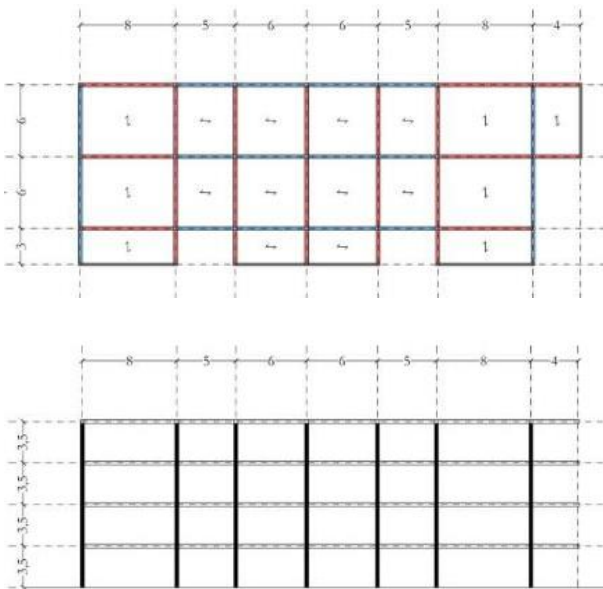


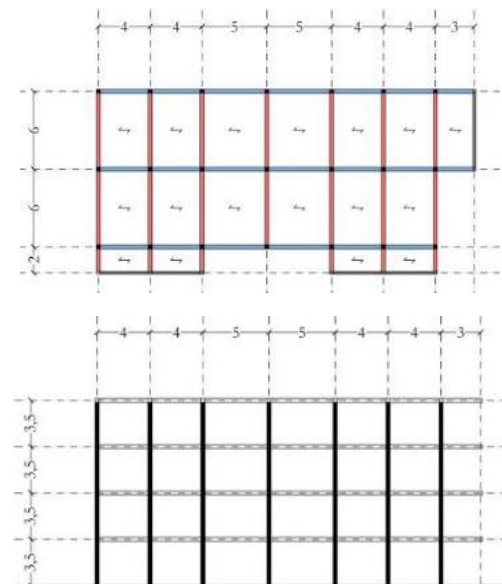
## Esercitazione 2.2\_Verifica degli elementi di un telaio in acciaio, legno e c.a.

Questa terza esercitazione è il proseguimento di quella precedentemente svolta, e consiste nella verifica degli elementi che erano stati predimensionati secondo le tre tipologie costruttive di legno, calcestruzzo armato e acciaio, attraverso l'utilizzo del programma SAP2000.

ACCIAIO



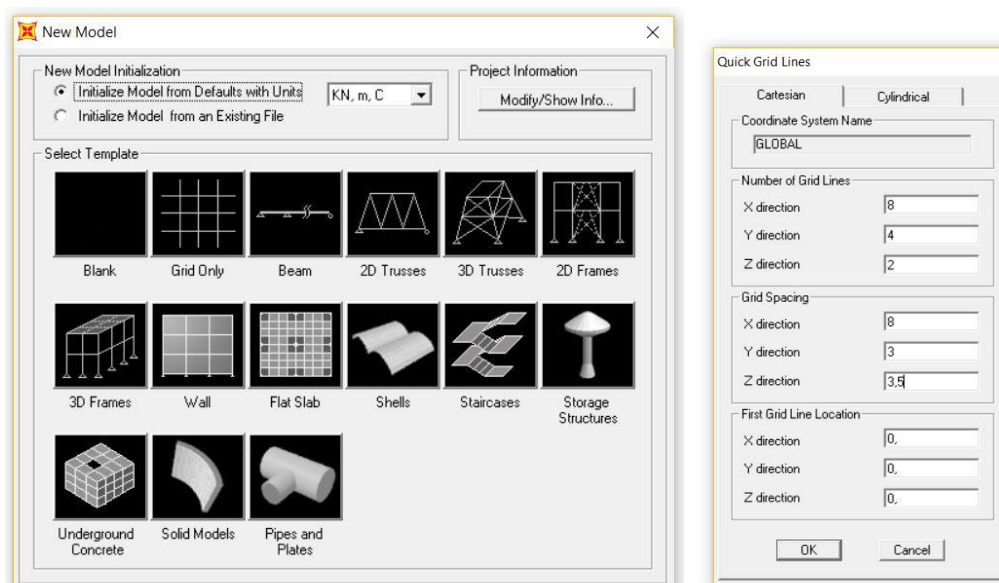
C.A./LEGNO



### FASE 1\_Verifica preliminare ai carichi verticali

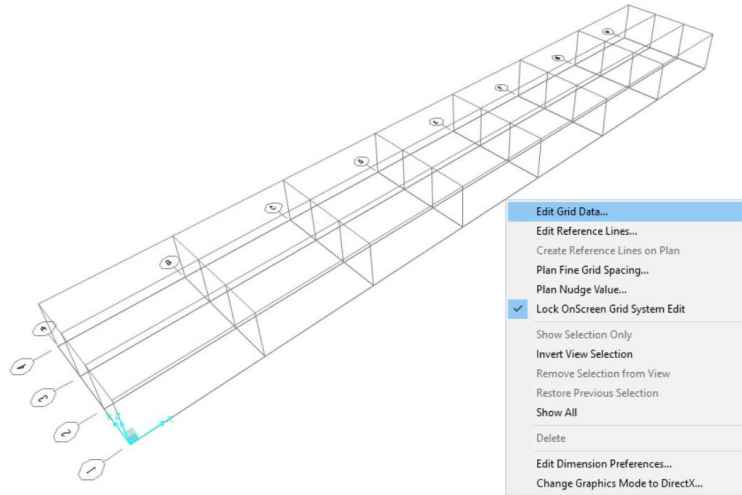
Il primo passaggio da compiere è la creazione del modello dei telai su SAP, uno per acciaio e uno per legno e calcestruzzo.

Per iniziare si crea un nuovo file con le unità di misura kN, m, C°, si seleziona **Grid Only** e si inseriscono i dati di una maglia iniziale, che consistono nel numero di piani che dividono lo spazio tridimensionale e la distanza tra questi lungo le tre direzioni del riferimento globale.



Si comincia realizzando il piano terra che poi verrà copiato per arrivare alla giusta quantità di livelli in alzato.

Visto che la maglia di default prevede un interasse regolare mentre la nostra struttura ha interassi variabili, vanno cambiati i valori manualmente nel passaggio successivo, andando con il tasto destro sulla struttura, procedendo su **Edit Grid Data > Modify/Show System**. Una volta terminato il passaggio, sullo schermo si vedrà una successione di parallelepipedi adiacenti, che saranno la base per disegnare la struttura.



Define Grid System Data

Edit Format

System Name: GLOBAL Units: KN, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0	Primary	Show	End	
2	B	8	Primary	Show	End	
3	C	13	Primary	Show	End	
4	D	19	Primary	Show	End	
5	E	25	Primary	Show	End	
6	F	30	Primary	Show	End	
7	G	38	Primary	Show	End	
8	H	42	Primary	Show	End	

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0	Primary	Show	Start	
2	2	3	Primary	Show	Start	
3	3	9	Primary	Show	Start	
4	4	15	Primary	Show	Start	
5						
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	Z1	0	Primary	Show	End	
2	Z2	3.5	Primary	Show	End	
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Display Grids as:  Ordinate  Spacing

Hide All Grid Lines

Glue to Grid Lines

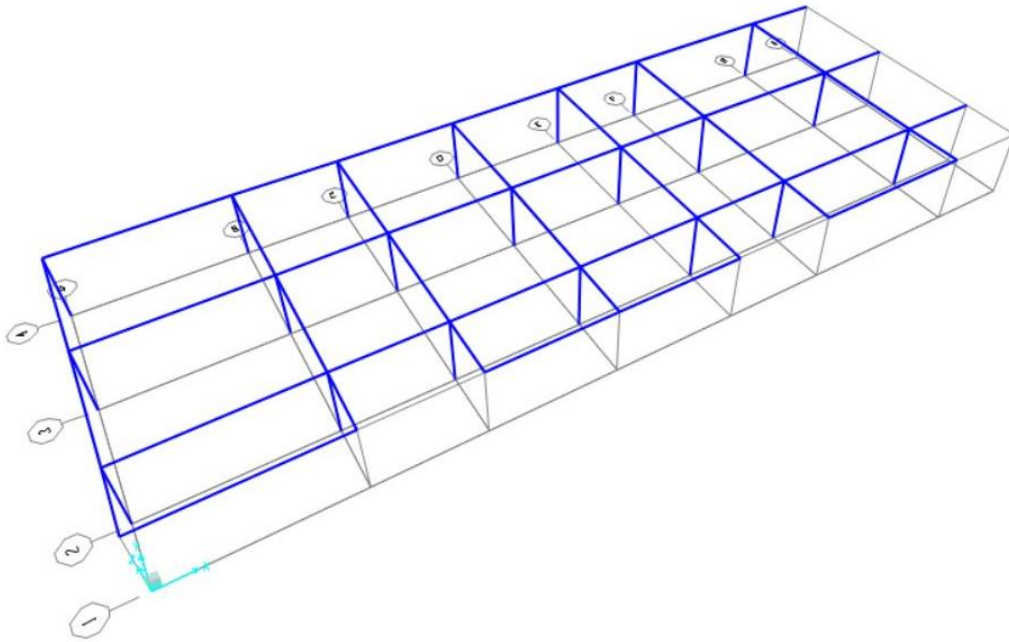
Bubble Size: 1,1875

Reset to Default Color

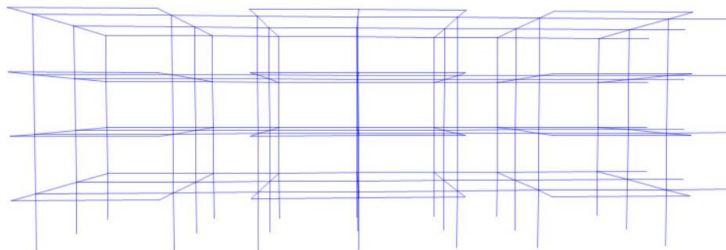
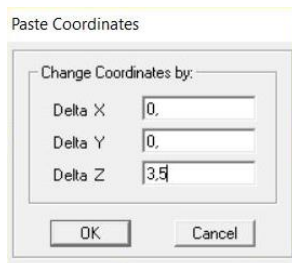
Reorder Ordinate

OK Cancel

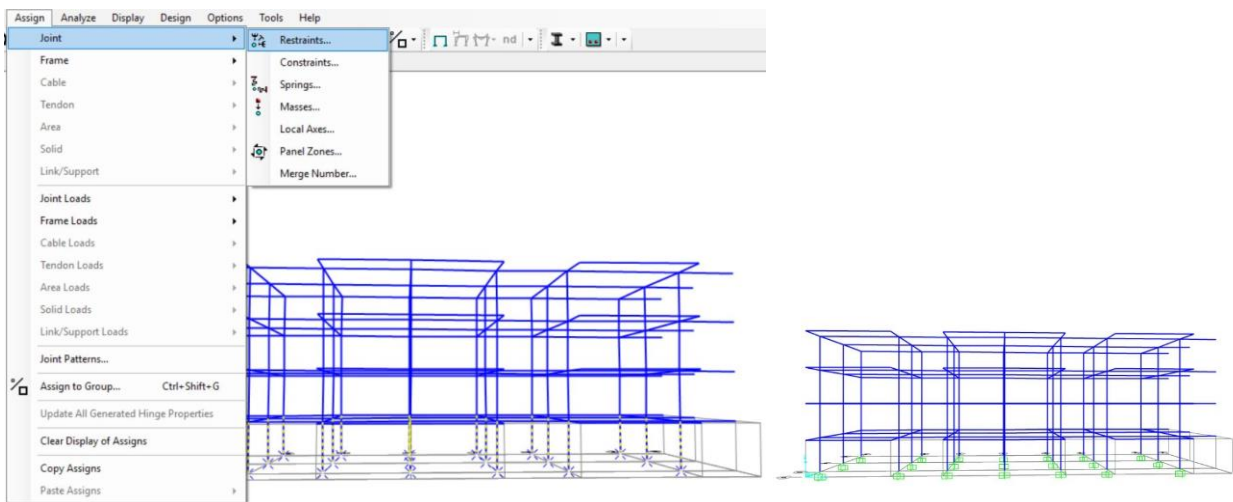
Selezionando l'icona **Draw Frame/Cable** sulla barra degli strumenti a sinistra si potranno “ripassare” gli spigoli della griglia per realizzare i telai del piano terra.



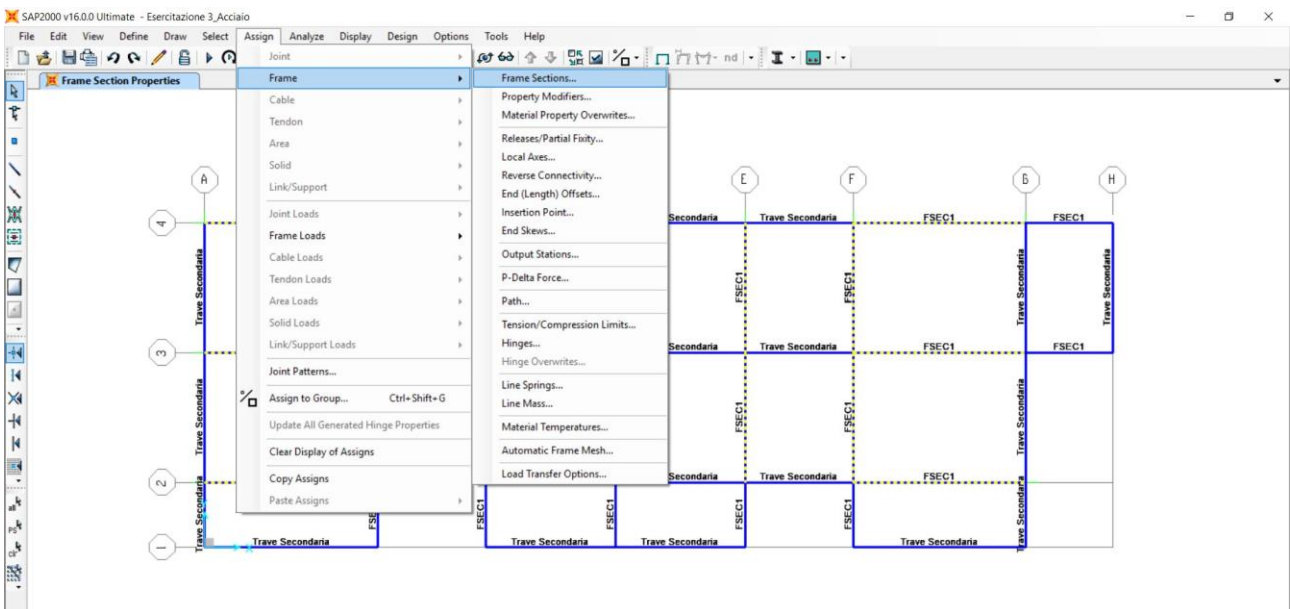
A questo punto selezionando tutto il disegno ed eseguendo il comando Copia-Incolla (copiando ogni volta ad un'altezza superiore, basterà indicare il valore dell'interpiano sulla casella **Delta Z** nella tabella che si apre automaticamente una volta premuto **Ctrl V**), si potrà completare la struttura.



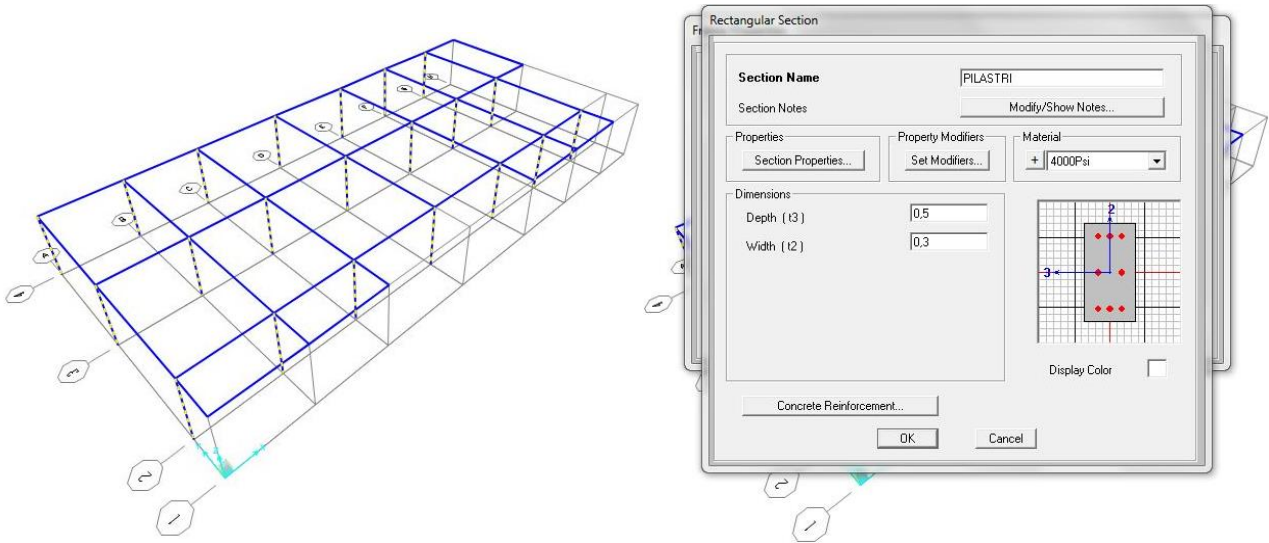
Di fondamentale importanza è l'assegnazione dei vincoli alla base, per cui si selezionano tutti i punti a terra e si procede con **Assign > Joint > Restraint**, andando a selezionare come vincolo l'incastro.



Per poter verificare gli elementi predimensionati occorre innanzitutto assegnare le sezioni calcolate nella precedente esercitazione: un procedimento per selezionare rapidamente tutte le aste che hanno la stessa sezione è quello che usa **Set 3d View** posizionandosi con **Apertura 0** sul **piano xy** per le **travi**, sul **piano xz** per i **pilastri**; a questo punto si possono evidenziare i segmenti e andare su **Assign > Frame > Frame Sections**.

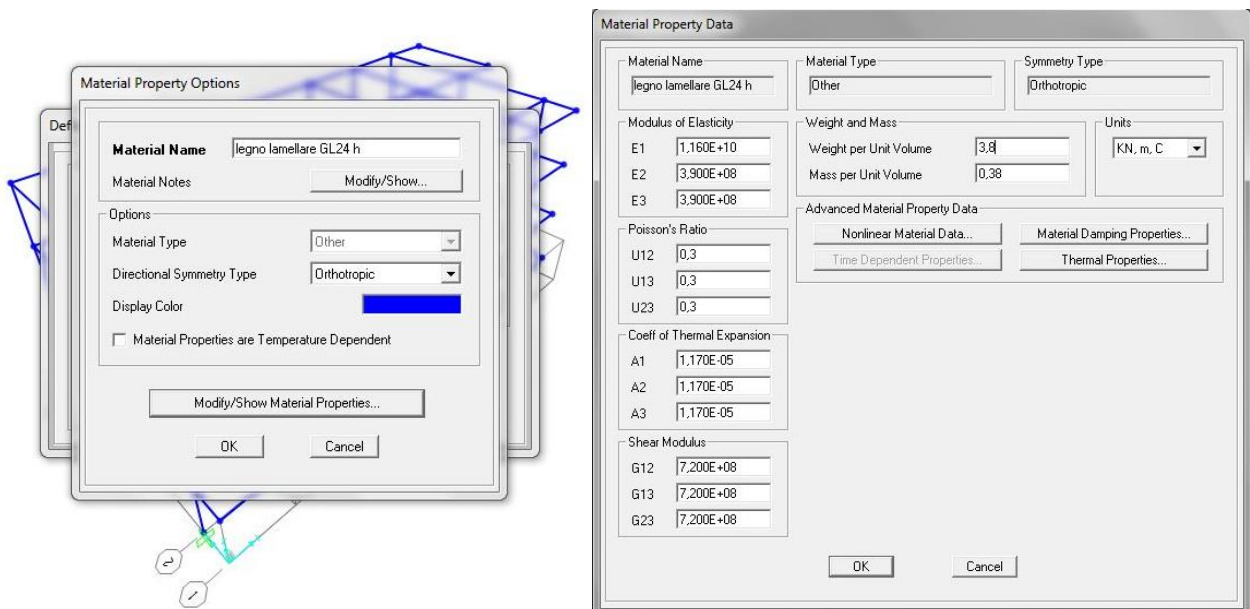


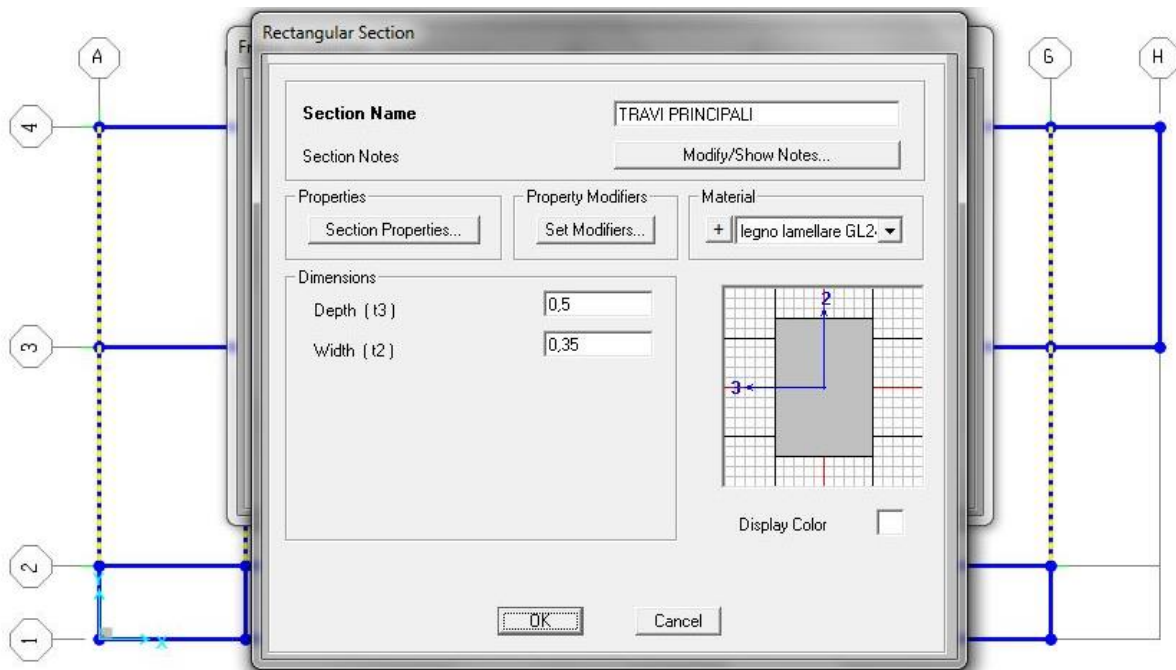
Per quanto riguarda Acciaio e calcestruzzo armato, basta selezionare il tipo di materiale e la forma della sezione, e in base alle dimensioni ottenute dai calcoli, andare a inserire i dati, da tabella o da sagomario, nelle caselle apposite.



Il legno non è un materiale presente su SAP, per cui andrà creato.

Per creare un nuovo materiale basta andare su **Define > Materials > Add New Material**, apparirà una finestra in cui selezionare delle prime informazioni (Regione e tipo di materiale, per il quale occorre scegliere **Other**). Una volta completato il passaggio si aprirà una nuova finestra in cui poter aggiungere ulteriori informazioni; spuntata la casella **Switch to Advanced Property Display**, comparirà un'altra finestra in cui specificare la natura del materiale. Il legno è anisotropo, ma nel nostro caso andrà considerato ortotropo. A questa informazione andranno aggiunti il peso specifico e il modulo elastico.





Altro dato necessario per la valutazione della struttura è la quantità di carico che quest'ultima dovrà sostenere.

Il procedimento per l'inserimento dei carichi è diviso in tre fasi:

- CREAZIONE DEI CASI DI CARICO

Si va sul comando **Define > Load Patterns**; nella tabella che si apre andranno inseriti uno alla volta i nomi dei carichi interessati e il loro fattore moltiplicativo; ogni volta che si esegue il passaggio di compilazione, si seleziona **Add New Load Pattern**. Nel nostro caso, avendo calcolato i pesi dei solai ( $Q_s$ , carichi permanenti strutturali;  $Q_p$ , carichi permanenti non strutturali) non considerando il peso della struttura stessa all'interno dei carichi strutturali, andrà considerato il DEAD, ovvero il peso proprio delle aste, con un fattore moltiplicativo pari a 1, come per tutti gli altri casi di carico.

- ASSEGNAZIONE

Nella fase iniziale si procede come per l'assegnazione della sezione, con l'impostazione della vista 3d con apertura pari a 0 e selezione delle aste interessate. Si va su **Assign > Frame Loads > Distributed**, si sceglie il caso di carico che si vuole aggiungere dalla casella in alto a sinistra della tabella, e vi si inserisce il valore, calcolato nell'esercitazione precedente, nella casella **Load** in basso. Nella tabella non va modificato nessun altro dato, in quanto i carichi ( $Q_s$ ,  $Q_p$ , e  $Q_a$  che rappresenta i carichi accidentali) che si stanno aggiungendo momentaneamente, sono verticali e agiscono secondo la direzione della gravità; per i carichi orizzontali andrà aggiunta una modifica circa la direzione di riferimento. Non è possibile aggiungere tutti i carichi contemporaneamente, per cui la procedura va eseguita per ogni singolo caso di carico.

○ CREAZIONE COMBINAZIONE DI CARICO

L'ultima azione che riguarda la definizione dei carichi consiste nella creazione della combinazione di carico.

Per verificare la resistenza di travi e pilastri della struttura è necessario utilizzare la combinazione allo Stato Limite Ultimo, ovvero lo stato limite che ne comporterebbe il crollo totale o parziale.

$$\text{SLU: } Q_{\text{tot}} = \gamma_{G1} * Q_s + \gamma_{G2} * Q_p + P + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \gamma_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + \dots + \gamma_{Qn} * \psi_{0n} * Q_{kn}$$

$\gamma_{G1}$ ,  $\gamma_{G2}$  e  $\gamma_Q$  sono coefficienti parziali di sicurezza che amplificano le azioni sfavorevoli e riducono quelle favorevoli;  $\psi_{02}$  e  $\psi_{0n}$  sono coefficienti di combinazione che variano a seconda che la combinazione sia rara, frequente o quasi permanente (lo zero al pedice sta per condizione rara, il numero successivo dipende dal carico);  $Q_s$  e  $Q_p$  sono rispettivamente i carichi strutturali e i carichi permanenti non strutturali,  $P$  è la precompressione, che nel nostro caso è nulla, i  $Q_k$  sono i carichi variabili. Nel nostro caso abbiamo considerato come dominanti i carichi accidentali ( $Q_a$ ), e al momento non ne abbiamo considerati altri.

Per gli aggetti (considerati in maniera semplificata come mensole; vedi esercitazione 2) è sufficiente utilizzare la verifica allo Stato Limite di Esercizio (quella che ne comporta la perdita di funzionalità) con combinazione Frequente.

$$\text{SLE (frequente): } Q_{\text{tot}} = Q_s + Q_p + P + \psi_{11} * Q_{k1} + \dots + \psi_{1n} * Q_{kn}$$

Per definire le combinazioni che servono occorre andare su **Define > Load Combinations > Add New Combo**.

Si dà un nome alla nuova combinazione (o si mantiene quello predefinito) e si scelgono i carichi da considerare al suo interno, con i rispettivi fattori moltiplicativi, che ora saranno i fattori di sicurezza definiti dalla combinazione di carico. Ogni volta che si completa la compilazione, si preme il tasto **Add** per confermare. Terminato il passaggio basta premere **OK** e la combinazione è creata.

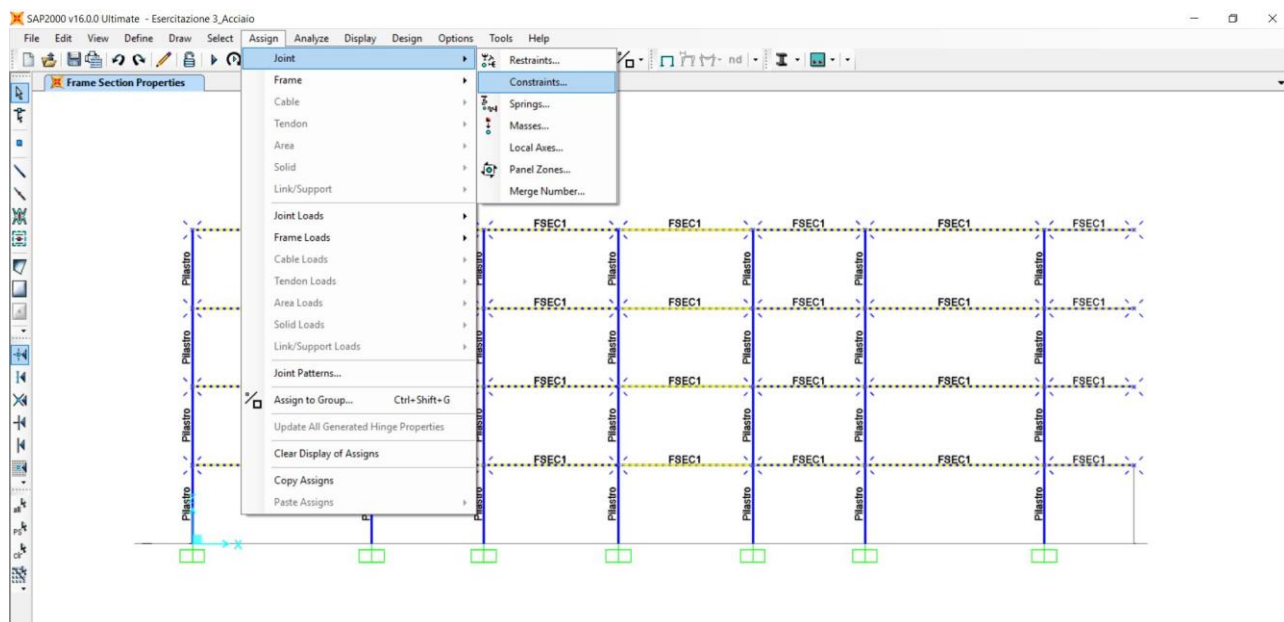
A questo punto occorre assegnare il DIAPHRAGM alla struttura.

La spiegazione meccanica del diaframma è legata al concetto dell'atto di moto rigido e all' "elemento" solaio.

Il solaio è una parte strutturale che ha grande incidenza sul calcolo per il dimensionamento delle strutture, in quanto è molto esteso e dunque ha un peso consistente. A questa motivazione si aggiunge il fatto che i solai vincolano alcuni spostamenti del telaio e (ad eccezione dei solai degli edifici storici che sono alleggeriti e di conseguenza piuttosto deformabili) sono considerati rigidi nei loro rispettivi piani.

Tale condizione permette loro, quando sono sollecitati, di compiere tre tipi di movimento: traslazione verticale, traslazione orizzontale, rotazione rigida attorno ad un centro detto "di istantanea rotazione". Questo punto è il centro delle rigidezze dell'impalcato, che non coincide quasi mai con il baricentro (o centro di massa) della struttura, pur essendo un'importantissima prescrizione globale il fatto che i due debbano essere il più vicino possibile tra loro.

Nel programma SAP per inserire il diaframma occorre selezionare le teste dei pilastri (facilitandosi con la solita procedura dell'impostazione **3d view > xz > Aperture 0**) andare su **Assign > Joint > Constraints**; si seleziona dalla tendina il **Diaphragm** e si clicca su **Add New Constraint**. Della tabella che si apre non va modificato nulla se non il nome, l'unico elemento che va aggiunto è la spunta al comando in basso "**Assign a different diaphragm constraint to each different selected Z level**", che definisce la proprietà a ciascun solaio di muoversi rigidamente sul proprio piano in maniera indipendente dagli altri.



Per semplificare le operazioni che andranno compiute dopo è consigliabile creare un diaframma per ogni piano e nominarlo aggiungendo l'altezza del livello al DIAPH che compare nel nome iniziale.

Ora che si sono terminate le operazioni di definizione e assegnazione, si può far correre l'analisi (vedi Esercitazione 1), deselegnando il Modal e premendo **Run Analysis**.

A questo punto per la verifica occorre individuare la trave, il pilastro e la mensola più sollecitata, e andare a confrontare i valori del momento per travi e mensole, dello sforzo normale per i pilastri, con quelli delle tabelle excel utilizzate nel predimensionamento (Esercitazione 2).

Per fare ciò, bisogna prima esportare le tabelle dell'analisi da SAP2000 su Excel, premento **Ctrl T** o andando su **Display > Show Tables**. A quel punto vanno selezionati, dalla tabella che si apre, i risultati che si vogliono analizzare: per le travi e i pilastri si utilizzano i **Frame Outputs** (si trovano cliccando sul + agli **Element Outputs**, i risultati delle aste), per le mensole vanno considerati anche i **Displacements** (che fanno parte dei **Joint Outputs**, le reazioni nei nodi), ovvero gli abbassamenti.

Ultimo elemento da scegliere è la combinazione: è possibile selezionarla premendo su **Select Load Cases**, nella colonna sulla destra della finestra.

Si preme OK e una volta aperta la nuova finestra, una volta selezionata dalla tendina la tipologia di dati che si vuole, si va su **File > Export Current Table > To Excel**.



Su Excel per individuare rapidamente l'asta più sollecitata, va ordinata la tabella in base alla colonna del momento (M3, per travi e mensole) o a quella dello sforzo normale (P, per i pilastri). si va sulla prima casella, della colonna interessata, che ha scritto un valore, si premono contemporaneamente Shift Ctrl e la freccia verso il basso, si clicca con il tasto destro sul mouse e si va su ordina dal più grande al più piccolo, se interessa il massimo valore positivo, dal più piccolo al più grande, se interessa il massimo valore negativo (ad esempio nel caso della compressione per i pilastri). Si approva l'estensione dell'ordine a tutta la tabella e si trova l'elemento più sollecitato, che sarà il primo della tabella.

Il valore del momento o dello sforzo normale va sostituito (o anche semplicemente confrontato qualora fosse minore di quello già trovato nel predimensionamento) nelle tabelle del dimensionamento preliminare e verificato che non ci siano variazioni nella sezione.

Tutte le aste sono risultate dimensionate correttamente.

Diversamente da come spiegato nel procedimento, per la verifica delle mensole erroneamente è stata adoperata la combinazione di carico per lo Stato Limite Ultimo; le mensole sono risultate verificate ugualmente, per cui sicuramente sono verificate per lo Stato Limite di Esercizio.

## FASE 2\_Verifica ai carichi verticali e orizzontali, con l'aggiunta della neve

Nella seconda fase si inseriscono i carichi di neve, vento e sisma.

La prima operazione da compiere è il calcolo del baricentro dei singoli piani dell'impalcato, perché è in quel punto che andrà applicata la forza sismica.

Nel caso di struttura regolare e semplice (es. rettangolo) basta tracciare le diagonali della figura, qualora la forma fosse irregolare e con rientranze, per ottenere la posizione precisa del punto va scomposta la figura in figure più semplici (rettangoli o triangoli) con rispettivi baricentri e aree, e le coordinate del centro di massa si otterranno a partire dai dati delle figure più piccole tramite le formule:

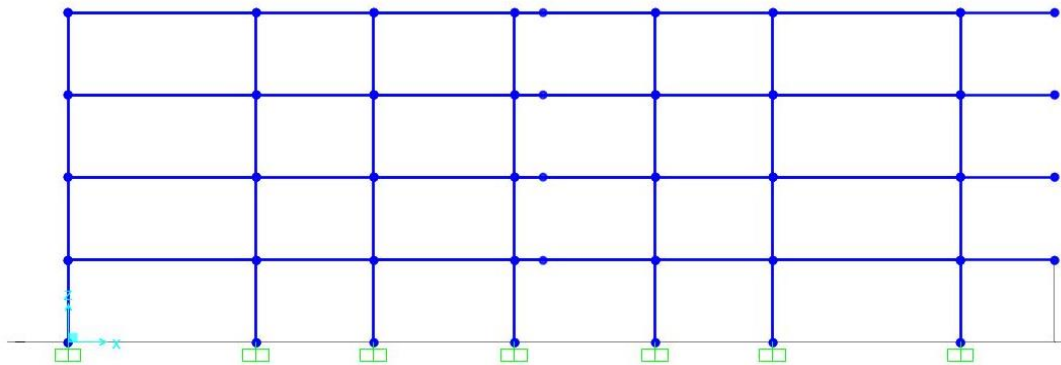
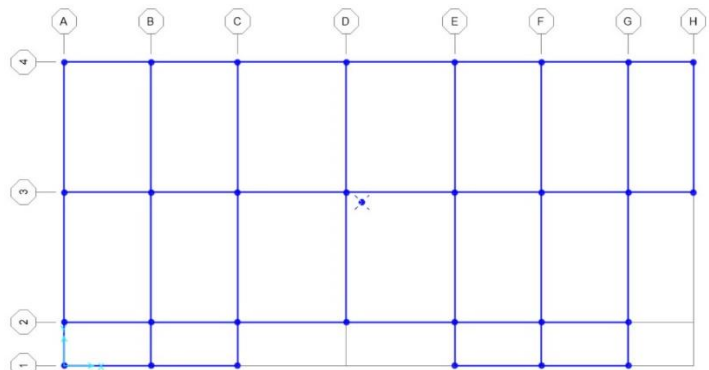
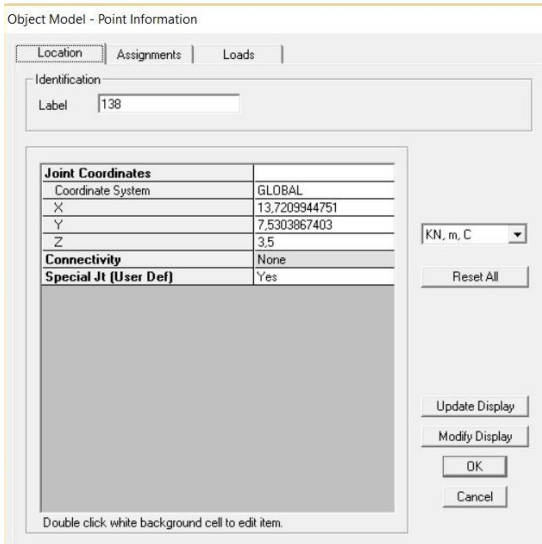
$$\underline{X}_c = \frac{X_1A_1 + X_2A_2 + X_3A_3 + \dots + X_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad \underline{Y}_c = \frac{Y_1A_1 + Y_2A_2 + Y_3A_3 + \dots + Y_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Abbiamo considerato la nostra struttura irregolare, per la presenza degli aggetti dei balconi, per cui è stata prima divisa la pianta in diversi rettangoli, individuati i baricentri di questi, calcolate le loro coordinate e le aree delle singole figure, e successivamente sono stati inseriti tutti i dati in una tabella excel creata appositamente per il calcolo del centro di massa.

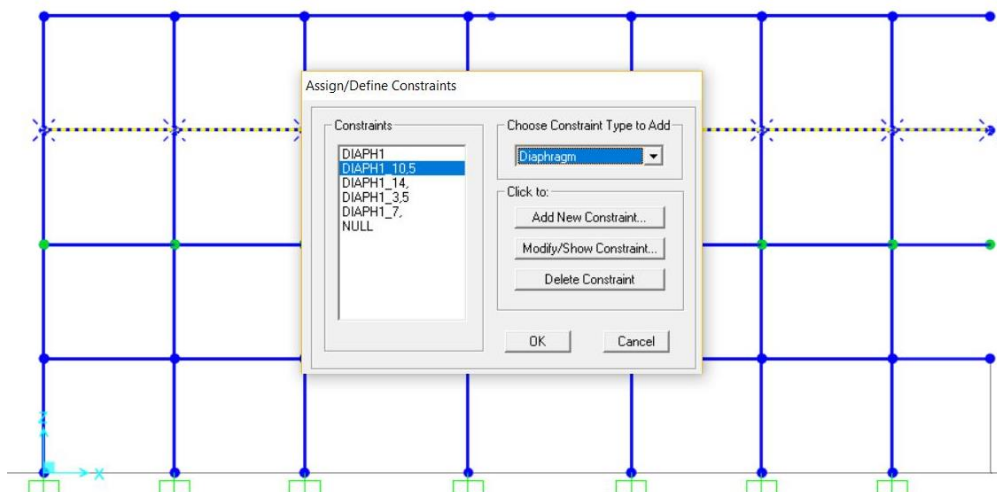
MATERIALE	A1	A2	A3	A4	A5	ΣA	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	x	y
Acciaio	456	24	24	36	24	564	19	40	4	19	34	9	12	1,5	1,5	1,5	19,8936170213	8,0106382979
C.A./Legno	312	18	16	16	0	362	13	27,5	4	22	/	8	11	1	1	/	13,7209944751	7,5303867403

Una volta individuate le coordinate precise si è tornati su SAP2000. Per assegnare il baricentro ai solai si è inserito quello del primo livello e poi lo si è copiato e incollato secondo l'interpiano sull'asse z agli altri livelli.

Per inserire il centro di massa del primo piano si è dovuto selezionare la vista, andando su **View > Set 2d View** e scrivendo sulla casella corrispondente a z l'altezza del primo piano, nel nostro caso 3,5 m; successivamente si è selezionato il comando Draw Special Joint (il quadratino nero nella barra a sinistra) e si sono inserite le coordinate x, y e z ottenute dal calcolo, nelle caselle della finestra che compare al momento del click.



È necessario indicare che i centri di massa appartengono ai rispettivi solai, per cui vanno selezionati singolarmente e va assegnato loro il Diaphragm corrispondente (secondo il procedimento spiegato prima).



A questo punto devono essere calcolati i carichi da aggiungere alla struttura: la neve, il vento e il sisma.

Prima di tutto si definiscono i differenti casi di carico, secondo la procedura già spiegata; per la neve è sufficiente FN (Forza Neve), per il vento occorre inserire la forza nelle due direzioni x e y, perché essendo una valutazione generica è ignota la sua direzione prevalente per cui andrà considerata alternativamente nelle due principali. Per quanto riguarda il sisma, per semplificare le operazioni non solo andranno indicate le due direzioni prevalenti, ma anche il livello a cui la forza dovrà essere applicata.

Il motivo di questa ulteriore specificazione sta nel rapporto della forza sismica con le strutture al momento della sua trasmissione sull'impalcato. L'andamento del grafico della forza sismica è lineare ed è crescente con l'altezza della struttura per cui avrà valori differenti per ogni livello.

Di conseguenza, per l'azione sismica si avranno 8 casi di carico, due per ogni piano (Fx\_3,5 – Fy\_3,5 - Fx\_7 – Fy\_7 - Fx\_10,5 – Fy\_10,5 - Fx\_14 – Fy\_14).



Una volta definiti, i casi di carico vanno assegnati con i loro valori agli elementi della struttura.

Occorre dunque calcolare le diverse forze.

## NEVE

Il carico della neve va inserito solo sulle travi dell'ultimo impalcato. Il calcolo del suo valore dipende da diversi fattori quali la zona climatica, la rugosità e la pendenza della copertura, la possibilità o meno che l'ultimo piano sia riscaldato. In questo caso è stata considerata una distribuzione superficiale di 0,5 kN/mq.

## VENTO

Il vento è un agente dinamico che agisce sulle facciate degli edifici; la sua natura variabile porta le strutture che ne vengono investite a oscillare rispetto alla condizione iniziale con un moto armonico. Essendo il calcolo piuttosto complesso, si preferisce trattare questo agente come se fosse statico e imprimesse sugli involucri una pressione costante. In questo modo si andranno a considerare delle superfici sopravento o in pressione, e altre sottovento o in depressione. Anche al vento, come per la neve, in questo caso è stato assegnato convenzionalmente un valore pari a 0,5 kN/mq, che va però moltiplicato per un fattore 0,8 se la superficie interessata è sopravento, e 0,4 qualora la parete fosse sottovento.

## SISMA

Per quanto riguarda il sisma, la forza  $F_i$  che agisce sul singolo piano si ottiene con la formula

$$F_i = F_s \frac{Z_i * W_i}{\sum_{i=1}^{n_p} (Z_i * W_i)}$$

Dove  $F_s$  è la Forza di inerzia sismica calcolata come

$$F_s = c * W$$

con  $c$  che è frazione piccola dell'accelerazione di gravità (un suo valore ragionevole è tra 0,2 e 0,3) e  $W$  che equivale alla somma dei carichi permanenti strutturali e non, con delle percentuali dei carichi accidentali e della neve:

$$W_i = P + 20\% N + 30\% Q$$

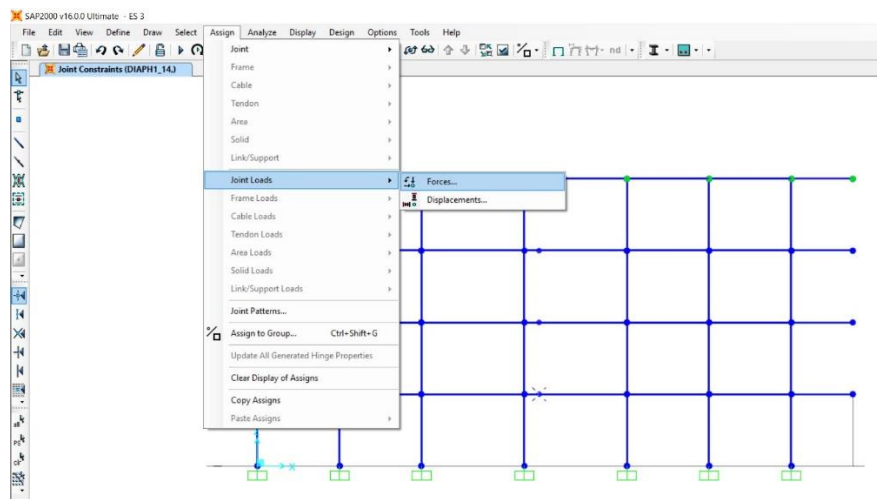
$Z_i$  è invece la quota del solaio.

Tornando alla prima delle tre formule, si può attuare una semplificazione: assumendo che il carico dei solai sia uguale per ogni piano, si può togliere l'indice dalla  $W$ , che diventa una costante e al denominatore può essere portata fuori dalla sommatoria. In questo modo le  $W$  si elidono e la formula richiede meno dati.

Per il calcolo della forza sismica è risultato più rapido creare una tabella Excel in cui sono stati inseriti tutti i valori necessari al calcolo e le formule indicate.

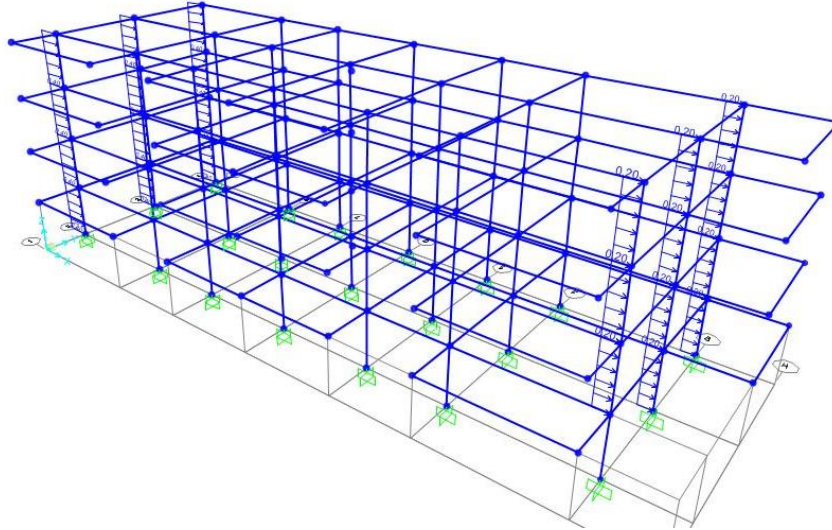
MATERIALE	c	Qs	Qp	P	Qn	20%	Neve	Qa	30%	Qa%	W	Fs	z1	z2	z3	z4	Σz	F1	F2	F3	F4
Acciaio	0,2	1,33	2,99	4,32	0,5	0,2	0,1	2	0,3	0,6	5,02	1,004						0,1004	0,2008	0,3012	0,4016
C.A.	0,2	3,76	2,68	6,44	0,5	0,2	0,1	2	0,3	0,6	7,14	1,428	3,5	7	10,5	14	35	0,1428	0,2856	0,4284	0,5712
Legno	0,2	0,34	2,89	3,23	0,5	0,2	0,1	2	0,3	0,6	3,93	0,786						0,0786	0,1572	0,2358	0,3144

Una volta ottenuti i valori dell'azione sismica per piano, è necessario applicarla al centro di massa dei singoli livelli. Basta selezionare il punto, andare su **Assign > Joint Loads > Forces**, scegliere il caso di carico corrispondente e scrivere il valore sulla casella **Force Global X** o **Force Global Y** a seconda che sia in una direzione o nell'altra.



La forza del vento va assegnata ai pilastri perimetrali; i valori descritti precedentemente per le superfici in pressione o depressione vanno moltiplicate per l'interasse del pilastro per ottenere il valore della distribuzione lineare del carico.

Il procedimento è quello spiegato nell'assegnazione, con l'unica altra modifica da apportare nella direzione, che non è più secondo la gravità ma X o Y.

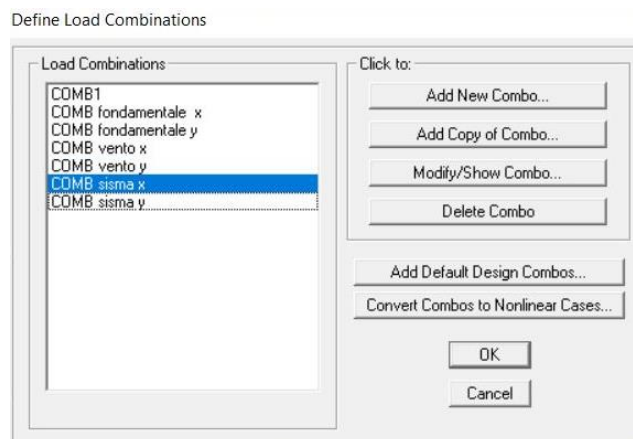


Assegnati tutti i carichi, occorre definire le nuove combinazioni; avendo già la combinazione fondamentale allo Stato Limite Ultimo, una volta aperta la finestra delle Load Combination, invece di aggiungerne una nuova, si può premere Add Copy of Combo e aggiungere i nuovi carichi con i loro fattori moltiplicativi.

Le combinazioni utilizzate sono state quella sismica escludendo il vento, e quella allo stato limite ultimo con l'aggiunta di vento e neve.

Sisimica: 
$$Q_{tot} = Q_s + Q_p + E + \psi_{21} * Q_a + \psi_{2neve} * Q_{neve}$$

SLU: 
$$Q_{tot} = \gamma_{G1} * Q_s + \gamma_{G2} * Q_p + \gamma_{Qvento} * Q_{vento} + \gamma_{Qa} * \psi_{0a} * Q_a + \gamma_{Qneve} * \psi_{0neve} * Q_{neve}$$



A questo punto si può nuovamente far correre l'analisi e verificare nuovamente gli elementi più sollecitati.

Per le travi il procedimento è stato già spiegato nella prima parte dell'esercitazione; c'è da considerare che le travi "soffrono" maggiormente per i carichi verticali che per quelli orizzontali, per cui è altamente probabile che quelle progettate per resistere ai carichi verticali risultino anche sovradimensionate per vento e sisma, come è infatti successo nel nostro caso.

Per i pilastri la situazione è diversa in quanto questi elementi subiscono soprattutto l'influenza dei carichi orizzontali. Questo accade perché quando si tratta di carichi verticali si può dimensionare il pilastro per la resistenza allo sforzo normale (ad eccezione della struttura in c.a. in cui il nodo trave-pilastro è un incastro e trasmette un momento che va considerato), mentre con l'inserimento dei carichi orizzontali, tutti i pilastri diventano soggetti a pressoflessione.

La verifica cambia a seconda del materiale utilizzato.

## ACCIAIO

Per gli elementi in acciaio è sufficiente sovrapporre la tensione massima dovuta allo sforzo normale di compressione a quella data dal momento, e quindi verificare che la loro somma sia minore della tensione di design.

$$\sigma = N/A \pm M/W$$

Nel nostro caso, essendo lo sforzo normale maggiore di quello massimo già verificato, è stato necessario dimensionare nuovamente le sezioni, scegliendone di più grandi.

Q <sub>carro</sub> kN	q <sub>t</sub> kN/m	q <sub>p</sub> kN/m	q <sub>s</sub> kN/m	Q <sub>totale</sub> kN	n <sub>pani</sub>	N kN	f <sub>yk</sub> Mpa	γ <sub>m</sub>	f <sub>rd</sub> Mpa	A <sub>min</sub> cm <sup>2</sup>	E Mpa	β	l m	λ*	σ <sub>min</sub> cm	I <sub>min</sub> cm <sup>4</sup>	A <sub>design</sub> cm <sup>2</sup>	I <sub>design</sub> cm <sup>4</sup>	σ <sub>max</sub> cm	λ	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	M <sub>t</sub> kN*m	σ <sub>max</sub> Mpa	profilo		
14,79	1,33	2,99	2,00	339,60	4	1498	275,00	1,05	261,90	57,2	210000	1,00	3,50	88,96	3,93	885	64,3	1955	5,51	63,52				HEA220	Dimensionamento	
8,28	1,33	2,99	2,00	110,65	1	2143	275,00	1,05	261,90	81,8	210000	1,00	3,50	88,96	3,93	1267	86,8	3668	6,50	53,85	282,10	6,72	24,71	verificata	HEA260	Verifica a sforzo normale sisma x (n. pilastro 43)
8,28	1,33	2,99	2,00	110,65	1	2143	275,00	1,05	261,90	81,8	210000	1,00	3,50	88,96	3,93	1266	86,8	3668	6,50	53,85	282,10	6,72	24,70	verificata	HEA260	Verifica a sforzo normale sisma y (n. pilastro 43)
8,28	1,33	2,99	2,00	110,65	1	2696	275,00	1,05	261,90	102,9	210000	1,00	3,50	88,96	3,93	1593	112,5	6310	7,49	46,73	420,60	6,72	23,98	verificata	HEA300	Verifica a sforzo normale vento x (n. pilastro 43)
8,28	1,33	2,99	2,00	110,65	1	2693	275,00	1,05	261,90	102,8	210000	1,00	3,50	88,96	3,93	1592	112,5	6310	7,49	46,73	420,60	6,72	23,95	verificata	HEA300	Verifica a sforzo normale vento y (n. pilastro 43)

## LEGNO

Il legno è leggermente più complesso: essendo un materiale anisotropo, ha una resistenza per ogni tipo di sollecitazione, compressione, trazione, flessione. Essendo la resistenza a taglio bassissima, può essere trascurata, e si possono prendere in considerazione le resistenze a compressione e flessione.

La formula per la verifica è

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} + \frac{\sigma_f}{f_{cd}} \leq 1$$

dove  $\sigma_c$  è il risultato del rapporto  $N/A$  e  $\sigma_f$  è invece il rapporto  $M/W$  con  $W$  modulo di resistenza a flessione. Gli altri due elementi della formula sono ottenuti come

$$F_{cd} = \frac{f_c * k_{mod}}{\gamma_m} \quad F_{fd} = \frac{f_m * k_{mod}}{\gamma_m}$$

N	$f_{ck}$	$k_{mod}$	$\gamma_m$	$f_{cd}$	$A_{min}$	$E_{0.05}$	$\beta$	l	$\lambda_{max}$	$e_{min}$	$b_{min}$	b	$h_{min}$	h	$A_{design}$	$I_{design}$	$f_{mk}$	$f_{td}$	$M_k$	$W_{max}$	$\sigma_c$	$\sigma_f$			
kN	Mpa			Mpa	cm <sup>2</sup>	Mpa		m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	Mpa	Mpa	kN*m	cm <sup>3</sup>	Mpa	Mpa			
993	24,00	0,80	1,45	13,24	750,2	8800	1,0	3,50	80,95	4,32	14,98	30,00	25,01	30,00	900	67500									Dimensionamento
812	24,00	0,80	1,45	13,24	613,2	8800	1,0	3,50	80,95	4,32	14,98	30,00	20,44	30,00	900	67500	24	13,24	1,21	4500,00	0,90	0,00027		verificata	Verifica sisma x (n. pilastro 14)
812	24,00	0,80	1,45	13,24	613,2	8800	1,0	3,50	80,95	4,32	14,98	30,00	20,44	30,00	900	67500	24	13,24	1,21	4500,00	0,90	0,00027		verificata	Verifica sisma y (n. pilastro 14)
1077	24,00	0,80	1,45	13,24	813,4	8800	1,0	3,50	80,95	4,32	14,98	30,00	27,11	30,00	900	67500	24	13,24	17,25	4500,00	1,20	0,00383		verificata	Verifica vento x (n. pilastro 14)
1077	24,00	0,80	1,45	13,24	813,4	8800	1,0	3,50	80,95	4,32	14,98	30,00	27,11	30,00	900	67500	24	13,24	17,25	4500,00	1,20	0,00383		verificata	Verifica vento y (n. pilastro 14)

Gli elementi sono risultati correttamente predimensionati.

### C.A.

Con il calcestruzzo armato la questione si complica ulteriormente, e si introduce il concetto di eccentricità.

La pressoflessione può essere anche detta compressione eccentrica; la spiegazione sta nel fatto che l'applicazione allo stesso tempo di uno sforzo normale sull'asse dell'asta e di un momento sono equivalenti all'applicazione di uno sforzo normale ad una distanza "e" dal centro della sezione; questa "e" è proprio l'eccentricità, che rappresenta il rapporto M/N (perché il momento è una forza per un braccio, la compressione è una forza, e il loro rapporto dà come risultato una distanza).

Qualora l'eccentricità fosse minore di H/6, la forza rientrerebbe nel terzo medio della sezione; il profilo viene dunque considerato compresso anche se non uniformemente, e la verifica che si usa è la stessa dell'acciaio.

Quando l'eccentricità è maggiore di H/2 invece, la compressione risulta applicata fuori dalla sezione, che basta verificare direttamente a flessione, la sollecitazione predominante.

Se "e" è invece compresa tra H/6 e H/2, lo sforzo normale è applicato al di fuori del terzo medio ma all'interno della sezione; occorre dunque trovare la distanza tra il punto di applicazione della forza e l'estremo dell'altezza della sezione, chiamata "u", che si trova come  $u = H/2 - e$ .

Si calcola successivamente la tensione massima ( $\sigma_{max} = 2N/3*u*B$ ) e si verifica che sia minore della tensione di design del calcestruzzo ( $\sigma_{max} < \sigma_{cd}$ ).

Nel nostro caso sono state considerate due aste: quella con lo sforzo normale di compressione maggiore e quella con il maggior rapporto M/N. in entrambi i casi l'eccentricità è rimasta minore di H/6, ed entrambi i pilastri sono risultati correttamente progettati.

N	$f_{ck}$	$f_{cd}$	$A_{min}$	$b_{min}$	E	$\beta$	l	$\lambda^*$	$e_{min}$	$b_{min}$	b	$h_{min}$	h	$A_{design}$	$I_{design}$	$I_{max}$	$W_{max}$	$q_k$	$M_k$	$\sigma_{max}$	e	$W_{max}$	$\sigma_{max}$			
kN	Mpa	Mpa	cm <sup>2</sup>	cm	Mpa		m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	kN/m	kN*m	Mpa	m	cm <sup>3</sup>	Mpa			
1643	45,0	25,5	644,2	25,4	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	21,47	30,00	900	67500	67500	4500,00	59,51	178,53	57,93					No	
1643	45,0	25,5	644,2	25,4	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	21,47	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	178,53	25,23					SI	Dimensionamento
2228	45,0	25,5	873,5	29,6	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	29,12	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	17,89	16,28	0,01	12500,00	1,49		verificata	Verifica sisma x (Nmax) (n. pilastro 14)
318	45,0	25,5	124,6	11,2	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	4,15	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	70,58	7,76	0,22	12500,00	0,22		verificata	Verifica sisma x (e max) (n. pilastro 205)
2228	45,0	25,5	873,5	29,6	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	29,12	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	17,66	16,26	0,01	12500,00	1,49		verificata	Verifica sisma y (Nmax) (n. pilastro 14)
318	45,0	25,5	124,6	11,2	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	4,15	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	70,57	7,76	0,22	12500,00	0,22		verificata	Verifica sisma y (e max) (n. pilastro 205)
2450	45,0	25,5	960,8	31,0	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	32,03	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	37,92	19,37	0,02	12500,00	1,64		verificata	Verifica vento x (Nmax) (n. pilastro 14)
312	45,0	25,5	122,4	11,1	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	4,08	50,00	1500	112500	312500	12500,00	59,51	60,81	6,95	0,19	12500,00	0,21		verificata	Verifica vento x (e max) (n. pilastro 205)
2450	45,0	25,5	960,7	31,0	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	32,02	50,00	1500	112500	312500	12500,00	0,00	15,02	17,53	0,01	12500,00	1,63		verificata	Verifica vento y (Nmax) (n. pilastro 14)
312	45,0	25,5	122,2	11,1	21000	1,00	3,50	90,15	3,88	13,45	30,00	4,07	50,00	1500	112500	312500	12500,00	0,00	59,51	6,84	0,19	12500,00	0,21		verificata	Verifica vento y (e max) (n. pilastro 205)

L'ultimissimo passaggio riguarda le mensole, che andranno verificate con la combinazione allo Stato Limite di Esercizio aggiungendo i carichi di neve e vento.