

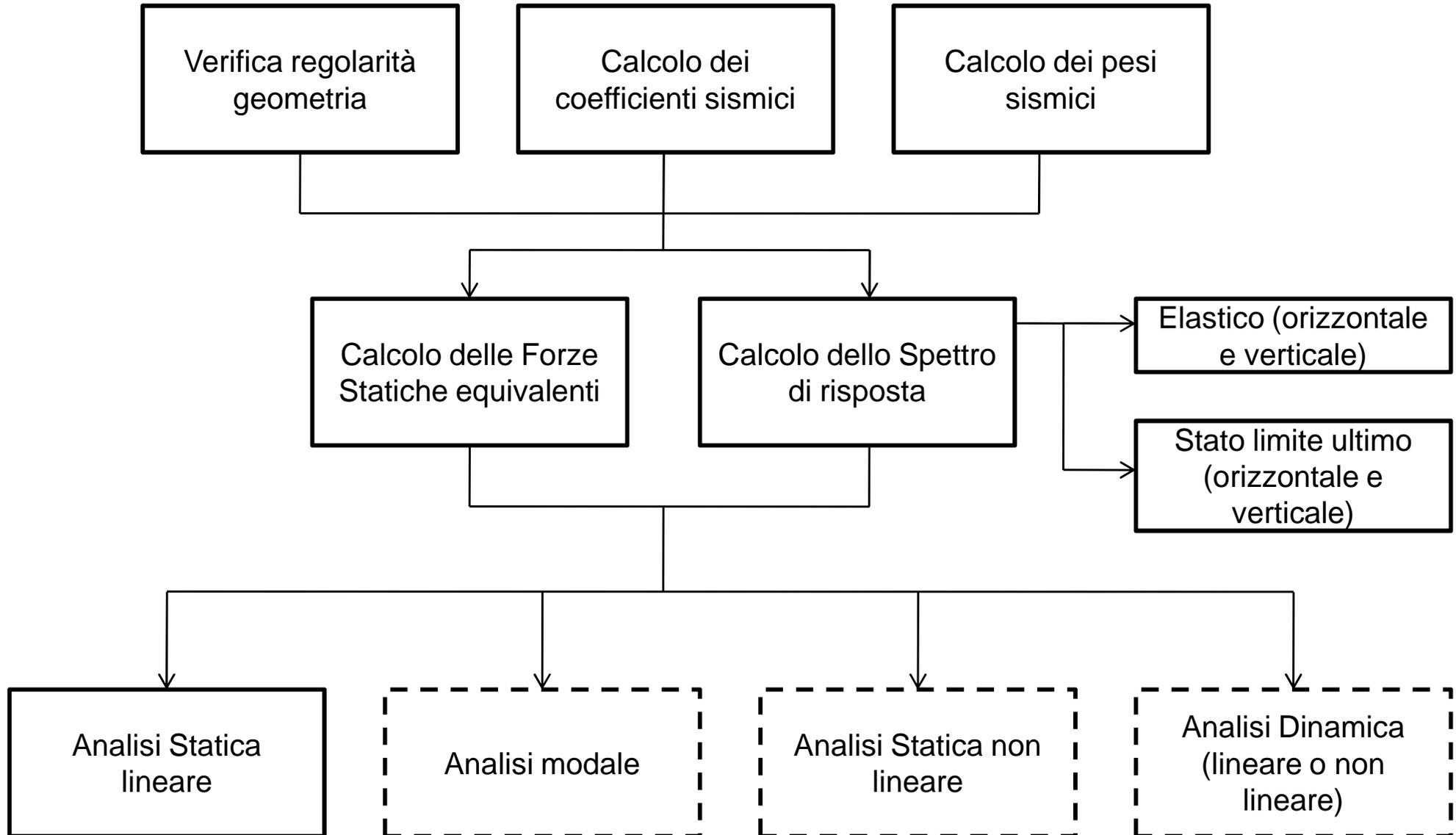
LEZIONE 8.2

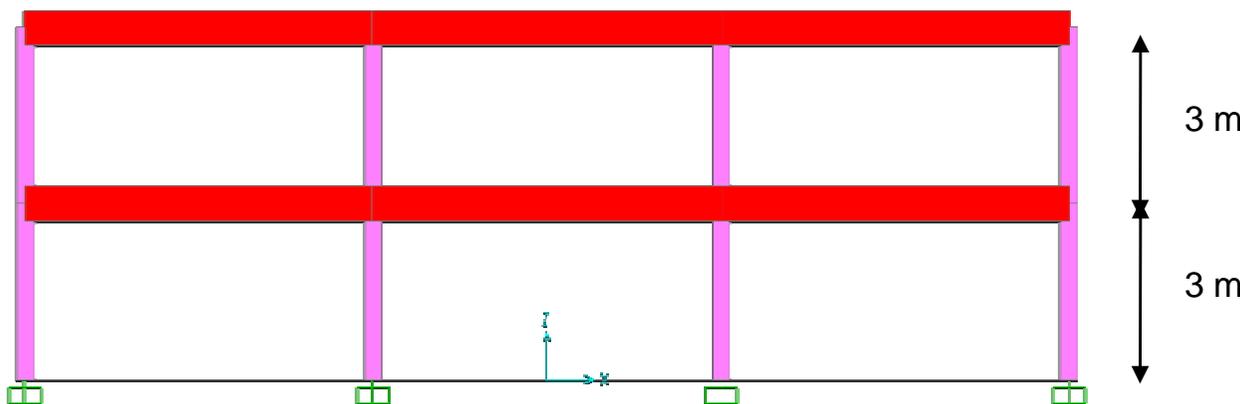
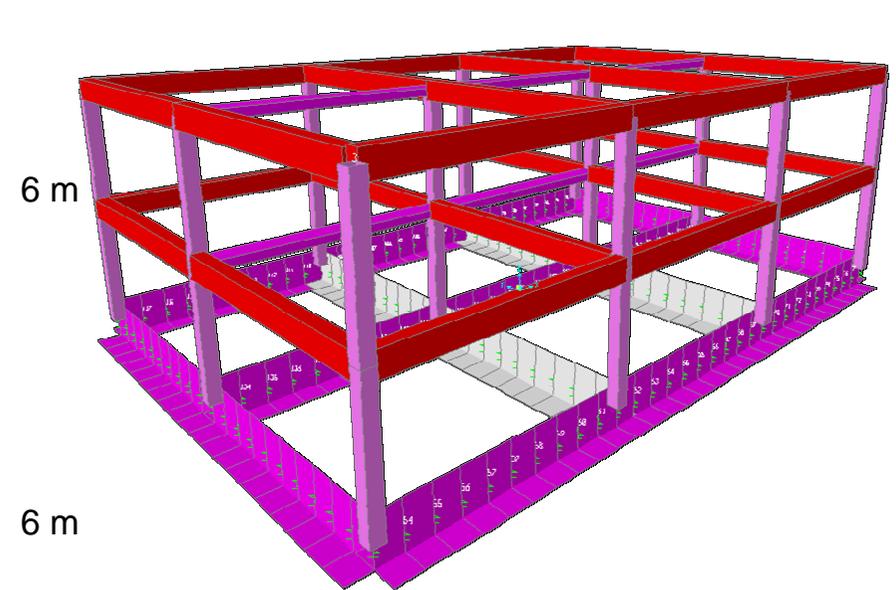
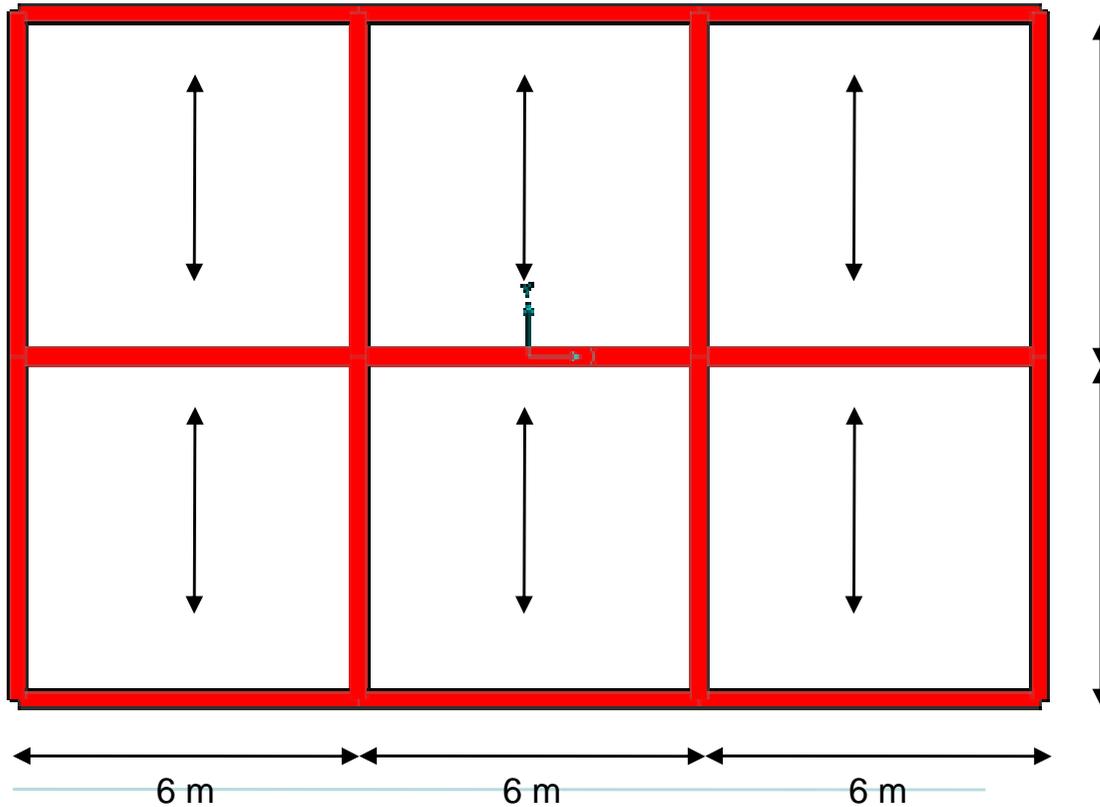
PARTE APPLICATIVA: CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA AGENTE SU UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

AZIONE SISMICA SU UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

INDICE:

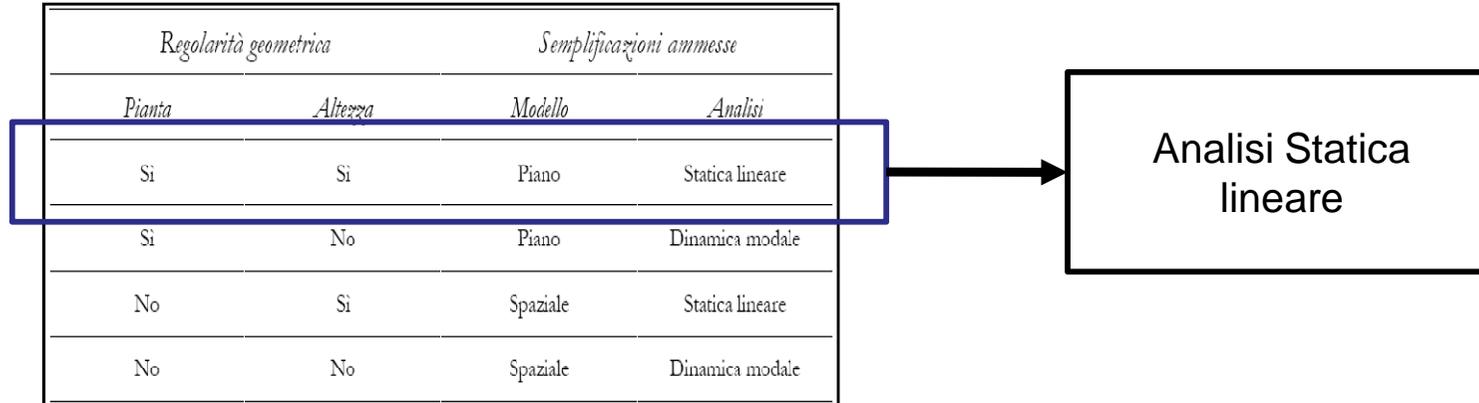
- 1. VERIFICA REGOLARITA' E SCELTA TIPO DI ANALISI**
- 2. CALCOLO DEI COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO**
- 3. CALCOLO DEI PESI SISMICI E DELLE MASSE**
- 4. ANALISI CON LE FORZE STATICHE EQUIVALENTI**
- 5. ANALISI CON LO SPETTRO DI RISPOSTA**



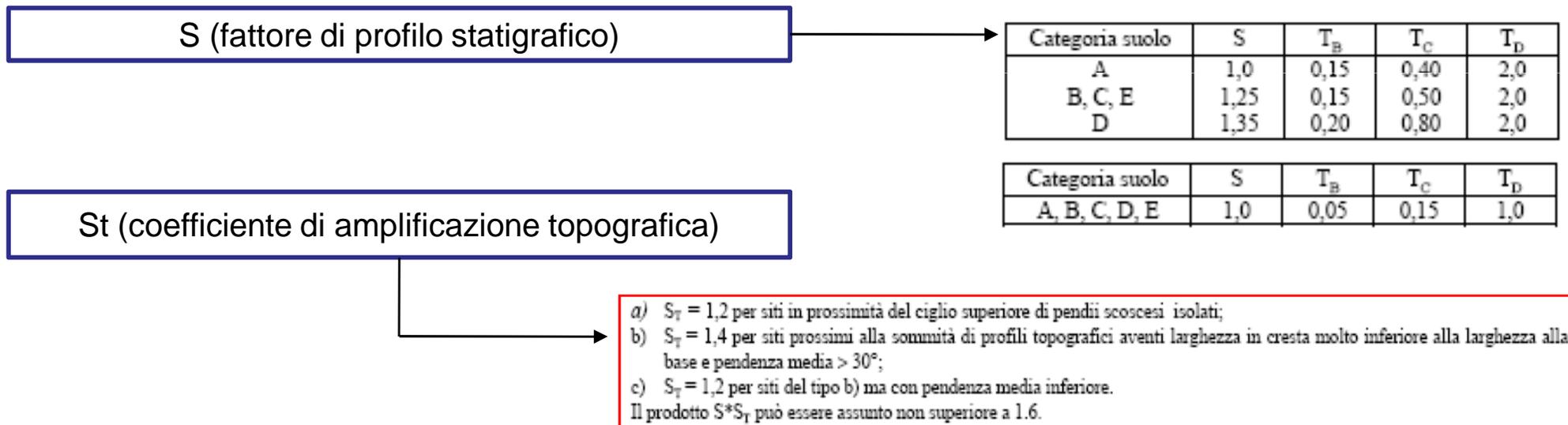


| Carico | [kN/m ²] |
|-------------------------|----------------------|
| Permanente | 5.00 |
| Accidentale (interno) | 2.00 |
| Accidentale (copertura) | 0.50 |
| Neve | 1.00 |
| Vento | 0.45 |

1. VERIFICA REGOLARITA' E SCELTA TIPO DI ANALISI



2. CALCOLO DEI COEFFICIENTI SISMICI



Combinazione di carico sismica

$$\gamma_1 E + G_K + P_K + \sum_i (\psi_{2i} Q_{Ki}) \quad (3.9)$$

dove:

- γ_1 fattore di importanza (vedi punto 4.7);
- E azione sismica per lo stato limite in esame;
- G_K carichi permanenti al loro valore caratteristico;
- P_K valore caratteristico dell'azione di precompressione, a cadute di tensione avvenute;
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione che fornisce il valore quasi-permanente della azione variabile Q_i ;
- Q_{Ki} valore caratteristico della azione variabile Q_i .

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

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} Q_{Ki}) \quad (3.10)$$

Coefficienti di riduzione dei carichi

ψ_{2i} coefficiente di combinazione dell'azione variabile Q_i , che tiene conto della probabilità che tutti i carichi $\psi_{2i} Q_{Ki}$ siano presenti sulla intera struttura in occasione del sisma, e si ottiene moltiplicando ψ_{2i} per ϕ .

I valori dei coefficienti ψ_{2i} e ϕ sono riportati nelle successive tabelle.

Tabella 3.4 - Coefficienti ψ_{2i} per varie destinazioni d'uso

| Destinazione d'uso | ψ_{2i} |
|--|-------------|
| Abitazioni, Uffici | 0,30 |
| Uffici aperti al pubblico, Scuole, Negozi, Autorimesse | 0,60 |
| Tetti e coperture con neve | 0,20 |
| Magazzini, Archivi, Scale | 0,80 |
| Vento, variazione termica | 0,00 |

Tabella 3.5 - Coefficienti ϕ per edifici

| Carichi ai piani | ϕ |
|----------------------|--------|
| Copertura | 1,0 |
| Archivi | 1,0 |
| Carichi correlati | 0,8 |
| Carichi indipendenti | 0,5 |

Fattore di importanza (I)

| Categoria | Edifici | Fattore di importanza |
|-----------|--|-----------------------|
| I | Edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile (ad esempio ospedali, municipi, caserme dei vigili del fuoco) | 1.4 |
| II | Edifici importanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (ad esempio scuole, teatri) | 1.2 |
| III | Edifici ordinari, non compresi nelle categorie precedenti | 1.0 |

Fattore di struttura per edifici in C.A.

$$q = q_0 K_D K_R$$

nella quale: q_0 è legato alla tipologia strutturale
 K_D è un fattore che dipende dalla classe di duttilità
 K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità dell'edificio

| Tipologia | q_0 |
|-------------------------------|-------------------------|
| Strutture a telaio | $4,5 \alpha_u/\alpha_1$ |
| Strutture a pareti | $4,0 \alpha_u/\alpha_1$ |
| Strutture miste telaio-pareti | $4,0 \alpha_u/\alpha_1$ |
| Strutture a nucleo | 3,0 |

Il fattore K_D vale:

| | |
|--------|-------------|
| CD "A" | $K_D = 1,0$ |
| CD "B" | $K_D = 0,7$ |

Il fattore K_R vale:

| | |
|---|-------------|
| Edifici regolari in altezza (punto 4.3) | $K_R = 1,0$ |
| Edifici non regolari in altezza (punto 4.3) | $K_R = 0,8$ |

α_1 è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la sua resistenza flessionale

α_u è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile.

Il valore di α_u/α_1 può essere calcolato per mezzo di un'analisi statica non lineare (punto 4.5.4) e non può in ogni caso essere assunto superiore a 1,5.

Qualora non si proceda ad una analisi non lineare per la valutazione di α_u/α_1 , i seguenti valori possono essere adottati:

| | |
|--|---------------------------|
| edifici a telaio di un piano | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ |
| edifici a telaio a più piani, con una sola campata | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ |
| edifici a telaio con più piani e più campate | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$ |
| edifici a pareti non accoppiate | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ |
| edifici a pareti accoppiate o miste telaio-pareti | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ |

Per tipologie strutturali diverse da quelle definite in 5.3.1, ove si intenda adottare un valore $q > 1,5$, il valore adottato dovrà essere adeguatamente giustificato dal progettista.

| | [kg] |
|---------|-----------|
| piano 1 | 22743.119 |
| piano 2 | 40449.541 |

massa di piano rotazionale

| | [kg] |
|---------|-----------|
| piano 1 | 142030.73 |
| piano 2 | 252607.30 |

| W piano | [kg] |
|---------|--------|
| piano 1 | 223110 |
| piano 2 | 396810 |
| W,tot. | 619920 |

$$\rho = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}}$$

4.5.2 Analisi statica lineare

L'analisi statica lineare, salvo quando altrimenti specificato, può essere effettuata per costruzioni regolari in altezza ai sensi del punto 4.3 (con esclusione del punto g), a condizione che il primo periodo di vibrazione, nella direzione in esame, della struttura (T_1) non superi $2,5 T_c$.

Per edifici che non superino i 40 m di altezza, in assenza di calcoli più dettagliati, T_1 può essere stimato utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 H^{3/4} \quad (4.1)$$

Dove H è l'altezza dell'edificio, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0,085 per edifici con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per edifici con struttura a telaio in calcestruzzo e 0,050 per edifici con qualsiasi altro tipo di struttura.

L'analisi statica consiste nell'applicazione di un sistema di forze distribuite lungo l'altezza dell'edificio assumendo una distribuzione lineare degli spostamenti. La forza da applicare a ciascun piano è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_1(z_i W_i) / \sum(z_j W_j) \quad (4.2)$$

dove: $F_1 = S_d(T_1) W \lambda / g$

F_i è la forza da applicare al piano i

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

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al punto 3.2.5

W è il peso complessivo della costruzione, calcolato secondo quanto indicato per ogni tipo strutturale

λ è un coefficiente pari a 0,85 se l'edificio ha almeno tre piani e se $T_1 < 2 T_c$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi..

g è l'accelerazione di gravità.

Gli effetti torsionali accidentali di cui al punto 4.4 possono essere tenuti in conto applicando ad ogni piano la forza sismica F_i con eccentricità e_{ai} o, in modo equivalente, sommando agli effetti delle forze statiche quelli dovuti ai momenti $M_i = e_{ai} \times F_i$. Per edifici aventi massa e rigidità distribuite in modo approssimativamente simmetrico in pianta e inscritto in un rettangolo con rapporto fra i lati inferiore a 4, gli effetti torsionali accidentali di cui al punto 4.4, possono essere considerati amplificando le sollecitazioni, calcolate con la distribuzione (4.2), in ogni elemento resistente con il fattore (δ) risultante dalla seguente espressione:

$$\delta = 1 + 0.6 x / L_x \quad (4.3)$$

dove: x è la distanza dell'elemento resistente verticale dal baricentro geometrico dell'edificio, misurata perpendicolarmente alla direzione dell'azione sismica considerata

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

Spettro di risposta elastico – orizzontale (S_{le} – H)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1)\right)$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

Spettro di risposta elastico – orizzontale (S_{le} – V)

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1)\right)$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Spettro di risposta SLU – orizzontale (S_{lu} – H)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - 1\right)\right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

Spettro di risposta SLU – verticale (S_{lu} – V)

$$0 \leq T < T_B \quad S_{vd}(T) = 0,9 \cdot a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{3,0}{q} - 1\right)\right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{vd}(T) = 0,9 \cdot a_g \cdot S \cdot \frac{3,0}{q}$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{vd}(T) = 0,9 \cdot a_g \cdot S \cdot \frac{3,0}{q} \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{vd}(T) = 0,9 \cdot a_g \cdot S \cdot \frac{3,0}{q} \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

η fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ diverso da 5 ($\eta=1$ per $\xi=5$), essendo ξ espresso in percentuale :

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55 \quad (3.3)$$

T periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;
 T_B, T_C, T_D periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

$$\eta = 1; \xi = 5$$

$$S = 1.25$$

$$S_t = 1.20$$

$$q_0 = 1.3 \cdot 4.5 = 5.85$$

$$K_D = 0.7$$

$$K_R = 1$$

$$Q = 4.10$$

$$I = 1$$

$$\psi_{2i} = 0.3$$

$$\phi = 1$$

$$a_g = 0.25 \text{ g}$$

$$T_1 = 0.075 \cdot 6 = 0.45 \text{ s}$$

$$F_2 = 25210.31 \cdot 13386600 / (13386600 + 11904300) = 13344.00 \text{ kg} \Rightarrow 133.44 \text{ kN}$$

$$F_1 = 25210.31 \cdot 11904300 / (13386600 + 11904300) = 11866.37 \text{ kg} \Rightarrow 118.67 \text{ kN}$$

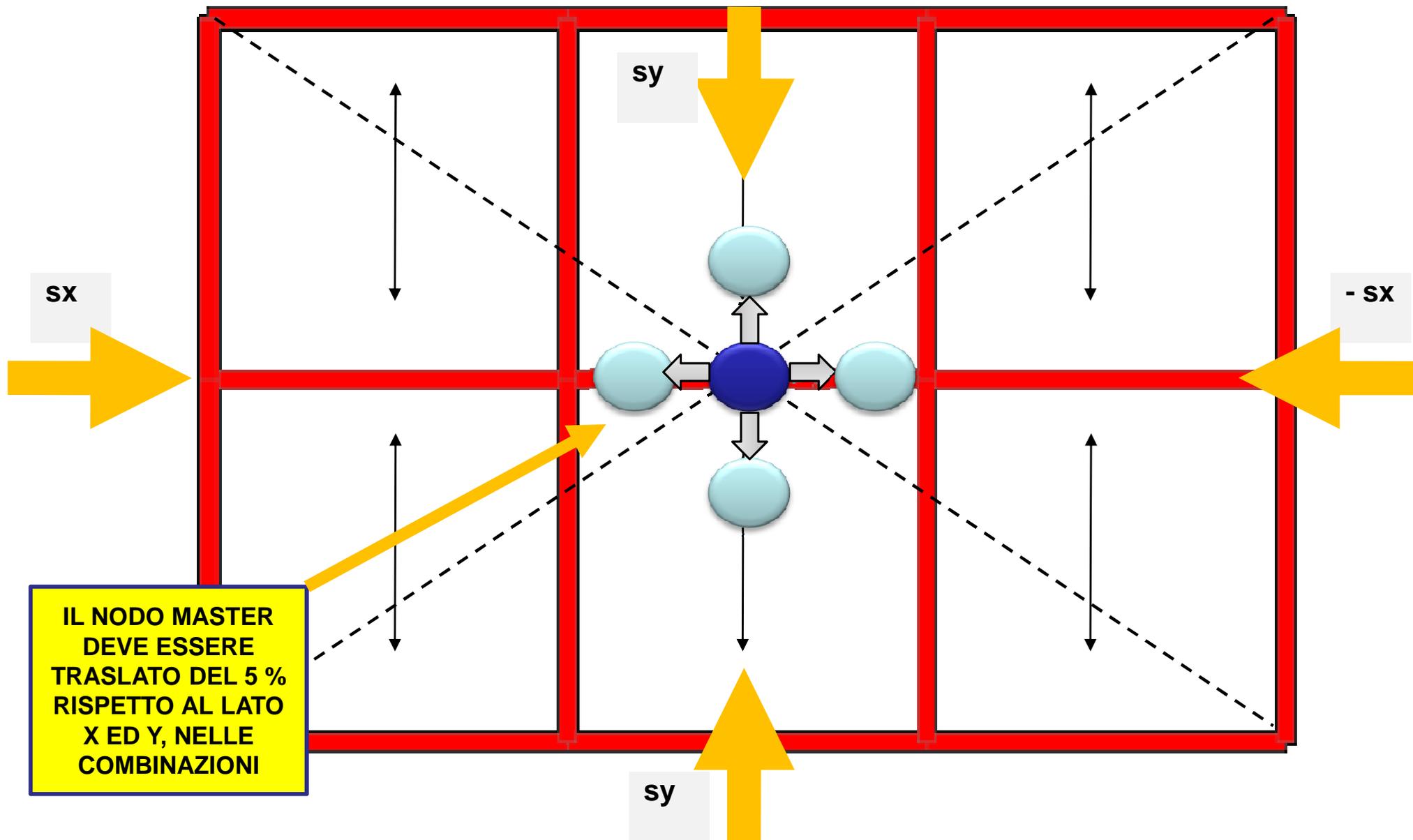
$$Z_2 \cdot W_j = 6 \text{ m} \cdot 2231100 \text{ kg} = 13386600$$

$$Z_1 \cdot W_i = 3 \text{ m} \cdot 3968100 \text{ kg} = 11904300$$

$$F_h = 0.19g \cdot 156101.1 \cdot 0.85/g = 25210.31 \text{ kg}$$

$$S_d = 0.25g \cdot 1.25 \cdot 2.5/4.10 = 0.19g$$

NODO MASTER = PUNTO IN CUI SI CONCENTRANO LE MASSE DI PIANO, POSTO NEL BARICENTRO DELLE MASSE CHE, IN QUESTO CASO, ESSENDO LA STRUTTURA DOPPIAMENTE SIMMETRICA, COINCIDE CON IL BARICENTRO GEOMETRICO DI PIANO



Define Mass Source

Mass Definition

- From Element and Additional Masses
- From Loads
- From Element and Additional Masses and Loads

Define Mass Multiplier for Loads

| Load | Multiplier |
|------|------------|
| DEAD | 1. |
| DEAD | 1. |
| q | 0.3 |
| p | 1. |

Add
Modify
Delete

OK Cancel

Combinazioni di carico

COMB. Carichi verticali SLE

$$\text{COMB.1} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{Qacc}$$

$$\text{COMB.2} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{N}$$

$$\text{COMB.3} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{V1}$$

$$\text{COMB.4} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{V2}$$

$$\text{COMB.5} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{V3}$$

$$\text{COMB.6} = \text{GK} + \text{GP1} + \text{GP2} + \text{V4}$$

COMB. Carichi verticali SLU

$$\text{COMB.7} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{Qacc} * 1.5$$

$$\text{COMB.8} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{N} * 1.5$$

$$\text{COMB.9} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{V1} * 1.5$$

$$\text{COMB.10} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{V2} * 1.5$$

$$\text{COMB.11} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{V3} * 1.5$$

$$\text{COMB.12} = \text{GK} * 1.3 + \text{GP1} * 1.3 + \text{GP2} * 1.5 + \text{V4} * 1.5$$

COMB. Sismica SLE

$$\text{COMB.13} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsleX}] + [+ \text{SsleY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.14} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsleX}] + [+ \text{SsleY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.15} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsleX}] - [+ \text{SsleY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.16} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsleX}] - [+ \text{SsleY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.17} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsleX}] * 0.3 + [+ \text{SsleY}]$$

$$\text{COMB.18} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsleX}] * 0.3 + [+ \text{SsleY}]$$

$$\text{COMB.19} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsleX}] * 0.3 - [+ \text{SsleY}]$$

$$\text{COMB.20} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsleX}] * 0.3 - [+ \text{SsleY}]$$

COMB. Sismica SLU

$$\text{COMB. 21} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsluX}] + [+ \text{SsluY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.22} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsluX}] + [+ \text{SsluY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.23} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsleX}] - [+ \text{SsluY}] * 0.3$$

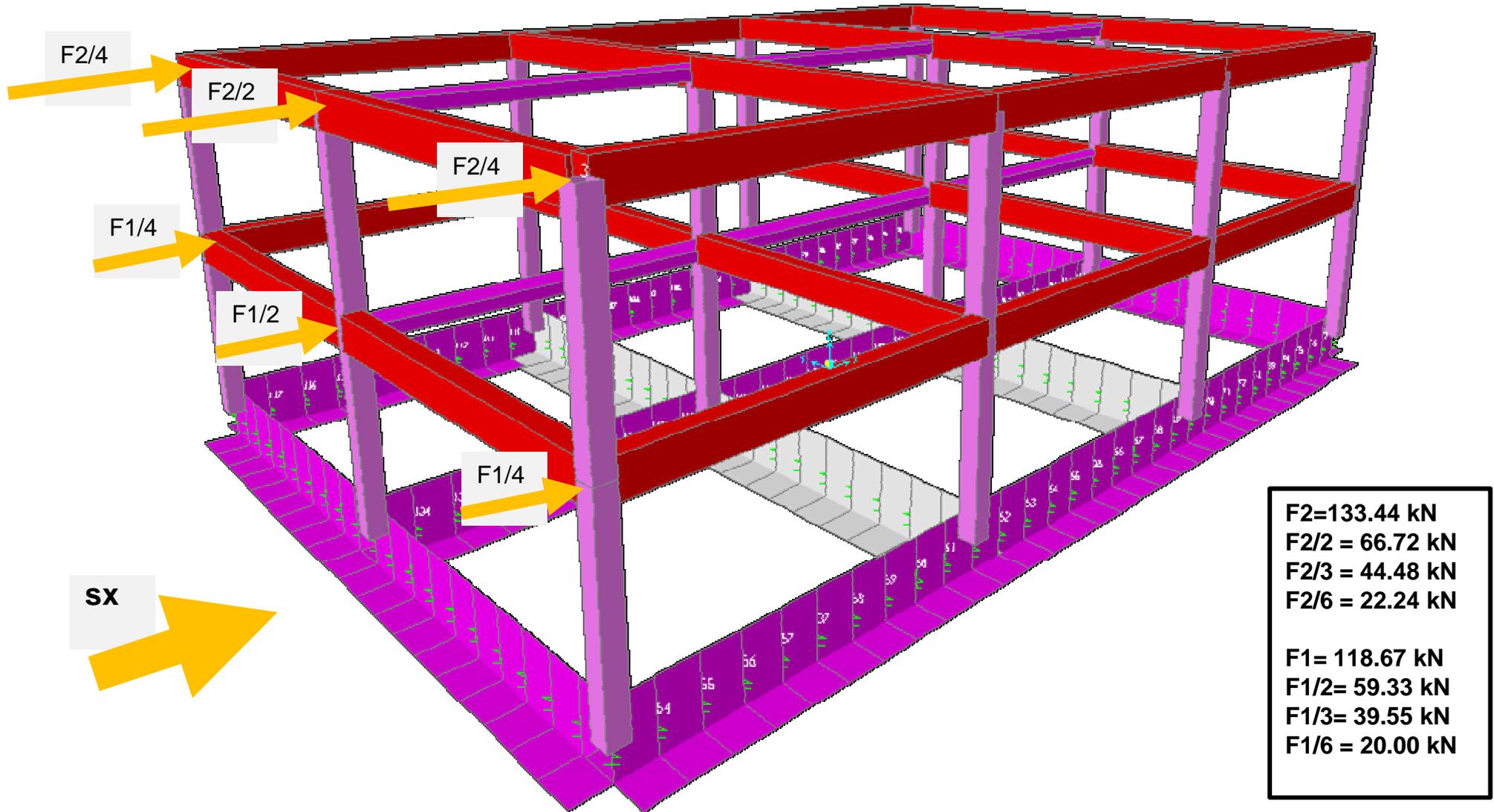
$$\text{COMB.24} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsluX}] - [+ \text{SsluY}] * 0.3$$

$$\text{COMB.25} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsluX}] * 0.3 + [+ \text{SsluY}]$$

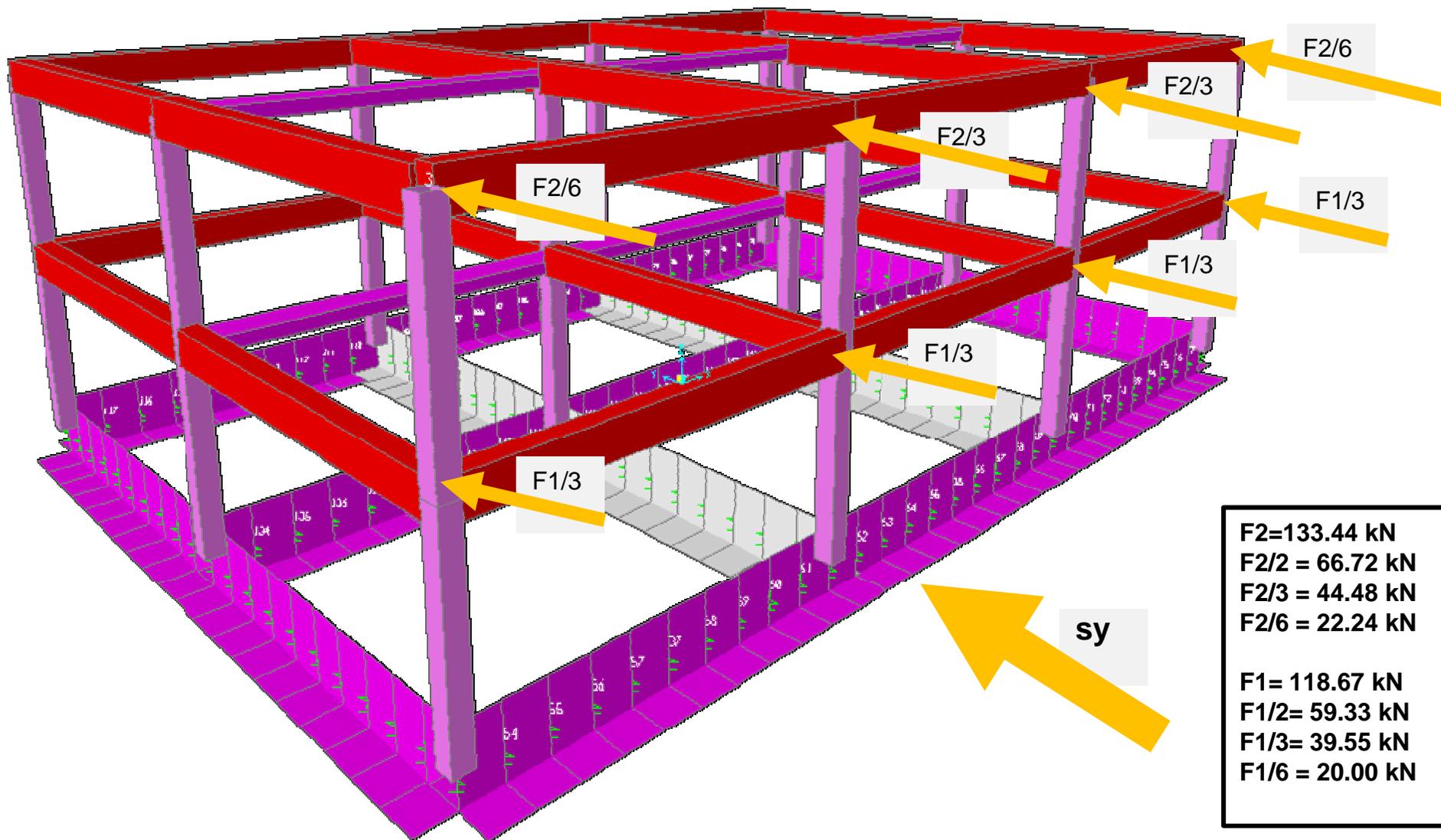
$$\text{COMB.26} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsluX}] * 0.3 + [+ \text{SsluY}]$$

$$\text{COMB.27} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsluX}] * 0.3 - [+ \text{SsluY}]$$

$$\text{COMB.28} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [- \text{SsluX}] * 0.3 - [+ \text{SsluY}]$$



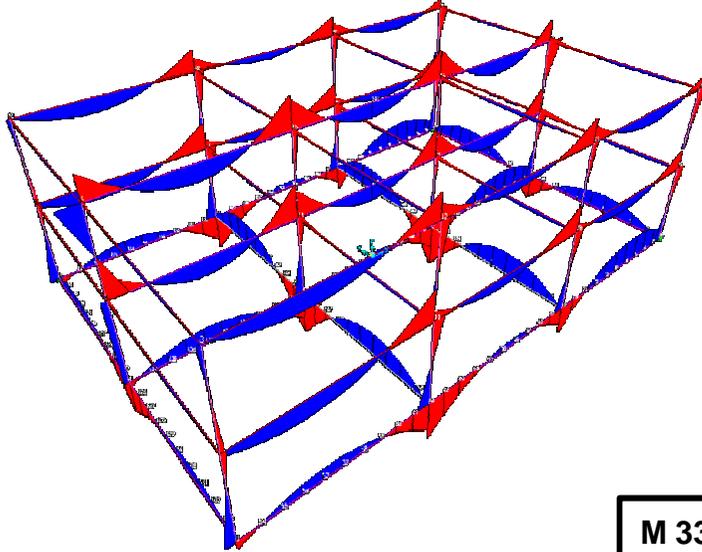
(*) uguale ed opposta per - SX



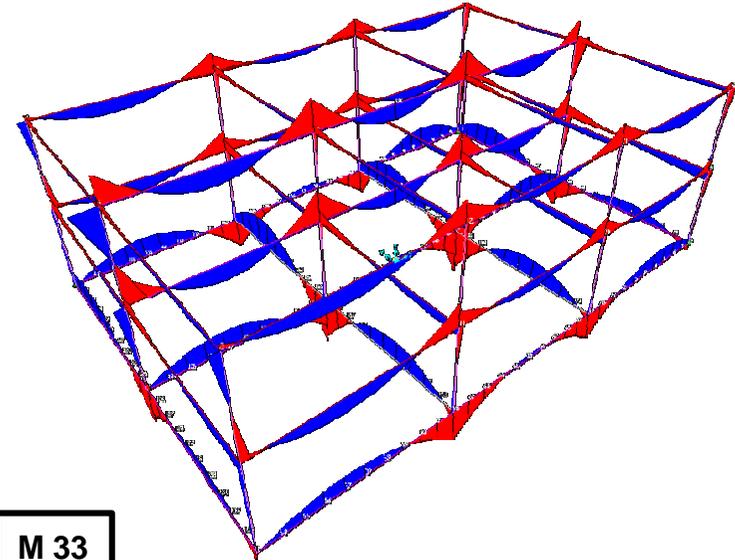
(*) uguale ed opposta per - Sy

$$\text{COMB. 21} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \\ + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsluX}] + [+ \text{SsluY}] * 0.3$$

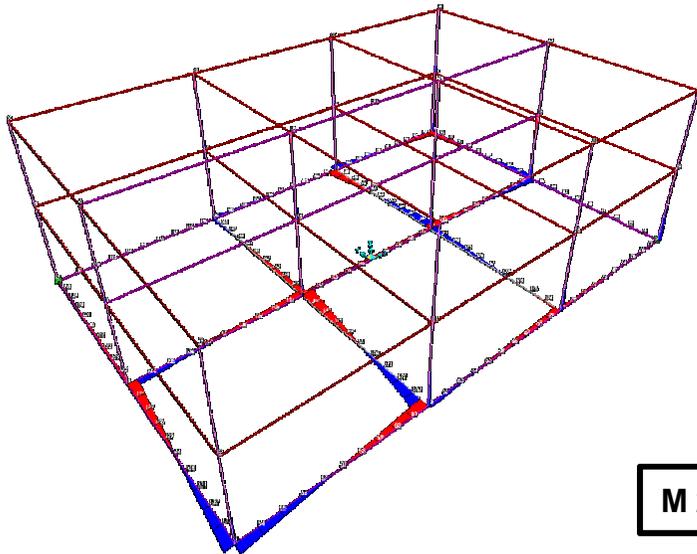
$$\text{COMB.25} = \text{GK} * 1 + \text{GP1} * 1 + \text{GP2} * 1 + \\ + \text{Qacc} * 0.3 + \text{N} * 0.2 [+ \text{SsluX}] * 0.3 + [+ \text{SsluY}]$$



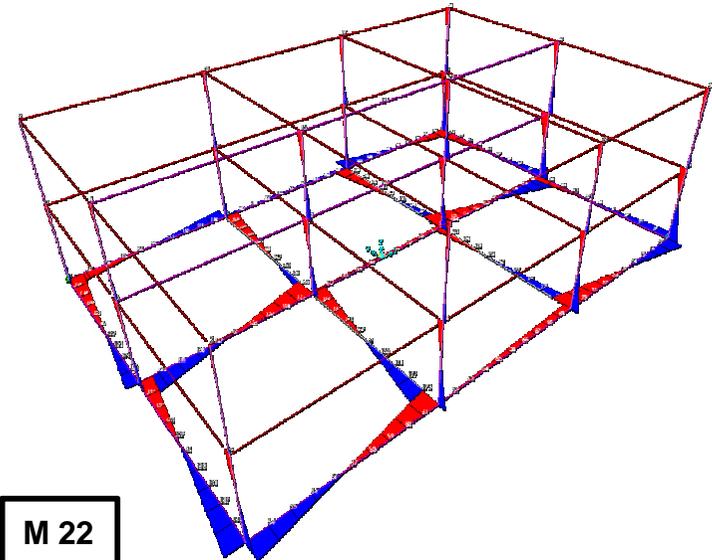
M 33



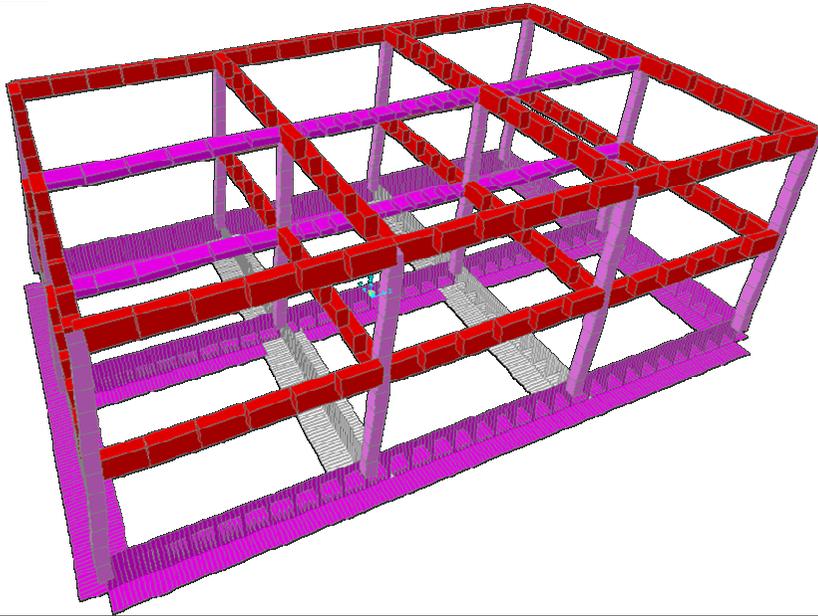
M 33



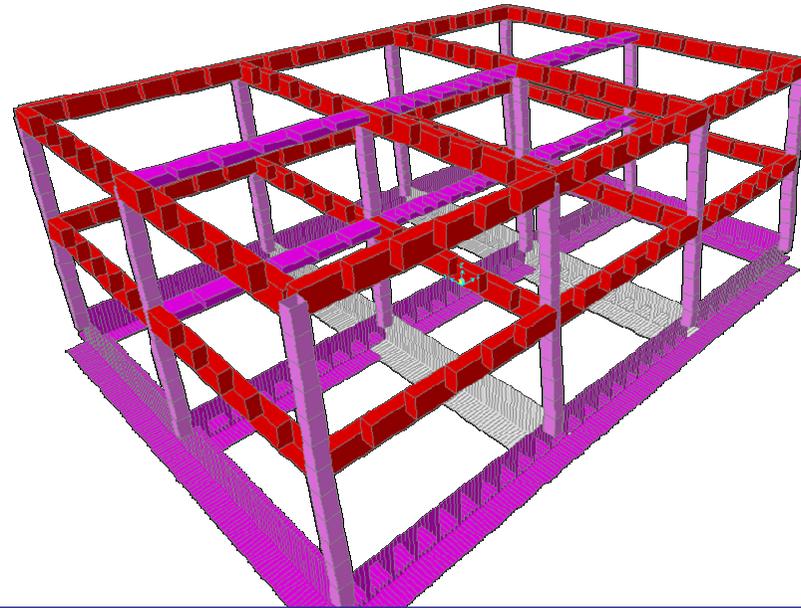
M 22



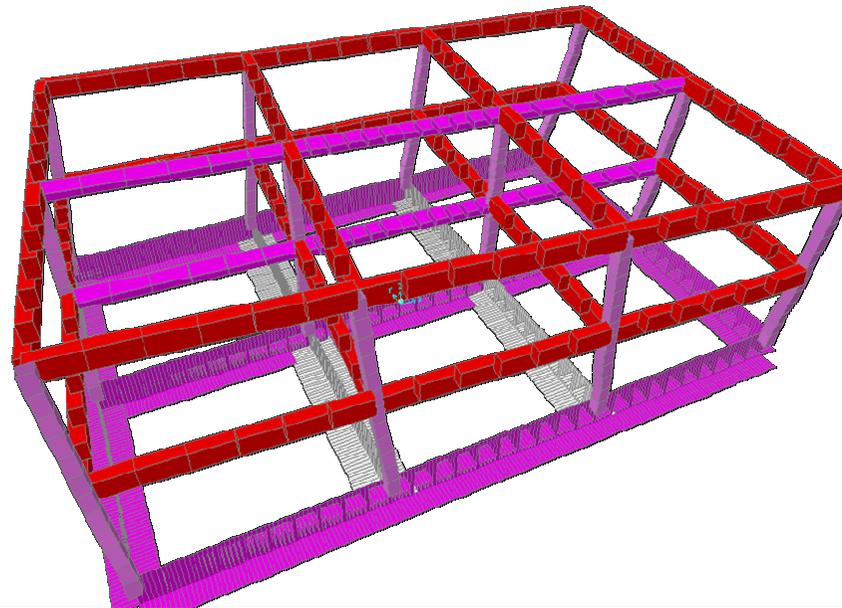
M 22



Modo 1



Modo 2



Modo 3

**Spettro di risposta SLU
(ORIZZONTALE)**

Function Name

Parameters

Peak Ground Acceleration

Soil Type

Damping Ratio

Structure Factor

Spec Level/Direction/Structure

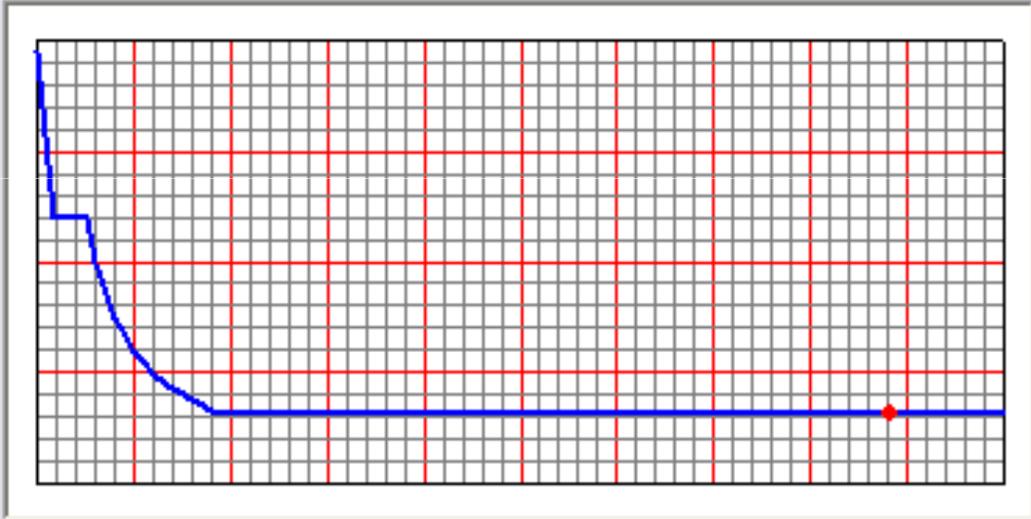
Convert to User Defined

Define Function

| Period | Acceleration |
|--------|--------------|
| 0. | 0.3125 |
| 0.15 | 0.1905 |
| 0.5 | 0.1905 |
| 0.6 | 0.1588 |
| 0.7 | 0.1361 |
| 0.8 | 0.1191 |
| 0.9 | 0.1059 |
| 1. | 0.0953 |
| 1.1 | 0.0866 |

Add
Modify
Delete

Function Graph



Display Graph

(8.835 , 0.05)