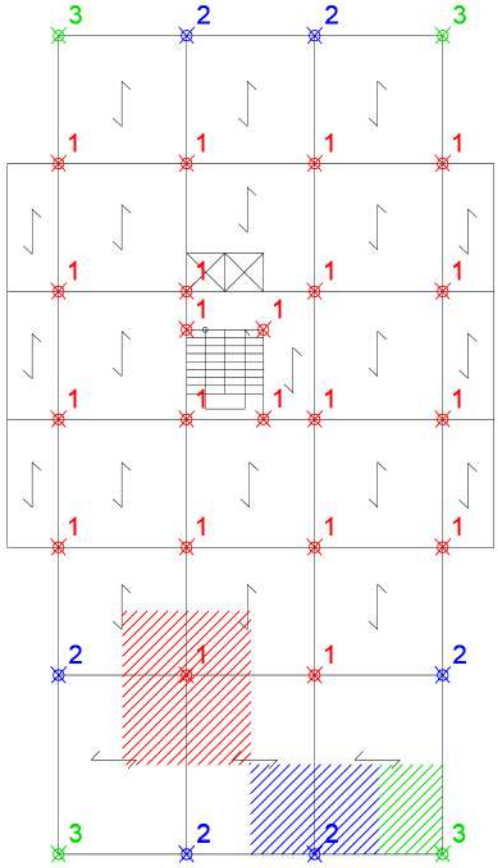
Carico SLU: $\delta_{G1}Gk1+\delta_{G2}Gk2+\delta_{Qk1}Qk1$ = 12.233 KN/mq

Carico SLE: Gk1+Gk2+Qk1 = 8.61 KN/mq

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[1]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

2 - Pre-dimensionamento pilastri (pilastrata)

Una volta trovato il carico q allo SLU, si procede ad effettuare un primo dimensioamento dei pilastri tramite metodo della pilastrata, trovando lo sforzo normale di compressione per tutti i pilastri. Si sceglie di discretizzare in gruppi di pilastri secondo quanto segue:



1 - Pilastri interni
2 - Pilastri perimetrali
3 - Pilastri angolari

Per il metodo della pilastrata si procede quanto segue:

N = (Area di influenza) x (Carico q SLU) x (numero di piani)

Nota: si scelgono le aree di influenza più grandi per ogni gruppo discretizzato in modo da soddisfare tutte le luci presenti nel progetto (le aree che vengono utilizzate nei calcoli sono evidenziate con un retino colorato).

Dati di partenza: q =12.233 KN/mq n piani = 4

1 - Pilastri interni

Area influenza max = 30 mq N = 30 mq x 12.233 KN/mq x 4 =1467.96 KN

2 - Pilastri perimetrali

Area influenza max = 17.5 mq N = 17.5 mq x 12.233 KN/mq x 4 =856.31 KN

3 - Pilastri angolari

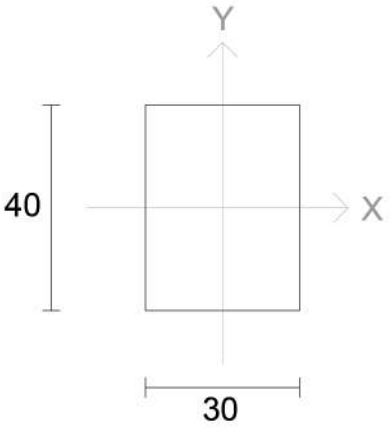
Area influenza max = 8.75 mq N = 8.75 mq x 12.233 KN/mq x 4 =428.155 KN

Una volta ottenuti gli sforzi normali, si procede al primo dimensionamento sfruttando le formule di dimensionamento a compresione (σ=N/A) e facendo attenzione all'instabilità euleriana (Inerzia minima e rho minimo). Si sceglie di progettare i pilastri in calcestruzzo di classe C20/25 (Fck= 20 Mpa). I pilastri si considerano come isolati e incastrati alla base (Lunghezza di influenza=2 x Luce) e come altezza di ogni pilastro si considera H=3 m.

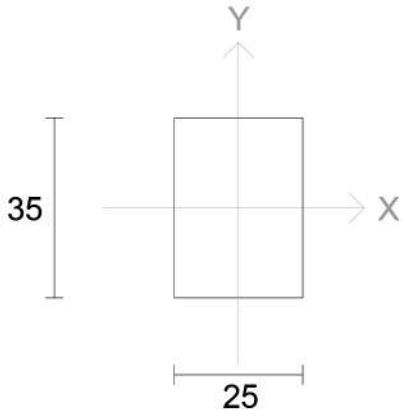
Calcoli e sezioni si trovano alla pagina successiva

Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)					Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)						Ingegnerizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)			
N	fck	γ_{m0}	fcd	A_min	E	beta	l	Lam*	rho_min	I_min	A_design	I_design	rho_min	lam
kN	N/mm2		N/mm2	cm2	Mpa		m		cm	cm4	cm2	cm4	cm	
1467,96	20,00	1,50	13,33	1100,97	22000,00	2,00	3,00	127,61	4,70	24339	1200,0	90000	8,67	69,20
856,31	20,00	1,50	13,33	642,23	22000,00	2,00	3,00	127,61	4,70	14197	875,0	45573	8,42	71,26
428,16	20,00	1,50	13,33	321,12	22000,00	2,00	3,00	127,61	4,70	7099	600,0	20000	7,89	76,05

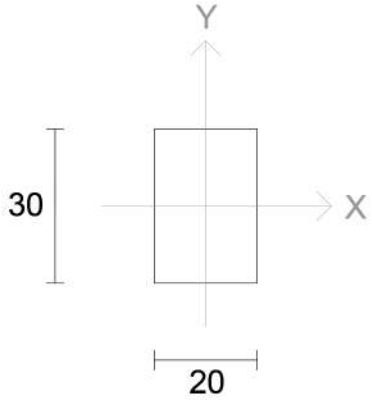
Prima fila: Pilastro interno (1)
Seconda fila: Pilastro perimetrale (2)
Terza fila: Pilastro angolare (3)



1 - Pilastri interni



2 - Pilastri perimetrali



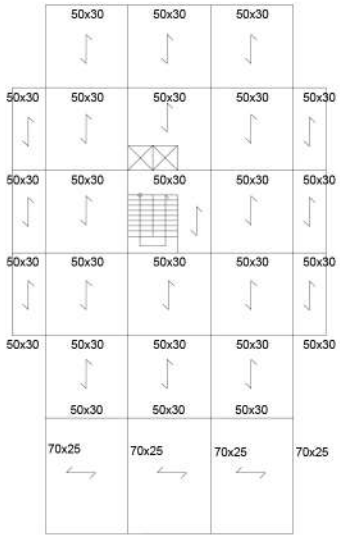
3 - Pilastri angolari

In tutte le sezioni rettangolari il momento di inerzia minimo utilizzato per trovare il raggio di inerzia minimo nella verifica della snellezza (<200 in NTC2018) è quello attorno all'asse Y: $I_y = 1/12\ (h/b^3)$

Tutte le sezioni sono quindi verificate all'instabilità euleriana e rientrano nel limite di snellezza da normativa.

3 - Pre-dimensionamento "pratico" delle travi principali

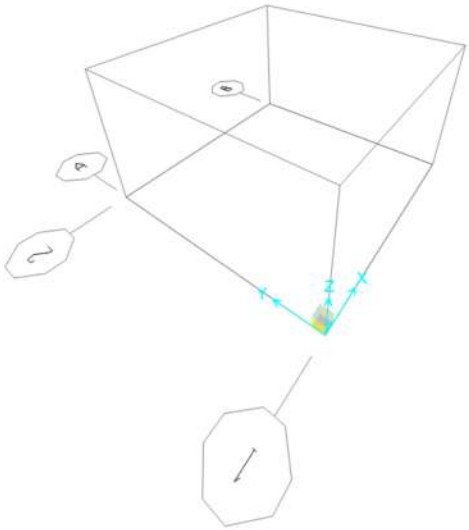
Anche per le travi, prima di entrare in SAP ,si utilizza il metodo "pratico" per il pre-dimensionamento delle travi in c.a. dove H=1/10 luce. Le sezioni saranno poi inserite nel programma e ri-calcolcate a flessione dopo l'analisi.

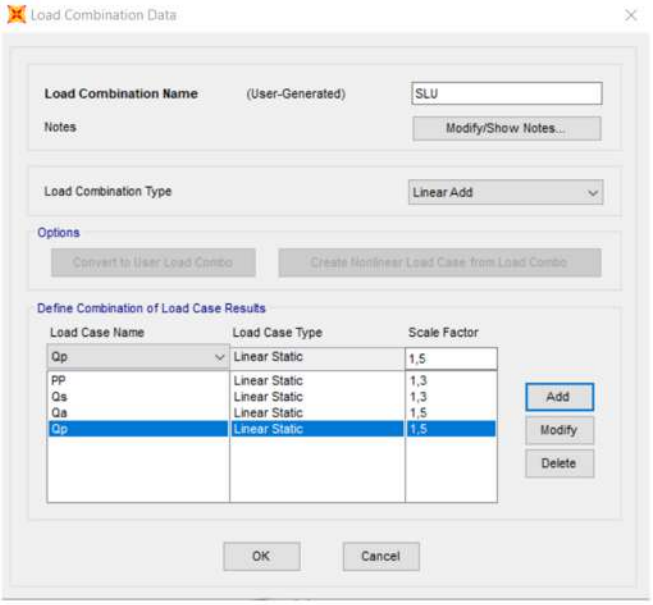


Nella prima modellazione in SAP si useranno quindi le seguenti sezioni, la cui base viene calcolata in funzione del posizionamento dei pilastri, il quale verrà a sua volta verificato successivamente dopo l'analisi, orientando l'asse forte della sezione nella direzione del momento massimo.

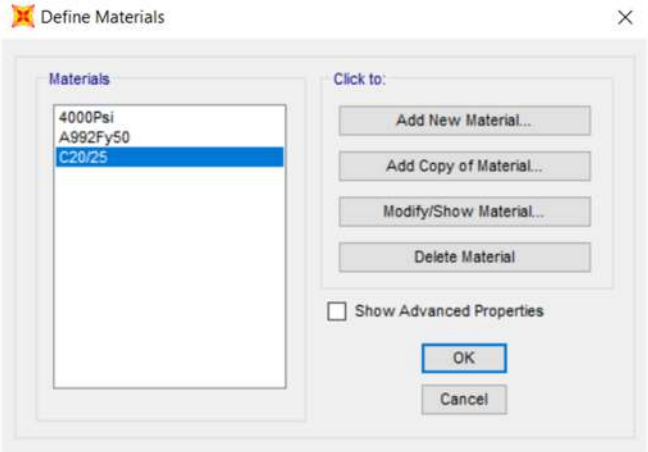
4 - Modellazione su SAP2000

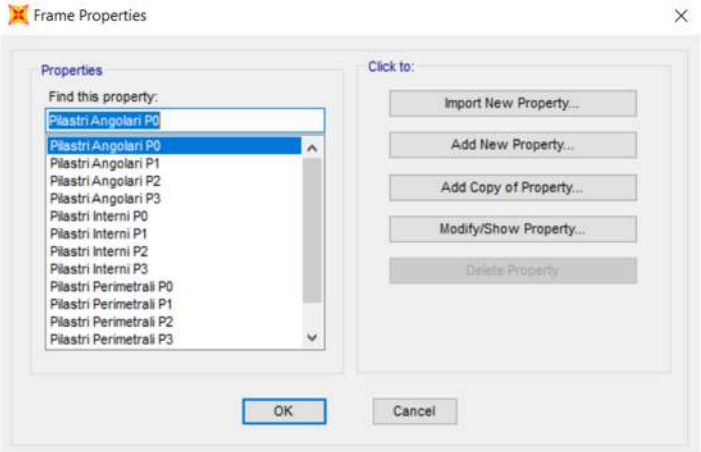
La modellazione inizia con la definizione del primo telaio che verrà moltiplicato con dimensioni 5x5x3 mc e con la definizione dei carichi Qa (accidentale), Qs (strutturale), Qp (permanente) e PP (peso proprio). I carichi vengono poi riuniti nella combinazione allo SLU in "Load combination" come già fatto nella prima tavola.



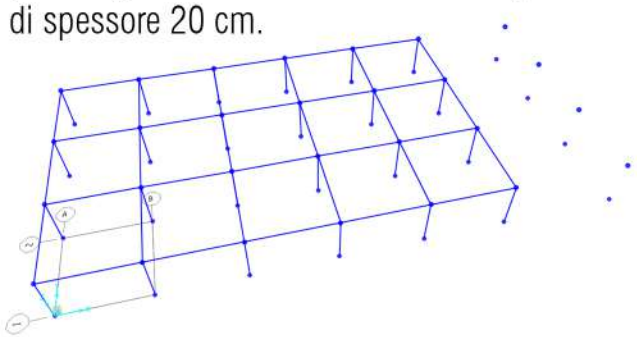


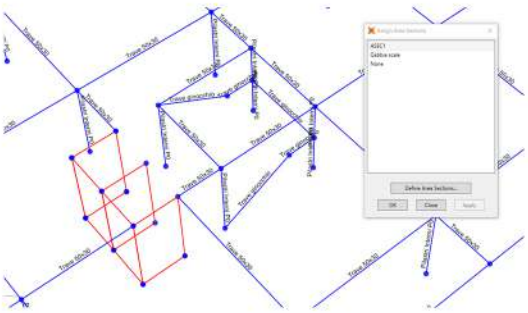
Si defiscono poi il materiale (C20/25) tramite "Define materials" e le sezioni trovate con i predimensionamenti tramite "Define section properties", facendo attenzione nel caso dei pilastri a discretizzarli per ogni piano in maniera tale da studiarne il fenomeno dell'eccentricità in fase di analisi.



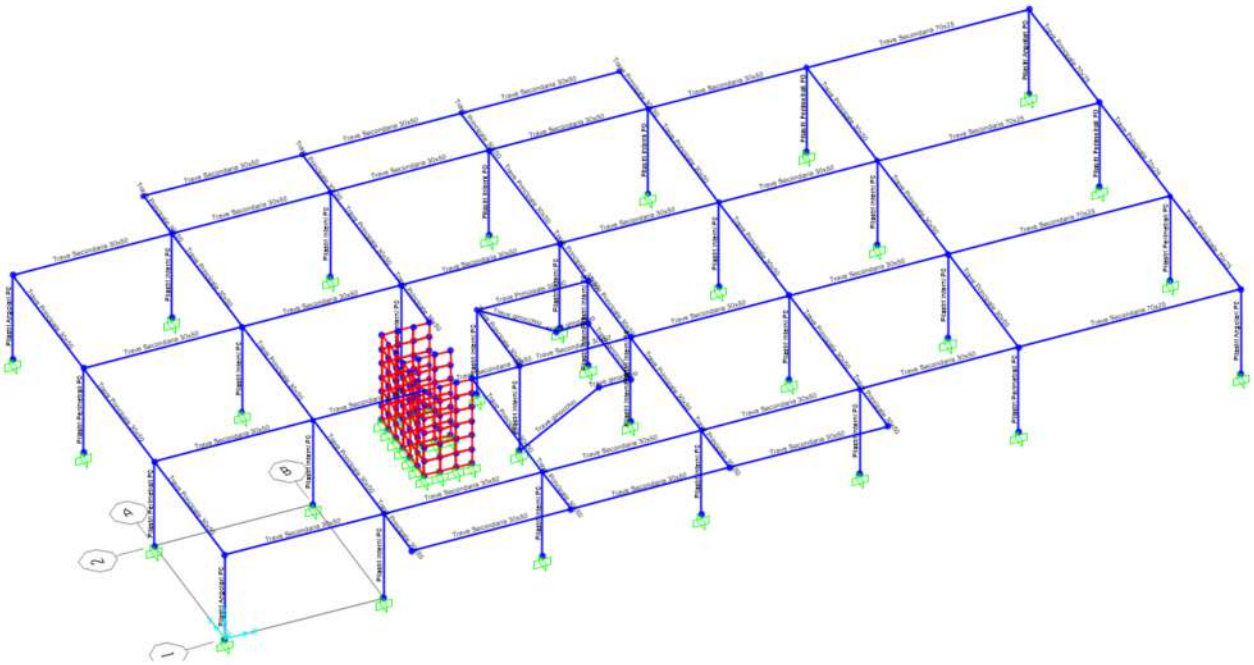


Tramite i comandi "Replicate" (Ctrl+R) e il comando "Draw special points" si definisce tutto il primo piano. Nel caso delle scale occorre costruire le travi a ginocchio, spezzando travi e pilastri con il comando "Edit lines -> divide frames" selezionando la seconda opzione. Nel caso della gabbia scale si costruiscono setti con "Draw poly area" e si discretizza con il comando "Edit areas", considerando anche qui la seconda opzione. Per quanto riguarda il setto se ne definisce prima l'area con il comando "Define section areas", costruendone uno di spessore 20 cm.

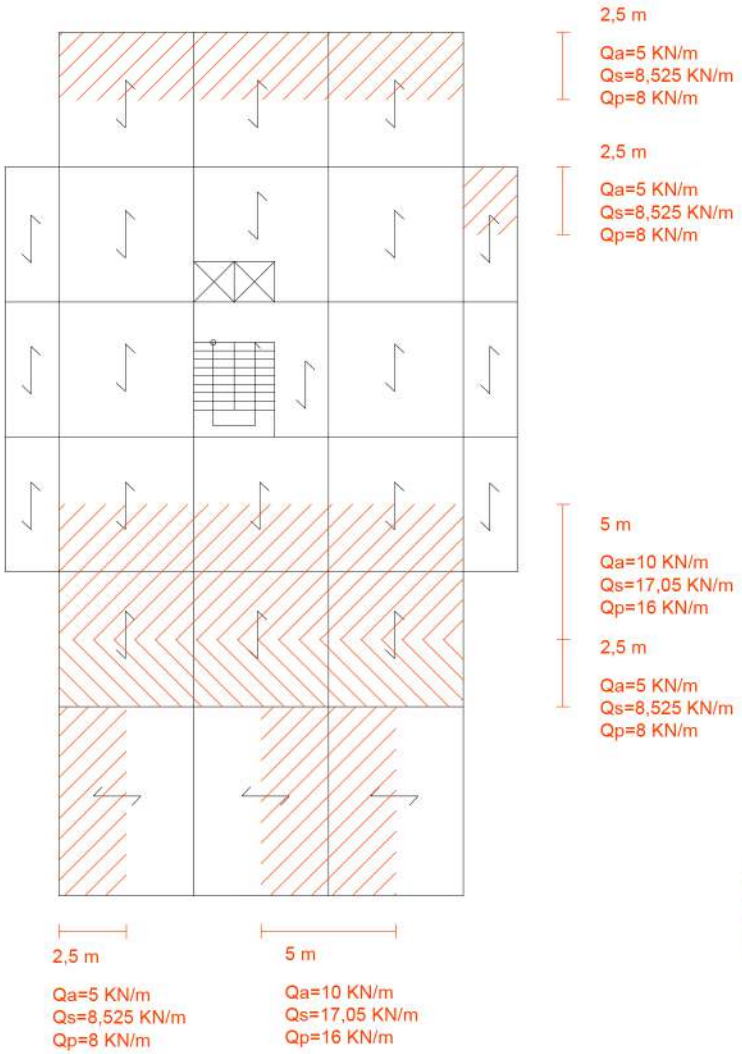




La modellazione procede con l'assegnazione delle sezioni di travi e pilastri come da progetto (visto in tavole precedenti) e con l'aggiunta dei restraints ad incastro alla base di pilastri e del setto discretizzato (Assign -> restraints)



Si definiscono quindi i carichi studiando prima l'area di influenza di tutte le travi principali

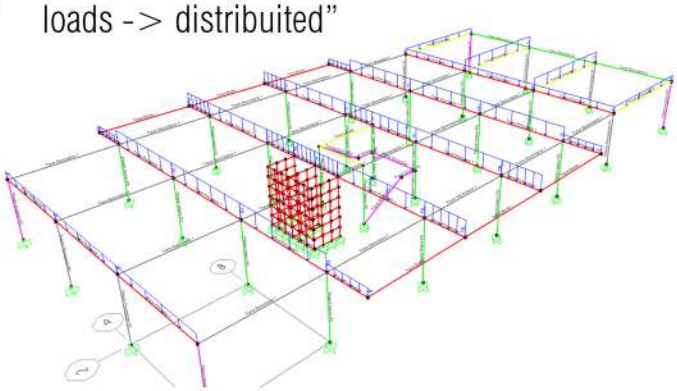


Nel disegno si studiano alcuni casi tipo nell'intera pianta e si fa poi attenzione ad assegnare i giusti carichi alle travi su SAP. Si ricorda che per trovare il carico distribuito si esegue: $L_{influenza}$ x Carico q

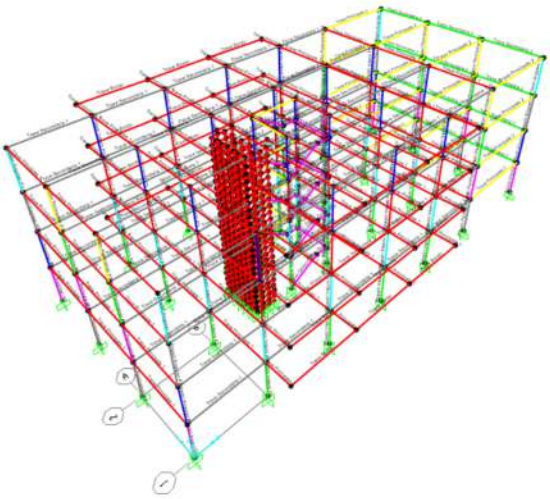
Da notare che **occorre fare attenzione ai cambi di orientamento dei solai, studiando solo i carichi ripartiti sulle travi principali** che sono perpendicolari alla direzione dei travetti.

NOTA: in questa esercitazione i carichi ripartiti si calcolano NON considerando le bucature create da scale e ascensori.

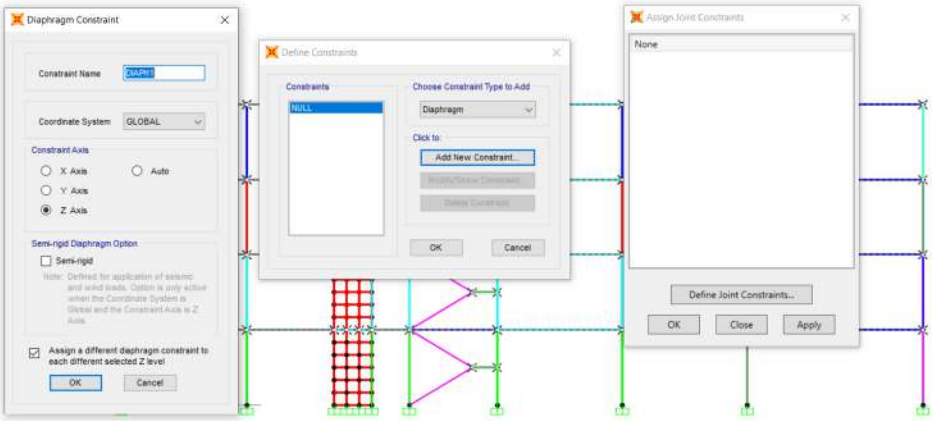
I carichi Qa, Qs e Qp verranno assegnati alle travi di riferimento con il comando "Assign -> Frame loads -> distribuited"



Si completa infine la modellazione dell'edificio replicando 3 volte tutte le sezioni e i carichi ripartiti sul piano terra. Si sostituiscono poi i pilastri con le sezioni create specificamente per ogni piano. In totale si avranno 3 gruppi di pilastri per ogni piano (P0, P1, P2, P3).



Assegno inoltre la condizione di Diaprhagm per tutti i piani per dare alla struttura la condizione di impalcato rigido. Questa impostazione serve per far si che tutte le rotazioni siano uguali attorno all'asse Z. Occorre inoltre fare attenzione a suddividere i diaprhagm per ogni piano spuntando la casella "Assign a different diaphragm..."



6 - Analisi e dimensionamento utilizzando SAP ed Excel

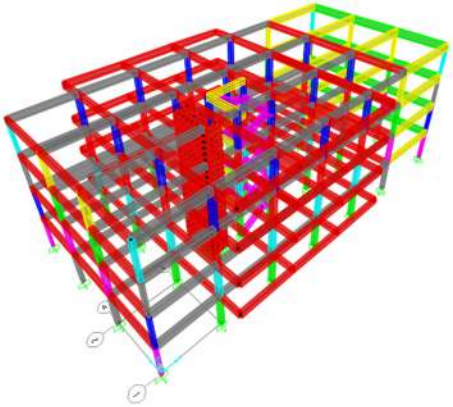
Una volta lanciata la prima analisi sulla combinazione "SLU", prima di estrarre qualunque tabella per lavorarci su Excel, si procede con l'orientare correttamente i pilastri. Secondo la legge di Navier il momento di inerzia e la flessione sono direttamente collegati all'interno del concetto di tensione. Da ciò deriva il fatto che occorre abbinare il momento di inerzia maggiore con la flessione maggiore e nel 3D occorre capire in funzione degli assi locali in quale direzione c'è maggiore momento di sollecitazione per i pilastri, se verso l'asse 22 o l'asse 33.

Nel caso di questo progetto, orientare i pilastri in maniera corretta è molto importante in quanto non sono quadrati e quindi non hanno lo stesso momento di inerzia per entrambi gli assi di sezione (X e Y), come anche visto nella tavola di predimensionamento a pilastrata.

Si procede quindi in questa maniera: si lanciano più analisi e volta per volta (preferibilmente nel 2D) si controlla che l'inerzia maggiore sia corrispondente alla flessione maggiore. Per ruotare i pilastri basta fare "assign -> frame -> local axis -> 90° "

Nell'orientare correttamente i pilastri occorre prestare attenzione ai momenti più rilevanti e da quale direzione arrivano. Si consiglia di controllare anche in 3D se i risultati siano coerenti in funzione dei carichi ripartiti sulle travi principali e sulla geometria dell'edificio (ad esempio se presenta sbalzi, bucature, ecc.).

Si consiglia quindi di attivare le visualizzazioni "estruse" e la visualizzazione degli assi locali.



6.1 - Dimensionamento travi a flessione

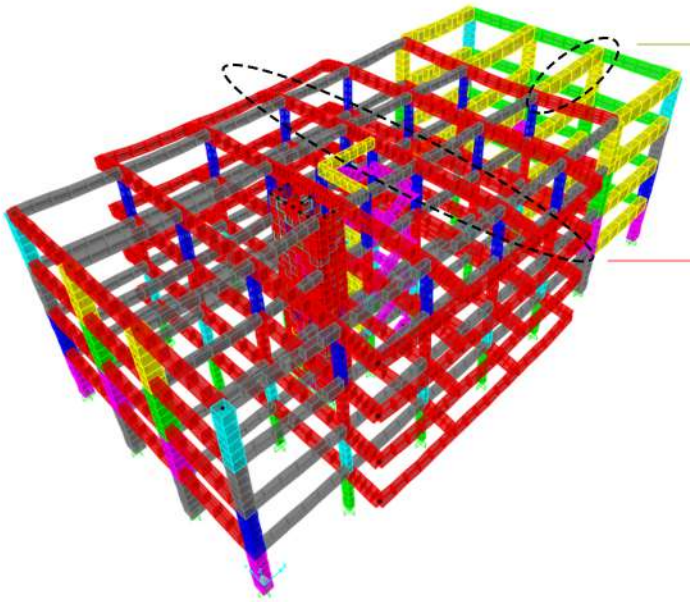
Per dimensionare le travi si sceglie di suddividere le travi principali in due gruppi: quelle poste nella parte in cui ci sono gli sbalzi da quelle poste con orditura diversa nella parte con luce maggiore (nel disegno tridimensionale in alto si distinguono le prime rosse dalle seconde gialle).

Per entrambi i gruppi di travi si ricavano le altezze minime corrispettive dando basi differenti per ridurre l'altezza (qualità dello spazio). Ciò ne conseguirà che uno dei due lati dei pilastri, a seconda del suo orientamento, dovrà essere dimensionato con il lato più piccolo corrispondente al lato minimo della sezione della trave di riferimento. Di seguito le nuove sezioni studiate e verificate negli abbassamenti da normativa su quelle più sollecitate (L/200 per solai e /250 per coperture).

Si usano i colori corrispondenti al disegno tridimensionale.

Travi principali 1 : 40 x 60 cmq (travi con luce 5 m e a sbalzo di 2 m) - H_{minima}=59,15 cm
Travi principali 2 : 50 x 85 cmq (travi con luce 7 m) - H_{minima}=83,14 cm

	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm^2)	f_{yd} (N/mm^2)	f_{ck} (N/mm^2)	f_{cd} (N/mm^2)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{min} (cm)	H	H/l	area (m^2)
1)	2,00	181,00	450,00	391,30	20,00	11,33	0,30	2,71	40,00	54,15	5,00	59,15	55,00	0,30	0,22
2)	7,00	471,00	450,00	391,30	20,00	11,33	0,30	2,71	50,00	78,14	5,00	83,14	55,00	0,12	0,28



6.2 - Dimensionamento pilastri a pressoflessione

Una volta dimensionate le membrature principali si ottiene una buona approssimazione del peso proprio che grava sui pilastri e si può procedere col loro dimensionamento.
Il dimensionamento dei pilastri è composto da una continua procedura di verfica su ogni singolo pilastro in quanto nelle sezioni rettangolari compare il fenomeno dell'eccentricità che considera quanto lo sforzo normale è spostato rispetto all'asse centrale della sezione (in questo caso la sezione del pilastro).

Si considerano tre casi di eccentricità: bassa, moderata e alta eccentricità. In quest'ultimo caso tutta la colonna di pilastri, dal P0 al P4 si andrà a dimensionare a flessione in quanto N si trova all'esterno della sezione generando un braccio molto rilevante.

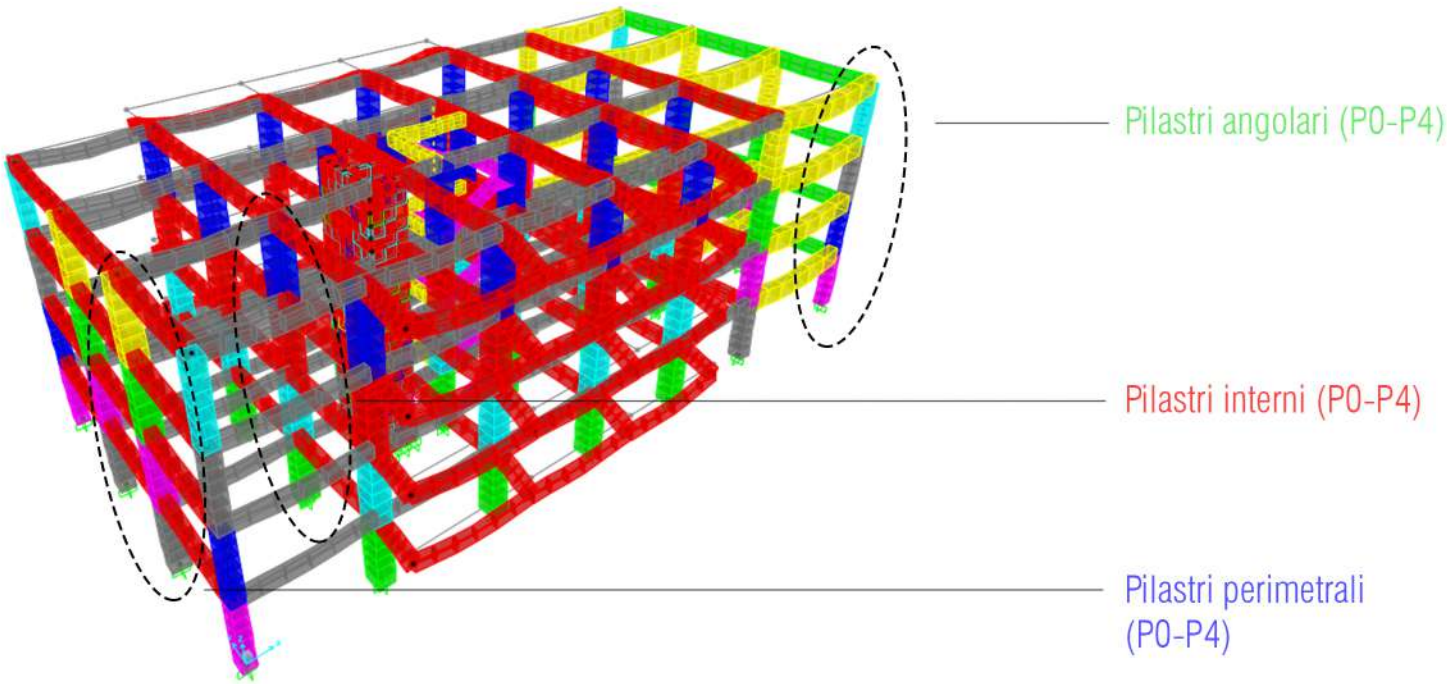
Nel dimensionare i pilastri si procede piano per piano e per tipo (pilastri angolari, perimetrali e interni) considerando tutti i pilastri e dividendoli per eccentricità, partendo dal verificare quelle derivate dal metodo della pilastrata. Per un maggiore controllo si consiglia di ragionare sulla geometria e simmetricità del sistema, capendo quali sono i pilastri più sollecitati e dimensionando gruppo per gruppo sfruttando M e N maggiori.

Di seguito le nuove sezioni verificate per tutti i tipi di eccentricità.

1 - Pilastri interni (P0-P4): 70x80 cmq prima era 30x40 cmq
2 - Pilastri perimetrali (P0-P4): 60x70 cmq prima era 25x35 cmq
3 - Pilastri angolari (P0-P4): 50x60 cmq prima era 20x30 cmq

$e = M_x/N$

Durante la fase di dimensionamento ci si accorge che i pilastri con grande eccentricità sono nella maggioranza quelli all'ultimo piano e agli angoli in quanto hanno un basso sforzo normale e un' alta flessione. I lati minori dei pilastri devono inoltre rispettare il minimo richiesto dalle travi corrispondenti. I pilastri interni subiscono una maggiore sollecitazione da sforzo normale rispetto a quelli esterni e necessitano di una sezione maggiore.



Una volta verificati questi dimensionamenti si può procedere alla verifica sismica in funzione della rigidezza dell'edificio, capendo se il blocco scale e ascensore sono posizionati correttamente.

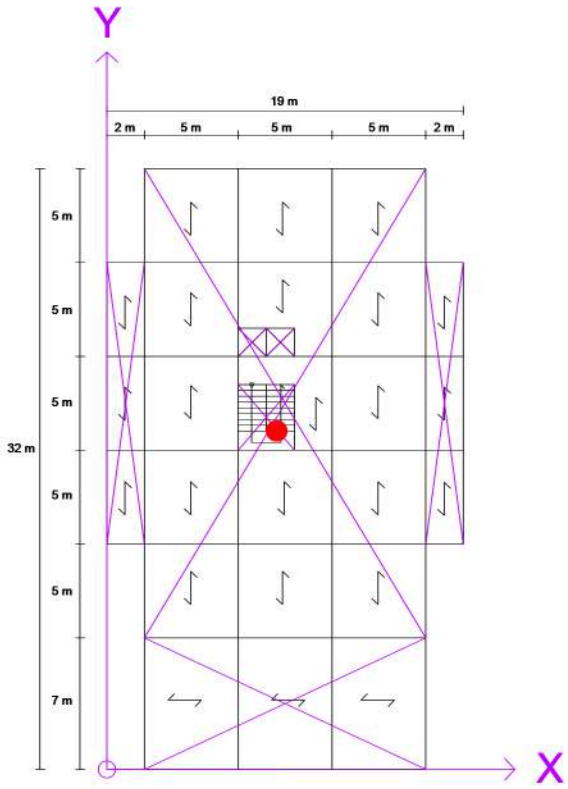
7 - Analisi del comportamento sismico: centro di massa e centro di rigidezza

Per verificare come si comporta l'edificio con due forze orizzontali applicate nell'ultimo piano, occorre prima individuare il centro di massa della struttura.
Utilizzando la definizione di momento statico, si può ricavare facilmente la posizione del centro di massa rispetto ad un dato sistema di assi cartesiani X e Y.

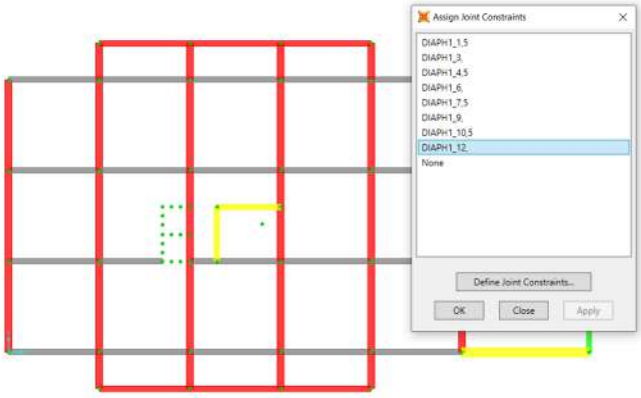
Il punto rosso rappresenta il centro di massa della struttura e ha posizione:

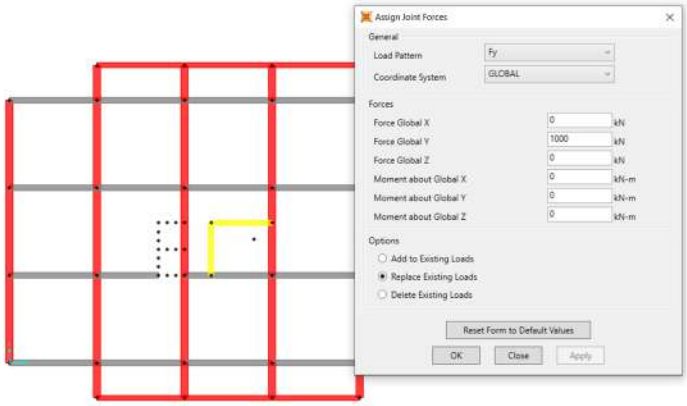
X = 9.05 m
Y = 18.03 m

Quindi è quasi coincidente con il centro del blocco scale e molto vicino ai vani ascensore.

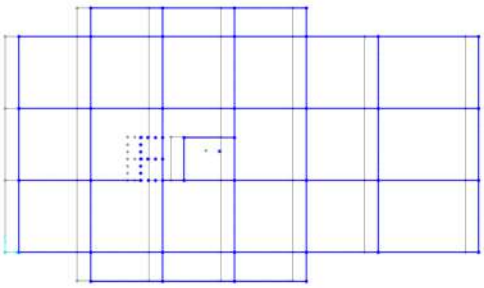


All'interno di SAP definisco quindi il punto e gli assegno il diaphragm 12 corrispondente ad H=12 m della copertura all'ultimo piano. Definisco inoltre due forze Fx e Fy con "define loads" e applico sul punto due forze di circa 1000 KN di prova per capire come si comporterà la struttura.

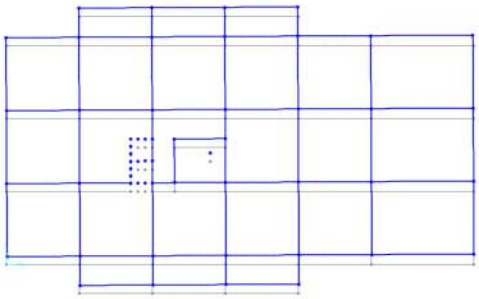




Lanciando l'analisi anche per Fx e Fy risulta che il centro delle rigidezze è quasi corrispondente a quello di massa, risultando un buon comportamento sismico da parte dell'edificio.



Spostamento lungo X (i due centri sono sullo stesso asse)



Spostamento lungo Y (i due centri non sono di poco sullo stesso asse)