Progettazione strutturale 2M A

Progetto di una struttura in c.a. : azione sismica NTC2008, comb. sismica, comportamento strutturale, modellazione setti

Ing. Davide Lavorato
davide.lavorato@uniroma3.it

Progetto struttura: indice lezione

- Spettro accelerazione NTC2008
- Fattore di struttura q
- Cenni di analisi modale con software di calcolo
- Correzione comportamento strutturale
- Modellazione setti

Progetto struttura: comb. Sismica NTC2008

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):

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

– 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:

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

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.3)$$

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

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

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

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

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

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

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

"Tutto caricato" per i carichi verticali sismici G1, G2, ψQk (coeff. carichi sismici) "+" «E» secondo diverse combinazioni per le componenti Ex, Ey orizzontali sismiche (sistema di forze orizzontali lungo x e y nel piano orizzontale)

NB se Ez si può trascurare!!!

Progetto struttura: analisi sismica

- Vogliamo determinare il contributo E della combinazione sismica (§2.5.3. exp. 2.5.5) ossia le componenti Ex, Ey ed Ez dell'azione sismica

- Non consideriamo Ez (componente verticale solo in alcuni casi va considerata!!! Es luci travi grandi, pilastri in falso, aggetti importanti!!!)

- La nostra struttura è schematizzabile con un modello con masse concentrate nei baricentri di piano (3 gradi di libertà (gdl) per piano; 2 masse traslazionali e 1 «rotazionale»)

- Le componenti orizzontali Ex ed Ey dell'azione sismica E, possono essere considerate come forze orizzontali equivalenti (F= massa traslazionale per accelerazione) applicate nei baricentri di piano.

- Le forze di piano le troviamo dividendo tra i piani la forza che agisce su oscillatore equivalente della mia struttura

- Progettiamo una struttura duttile in classe CD A (dissipa energia grazie alla duttilità degli elementi!!!!)

Progetto struttura: spettri NTC2008

- Le masse traslazionali le ho calcolate grazie ai carichi verticali sismici dovuti al peso degli elementi e agli accidentali portati (COMBO SISMICA EXP. 2.5.5 G1 «+» G2 «+» ψQK). NB calcolo la massa totale lungo x e lungo y di oscillatore equivalente

- La accelerazione la ricavo dallo spettro di progetto (spettro elastico scalato con fattore di struttura q che tiene conto della duttilità strutturale):

  - *Calcolo lo spettro elastico (coordinate zona su cui costruisco opera, periodo di ritorno Tr, tipo di terreno, topografia…)*

  - *Verifico la tipologia strutturale (telaio, setti, mista, deformabile torsionalmente) e la modifico opportunamente per avere un q opportuno!!!!) NB valori di q sono indicati nella normativa (valori di riferimento)!!*

- Nello spettro di progetto entro con il periodo proprio della struttura e ricavo la accelerazione di progetto. NB ho una struttura in 3D che deve essere opportunamente sismo-resistente lungo x ed y. Ho due periodi propri: uno lungo x e uno lungo y

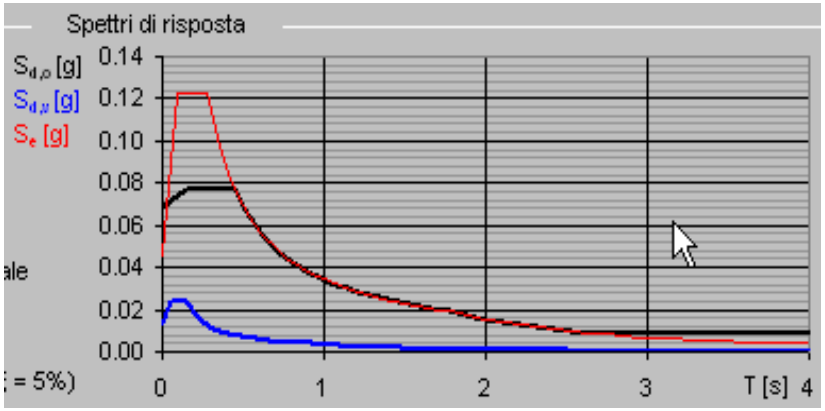
Azione sismica: spettro elastico NTC2008

3.2 AZIONE SISMICA

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in** accelerazione ad essa corrispondente Se (T) , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza Pvr , come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica del* sito.

- Spettro di risposta in accelerazione secondo NTC2008: un legame tra periodi propri della struttura e le accelerazioni massime attese

Accelerazione massima attesa



T=2π(m/k)^0.5

m=massa struttura
k=rigidezza struttura

Azione sismica: spettro elastico NTC2008

2.4 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

2.4.1 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – *Vita nominale V_N per diversi tipi di opere*

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

2.4.2 CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

2.4.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N \cdot C_U \qquad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Azione sismica: spettro elastico NTC2008

3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R}, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Tabella 3.2.I – *Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato*

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{V_R} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per opere classe II

7.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

- Si eseguono le verifiche :
  - *SLD*
  - *SLV*

C3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Viene preliminarmente valutato il periodo di riferimento V_R della costruzione (espresso in anni), ottenuto come prodotto tra la vita nominale V_N fissata all'atto della progettazione ed il coefficiente d'uso C_U che compete alla classe d'uso nella quale la costruzione ricade (v. § 2.4 delle NTC). Si ricava poi, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{V_R} nel periodo di riferimento V_R, il periodo di ritorno T_R del sisma. Si utilizza a tal fine la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{V_R}) \qquad \text{(C.3.2.1)}$$

ottenendo, per i vari stati limite, le espressioni di T_R in funzione di V_R riportate nella tabella C.3.2.I.

Tabella C.3.2.I.- Valori di T_R espressi in funzione di V_R

Stati Limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	(2) $30 \text{ anni} \le T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \le 2475 \text{ anni}$ (1)

Alla base dei risultati così ottenuti è la strategia progettuale che impone, al variare del periodo di riferimento V_R, la costanza della probabilità di superamento P_{V_R} che compete a ciascuno degli stati limite considerati (**strategia progettuale di norma**).

Azione sismica: spettro NTC2008

❑ Periodo di ritorno Tr definito per la nostra Struttura!!!!

❑ Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tabella Parametri Spettrali_GU

			T_R=30			T_R=50			T_R=72			T_R=101			T_R=140			T_R=201			T_R=475			T_R=975			T_R=2475		
ID	LON	LAT	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*
13111	6.5448	45.134	0.263	2.50	0.18	0.340	2.51	0.21	0.394	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.545	2.50	0.24	0.640	2.49	0.25	0.943	2.44	0.27	1.267	2.42	0.27	1.767	2.43	0.29
13333	6.5506	45.085	0.264	2.49	0.18	0.341	2.51	0.21	0.395	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.543	2.50	0.24	0.636	2.50	0.25	0.935	2.44	0.27	1.254	2.42	0.28	1.751	2.44	0.29
13555	6.5564	45.035	0.264	2.50	0.18	0.340	2.51	0.20	0.393	2.55	0.22	0.466	2.50	0.24	0.540	2.51	0.24	0.630	2.51	0.25	0.923	2.45	0.27	1.237	2.43	0.28	1.729	2.44	0.29
13777	6.5621	44.985	0.263	2.50	0.18	0.338	2.52	0.20	0.391	2.55	0.22	0.462	2.51	0.24	0.535	2.51	0.24	0.621	2.52	0.25	0.909	2.46	0.27	1.217	2.44	0.28	1.703	2.44	0.29
12890	6.6096	45.188	0.284	2.46	0.19	0.364	2.51	0.21	0.431	2.50	0.22	0.509	2.48	0.24	0.585	2.50	0.24	0.695	2.47	0.25	1.006	2.44	0.27	1.338	2.43	0.27	1.844	2.44	0.29

Individuare la posizione geografica (latitudine e longitudine) del sito in cui progettiamo la struttura!!!!

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$
\begin{cases}
0 \le T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\dfrac{T}{T_B} + \dfrac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \dfrac{T}{T_B} \right) \right] \\
T_B \le T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
T_C \le T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\dfrac{T_C}{T} \right) \\
T_D \le T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\dfrac{T_C T_D}{T^2} \right)
\end{cases}
\qquad (3.2.4)
$$

Importante definire:

tipo terreno, topografia, smorzamento.

Opportuni coeff. modificano lo spettro definito da ao, Fo, T c in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale*

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle (3.2.4) inoltre

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T, \qquad (3.2.5)$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \ge 0{,}55, \qquad (3.2.6)$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \qquad (3.2.7)$$

dove T_C^* è definito al § 3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C / 3, \qquad (3.2.8)$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4{,}0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1{,}6. \qquad (3.2.9)$$

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volum fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effett della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita succ

- ***Capire in quale categoria stratigrafica ricade il terreno presso il sito di costruzione della struttura progettata!!!!!!***

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

Azione sismica: spettro elastic NTC2008

- ***Tipi di terreno e loro identificazione!!!***

i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}. \qquad (3.2.1)$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}. \qquad (3.2.2)$$

La resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}. \qquad (3.2.3)$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

- h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N_{SPT,i}$ numero di colpi N_{SPT} nell'i-esimo strato;
- $c_{u,i}$ resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
- K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Azione sismica: spettro elastico NTC2008

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da **A** ad **E**, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare $N_{SPT,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30 m di profondità;
- determinare $c_{u,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;
- individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri $N_{SPT,30}$ e $c_{u,30}$;
- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Capire in quale categoria topografica ricade il sito di costruzione per la struttura progettata!!!!!!

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Azione sismica: spettro di risposta NTC2008

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come "superficie" il "piano di riferimento" quale definito, per le diverse tipologie strutturali, al § 3.2.2 delle NTC.

Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi. I metodi semplificati possono essere adoperati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro elastico di risposta; non possono cioè essere adoperati se l'azione sismica in superficie è descritta mediante accelerogrammi.

Nei metodi semplificati è possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici. In tali metodi si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC (A, B, C, D, E) e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1).

Per l'identificazione della categoria di sottosuolo è fortemente raccomandata la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s. In particolare, fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$, definita mediante l'equazione 3.2.1) delle NTC. La velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari a 30 m, e nel terreno stratificato in esame, di spessore complessivo ancora pari a 30 m. Essa assume quindi valori differenti da quelli ottenuti dalla media delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori, soprattutto in presenza di strati molto deformabili di limitato spessore. Lo scopo della

Azione sismica: spettro di risposta NTC2008

3.2.3.5 Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1), con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule 3.2.4 η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura definito nel capitolo 7.

Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0{,}2a_g$.

- ***Quale fattore q usare per definire lo spettro di progetto e come calcolarlo????***

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \qquad (7.3.1)$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le costruzioni regolari in pianta, qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto α_u/α_1, per esso possono essere adottati i valori indicati nei paragrafi successivi per le diverse tipologie costruttive.

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

La scelta del fattore di struttura deve essere adeguatamente giustificata. Il valore adottato deve dar luogo ad azioni di progetto agli stati limite ultimi coerenti con le azioni di progetto assunte per gli stati limite di esercizio.

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è q = 1,5 per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è q = 1.

- ***Tipologia strutturale???***
- ***Regolarità strutturale????***

Azione sismica: spettro di progetto

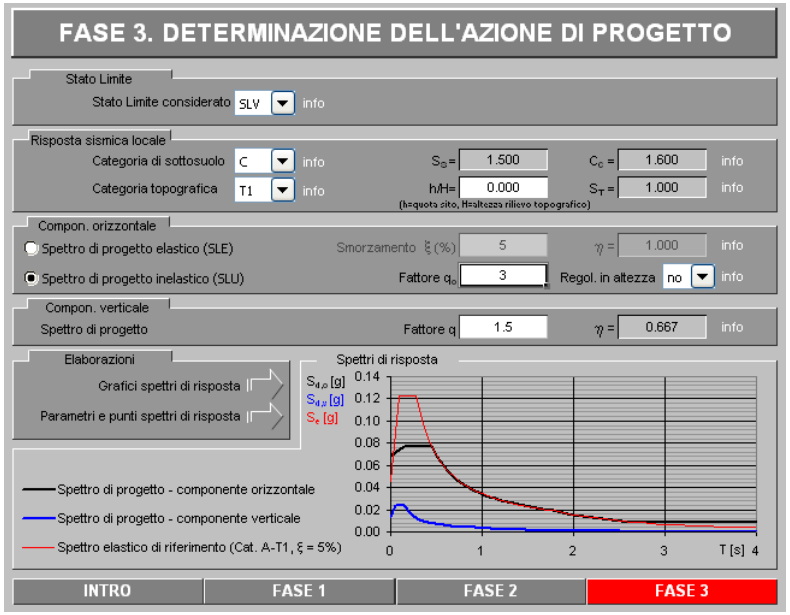
- Per definire lo spettro di progetto a partire dalla spettro elastico, occorre definire il fattore di struttura q della struttura

- Il fattore di struttura q per le costruzioni in c.a. è funzione della:

  - *regolarità strutturale*
  - *tipologia strutturale (sistema sismo-resistente a telaio, pareti,.....)*
  - *classe di duttilità (classe di duttilità CD "A" o "B")*

- *NB abbiamo visto in prec. Lezione come determinare la tipologia strutturale e quindi q!!!!*

Azione sismica: spettri NTC2008



- Programma Spettri-NTCver.1.0.3 dal sito http://www.cslp.it/ è uno strumento utile per eseguire tutti i passaggi sopra indicati per determinare spettri elastici e spettri di progetto!!!

Azione sismica: periodo proprio struttura

- La nostra struttura deve essere opportunamente modificata per avere primi due modi prevalentemente traslazionali lungo x o lungo y con due periodi propri T1 e T2. Analisi modale con software!!!!

- La normativa fornisce una formula per il controllo del periodo proprio calcolato con il programma!!

- Noti T1 e T2 posso entrare nelle spettro e ricavare l'accelerazione lungo x (a1) e quella lungo y (a2)!!!

- Note le accelerazioni a1 e a2 posso calcolare le forze (Fh1 e Fh2) su oscillatore equivalente della struttura lungo x e lungo y. NB tale oscillatore ha la massa M pari alla massa totale traslazione lungo x o lungo y!!!! Uso tale massa per calcolare la forza!!!! (Fh1=M* a1, Fh2=M* a2)

Azione sismica: periodo proprio struttura

7.3.3.2 Analisi lineare statica

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi 2,5 T_C o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza.

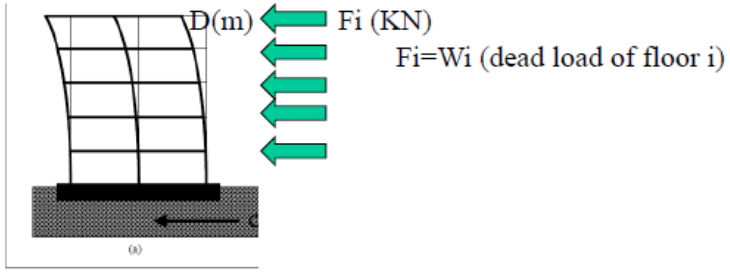
Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, T_1 può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} \qquad (7.3.5)$$

- La normativa fornisce una formula per il controllo del periodo proprio calcolato con il programma!!

Stima Periodo Proprio (3)

- La revisione di norma del 2014 (ancora non disponibile) dà :
  - $T = 2(d)^{0.5}$ (12'''
- dove d e lo spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto ai carichi gravitazionali applicati nella direzione orizzontale



C. Nuti Sismica introduzione 2012-13 41

Azione sismica: analisi sismica semplificata

- Sotto opportune ipotesi (regolarità strutturale,…) posso fare analisi sismica semplificata della struttura con forze equivalenti!!!

- Conosco le forze su oscillatore equivalente Fh1 e Fh2

- Fh1 e Fh2 devono essere distribuite tra i piani i (Fix ed Fiy)NB uso ad esempio la formula di normativa!!! ATTENZIONE questa formula nn vale sempre!!! dipende dal comportamento modale!!! <u>Cmq noi la usiamo per semplicità nel progetto durante il corso!!!!</u>

- Applico le forze di piano Fi nei baricentri di piano (traslati per eccentricità accidentale)

Azione sismica: distribuisco le forze tra i piani

- Forze Fi sui piani. NB ho fix lungo x e fiy lungo y!!!!!

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:

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

dove:

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

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;
λ	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.

Azione sismica: analisi sismica semplificata

- Forze Fi sui piani. NB ho fix lungo x e fiy lungo y!!!!!

$$F_i = F_b \frac{(z_i \cdot W_i)}{\Sigma_j (z_j W_j)}$$

dove: F_h è il taglio totale alla base, il cui valore numerico è ininfluente sul risultato finale e si assume pari a 1000 kN;
W_i e W_j sono i pesi delle masse ai piani *i* e *j* rispettivamente;
z_i e z_j sono le altezze dei piani *i* e *j* rispetto alle fondazioni.

Pertanto si ottiene:

$$F_1 = F_b \frac{(z_1 \cdot W_1)}{\Sigma (z_j W_j)} = 1000 \cdot \frac{4 \cdot 3958}{4 \cdot 3958 + 7,2 \cdot 3783 + 10,4 \cdot 3701 + 13,6 \cdot 3299} = 125\ kN$$

$$F_2 = F_b \frac{(z_2 \cdot W_2)}{\Sigma (z_j W_j)} = 1000 \cdot \frac{7,2 \cdot 3783}{4 \cdot 3958 + 7,2 \cdot 3783 + 10,4 \cdot 3701 + 13,6 \cdot 3299} = 215\ kN$$

$$F_3 = F_b \frac{(z_3 \cdot W_3)}{\Sigma (z_j W_j)} = 1000 \cdot \frac{10,4 \cdot 3701}{4 \cdot 3958 + 7,2 \cdot 3783 + 10,4 \cdot 3701 + 13,6 \cdot 3299} = 304\ kN$$

$$F_4 = Fb \frac{(z_4 \cdot W_4)}{\Sigma (z_j W_j)} = 1000 \cdot \frac{13,6 \cdot 3299}{4 \cdot 3958 + 7,2 \cdot 3783 + 10,4 \cdot 3701 + 13,6 \cdot 3299} = 355\ kN$$

Azione sismica: analisi sismica semplificata

- Forze Fi sui piani. NB ho fix lungo x e fiy lungo y!!!!!

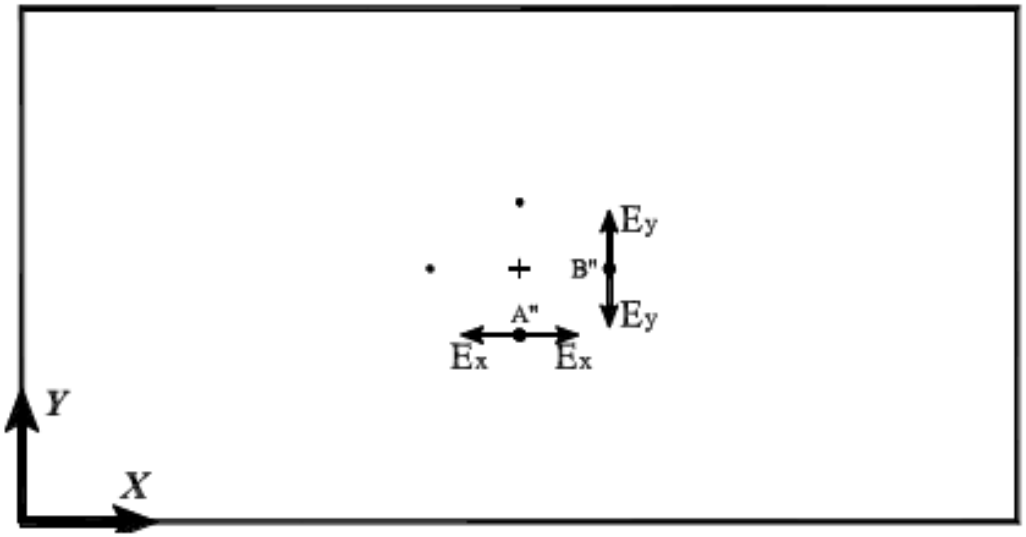


Fig. 2.14 Combinazione delle componenti delle azioni sismiche

$$1^\circ: +E_x + 30\%E_y \;;\; 2^\circ: +E_x - 30\%E_y$$

$$3^\circ: -E_x + 30\%E_y \;;\; 4^\circ: -E_x - 30\%E_y$$

$$5^\circ: +30\%E_x + E_y \;;\; 6^\circ: +30\%E_x - E_y$$

$$7^\circ: -30\%E_x + E_y \;;\; 8^\circ: -30\%E_x - E_y$$

Azione sismica: analisi sismica semplificata

- Forze Fi sui piani applicate nei baricentri

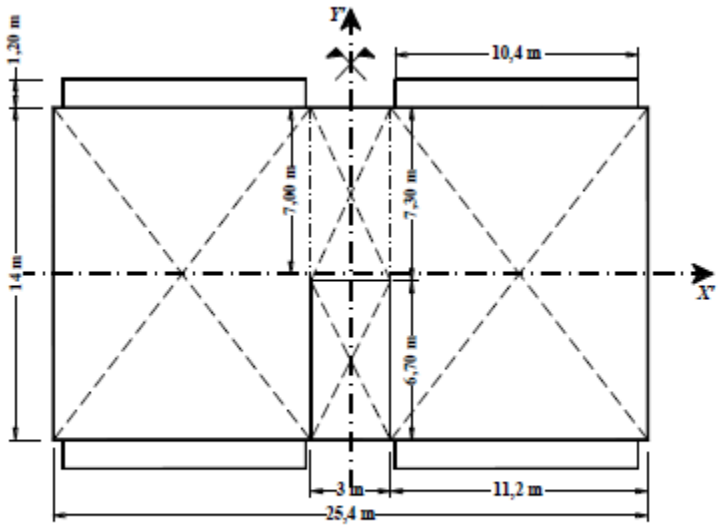
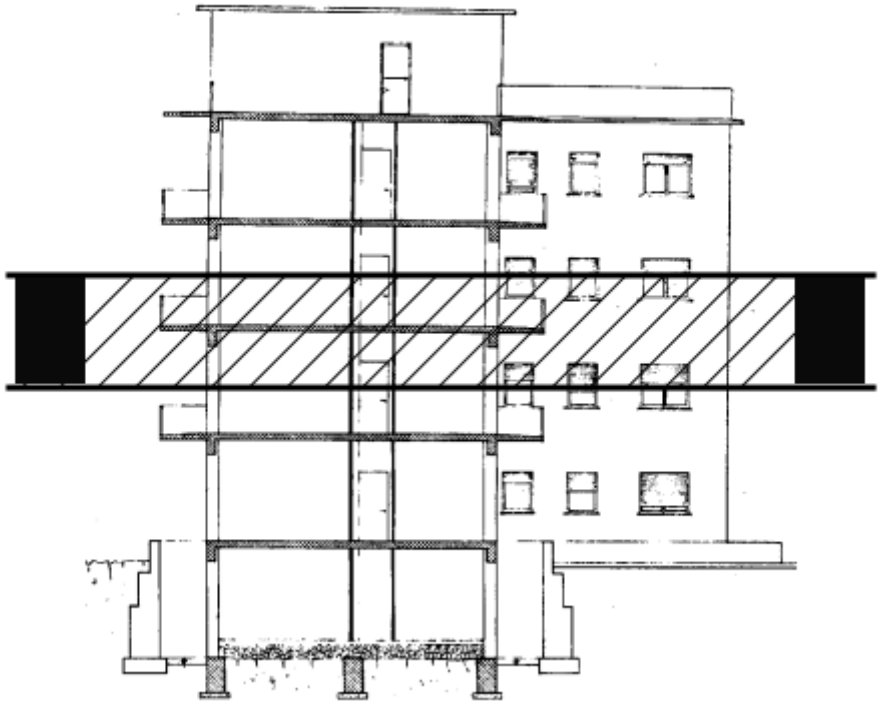
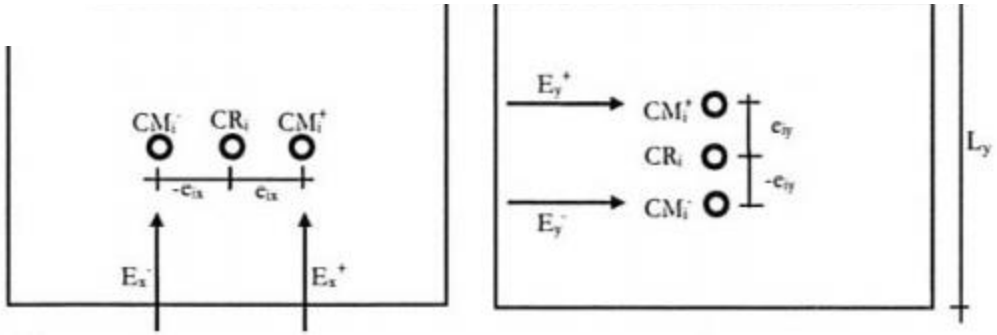


Fig. 2.8 Determinazione del baricentro



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

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



Azione sismica: analisi sismica semplificata

- Forze Fi sui piani applicate nei baricentri dove ho la massa

Calcolo del baricentro geometrico

$$X_G = \frac{\sum W_i \cdot x_i}{\sum W_i} \qquad Y_G = \frac{\sum W_i \cdot y_i}{\sum W_i}$$

Piano	Area di piano	Posizione Baricentro Gi		Momento Statico		Posizione Baricentro di piano (rispetto al riferim. X,Y)	
	(m^2)	Xi	Yi	Sx=Ai yi	Sy=Ai xi	XG = Sy/A	YG=Sx/A
1-2-3	11,70x6,50= 76,05 5,70x6,50 = 37,05 A 113,10	5,85 14,40	4,25 3,25	323,21 120,41 443,62	444,89 533,52 978,41	8,65	3,92

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° livello $\Sigma_i S_x / W_2 = -136/3783 = -0,04\,m$

3° livello $\Sigma_i S_x / W_3 = -136/3701 = -0,04\,m$

4° livello $\Sigma_i S_x / W_4 = -296/3299 = -0,09\,m$

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

Azione sismica: modello

- Modello struttura per analisi modale con cui determinare T1 e T2:

  - *Modello strutturale raffinato con frame e shell (NB modello bene travi, pilastri e setti ascensore, pareti, pianerottoli e scale)*
  - *Assegno le sezioni vere definite con il pre-dimensionamento (T, L rettangolari,…)*
  - *Assegno le constrain di piano!!!NB piani rigidi!!! 3GDL per piano*
  - *Assegno le masse di piano (2 traslazionali uguali e «una rotazionale»)*
  - *Assegno i moduli elastici ridotti ai materiali ca considerando la fessurazione di travi e pilastri dovuta ad es, ad eventi sismici modesti!!!! NB per travi e setti riduco il modulo elastico del 50% per i pilastri lo riduco del 20% (E*0,8)*

Azione sismica: modello

- Modello con piani rigidi e rigidezze fessurate

7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

Il modello della struttura deve essere tridimensionale e rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza, con particolare attenzione alle situazioni nelle quali componenti orizzontali dell'azione sismica possono produrre forze d'inerzia verticali (travi di grande luce, sbalzi significativi, etc.).

Nella definizione del modello alcuni elementi strutturali, considerati "secondari", e gli elementi non strutturali autoportanti (tamponature e tramezzi), possono essere rappresentati unicamente in termini di massa, considerando il loro contributo alla rigidezza e alla resistenza del sistema strutturale solo qualora essi possiedano rigidezza e resistenza tali da modificare significativamente il comportamento del modello.

Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano, a condizione che siano realizzati in cemento armato, oppure in latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o in legno e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza.

Per rappresentare la rigidezza degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidezza flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere ridotta sino al 50% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.

Azione sismica: modello

moduli elastici ridotti dei materiali (ca.) Valori di riferimento!

Table 6-5 Effective Stiffness Values

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	—
Beams—prestressed	E_cI_g	$0.4E_cA_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5\ A_g f'_c$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3\ A_g f'_c$ or with tension	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_sA_s
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Walls—cracked	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—

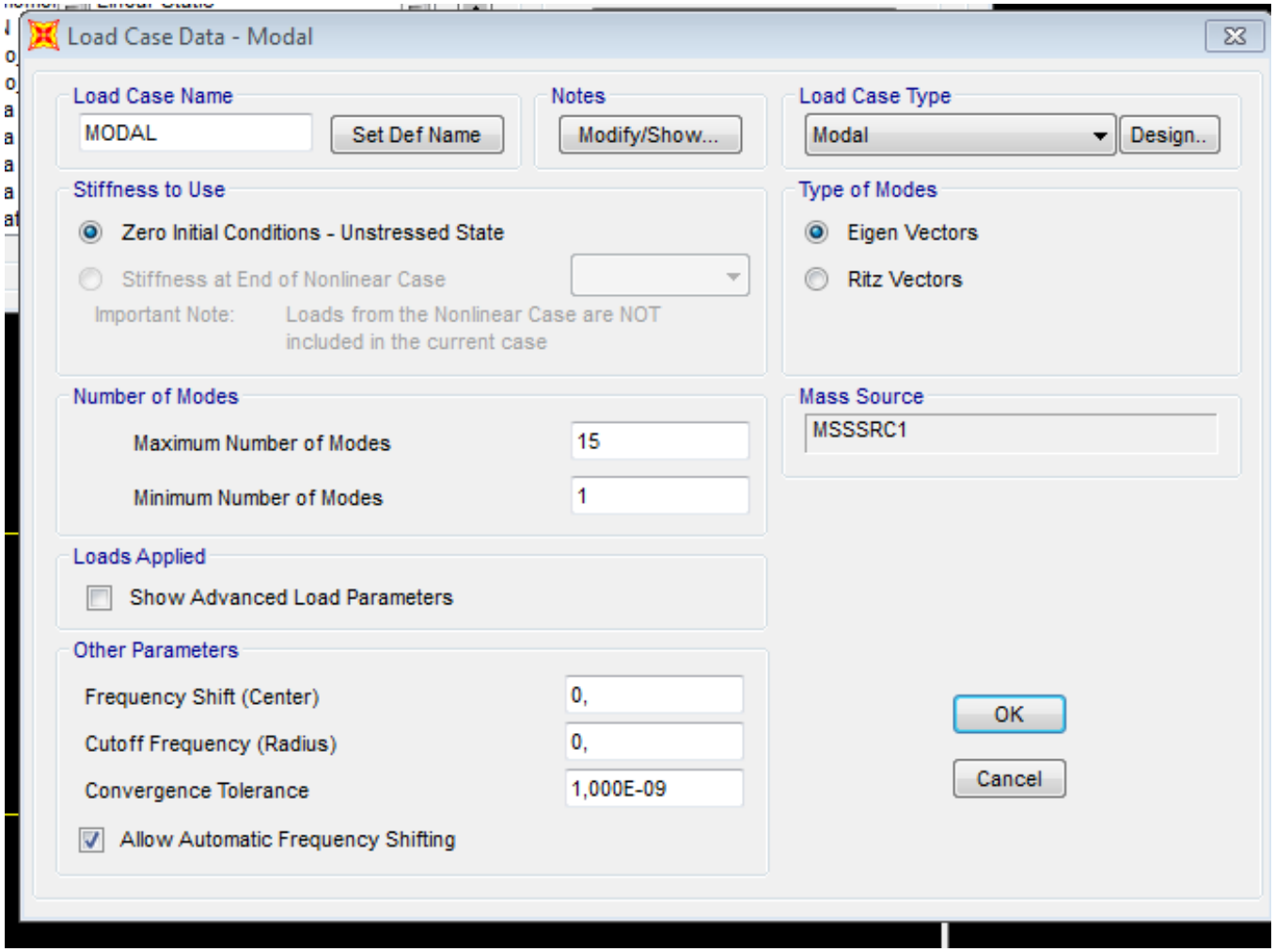
Note: It shall be permitted to take I_g for T-beams as twice the value of I_g of the web alone. Otherwise, I_g shall be based on the effective width as defined in Section 6.4.1.3. For columns with axial compression falling between the limits provided, linear interpolation shall be permitted. Alternatively, the more conservative effective stiffnesses shall be used.

Progetto struttura: cenni analisi modale

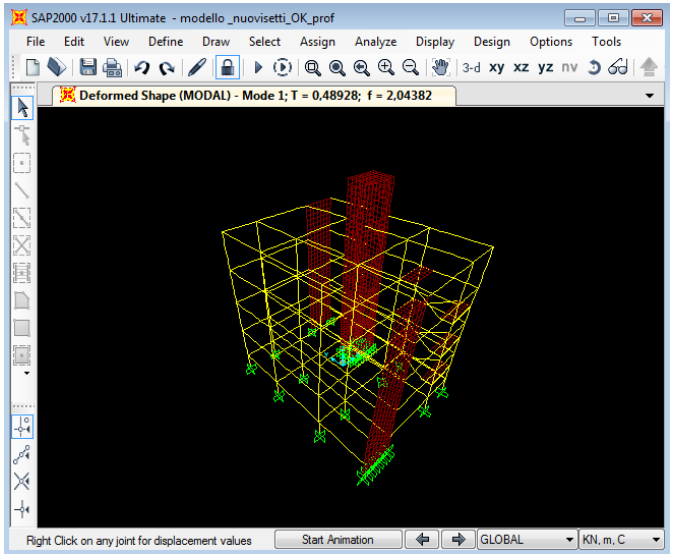
- **Modal analysis default in sap2000**
  - Definisco geometrie della struttura (elementi e loro sezioni, frame e shell), vincoli, constrain di piano per piani rigidi e masse negli special joint!!!
  - N modi pari a gradi libertà (gdl) (3 x numero piani). 2 gdl traslazionali e uno rotazionale
  - Primi due modi traslazionali lungo x e lungo y (principalmente traslazionali! un po' di torsione va bene ma non strutture deformabili torsionalmente con modi prevalentemente torsionali!!!)
  - Da output deformazioni leggo i periodi propri (T1 e T2) dei modi 1 e 2
  - Uso tali periodi propri T1 e T2 per entrare nello spettro e trovare le accelerazioni con cui calcolare le forze

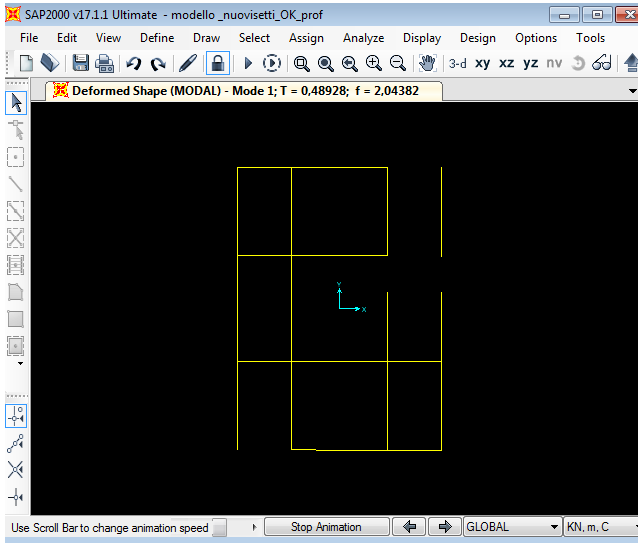
Progetto struttura: cenni analisi modale

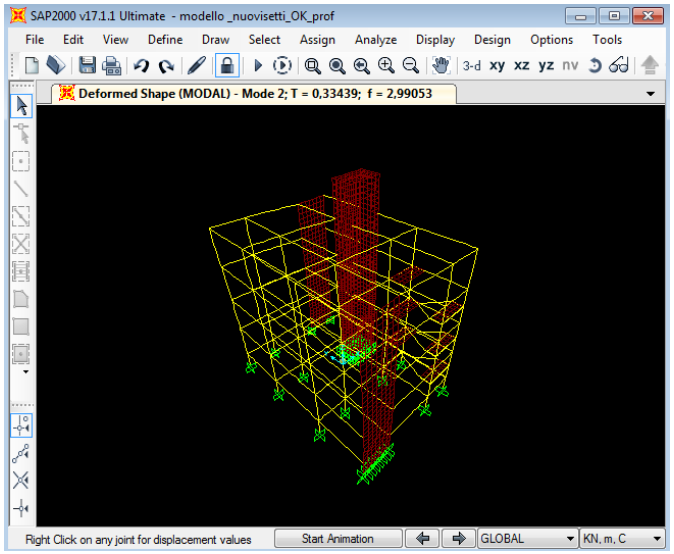
- Modal analysis default sap2000 NB attenti a mettere corretto numero dei gdl

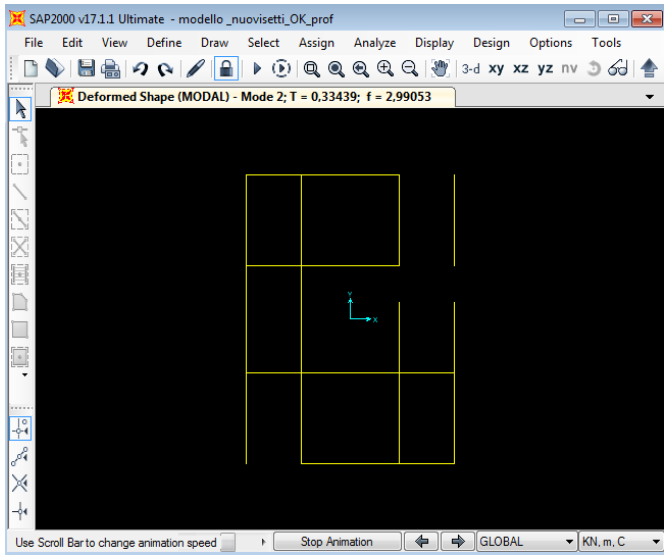


Progetto struttura: cenni analisi modale

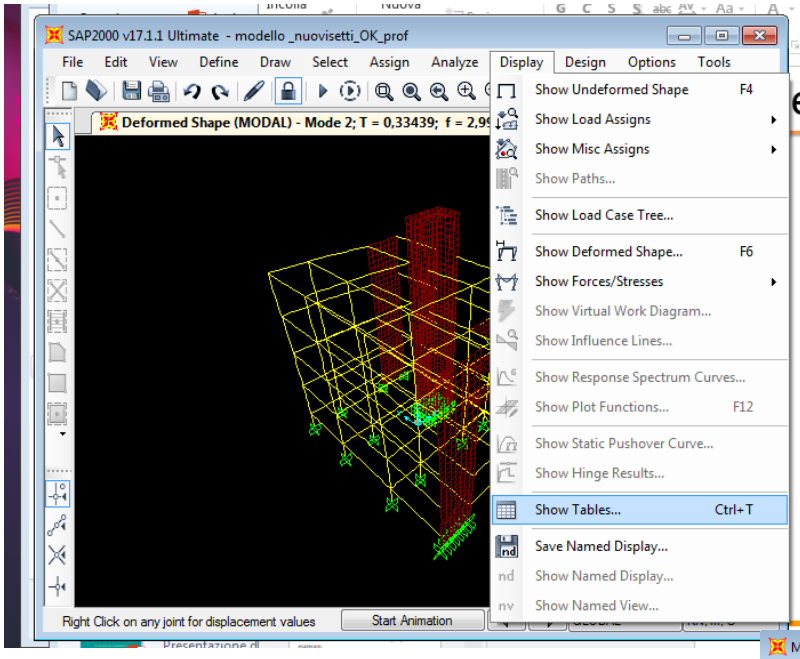


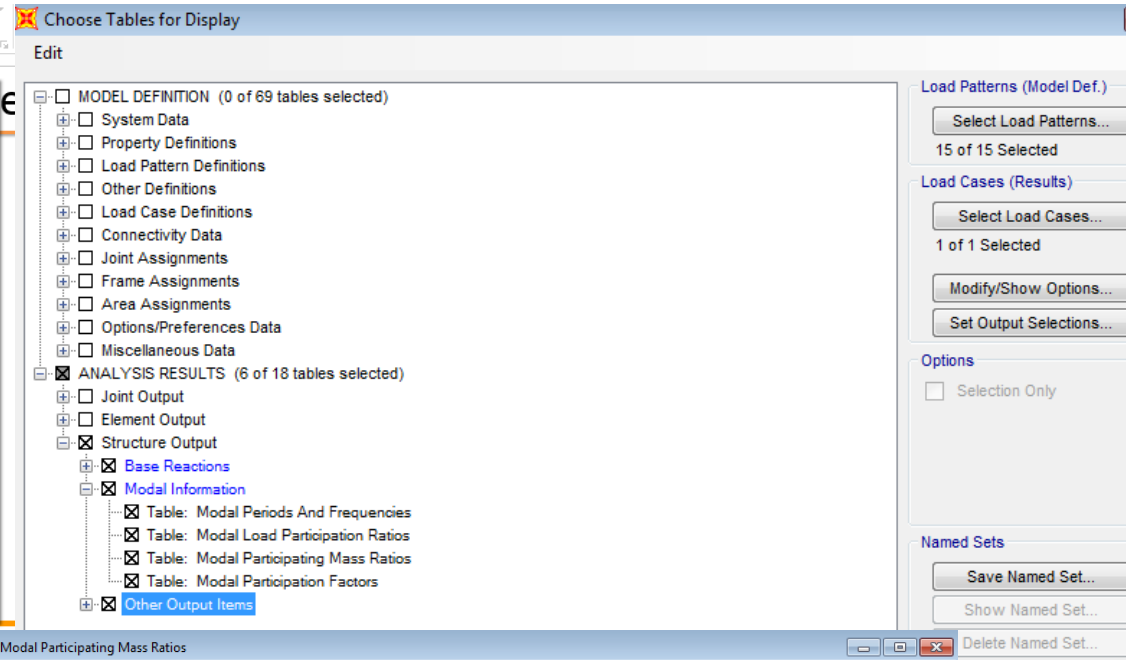


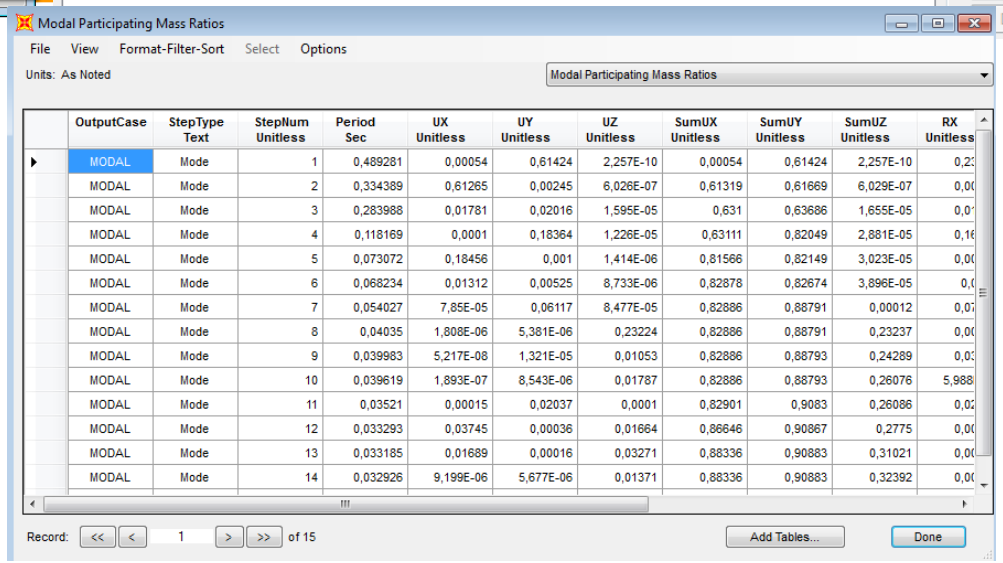




Progetto struttura: cenni analisi modale







OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
MODAL	Mode	1	0,489281	0,00054	0,61424	2,257E-10	0,00054	0,61424	2,257E-10	0,2
MODAL	Mode	2	0,334389	0,61265	0,00245	6,026E-07	0,61319	0,61669	6,029E-07	0,0
MODAL	Mode	3	0,283988	0,01781	0,02016	1,595E-05	0,631	0,63686	1,655E-05	0,0
MODAL	Mode	4	0,118169	0,0001	0,18364	1,226E-05	0,63111	0,82049	2,881E-05	0,1
MODAL	Mode	5	0,073072	0,18456	0,001	1,414E-06	0,81566	0,82149	3,023E-05	0,0
MODAL	Mode	6	0,068234	0,01312	0,00525	8,733E-06	0,82878	0,82674	3,896E-05	0,0
MODAL	Mode	7	0,054027	7,85E-05	0,06117	8,477E-05	0,82886	0,88791	0,00012	0,0
MODAL	Mode	8	0,04035	1,808E-06	5,381E-06	0,23224	0,82886	0,88791	0,23237	0,0
MODAL	Mode	9	0,039983	5,217E-08	1,321E-05	0,01053	0,82886	0,88793	0,24289	0,0
MODAL	Mode	10	0,039619	1,893E-07	8,543E-06	0,01787	0,82886	0,88793	0,26076	5,988
MODAL	Mode	11	0,03521	0,00015	0,02037	0,0001	0,82901	0,9083	0,26086	0,0
MODAL	Mode	12	0,033293	0,03745	0,00036	0,01664	0,86646	0,90867	0,2775	0,0
MODAL	Mode	13	0,033185	0,01689	0,00016	0,03271	0,88336	0,90883	0,31021	0,0
MODAL	Mode	14	0,032926	9,199E-06	5,677E-06	0,01371	0,88336	0,90883	0,32392	0,0

- Risultati analisi modale per Capire comportamento strutturale!!!
  Vogliamo primi due modi prevalentemente traslazionali!!!

Progetto struttura: modellazione setti

- Dividere setti in sotto-elementi (ad es 50 x 50 cm) o più piccoli NB senza esagerare nn servirebbe!!!

- Ogni setto avrà dei nodi di piano su cui inserire il peso del setto come forze concentrate (come per i pilastri); tali nodi sono da includere nelle constrain diaphram di piano!!!

- Alla base del modello (sopra le fondazioni) ogni nodo del setto va vincolato a terra con degli incastri!!!

- Setti che sono connessi (es rampa scale e pareti setto ascensore) o con i frame su cui si poggiano (incastro solette su travi o travi nei setti) devono avere nodi in comune tra loro!!!

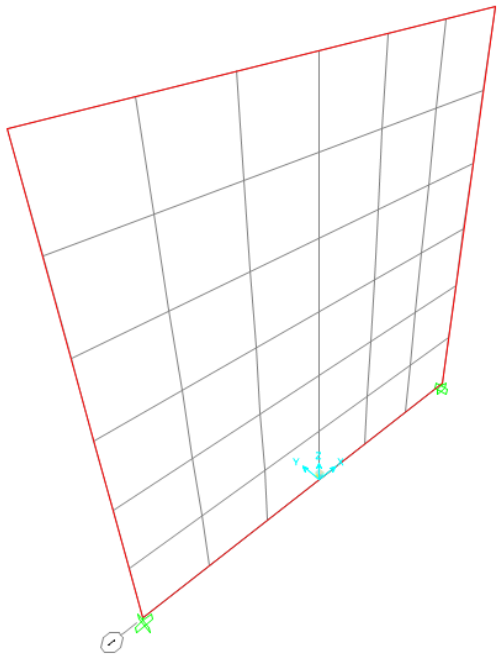
Progetto struttura: modellazione setti

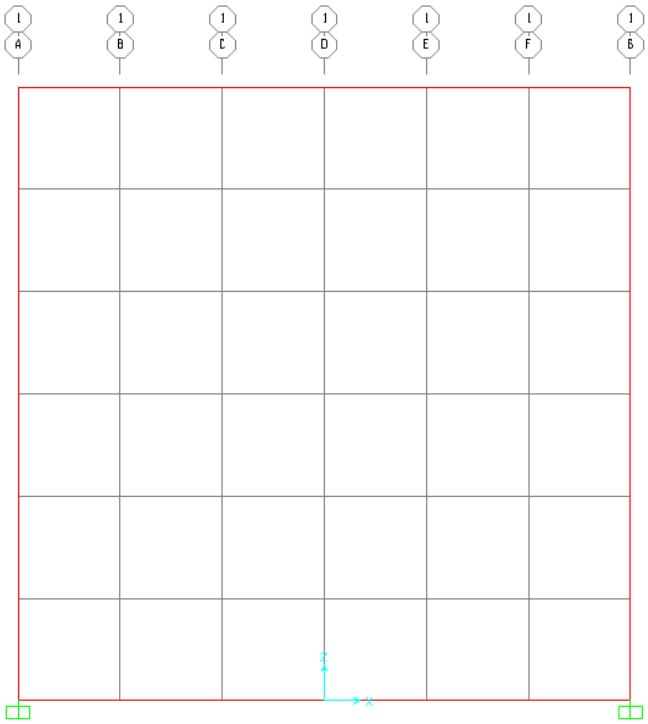
- Vedere esempi sap2000 che descrivono molto bene la modellazione dei setti!!! Ad es. definizione tipo e geometrie

4. Click the **Define menu > Section Properties > Area Sections** command to access the ***Area Sections*** form.
   - In the *Select Section Type to Add* drop-down list, select the *Shell* option.
   - Click the **Add New Section** button to access the ***Shell Section Data*** form. In that form:
     - Type **WALL** in the *Section Name* edit box.
     - In the *Type* area, verify that the *Shell-Thin* option is selected.
     - Verify that the 4000Psi definition is selected in the *Material Name* drop-down list.
     - Type **12** in the *Membrane* edit box.
     - Type **12** in the *Bending* edit box.
     - Click the **OK** button to return to the ***Area Sections*** form.

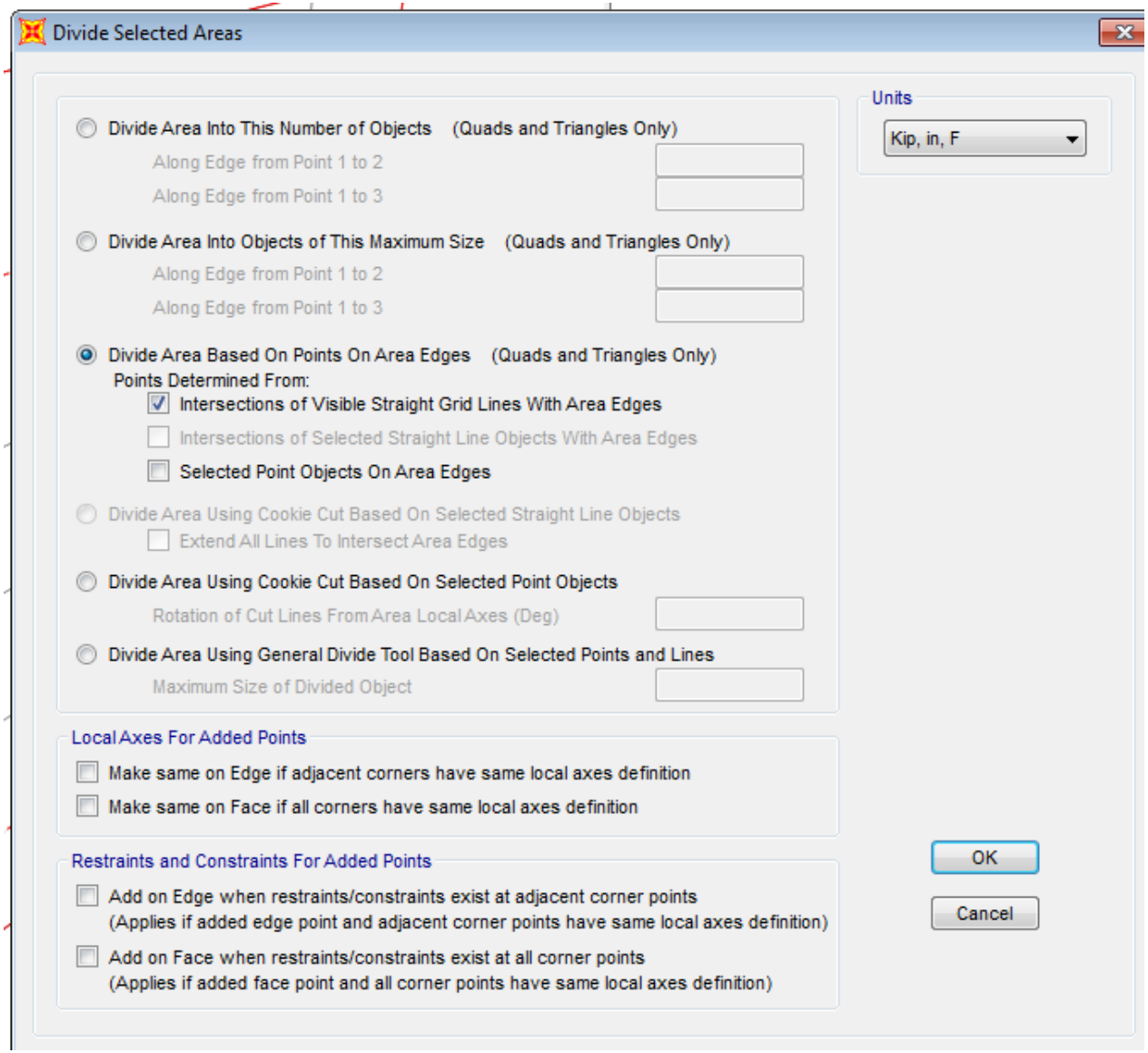
Progetto struttura: modellazione setti

- Setto elementare



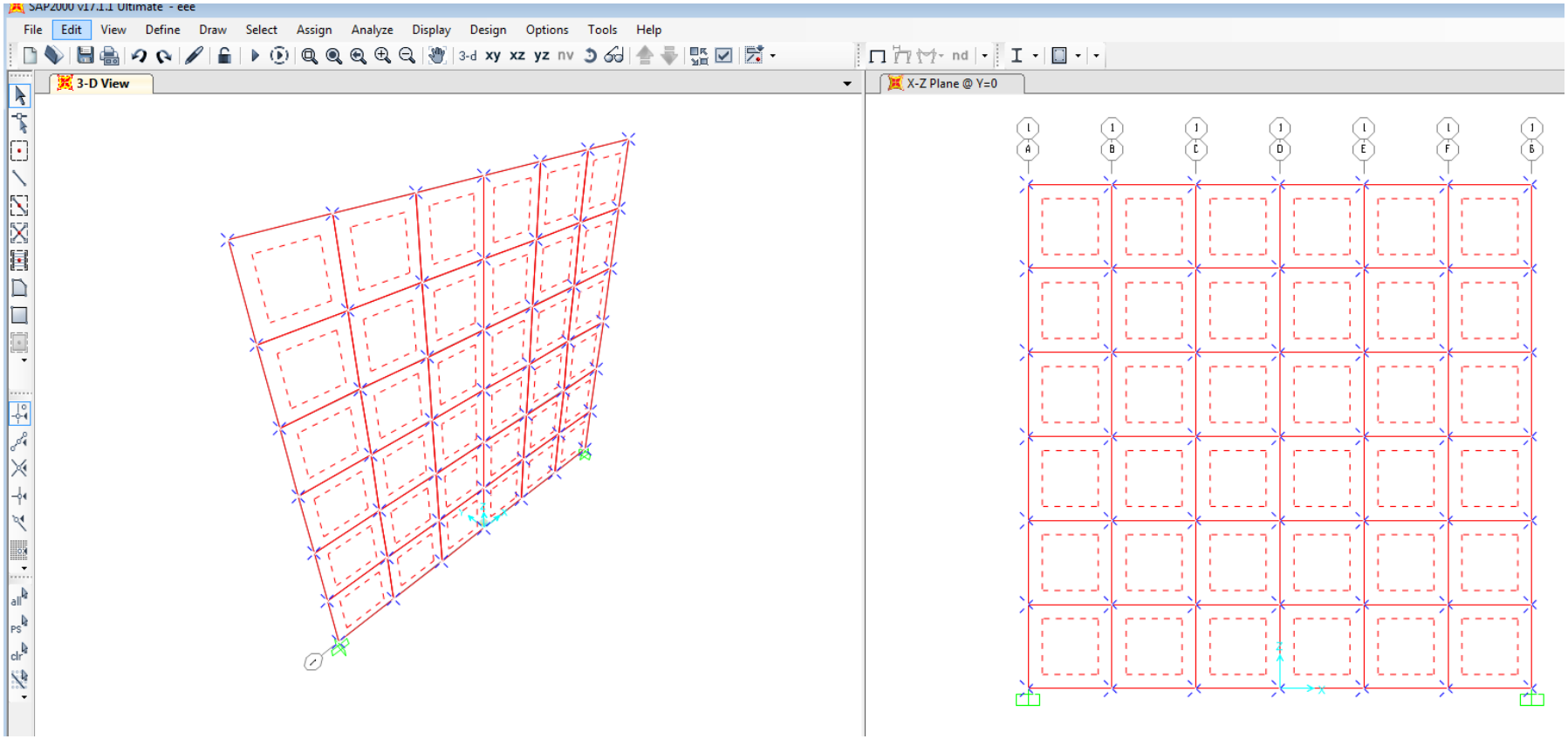


Progetto struttura: modellazione setti



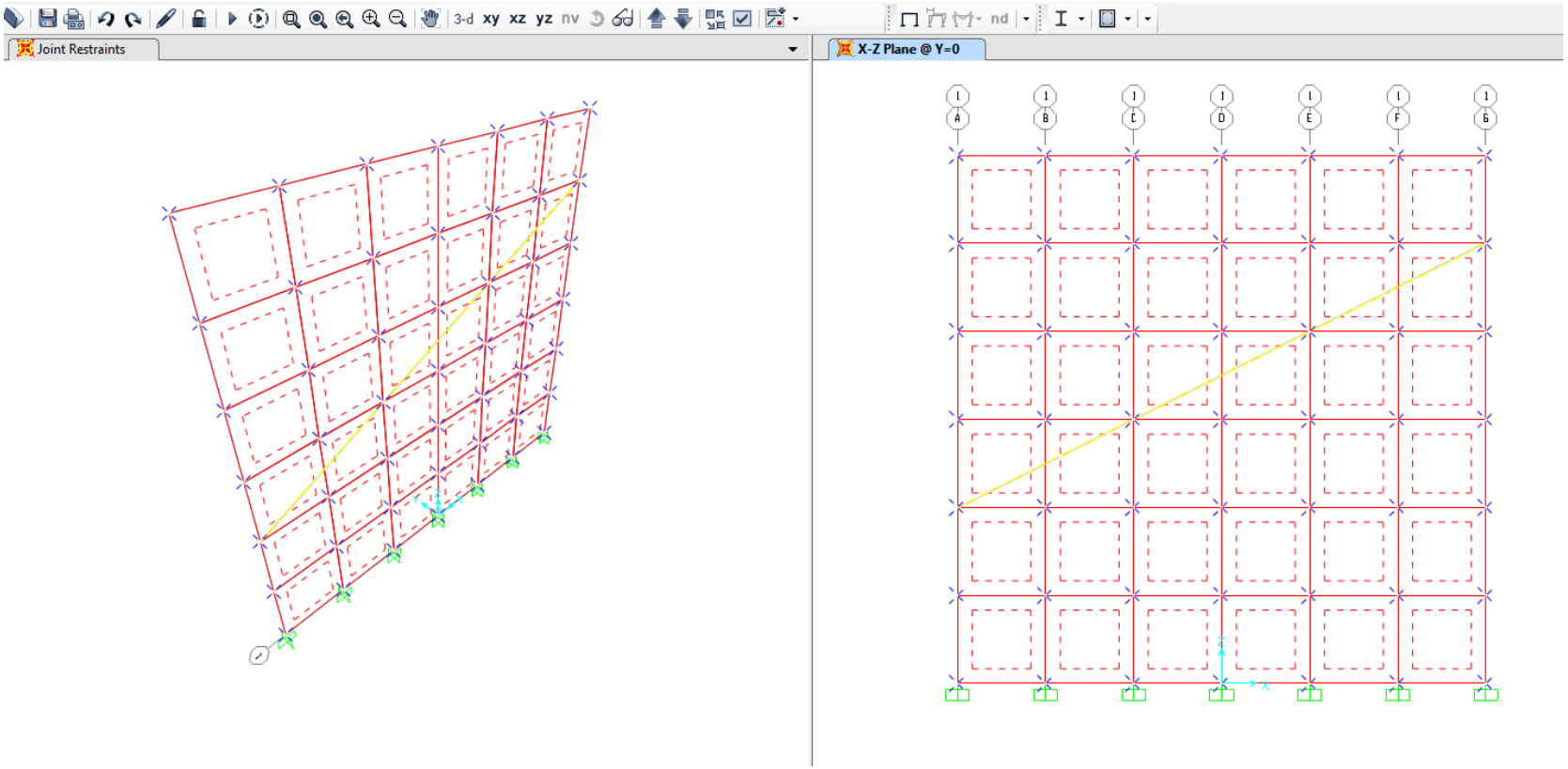
Progetto struttura: modellazione setti

- Divisione setto in elementi più piccoli!!!!



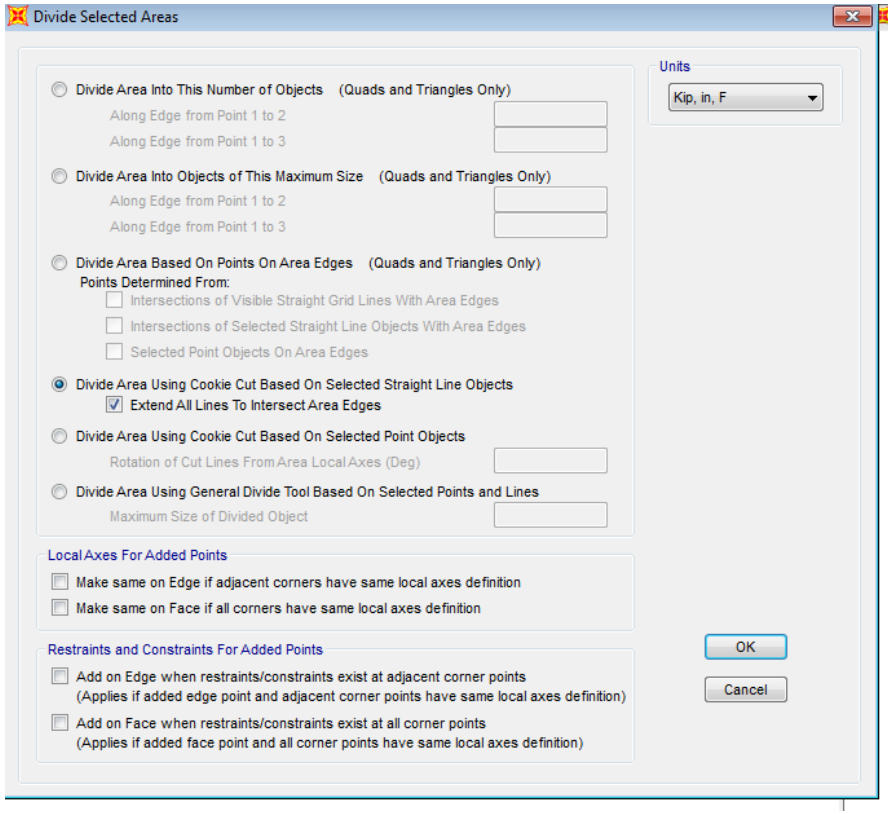
Progetto struttura: modellazione setti

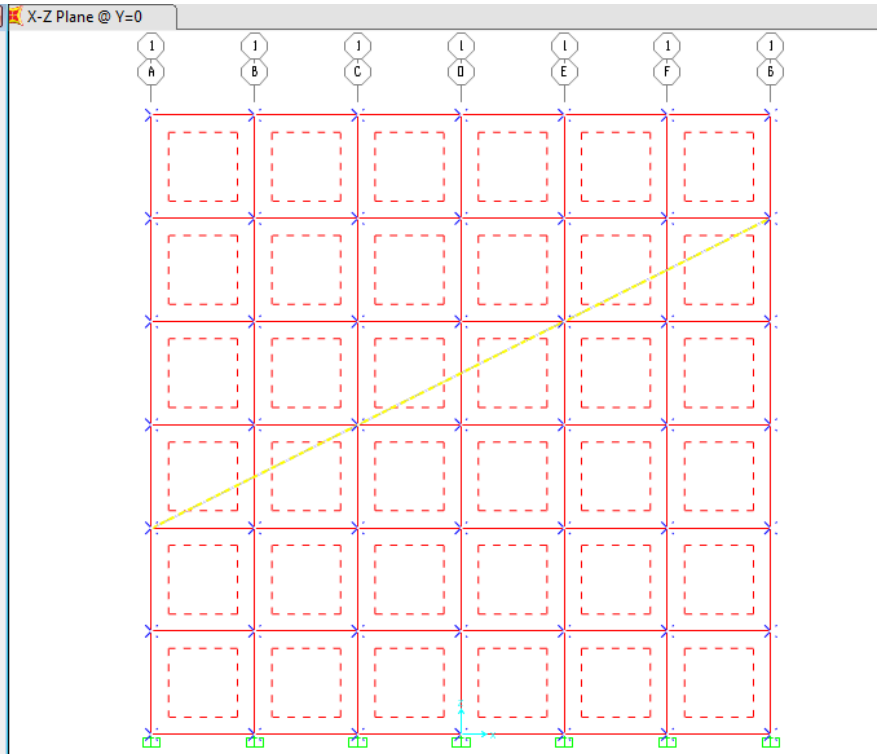
- Definizione vincoli alla base!!!



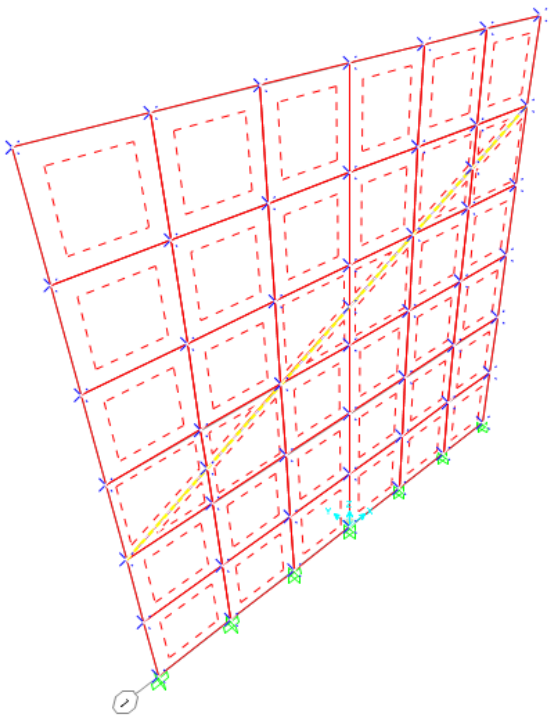
Progetto struttura: modellazione setti

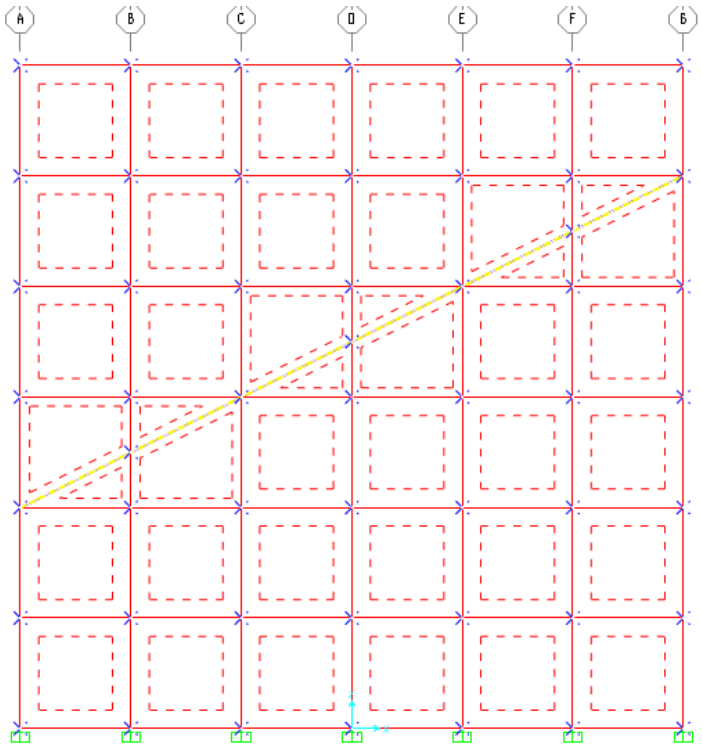
- Es come dividere setti per costruire rampa scale





Progetto struttura: modellazione setti





Progetto struttura: correzione comportamento

- Se da verifica tipologia strutturale, la struttura è deformabile torsionalmente allora inserisco dei setti o modifico e oriento in modo diverso pilastri e travi!!!!

- Devo far si che centro rigidezza e centro di massa abbiano la più piccola eccentricità!!!!