

# Progettazione strutturale 2M A

---

Progetto di una struttura in c.a. : comb.  
sismiche, verifica regolarità e tipologia  
strutturale

Ing. Davide Lavorato  
davide.lavorato@uniroma3.it

# Progetto struttura: comb. carichi

## 2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

2 combinazioni a scacchiera e 1 combinazione "tutto caricato" per i carichi verticali (SLU e SLE hanno diversi coeff.)

"Tutto caricato" per i carichi verticali sismici (coeff. carichi sismici) "+" E ossia diverse combinazioni per le azioni orizzontali sismiche (sistema di forze orizzontali lungo x e y nel piano orizzontale)

# Progetto struttura: comb. azioni

---

- ❑ Organizzazione progetto struttura in zona sismica agli stati limite (SL):
    - «SLU non sismico» (capitolo 2, 3, 4 NTC 2008) prevenire il collasso senza considerare le azioni sismiche
    - «SLU sismico» (capitolo 2,3, 7 NTC 2008) prevenire il collasso sotto azioni sismiche
    - «SLE non sismico» garantire durabilità e prestazioni in esercizio senza considerare il sisma
    - «SLE sismico» limitare il danno per uso struttura dopo «modesti eventi sismici»
  - ❑ La struttura deve essere progettata verificando tutti gli SL sopra indicati!!!
  - ❑ NON consideriamo azioni eccezionali nel progetto sviluppato nel corso!!!
-

# Progetto struttura

## □ Analisi allo «SLU non sismica»:

- carichi verticali (G1,G2,Q) moltiplicati per gli opportuni coeff. per lo SLU (2.5.1, NTC2008)
- 3 combinazioni (comb.) sono considerate tra le diverse possibili: 2 comb. a scacchiera e 1 comb. tutto caricato.
- 1 comb. di involucro nn sismica (involuppo delle 3 comb. Sopra considerate)

*NB:*

*1- Le combinazioni delle azioni SLU possibili sono molte di più!!!*

*2-Diverse comb. SLU sono necessarie per determinare le sollecitazioni massime in tutte le sezioni di tutti gli elementi della struttura !!!*

*3-Nel progetto svolto durante il corso ne consideriamo solo 3!!!*

# Progetto struttura: azioni sismiche

## □ **Analisi allo «SLU sismica»:**

### ▪ **Le azioni verticali:**

- ✓ (G1,G2,ψQk) secondo combinazione sismica (2.5.5, NTC2008)
- ✓ una sola combinazione (tutto caricato!! no scacchiere!!!)
- ✓ la componente verticale (Ez) dovuta al sisma solo nei casi indicati in 7.2.1 della NTC2008!!!

### ▪ **Le azioni orizzontali (due componenti Ex, Ey):**

- ✓ applicate nei baricentri di piano (per l'es. struttura in c.a. progettata durante il corso) lungo le due direzioni orizzontali x e y
- ✓ funzione della massa di piano e della accelerazione (acccl.)
- ✓ Accel. letta sullo spettro di progetto (spettro elastico scalato di q per prog. in classe duttilità A) allo stato limite ultimo sismico (SLV)!!! Accel in funz. dei periodi propri della struttura nelle due direzioni x e y (primi due modi traslazionali)
- ✓ Azioni distribuite opportunamente tra i piani (exp. 7.3.6 NTC2008)

- **Azioni verticali e orizzontali sismiche vanno opportunamente combinate (2.5.5, 7.3.15 NTC2008)**

# Progetto struttura: ANALISI SISMICA

## 7.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

### 7.2.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

Le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche. La componente verticale deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti, costruzioni con isolamento nei casi specificati in § 7.10.5.3.2 e purché il sito nel quale la costruzione sorge non ricada in zona 3 o 4. Nei casi precisati in § 3.2.5.1 si deve inoltre tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico. Si deve tenere infine conto degli effetti torsionali che si accompagnano all'azione sismica. A tal fine gli orizzontamenti, ove presenti, devono essere dotati di rigidezza e resistenza tali da metterli in grado di trasmettere le forze scambiate tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale.

Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidezza estensionale nel piano orizzontale e di adeguata rigidezza flessionale. Deve essere adottata un'unica tipologia di fondazione per una data struttura in elevazione, a meno che questa non consista di unità indipendenti. In particolare, nella stessa struttura deve essere evitato l'uso contestuale di fondazioni su pali o miste con fondazioni superficiali, a meno che uno studio specifico non ne dimostri l'accettabilità o che si tratti di un ponte.

**Quando considerare lo Spettro per la componente verticale ( $E_z$ ) dell'azione sismica !!!!**

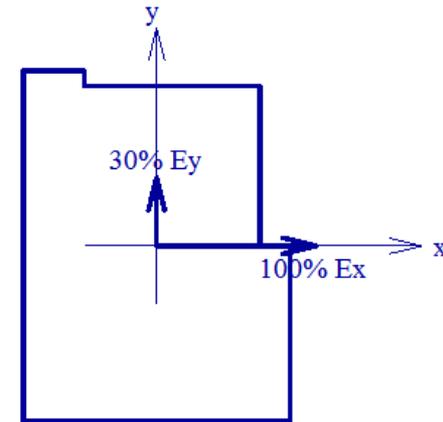
# Progetto struttura: comb. azioni

## 7.3.5 RISPOSTA ALLE DIVERSE COMPONENTI DELL'AZIONE SISMICA ED ALLA VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MOTO

Se la risposta viene valutata mediante analisi statica o dinamica in campo lineare, essa può essere calcolata separatamente per ciascuna delle tre componenti; la risposta a ciascuna componente, ove necessario (v. § 3.2.5.1), è combinata con gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale della componente stessa, utilizzando la radice quadrata della somma dei quadrati. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z \quad (7.3.15)$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi. La componente verticale verrà tenuta in conto ove necessario (v. § 7.2.1).



**Es. di una delle possibili combinazioni !!!!!**

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

## 3.2.4 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 e che qui si riporta:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (3.2.16)$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

# Progetto struttura: ANALISI SISMICA

## □ **Calcolo delle azioni $E_x$ ed $E_y$ :**

- $E_x$  ed  $E_y$  calcolate usando lo spettro di progetto, le masse di piano e i periodi propri ( $T_1$  e  $T_2$ ) della struttura lungo  $x$  e lungo  $y$ !!! NB vogliamo progettare una struttura con i primi due modi prevalentemente traslazionali («modeste rotazioni di piano attorno a  $Z$ »)
- $E_x$  ed  $E_y$  distribuite tra i piani (ad es con la exp. 7.3.6 NTC2008!!!)

## □ **Applicazione delle forze $E$ sul modello:**

- Calcolo la posizione dei baricentri di ogni piano
- Applico la eccentricità accidentale e sposto i baricentri di piano trovati
- Applico le forze  $E_x$  ed  $E_y$  nei baricentri di piano combinandole opportunamente tra loro e con i carichi verticali sismici (verticali sismici distribuiti sulle travi e alla base di setti e pilastri ad ogni piano o sulle shell!!!)

# Progetto struttura: masse di piano

- ❑ Calcolo delle masse di piano e della posizione dei baricentri di piano usando i carichi indicati dalla norma NTC2008!!!!

## 3.2.4 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 e che qui si riporta:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (3.2.16)$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

23

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} . \quad (3.2.17)$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2j}$  sono riportati nella Tabella 2.5.I

Nel caso dei ponti, nelle espressioni 3.2.16 e 3.2.17 si assumerà per i carichi dovuti al transito dei mezzi  $\psi_{2j} = 0,2$ , quando rilevante.

# Progetto struttura: ANALISI SISMICA

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} . \quad (3.2.17)$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2j}$  sono riportati nella Tabella 2.5.I

Nel caso dei ponti, nelle espressioni 3.2.16 e 3.2.17 si assumerà per i carichi dovuti al transito dei mezzi  $\psi_{2j} = 0,2$ , quando rilevante.

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo + vuol dire *combinato con*.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ 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

**Calcolo delle masse di piano e della posizione dei baricentri di piano !!!!**

# Progetto struttura: masse di piano

Per ciascun livello, le *masse* si calcolano dai *pesi sismici* dividendoli per l'accelerazione di gravità  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ; le masse associate agli spostamenti lungo  $X$  e  $Y$  sono ovviamente uguali. La massa associata al grado di libertà rotazionale è data dal prodotto delle masse per il quadrato del raggio di inerzia  $\rho^2$ . Tali quantità sono assegnate direttamente al baricentro del relativo livello, coerentemente con l'ipotesi di impalcato infinitamente rigido.

Il *raggio di inerzia*  $\rho$  è calcolato assumendo tutte le masse spalmate uniformemente sulla superficie dell'edificio, la quale è assunta rettangolare e di  $16,40 \times 25,40 \text{ m}$ ; conseguentemente, accettando tale approssimazione, risulta:

$$\rho = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \Rightarrow \rho^2 = \frac{a^2 + b^2}{12} = \frac{16,4^2 + 25,4^2}{12} = 76,2 \text{ m}^2$$

con  $a$  e  $b$  dimensioni della proiezione verticale dell'edificio.

Prospetto 2.11 Masse ai vari impalcati

	$W$ (kN)	$M = W / g$ (t)	$I_p = M \rho^2$ (t·m <sup>2</sup> )
1° livello	3958	404	30738
2° livello	3783	386	29372
3° livello	3701	377	28741
4° livello	3299	336	25614

- ❑ Ad ogni piano ho impalcati rigidi
- ❑ Ogni piano ha 3 gradi di libertà (2 traslazioni e una rotazione di piano)
- ❑ Calcolo le due masse traslazionali (uguali tra loro) e «la massa rotazionale  $I_p$ »

**NB raggio di inerzia  $\rho$  nn sempre si calcola con la formula qui riportata!!! Questa formula vale per impalcati rettangolari con massa uniformemente distribuita!!!**

# Progetto struttura: grado di libertà rotazionale

## Strutture deformabili torsionalmente EC8:

Una formulazione più corretta è riportata nell'Eurocodice 8 al punto 4.2.3.2 (6):

$i_g$  è il raggio giratore della massa del piano in pianta [radice quadrata del rapporto tra (a) il momento di inerzia polare della massa del piano in pianta rispetto al centro di massa del piano e (b) la massa del piano].

$$I_s = \sqrt{\frac{\sum m_i \cdot d_i^2}{M_{tot}}}$$

$$d_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

$$\Delta x = x_i - x_{CM}$$

$$\Delta y = y_i - y_{CM}$$

## **NB considerare!!!:**

- **la reale geometria dell'impalcato!!!**
- **la presenza di aperture in esso!!!**
- **verificare che l'impalcato sia rigido !!!**

## Strutture deformabili torsionalmente NTC2008:

$$I_s^2 = \frac{I_{xy}}{A} = \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$

$$I_{xy} = I_{xx} + I_{yy} = \frac{B \cdot L^3}{12} + \frac{L \cdot B^3}{12} = B \cdot H \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$

$$A = B \cdot L$$

$$I_s^2 = \frac{I_{xy}}{A} = \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$

È importante notare che la formula riportata in normativa è valida per:

- Impalcato di forma rettangolare
- Distribuzione di massa uniforme

# Progetto struttura: masse di piano

---

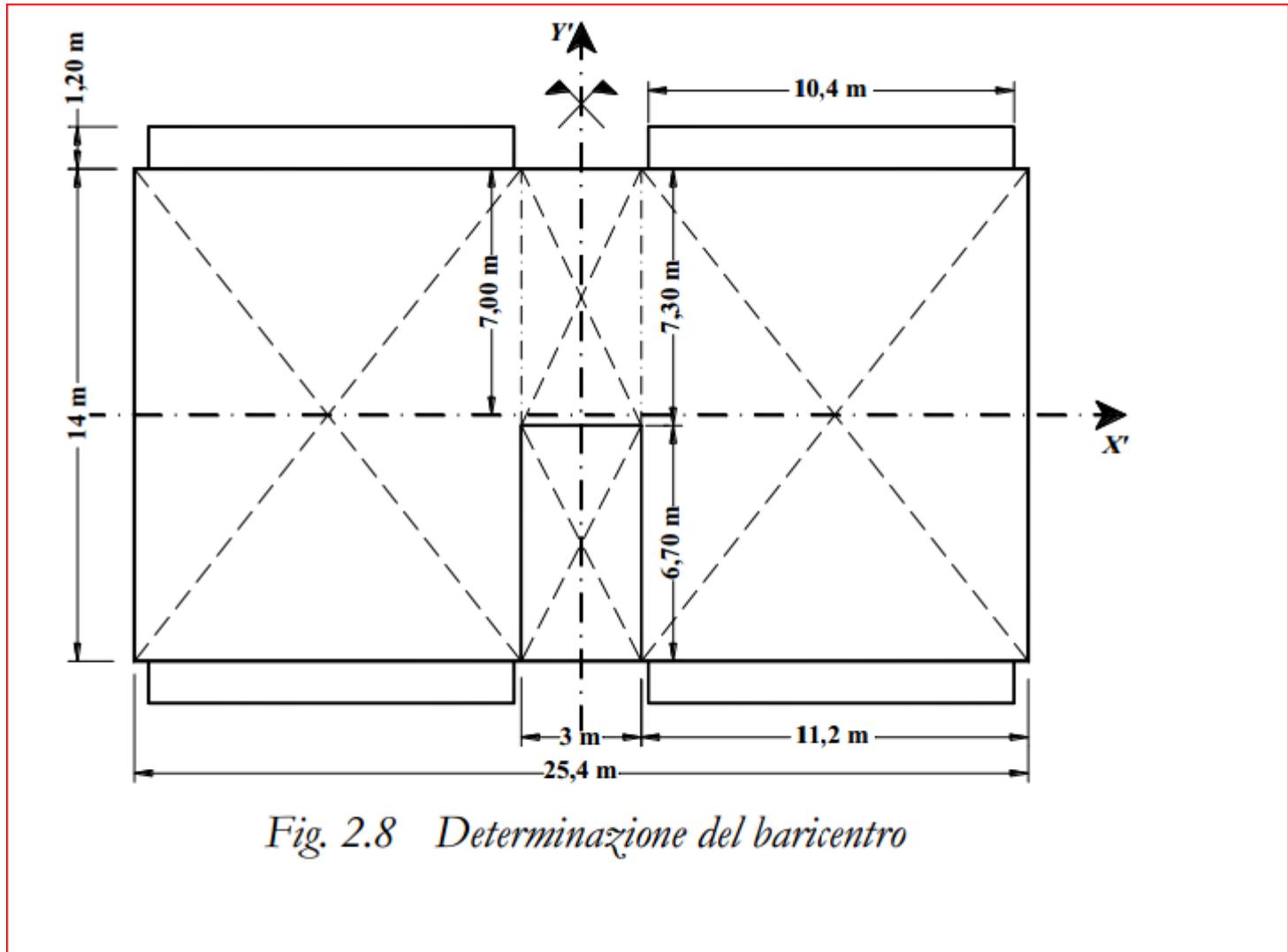
- ❑ Verificare che gli impalcati siano rigidi (soletta, sistema di travi, collegamento porzioni impalcato se sono presenti aperture) e in grado di «trasmettere il taglio tra i vari telai della struttura»
  - ❑ Calcolare corretta «massa rotazionale» (forma impalcato non rettangolare, presenza aperture)
  - ❑ Si assume che tutti i carichi verticali e quindi le masse sismiche siano distribuiti secondo una comb. tutta caricata senza scacchiere!!!!
-

# Progetto struttura: masse di piano

---

- ❑ Si lavora impalcato per impalcato
  - ❑ Si divide l'impalcato in sotto elementi (rettangoli,...) con pesi diversi (propri e/o accidentali) di cui si conosce la posizione dei baricentri
  - ❑ «Si schiacciano sul piano» la metà dei pesi (spettanti all'interpiano) delle tamponature esterne, delle porzioni dei pilastri e dei setti e delle scale sopra e sotto il piano considerato
  - ❑ La posizione dei baricentri delle sezioni degli elementi «schiacciati sul piano» sono proiettate sul piano dell'impalcato
-

# Progetto struttura: baricentri di piano



# Progetto struttura: baricentri di piano

La determinazione della posizione del baricentro è fatta con l'applicazione del *teorema di Varignon* che presuppone il calcolo dei momenti statici rispetto all'asse  $X'$ .

Si osserva che, per ragioni di simmetria, sono nulli i momenti statici  $S_x$ , di balconi, tamponature, pilastri e travi.

Per il primo livello si ha:

*Prospetto 2.12 Momento statico rispetto all'asse  $X'$*

Elemento	w	$S_x$
Solaio	6,21 kN/m <sup>2</sup>	$6,21 \cdot 7,30 \cdot 3 \cdot (7,00 - 7,30/2) = +456$ kNm
Scala	6,56 kN/m <sup>2</sup>	$6,56 \cdot 3 \cdot 6,70 \cdot (7,00 - 6,70/2) = -481$ kNm
Trave a ginocchio	2,25 kN/m	$2,25 \cdot 2 \cdot 6,70 \cdot (7,00 - 6,70/2) = -110$ kNm
		<b><math>\Sigma_i S_x = -136</math> kNm</b>

La distanza del baricentro dall'asse  $X'$  è data da  $\Sigma_i S_x / W_1 = -136 / 3958 = -0,03$  m .

Per gli altri livelli si ha:

$$2^\circ \text{ livello } \Sigma_i S_x / W_2 = -136 / 3783 = -0,04 \text{ m}$$

$$3^\circ \text{ livello } \Sigma_i S_x / W_3 = -136 / 3701 = -0,04 \text{ m}$$

$$4^\circ \text{ livello } \Sigma_i S_x / W_4 = -296 / 3299 = -0,09 \text{ m}$$

# Progetto struttura: eccentricità accidentale

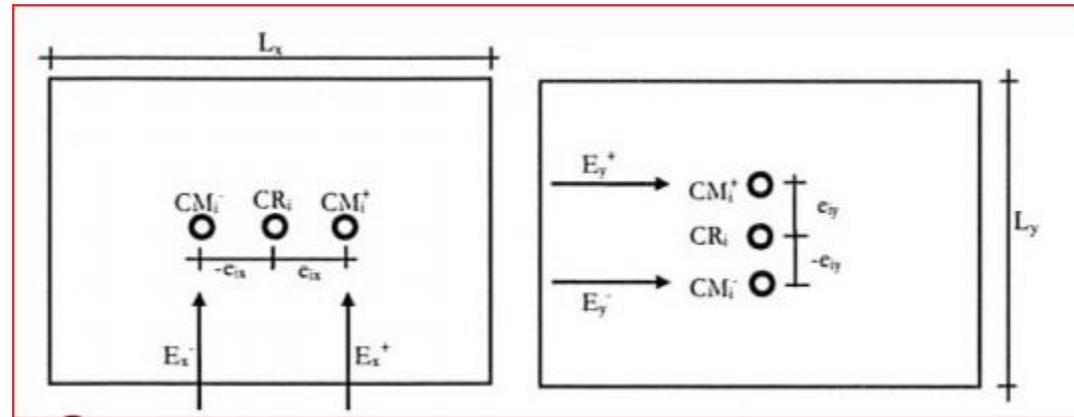
NTC 2008:

## 7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, al centro di massa deve essere attribuita una eccentricità accidentale rispetto alla sua posizione quale deriva dal calcolo. Per i soli edifici ed in assenza di più accurate determinazioni l'eccentricità accidentale in ogni direzione non può essere considerata inferiore a 0,05 volte la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica. Detta eccentricità è assunta costante, per entità e direzione, su tutti gli orizzontamenti.

$$e_{ix} = \pm 0.05L_x$$

$$e_{iy} = \pm 0.05L_y$$



# Progetto struttura: eccentricità accidentale

---

- ❑ La norma NTC2008 ci dice di considerare una eccentricità accidentale con cui spostare i baricentri di piano tutti in modo concorde
  - ❑ I quattro possibili spostamenti fanno sì che le combinazioni sismiche siano  $8 \times 4 = 32!!!!$
  - ❑ Nel progetto sviluppato durante il corso consideriamo per semplicità un solo spostamento dei baricentri di piano e quindi solo 8 comb. sismiche!!!
  - ❑ Lo spostamento dei baricentri scelto (per semplicità qui nel corso) deve essere giustificato come caso di interesse (es incremento azioni su particolari elementi!!! Elementi dove ho problematiche interessanti!!!)
-

# Progetto struttura: comb. sismiche

- Nel progetto sviluppato durante il corso si considera una analisi con forze equivalenti anche per strutture non regolari (cmq occorre verificare gli effetti di questa semplificazione!!!):
  - le azioni  $E_x$  ed  $E_y$  sono forze equivalenti nei baricentri di piano che devono essere opportunamente combinate tra loro (7.3.15 NTC2008, 30% di una con 100% dell'altra! Con rotazione dei coeff. tra  $E_x$  ed  $E_y$ )
  - $E_x$  ed  $E_y$  agiscono per una data direzione (rispettivamente  $x$ ,  $y$ ) secondo due possibili versi!!!
  - Tutte e 8 le combinazioni di  $E_x$  ed  $E_y$  che ne risultano hanno in comune gli stessi carichi verticali ( $G_{1k}, G_{2k}, \psi_2 Q_k$ ) distribuiti secondo la comb. tutto caricato!!!

Le 8 combinazioni sismiche risultano pertanto:

$$C4 = E_{c5} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C5 = E_{c6} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C6 = E_{c7} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C7 = E_{c8} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C8 = E_{c9} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C9 = E_{c10} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C10 = E_{c11} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

$$C11 = E_{c12} + G_1 + G_2 + \psi_2 Q_k$$

# Progetto struttura: comb. azioni sismiche Ex ed Ey

1-  $E_{c5} = + 1,00 F_x + 0,30 F_y$

2-  $E_{c6} = + 1,00 F_x - 0,30 F_y$

3-  $E_{c7} = - 1,00 F_x + 0,30 F_y$

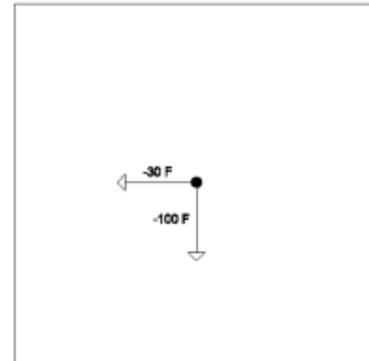
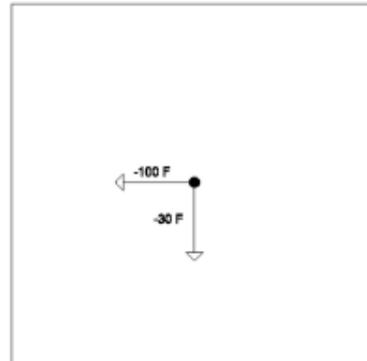
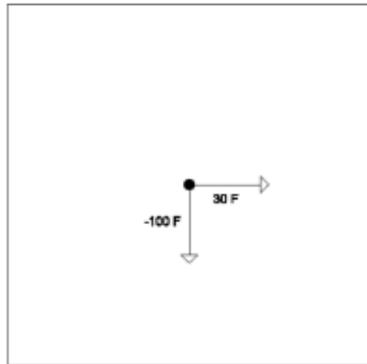
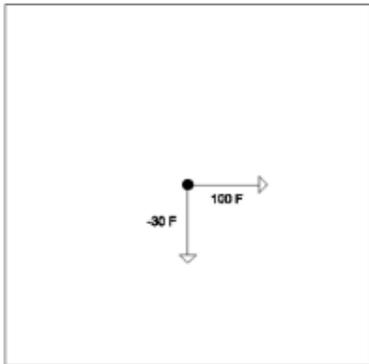
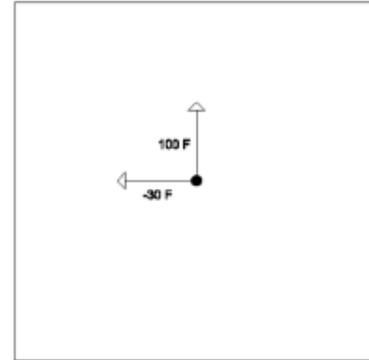
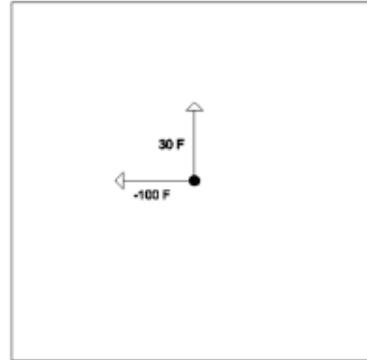
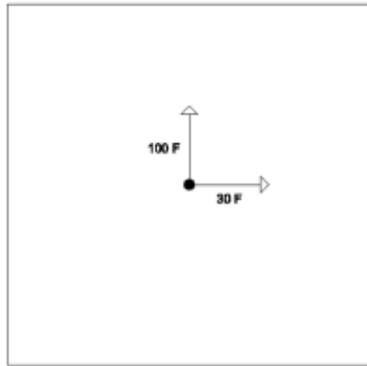
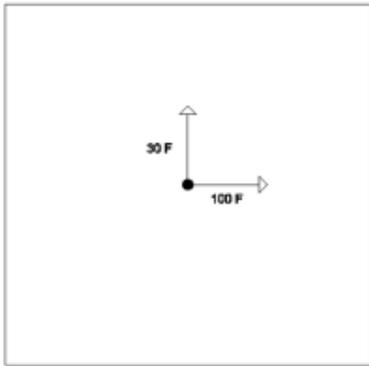
4-  $E_{c8} = - 1,00 F_x - 0,30 F_y$

5-  $E_{c9} = + 0,30 F_x + 1,00 F_y$

6-  $E_{c10} = + 0,30 F_x - 1,00 F_y$

7-  $E_{c11} = - 0,30 F_x + 1,00 F_y$

8-  $E_{c12} = - 0,30 F_x - 1,00 F_y$



# Progetto struttura: comb. azioni

---

□ Nel progetto consideriamo:

- inviluppo sismico delle 8 comb sismiche
- inviluppo non sismico delle 3 comb. SLU
- inviluppo dei due inviluppi

□ NB vedremo nella progettazione degli elementi strutturali quali combinazioni considerare!!!!

# Progetto struttura: regolarità

---

- Nel progetto sviluppato durante il corso:
    - costruiamo un modello della struttura in un software di calcolo, assegnando le caratteristiche dei materiali (moduli elastici fessurati per lo SLU), le geometrie di elementi e sezioni e le masse nei baricentri di piano.
    - valutiamo la regolarità strutturale in pianta ed in elevazione
    - verifichiamo la tipologia strutturale
-

# Progetto struttura: regolarità

---

- ❑ La regolarità di una struttura ha effetti sul tipo di analisi sismica che si può adottare e sul valore di alcuni coefficienti (es valore del fattore  $q$ )
  - ❑ Durante lo svolgimento del progetto assegnato nel corso per semplicità, usiamo il metodo di analisi con forze sismiche equivalenti
  - ❑ Il metodo semplificato di analisi vale per strutture regolari: controlleremo poi gli effetti di tale scelta!!!!
-

## 7.2.2 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE COSTRUZIONI

### Regolarità

Le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza. Se necessario ciò può essere conseguito suddividendo la struttura, mediante giunti, in unità tra loro dinamicamente indipendenti.

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è *regolare in pianta* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidità;
- il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4;
- nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;
- gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

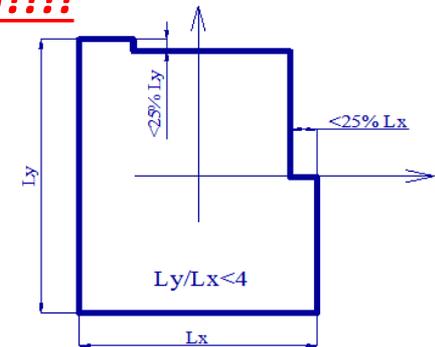
Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;
- massa e rigidità rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidità non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidità si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;
- nelle strutture intelaiate progettate in CD "B" il rapporto tra resistenza effettiva<sup>3</sup> e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;
- eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

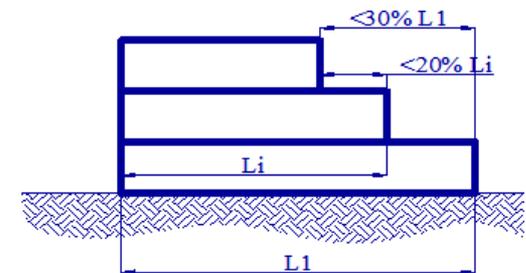
Per i ponti le condizioni di regolarità sono definite nel § 7.9.2.1.

## Come valutare la regolarità strutturale!!!!

### Regolarità in pianta!!!!

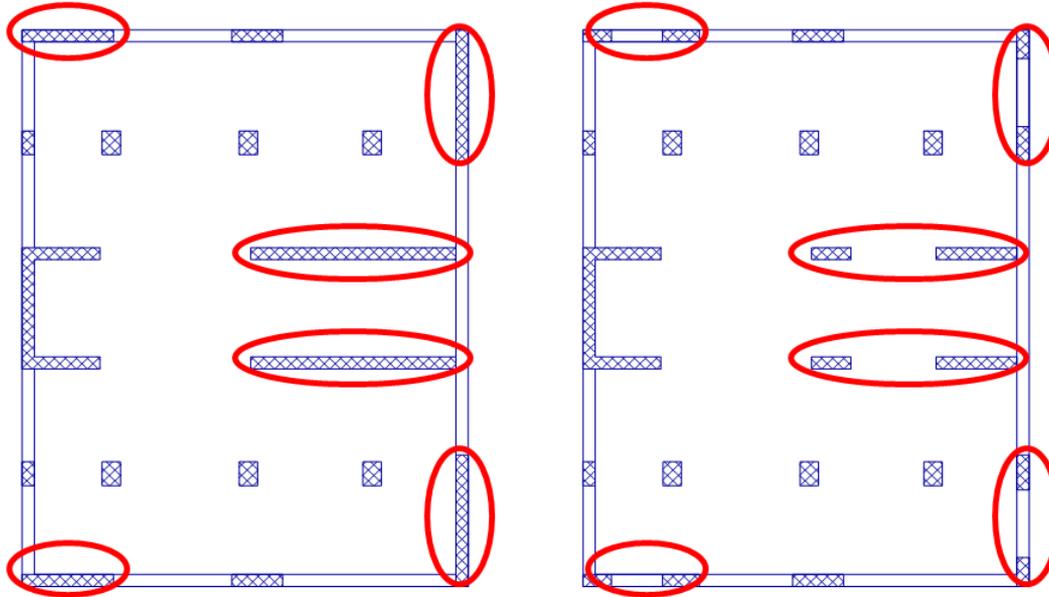


### Regolarità in altezza!!!!



# Progetto struttura: regolarità

Es. Variazione della rigidezza degli elementi strutturali  
in altezza per la presenza di aperture !!!!!

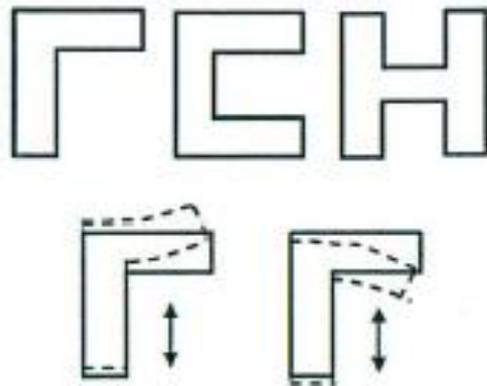


Per le masse si ragiona  
analogamente!!!!

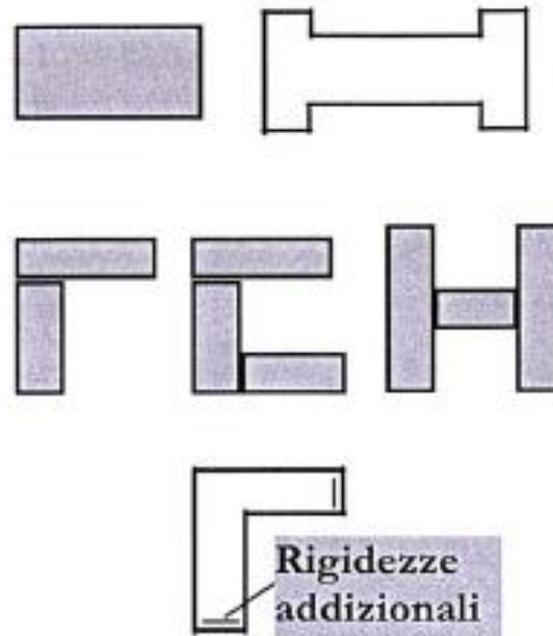
# Progetto struttura: regolarità

## Regolarità strutturale

Sfavorevole

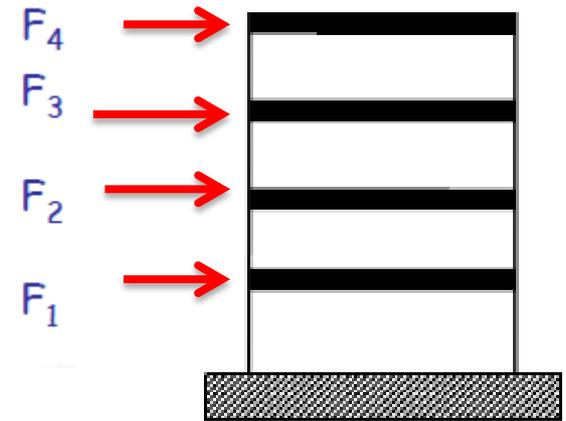


Favorevole



# Progetto struttura: regolarità elevazione

- ❑ Analisi regolarità in elevazione indipendente lungo x e lungo y
- ❑ Si assegna un profilo di carico che varia lungo l'altezza dell'edificio (prima lungo x e poi a parte lungo y, sono due analisi distinte!!!)
- ❑ Per strutture regolari è corretto usare distribuzione in NTC2008, 7.3.6. NB per strutture nn regolari occorrerebbe fare considerazioni più accurate!!! Per semplicità adottiamo cmq questo profilo nei progetti del corso!!!
- ❑ Si valutano le variazioni di rigidezza tra un piano e l'altro (prima lungo x e poi lungo y)



# Progetto struttura: distribuzione forze tra i piani

## □ 7.3.3.2 Analisi lineare statica

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$ , e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot W_i / \sum_j z_j W_j \quad (7.3.6)$$

dove:

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa  $i$ -esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa  $i$  e della massa  $j$ ;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse  $i$  e  $j$ ;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se  $T_1 < 2T_c$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Per gli edifici, se le rigidità laterali e le masse sono distribuite simmetricamente in pianta, gli effetti torsionali accidentali di cui al § 7.2.6 possono essere considerati amplificando le sollecitazioni su ogni elemento resistente, calcolate con la distribuzione fornita dalla formula (7.3.6), attraverso il fattore ( $\delta$ ) risultante dalla seguente espressione:

$$\delta = 1 + 0,6 x / L_e \quad (7.3.7)$$

dove:

$x$  è la distanza dell'elemento resistente verticale dal baricentro geometrico di piano, misurata perpendicolarmente alla direzione dell'azione sismica considerata;

$L_e$  è la distanza tra i due elementi resistenti più lontani, misurata allo stesso modo.

# Progetto struttura: regolarità elevazione

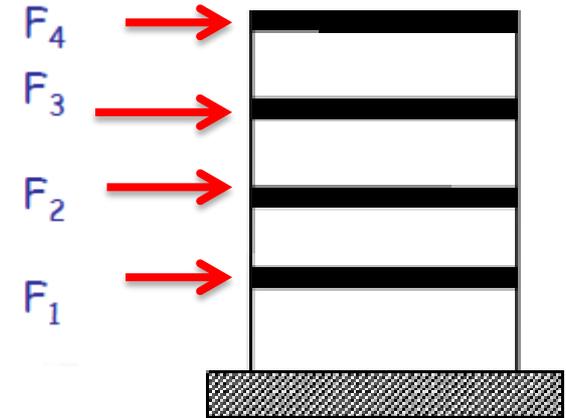
Per valutare il valore delle rigidezze “traslazionale” del piano i-esimo:

$$V_b^{\max} = 5.000 \text{ kN}$$

$$F_i = V_b^{\max} (z_i \cdot W_i) / \sum (z_j \cdot W_j)$$

Dir X	Taglio di Piano [kN]	Spost. Interpiano[m]	$K_{lat}$ [kN/m]	Scostamento
1°	$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 5.000 \text{ kN}$	0,0076	657.895	
2°	$F_2 + F_3 + F_4 = 4.410 \text{ kN}$	0,0100	441.000	-33%
3°	$F_3 + F_4 = 3.155 \text{ kN}$	0,0097	325.250	-27%
4°	$F_4 = 1.270 \text{ kN}$	0,0043	295.350	-10%

Dir Y	Taglio di Piano [kN]	Spost. Interpiano[m]	$K_{lat}$ [kN/m]	Scostamento
1°	$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 5.000 \text{ kN}$	0,011	454.550	
2°	$F_2 + F_3 + F_4 = 4.410 \text{ kN}$	0,016	275.625	-30%
3°	$F_3 + F_4 = 3.155 \text{ kN}$	0,016	197.185	-29%
4°	$F_4 = 1.270 \text{ kN}$	0,008	158.750	-20%



$K_{lat}$  = taglio di piano / spostamento di interpiano

**Come valutare la rigidezza traslazionale di piano e le variazioni tra un piano e l'altro di tale rigidezza!!!**

# Progetto struttura: tipologie strutturali

- ❑ Dopo l'analisi di regolarità in pianta ed elevazione, occorre valutare la tipologia strutturale
- ❑ La norma definisce le tipologie strutturali in NTC2008 7.4.3.1
- ❑ Attenzione a valutare come prima cosa se la struttura è deformabile torsionalmente
- ❑ Se la struttura risulta def. Torsionalmente cerchiamo di correggerne il comportamento diminuendo opportunamente la eccentricità tra centro di massa di piano (dove agiscono le forze sismiche) e centro di taglio di piano (dove agisce la risultante delle reazioni di piano). Tale eccentricità induce le rotazioni del piano!!!!
- ❑ Qualora non fosse possibile intervenire per correggerne il comportamento (inserendo dei setti, variandone le geometrie degli elementi,...) allora assumiamo un  $q$  più basso rispetto alle altre tipologie strutturali e quindi forze di progetto più alte!!!

# Progetto struttura: tipologie strutturali

## □ Strutture deformabili (def.) torsionalmente

- Strutture che rispondono alla azione sismica con importanti rotazioni dei piani orizzontali (xy) attorno all'asse perpendicolare al piano (z)
- La dissipazione della energia sismica per le strutture def. torsionalmente è minore di quella di una struttura che risponde al sisma prevalentemente traslando lungo x e y
- Queste incertezze di modello sono penalizzate assegnando alle strutture dei fattori di struttura  $q$  bassi (forze di progetto più grandi)
- NB la inerzia rotazionale va valutata in modo corretto in funzione della reale forma dell'impalcato e delle aperture in esso presenti. NN sempre va bene la formula indicata in normativa per il raggio giratore!!!

### 7.4.3.1 Tipologie strutturali

Le strutture sismo-resistenti in cemento armato previste dalle presenti norme possono essere classificate nelle seguenti tipologie:

- *strutture a telaio*, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base  $\geq 65\%$  della resistenza a taglio totale;
- *strutture a pareti*, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti, singole o accoppiate, aventi resistenza a taglio alla base  $\geq 65\%$  della resistenza a taglio totale<sup>4</sup>;
- *strutture miste telaio-pareti*, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di *strutture miste equivalenti a telai*, altrimenti si parla di *strutture miste equivalenti a pareti*;
- *strutture deformabili torsionalmente*, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione  $r/l_s > 0,8$ , nella quale:

<sup>4</sup> Una parete è un elemento strutturale di supporto per altri elementi che ha una sezione trasversale caratterizzata da un rapporto tra dimensione massima e minima in pianta superiore a 4. Si definisce parete di forma composta l'insieme di pareti semplici collegate in modo da formare sezioni a L, T, U, I ecc. Una parete accoppiata consiste di due o più pareti singole collegate tra loro da travi duttili ("travi di accoppiamento") distribuite in modo regolare lungo l'altezza. Ai fini della determinazione del fattore di struttura  $q$  una parete si definisce accoppiata quando è verificata la condizione di

coppia prodot

$$r^2 = \text{rapporto tra rigidezza torsionale e flessionale di piano}$$
$$l_s^2 = (L^2 + B^2)/12 \quad (L \text{ e } B \text{ dimensioni in pianta del piano})$$

- *strutture a pendolo inverso*, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione o nelle quali la dissipazione d'energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale<sup>5</sup>.

Le strutture delle costruzioni in calcestruzzo possono essere classificate come appartenenti ad una tipologia in una direzione orizzontale ed ad un'altra tipologia nella direzione orizzontale ortogonale alla precedente.

Una struttura a pareti è da considerarsi come *struttura a pareti estese debolmente armate* se, nella direzione orizzontale d'interesse, essa ha un periodo fondamentale, calcolato nell'ipotesi di assenza di rotazioni alla base, non superiore a  $T_C$ , e comprende almeno due pareti con una dimensione orizzontale non inferiore al minimo tra 4,0m ed i  $2/3$  della loro altezza, che nella situazione sismica portano insieme almeno il 20% del carico gravitazionale.

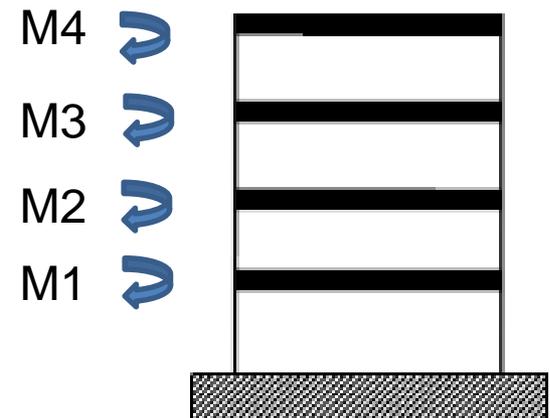
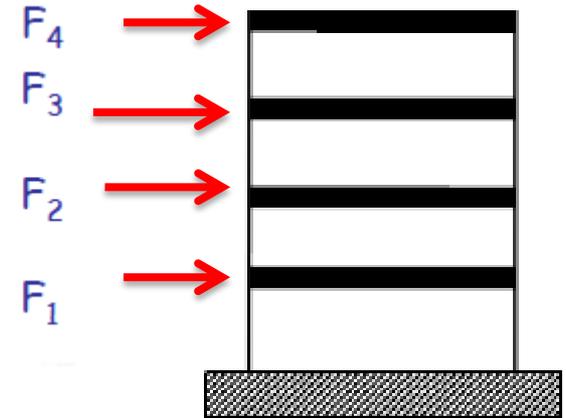
Se una struttura non è classificata come *struttura a pareti estese debolmente armate*, tutte le sue pareti devono essere progettate come duttili.

**Tipologia strutturale!!!!**

**Dopo aver costruito il modello 3D, lo analizziamo e determiniamo la tipologia strutturale!!!!**

# Progetto struttura: def. torsionalmente

- ❑ Si valutano le rigidzze traslazionali di piano lungo x e lungo y (sono i risultati della analisi di regolarità in elevazione già fatta!!!!)
- ❑ Si valutano le rigidzze rotazionali di piano (una per ogni piano)
- ❑ Si calcolano per ogni piano i rapporti tra rigidzze traslazionali lungo x e rigidzze rotazionali
- ❑ Si calcolano per ogni piano i rapporti tra rigidzze traslazionali lungo y e rigidzze rotazionali
- ❑ Si stima il rapporto di normativa  $r/l_s$
- ❑ Si verifica che il rapporto di normativa  $r/l_s$  sia nei limiti definiti dalla norma per ogni piano!!!!



# Progetto struttura: def. torsionalmente

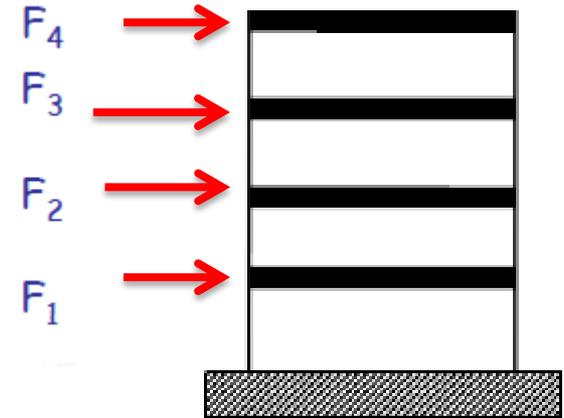
- Per valutare il valore delle rigidezze “traslazionale” del piano i-esimo:

$$V_b^{\max} = 5.000 \text{ kN}$$

**Forza qualunque da distribuire!!!**

$$F_i = V_b^{\max} (z_i \cdot W_i) / \sum (z_j \cdot W_j)$$

$K_{lat}$  = taglio di piano / spostamento di interpiano



Dir X	Taglio di Piano [kN]	Spost. Interpiano [m]	$K_{lat}$ [kN/m]	Scostamento
1°	$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 5.000 \text{ kN}$	0,0076	657.895	
2°	$F_2 + F_3 + F_4 = 4.410 \text{ kN}$	0,0100	441.000	-33%
3°	$F_3 + F_4 = 3.155 \text{ kN}$	0,0097	325.250	-27%
4°	$F_4 = 1.270 \text{ kN}$	0,0043	295.350	-10%

Dir Y	Taglio di Piano [kN]	Spost. Interpiano [m]	$K_{lat}$ [kN/m]	Scostamento
1°	$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 5.000 \text{ kN}$	0,011	454.550	
2°	$F_2 + F_3 + F_4 = 4.410 \text{ kN}$	0,016	275.625	-30%
3°	$F_3 + F_4 = 3.155 \text{ kN}$	0,016	197.185	-29%
4°	$F_4 = 1.270 \text{ kN}$	0,008	158.750	-20%

**Come valutare la rigidezza traslazionale di piano e le variazioni tra un piano e l'altro di tale rigidezza!!!**

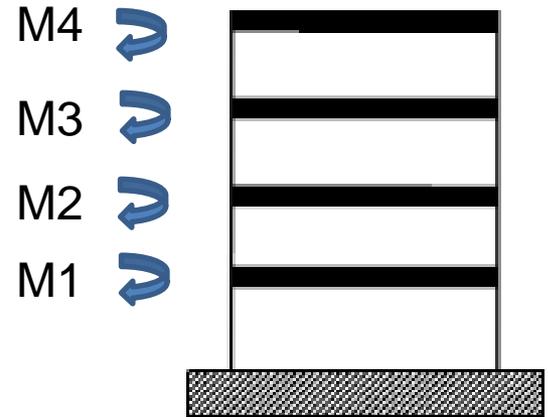
# Progetto struttura: def. torsionalmente

- Per valutare il valore delle rigidezze “torsionali” del piano i-esimo:

$$K_t = M_i / \text{rotazione di interpiano}$$

$$M_i = M_{+}^{\max}(z_i \cdot W_i) / \sum(z_j \cdot W_j)$$

**momento qualunque da distribuire!!!**



	Taglio di Piano [kN]	Rotazione Interpiano	$K_t$ [kN/m]	$K_{lat} Y$ [kN/m]	$K_{lat} X$ [kN/m]	$r^2$	$r$
1°	$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 5.000 \text{ kNm}$	0,00012	41.667.000	657.895	454.550	63,35	7,96
2°	$M_2 + M_3 + M_4 = 4.375 \text{ kNm}$	0,00013	33.654.000	441.000	275.625	76,30	8,73
3°	$M_3 + M_4 = 3.120 \text{ kNm}$	0,00013	24.000.000	325.250	197.185	73,90	8,60
4°	$M_4 = 1.270 \text{ kNm}$	0,00004	31.750.000	295.350	158.750	107,5	10,3

**Come valutare la rigidezza torsionale di piano!!!!**

# Progetto struttura: def. torsionalmente

- ❑ Si valuta lungo x e lungo y il rapporto  $r/l_s$  per ogni piano
- ❑ Attenzione a  $I_s$  in funzione della forma dell'impalcato (qui approssimabile a un rettangolo)!!!
- ❑ Se un solo piano non rispetta i limiti di norma la struttura è deformabile torsionalmente

	$(L^2+B^2)/12$	$I_s$	$K_t$ [kN/m]	$K_{lat}$ Y [kN/m]	$r^2$	$r$	$r/l_s$
1°	$(21^2+14,5^2)/12=54,3$	7,35	41.667.000	657.895	63,35	7,96	1,08
2°	54,3	7,35	33.654.000	441.000	76,30	8,73	1,18
3°	54,3	7,35	24.000.000	325.250	73,90	8,60	1,17
4°	54,3	7,35	31.750.000	295.350	107,5	10,3	1,4

- *strutture deformabili torsionalmente*, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione  $r/l_s > 0,8$ , nella quale:

$r^2$  = rapporto tra rigidezza torsionale e flessionale di piano

$I_s^2 = (L^2 + B^2)/12$  (L e B dimensioni in pianta del piano)

Nel caso la struttura abbia comportamento strutturale dissipativo, si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttività (CD):

- Classe di duttilità alta (CD "A");
- Classe di duttilità bassa (CD "B").

La differenza tra le due classi risiede nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisi, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

## Classe di duttilità secondo le NTC!!!!

### 7.4.3.2 Fattori di struttura

Il fattore di struttura da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica orizzontale è calcolato come riportato nel § 7.3.1.

I massimi valori di  $q_0$  relativi alle diverse tipologie ed alle due classi di duttilità considerate (CD "A" e CD "B") sono contenuti nella tabella seguente.

Tabella 7.4.I – Valori di  $q_0$

Tipologia	$q_0$	
	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Le strutture a pareti estese debolmente armate devono essere progettate in CD "B". Strutture aventi i telai resistenti all'azione sismica composti, anche in una sola delle direzioni principali, con travi a spessore devono essere progettate in CD "B" a meno che tali travi non si possano considerare elementi strutturali "secondari".

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di  $\alpha_u/\alpha_1$ :

a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

- strutture a telaio di un piano  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- strutture a telaio con più piani e più campate  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

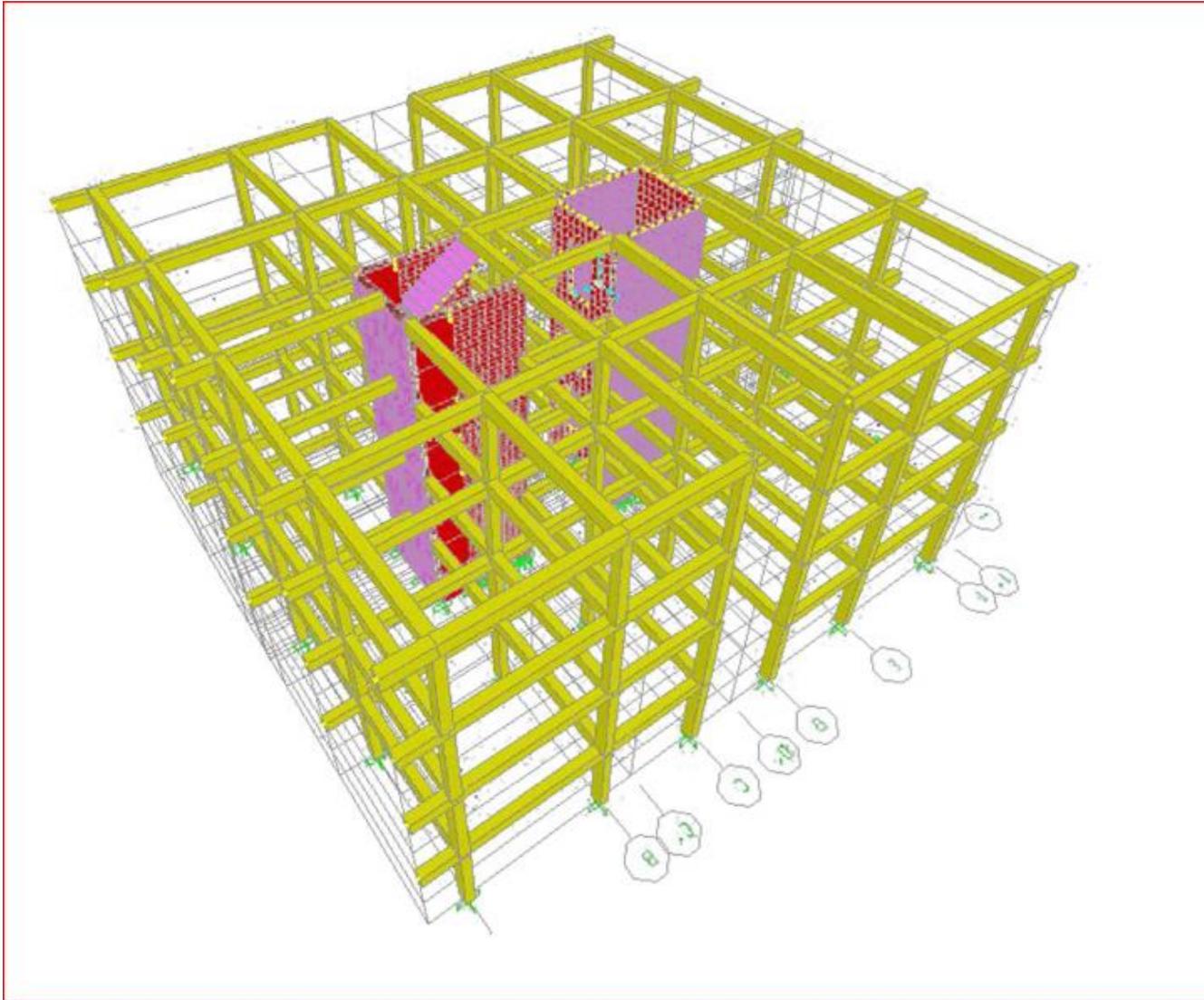
b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$
- altre strutture a pareti non accoppiate  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

## Valori del fattore di struttura $q_0$ secondo NTC!!!

<sup>5</sup> Non appartengono a questa categoria i telai ad un piano con i pilastri collegati in sommità lungo entrambe le direzioni principali dell'edificio e per i quali la forza assiale non eccede il 30% della resistenza a compressione della sola sezione di calcestruzzo.

# Progetto struttura



# Progetto struttura: modello

---

## □ ESEMPI SAP2000

- CONSTRAIN DI PIANO (SIMULARE PIANO SOLAIO RIGIDO)
- SPECIAL JOINT (PER APPLICARE MASSE NEI BARICENTRI)
- SHELL (PIASTRE E SETTI)

- [-] Introduction
- [-] Getting Started
- [-] Keyboard Commands and Special
- [-] Example Problems
  - [?] Introduction
  - [?] Problem A
  - [?] Problem B
  - [?] Problem C
  - [?] Problem D
  - [?] Problem E
  - [?] Problem F
  - [?] Problem G
  - [?] Problem H
  - [?] Problem I
  - [?] Problem J
  - [?] Problem K
  - [?] Problem L
  - [?] Problem M
  - [?] Problem N
  - [?] Problem O
  - [?] Problem P
  - [?] Problem Q

		Edit > Divide Frames File > New Model > 2D Frames - Portal
<b>B</b> <a href="#">Concrete Wall</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Groups</li> <li>■ Section Cuts</li> <li>■ Load Combinations</li> <li>■ Linear Replication</li> </ul>	Assign > Assign to Groups Assign > Joint Loads > Forces Define > Section Properties > Area Sections Define > Load Combinations Define > Load Patterns Define > Materials Display > Show Tables Edit > Replicate - Linear File > New Model > Wall - Shear Wall
<b>C</b> <a href="#">Truss Frame</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diaphragm Constraint</li> <li>■ Design Optimization</li> <li>■ Automatic Area Mesh</li> <li>■ Mode Shapes</li> <li>■ New Model (not from template, started</li> </ul>	Assign > Area > Automatic Area Mesh Assign > Area Loads > Uniform (Shell) Assign > Frame > Frame Sections Assign > Joint > Constraints Assign > Joint > Restraints Define > Load Cases - Modal Define > Section Properties > Area Sections

Contenuto | Indice | Cerca

- Introduction
- Getting Started
- Keyboard Commands and Special Feat
- Example Problems
  - Introduction
  - Problem A**
  - Problem B
  - Problem C
  - Problem D
  - Problem E
  - Problem F
  - Problem G
  - Problem H
  - Problem I
  - Problem J
  - Problem K
  - Problem L
  - Problem M
  - Problem N
  - Problem O
  - Problem P
  - Problem Q
  - Problem S
  - Problem T
  - Problem U
  - Problem V
  - Problem W
  - Problem Y
  - Problem Z
- Menus
- Output

## Problem A

### Concrete Wall and Steel Frame

#### Steel

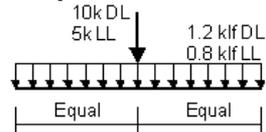
$F_y = 36$  ksi,  $E = 29500$  ksi, Poisson's Ratio = 0.3  
 Columns: W10X49, typical - pinned base  
 Beams: As noted, pinned ends except continuous over top of brace  
 Assume all W24X68 beams are braced at 1/3 points  
 Assume W16X36 beams braced at center only  
 Beams at concrete wall are not embedded in wall  
 Braces: TS6X6X1/4, pinned ends  
 Design Code: AISC-ASD89

#### Concrete

$E = 4000$  ksi, Poissons Ratio = 0.22  
 Self weight = 150 pcf

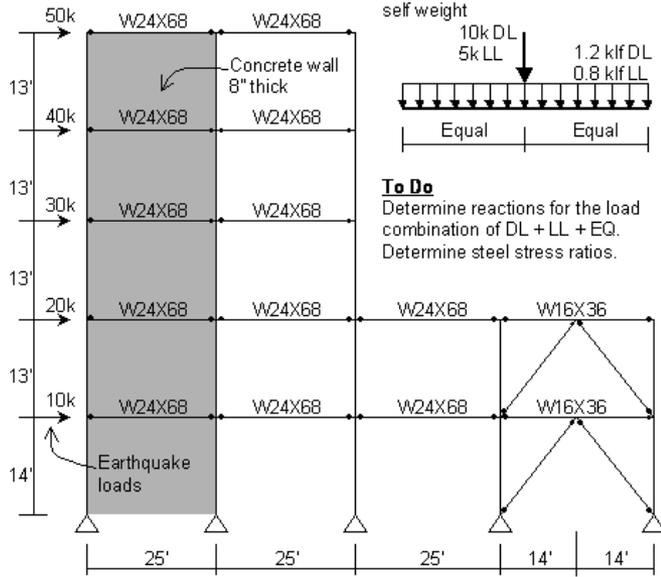
#### Beam Span Loading

Typical for all beams; includes self weight



#### To Do

Determine reactions for the load combination of DL + LL + EQ.  
 Determine steel stress ratios.



- Introduction
- Getting Started
- Keyboard Commands and Special Feat
- Example Problems
  - Introduction
  - Problem A
  - Problem B
  - Problem C
  - Problem D
  - Problem E
  - Problem F
  - Problem G
  - Problem H
  - Problem I
  - Problem J
  - Problem K
  - Problem L
  - Problem M
  - Problem N
  - Problem O
  - Problem P
  - Problem Q
  - Problem S
  - Problem T
  - Problem U
  - Problem V
  - Problem W
  - Problem Y
  - Problem Z
- Menus
- Output

## Problem B

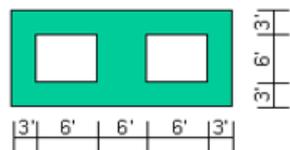
### Concrete Wall

#### Concrete

$E = 3600 \text{ ksi}$ , Poissons Ratio = 0.2

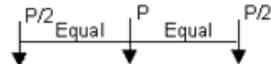
#### To Do

Model wall using shell elements. Determine shear axial force and moment in Pier A, and determine total shear, moment and axial force at the sixth level for all piers combined.

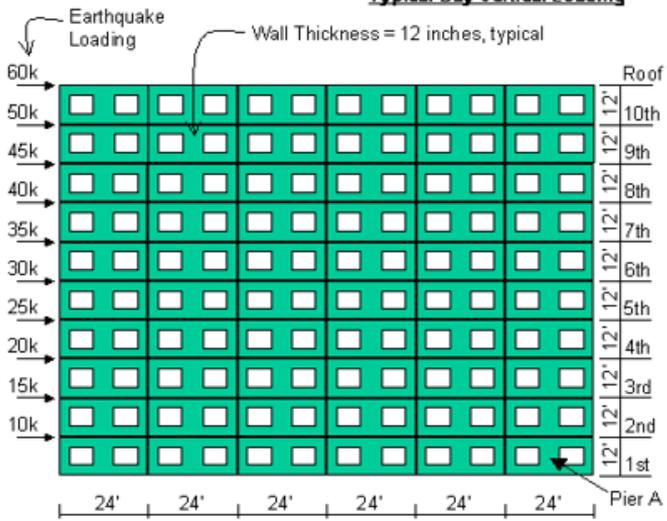


Typical Bay Dimensions

$P \text{ (DL)} = 21.6 \text{ k}$ ,  $P \text{ (LL)} = 7.2 \text{ k}$



Typical Bay Vertical Loading



CSI Solution Demonstrates Use of These Features

- Introduction
- Getting Started
- Keyboard Commands and Special Feat
- Example Problems
  - Introduction
  - Problem A
  - Problem B
  - Problem C
  - Problem D
  - Problem E
  - Problem F
  - Problem G
  - Problem H
  - Problem I
  - Problem J
  - Problem K
  - Problem L
  - Problem M
  - Problem N
  - Problem O
  - Problem P
  - Problem Q
  - Problem S
  - Problem T
  - Problem U**
  - Problem V
  - Problem W
  - Problem Y
  - Problem Z
- Menus
- Output

## Problem U

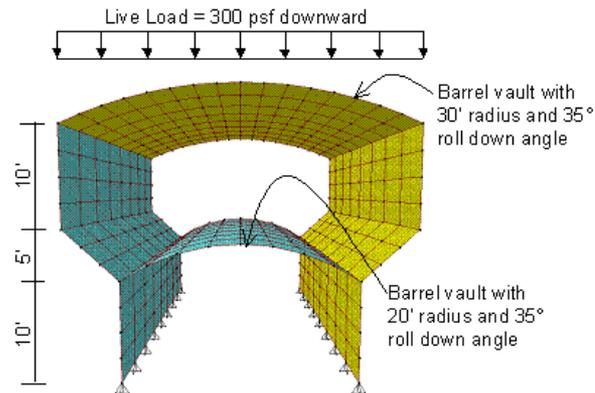
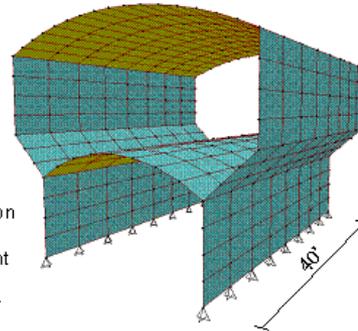
### Barrel Vaulted Structure

#### Concrete

$E = 3600$  ksi  
 Poissons Ratio = 0.2  
 12" thick concrete walls  
 and slabs

#### To Do

Determine the maximum deflection at the center of upper and lower barrel vaults due to the self weight of the structure. Also determine the maximum deflection at center of upper and lower barrel vaults due to the self weight plus the prescribed live load applied to the top barrel vault.



### CSI Solution Demonstrates Use of These Features

- Add To Model From Template

- Introduction
- Getting Started
- Keyboard Commands and Special Features
- Example Problems
  - Introduction
  - Problem A
  - Problem B
  - Problem C
  - Problem D
  - Problem E
  - Problem F
  - Problem G
  - Problem H
  - Problem I
  - Problem J
  - Problem K
  - Problem L
  - Problem M
  - Problem N
  - Problem O
  - Problem P
  - Problem Q
  - Problem S
  - Problem T
  - Problem U
  - Problem V
  - Problem W
  - Problem Y
  - Problem Z
- Menus
- Output

## Problem Z

### Response Spectrum Analysis

#### Building Description

The building is a four-story concrete shear wall building with concrete flat slabs supported by concrete columns. There is a 30 foot high steel flagpole on the roof at one corner of the building. A 250 pound man sits on top of the flagpole.

#### Steel

E=29000 ksi  
 Poissons Ratio = 0.3  
 Flagpole is 3"  $\varnothing$  standard pipe

#### Concrete

E=3600 ksi  
 Poissons Ratio = 0.2  
 Walls are 12" thick  
 Columns & beams are 20" x 20"  
 Floors & roof are 10" thick flat slab

#### Response Spectrum Loading

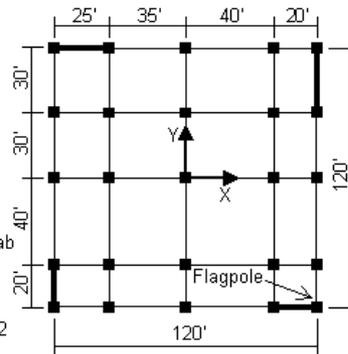
X-Dir (U1): 1994 UBC S2  
 Y-Dir (U2): 30% of 1994 UBC S2

#### Assumptions

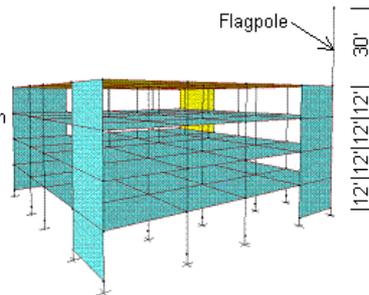
- Diaphragms are rigid in plane.
- Columns are fixed base.
- Consider the mass of the 250 pound man which is 0.00065 kip-sec<sup>2</sup>/in.

#### To Do

Determine maximum X-direction (U1) displacement at top and bottom of the flagpole for the specified response spectrum loading.



Typical Floor and Roof Plan



Three Dimensional Perspective View

SAP2000 Help

Nascondi Precedente Avanti Stampa

Contenuto Indice Cerca

Digitare la parola chiave da cercare:

section cut

Section cuts

- advanced axes
- plot function
- section cut output conventions
- Section Designer
- rebar
- Section headings
- Section properties
  - assign area section
  - assign cable sections
  - assign frame sections
  - assign solid properties
  - assign tendon section
  - cable section data form
  - define area sections
  - define frequency dep. link prop
  - frame section types
  - link support property data form
  - select - area sections
  - select - cable properties
  - select - frame sections
  - select - link properties
  - select - solid properties
  - select - tendon properties
  - solid property data form
  - tendon section data fom
- Seismic loading
- Select
  - 3D box
  - all
  - area sections
  - cable properties
  - clear selection
  - coordinate axes or plane
  - deselect
  - frequency dependent link properties
  - get previous selection
  - groups
  - intersecting poly
  - invert selection
  - joint supports
  - labels
  - link properties
  - material properties
  - parallel to straight line

Visualizza

## Draw Section Cuts

Form: *Section Cut Stresses and Forces*

Use the **Draw menu > Draw Section Cuts** command to display integrated forces along a specified section cut.

**Note:** Use this command after an analysis has been run ([Analyze menu > Run Analysis](#)) and with a deformed shape (with or without results) displayed in the active window (e.g., [Display menu > Show Deformed Shape](#), [Display menu > Forces/Stresses > Frames/Cable/Tendons](#), [Display menu > Show Forces/Stresses > Shells](#), [Display menu > Show Forces/Stresses > Asolids](#), [Display menu > Show Forces/Stresses > Planes](#), [Display menu > Show Forces/Stresses > Solids](#), [Display menu > Show Forces/ Stresses > Links](#))

1. Use the **Analyze menu > Run Analysis** command to run an analysis.
2. SAP2000 will automatically display a deformed shape after the analysis has been run, which can be used in Step 3. Alternatively, select an option from the Display menu to display results on the model. See the Display topics for more information about the results that can be generated and the forms and options used in generating various result displays.
3. With the deformed shape displayed, click the **Draw menu > Draw Section Cuts** command.
4. Move the mouse pointer/cursor to the starting point of the section cut to be drawn on the deformed shape and click the left mouse button. Drag the mouse to the ending point for the section cut. SAP2000 will display the **Section Cut Stresses & Forces** form. The form has the following areas:
  - **Section Cutting Line Projected Coordinates, Start Point and End Point** The X, Y and Z values displayed in this area of the form are the coordinates of the starting point and ending point of the section cut. Type directly in these edit boxes to adjust the location of the section, if necessary. Click the **Refresh** button to complete relocation of the section cut and to update the display of the integrated forces.
  - **Resultant Force Location and Angle** The X, Y, Z values displayed in this area of the form are the coordinates of a point along the section cut. The initial values are the mid-point between the Start Point and End Point. Type revised values in the edit box to display forces at another location along the section cut. The angle value is the angle measured counterclockwise from the positive Global X axis to the positive X axis of the local coordinate system in which the integrated forces are reported. The initial X direction is parallel to the section cut from the Start Point toward the End Point.

SAP2000 Help

Nascondi Precedente Avanti Stampa

Contenuto Indice Cerca

Digitare la parola chiave da cercare:

section cut

Section cuts

- advanced axes
- plot function
- section cut output conventions
- Section Designer
  - rebar
- Section headings
- Section properties
  - assign area section
  - assign cable sections
  - assign frame sections
  - assign solid properties
  - assign tendon section
  - cable section data fom
  - define area sections
  - define frequency dep. link props
  - frame section types
  - link support property data fom
  - select - area sections
  - select - cable properties
  - select - frame sections
  - select - link properties
  - select - solid properties
  - select - tendon properties
  - solid property data fom
  - tendon section data fom
- Seismic loading
- Select
  - 3D box
  - all
  - area sections
  - cable properties
  - clear selection
  - coordinate axes or plane
  - deselect
  - frequency dependent link properties
  - get previous selection
  - groups
  - intersecting poly
  - invert selection
  - joint supports
  - labels
  - link properties
  - material properties
  - parallel to straight line

Visualizza

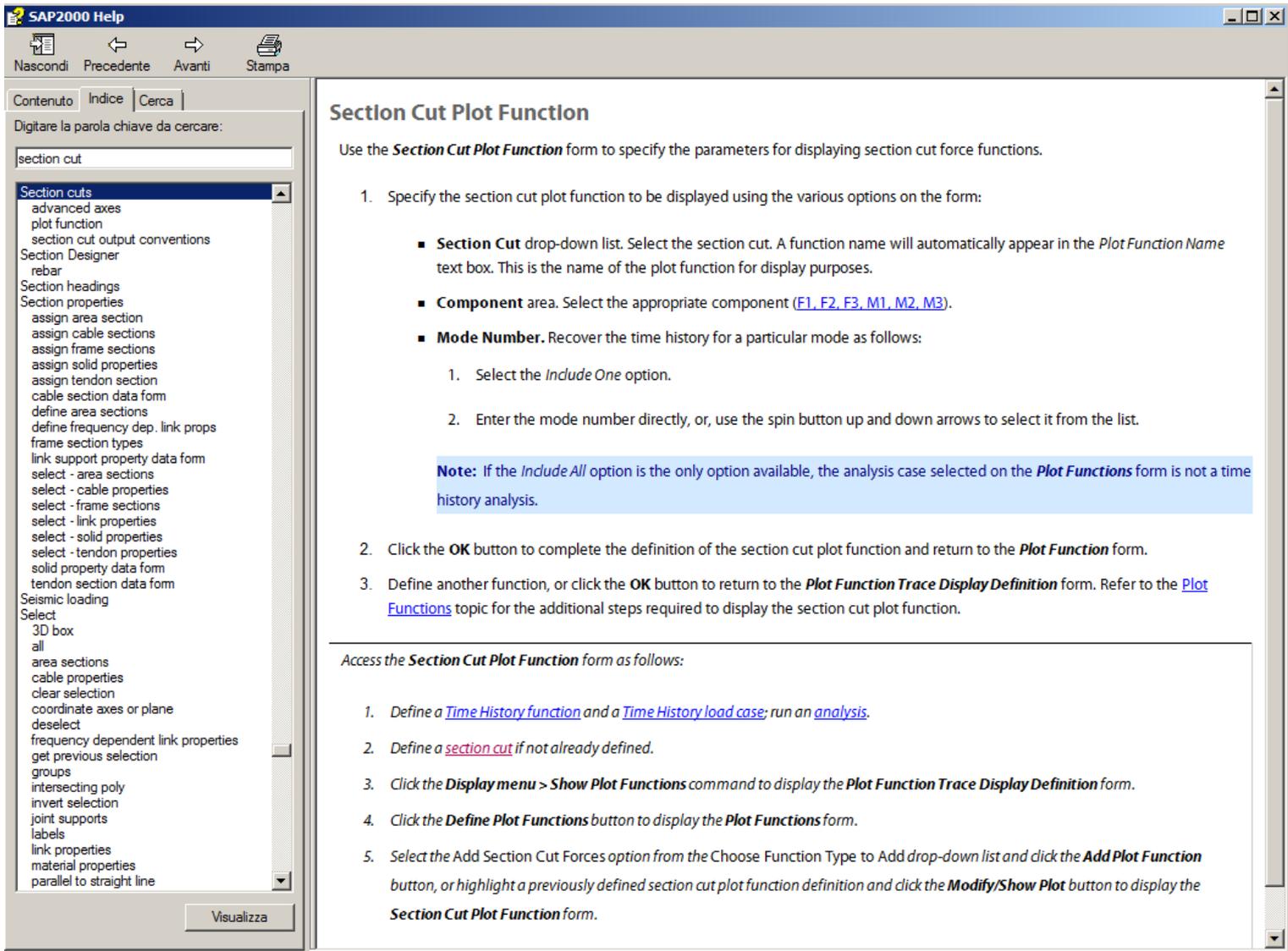
## Section Cuts

Form: *Section Cuts, Section Cut Data*

Use the **Define menu > Section Cuts** command to obtain resultant forces acting at section cuts through a model. Section cuts can be defined before or after an analysis has been run; however, it is safest to wait until after the analysis has been run. Typically do not define section cuts, and more importantly, the groups used in the section cut definition, until all manual meshing of the model (if any) has been completed (see [Frame - Automatic Frame Mesh](#), [Area - Automatic Area Mesh](#) or [Solid - Automatic Solid Mesh](#) for more information about meshing). If the groups are defined before manual meshing, some of the point objects that should be in the group may not yet be created.

**Define section cuts as follows:**

1. Define the group that is used to specify the extent of the section cut as follows.
  1. Select the objects that are to be part of the section cut.
  2. Select the **Assign menu > Assign to Group** command to access the *Assign/Define Group Names* form.
  3. Click the **Add New Group** button to access the *Group Definition* form.
  4. Enter a name in the *Group Name* edit box. If it is not already checked, check the *Section Cut Definition* check box, and click the **OK** button.
  5. Select the *Add to Group* option in the lower left-hand corner of the *Assign/Define Group Names* form and click the **OK** button.
2. Click the **Define menu > Section Cuts** command to access the *Section Cuts* form. Use the buttons on this form to add, modify, or delete section cuts.
  - **Add Section Cut** button. Click the **Add Section Cut** button to access the *Section Cuts Data* form, which has the following areas, options, and buttons:
    - **Section Cut Name** edit box. Use the default or type in a new name.
    - **Coordinate System** drop-down list. Choose the coordinate system in which the section cut will be defined.
    - **Units** drop-down list. Use the specified units or select new units from the drop-down list for the various values on the form.
    - **Section Cut Defined By** area. Choose an option for defining the section cut.
      - **Group** option. When this option is selected, section cut results are reported for all elements included in the *Group* specified using the *Group* drop-down list in the *Section Cut Group* area of the form.





SAP2000 v17.1.1 Ultimate - (Untitled)

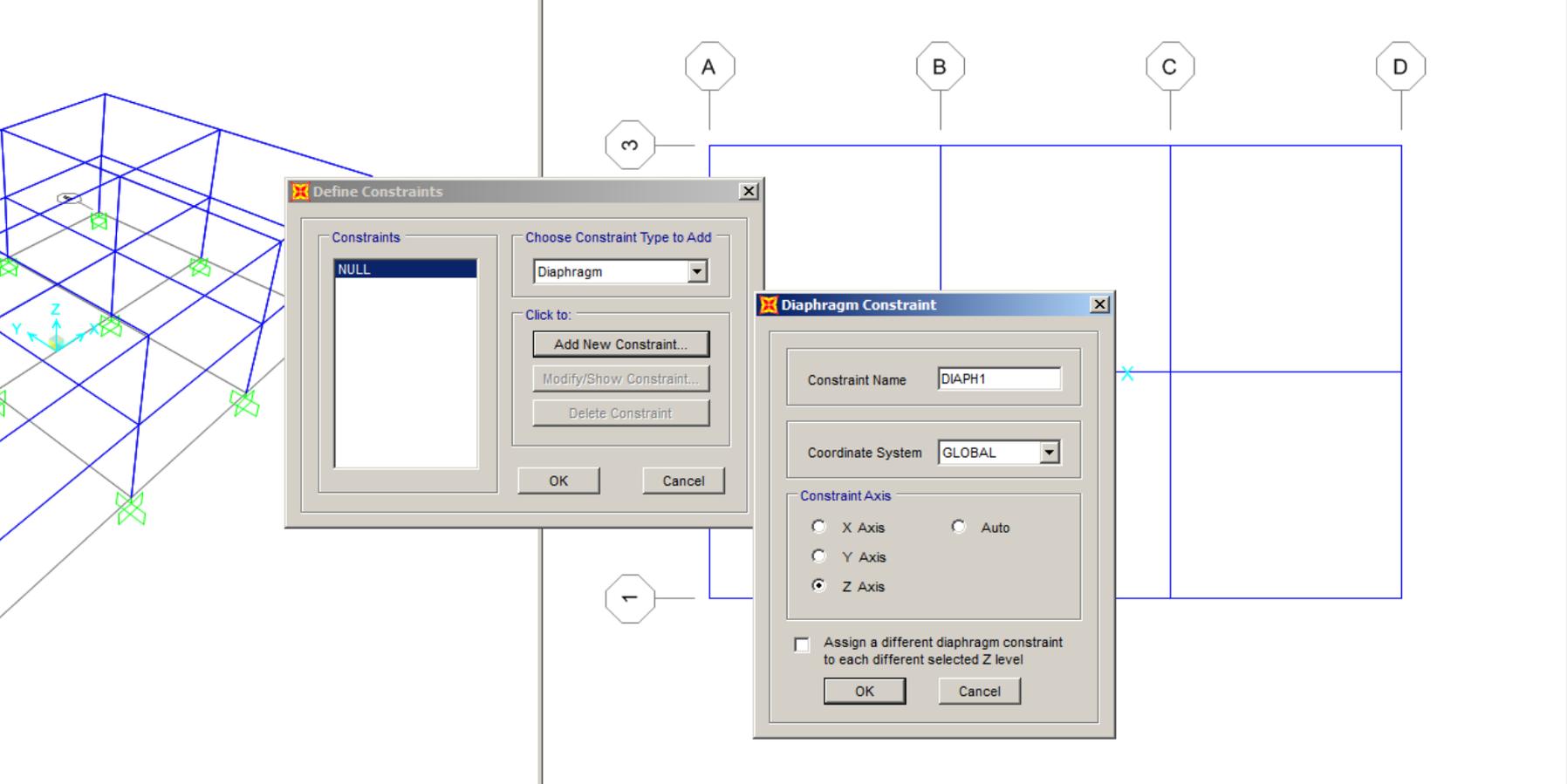
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

- Materials...
- Section Properties
- Mass Source...
- Coordinate Systems/Grids...
- Joint Constraints...**
- Joint Patterns...
- Groups...
- Section Cuts...
- Generalized Displacements...
- Functions
- Load Patterns...
- Load Cases...
- Load Combinations...
- Moving Loads
- Named Property Sets
- Pushover Parameter Sets
- Named Sets

3-D View

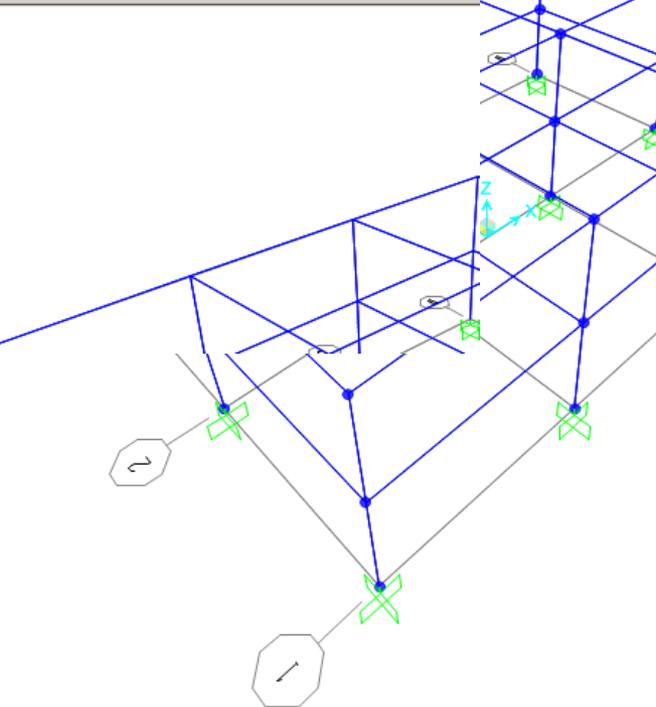
Joint Restraints

X-Y Plane @ Z=288



GLOBAL Kip, in, F

note



### Object Model - Point Information

Location Assignments Loads

Identification  
Label: 37

Joint Coordinates	
Coordinate System	GLOBAL
X	0,
Y	2,14210490722656
Z	7,3152
Connectivity	None
Special Jt (User Def)	Yes

Units: KN, m, C

Reset All

#### Joint Coordinates

Coordinate System: GLOBAL

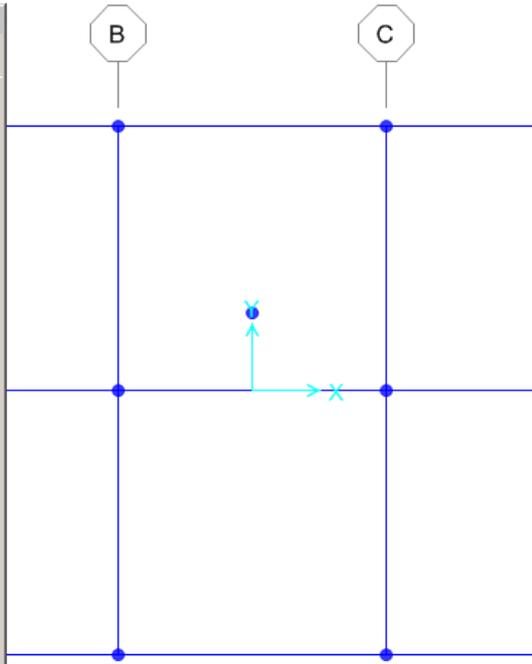
Units: KN, m, C

X Coordinate: 0,

Y Coordinate: 2,1421

Z Coordinate: 7,3152

Update Display  
Modify Display  
OK  
Cancel



X-68,72 Y84,33 Z288,0

Fare clic per inserire le note

The screenshot displays the SAP2000 v17.1.1 Ultimate software interface. The main window is split into two views: a 3D perspective view on the left and a 2D 'X-Y Plane @ Z=7,3152' view on the right. The 3D view shows a blue structural frame with green markers at various points. The 2D view shows a grid of points labeled A, B, C, D horizontally and 1, 2, 3 vertically, connected by dashed yellow lines. A context menu is open over the 3D view, listing options such as Joint, Frame, Cable, Tendon, Area, Solid, Link/Support, Joint Loads, Frame Loads, Cable Loads, Tendon Loads, Area Loads, Solid Loads, Link/Support Loads, Joint Patterns..., Assign to Group... (Ctrl+Shift+G), Update All Generated Hinge Properties, Clear Display of Assigns, Copy Assigns, and Paste Assigns. The bottom status bar indicates '13 Points 17 Frames Selected' and 'X-1,507 Y1,825 Z7,315'.

Fare clic per inserire le note

3-D View

X-Y Plane @ Z=7,3152

1 Points Selected

GLOBAL Kip, in, F



SAP2000 v17.1.1 Ultimate - (Untitled)

File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

3-d xy xz yz nv

3-D View X-Y Plane @ Z=7,3152

**Joint Masses**

Specify Joint Mass

- As Mass
- As Weight
- As Volume and Material Property

Material: +

Mass Direction

Coordinate System: Global

Mass

Global X Axis Direction: 0

Global Y Axis Direction: 0

Global Z Axis Direction: 0

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis: 0

Rotation About Global Y Axis: 0

Rotation About Global Z Axis: 0

Options

- Add to Existing Masses
- Replace Existing Masses
- Delete Existing Masses

Units: KN, m, C

OK Cancel

1 Points Selected X-13.646 Y4.998 Z7.315 GLOBAL Kip, in, F

Fare clic per inserire le note