

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale
e Norme Tecniche per le Costruzioni

Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.

10 - Analisi lineare: verifica in termini di deformazioni

Imola
16-18 maggio 2013
Aurelio Ghersi

Verifica in termini di deformazioni

analisi lineare e analisi statica non lineare

- La verifica può essere fatta con analisi lineare (in genere modale) o con analisi statica non lineare
 - La prima è un'approssimazione della seconda (ed ha limiti di applicabilità)
 - L'una e l'altra consentono di valutare il comportamento della struttura al crescere dell'azione sismica ed a valutare quando si raggiungono i limiti corrispondenti allo SL di interesse
 - Occorre sempre controllare preliminarmente se la struttura ha collasso fragile per accelerazioni non elevate. Per fare questo basta in genere una analisi lineare

| | | Modello Lineare | | Modello Non Lineare | |
|-------------------------------------|--|---|---|--|--|
| | | Domanda | Capacità | Domanda | Capacità |
| Tipo di elemento o meccanismo (e/m) | Duttile / Fragile | Accettazione del Modello Lineare (ML) (per il controllo dei valori di $\rho_i = D_i/C_i$) | | Dall'analisi. Usare i valori medi nel modello. | In termini di deformazione. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC. |
| | | Dall'analisi. Usare i valori medi dei moduli nel modello. | In termini di resistenza. Usare i valori medi. | | |
| | Verifiche (se il ML è accettato) | | | | |
| | Duttile | Dall'analisi. | In termini di deformazione. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC. | | |
| Verifiche (se il ML è accettato) | | In termini di resistenza. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale. | | | |
| Fragile | Se $\rho_i \leq 1$, dall'analisi. | | In termini di resistenza. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale. | | |
| | Se $\rho_i > 1$, dall'equilibrio con la resistenza degli e/m duttili. Usare i valori medi <u>moltiplicati</u> per FC. | | | | |

Verifica in termini di deformazioni

Cosa significa ?

- Durante il terremoto la struttura va in campo plastico
 - Le caratteristiche di sollecitazioni non possono crescere oltre un certo limite
 - Si hanno deformazioni plastiche; la rottura avviene per superamento della deformazione plastica (rotazione delle cerniere plastiche)
- Occorre prevedere e controllare l'entità delle deformazioni plastiche

Verifica in termini di deformazioni

problemi di base

Problemi concettuali:

- Scelta di modelli per il legame costitutivo del materiale
- Definizione dell'ampiezza della cerniera plastica
- Valutazione corretta del comportamento in 3D (interazione $N-M_x-M_y$ e relative curvature)

Verifica in termini di deformazioni

problemi di base

Problemi operativi:

- Solo l'analisi dinamica non lineare fornisce le rotazioni plastiche per un dato sisma; ma:
 - quali e quanti accelerogrammi usare ?
- Una analisi statica non lineare fornisce rotazioni plastiche; ma queste:
 - corrispondono a quelle ottenute dall'analisi dinamica ?
 - e a quale valore di a_g corrispondono ?
- Una analisi lineare (modale) non fornisce rotazioni plastiche; come fare a prevederle ?

Verifica in termini di deformazioni considerazioni

- Le travi hanno molto spesso una buona duttilità, anche se non progettate espressamente per questo

Problemi per:

- Strutture irregolari (campate molto corte, schemi con forti rotazioni planimetriche) perché portano alla plasticizzazione precoce di qualche elemento
- Sezioni sottodimensionate con armatura tesa molto forte e armatura compressa quasi inesistente
- Sezioni non ben armate per carichi verticali
- Difetti di esecuzione e deterioramento nel tempo

Se non si verificano queste condizioni le travi potrebbero non dare problemi di duttilità

Verifica in termini di deformazioni considerazioni

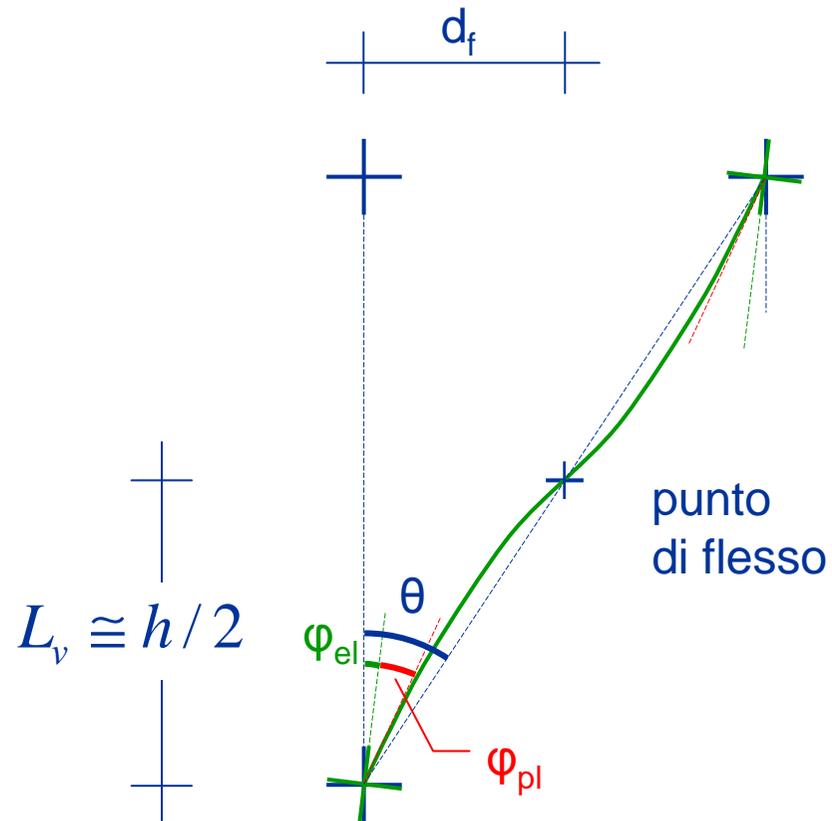
- I pilastri possono essere più o meno resistenti a flessione e duttili, in funzione dell'armatura disposta e del valore dello sforzo normale

Problemi particolari per:

- Strutture irregolari (pilastri molto corte, schemi con forti rotazioni planimetriche) perché portano alla plasticizzazione precoce di qualche elemento
- Pilastri con tensione media molto elevata
- Pilastri con armatura longitudinale molto bassa
- Difetti di esecuzione e deterioramento nel tempo

È opportuno concentrarsi soprattutto sui pilastri nella verifica di duttilità

Deformazioni dei pilastri



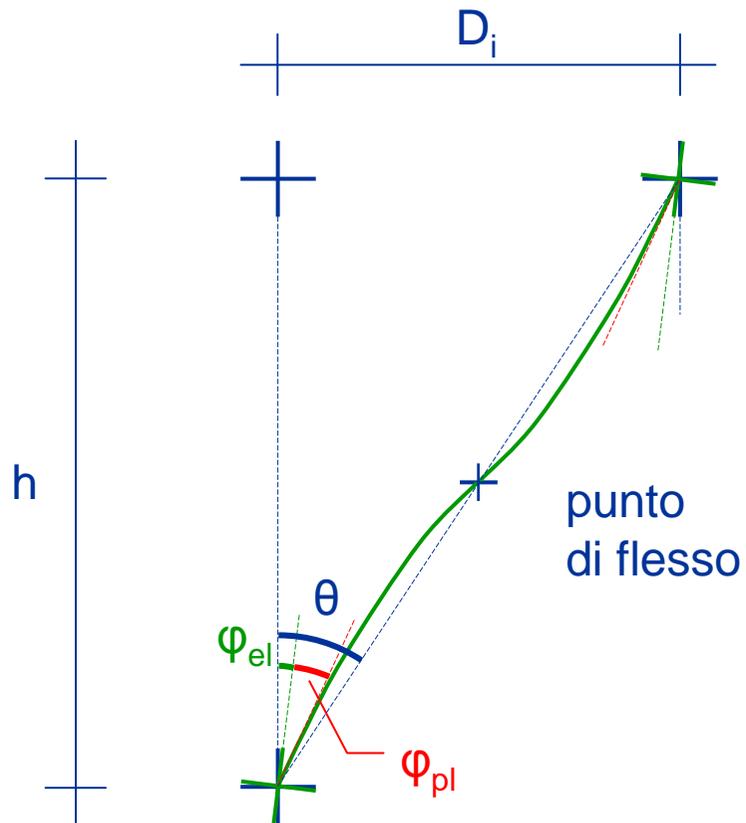
φ_{el} rotazione
elastica del nodo

φ_{pl} rotazione della
cerniera plastica

θ rotazione rispetto
alla corda

$$\theta = \frac{d_f}{L_v} \cong \frac{d_f}{h/2}$$

Deformazioni dei pilastri



Se la situazione è uguale
in testa e al piede

$$\theta = \frac{D_i}{h}$$

$$D_i = \theta h$$

θ rotazione rispetto
alla corda

$$\theta = \frac{d_f}{L_v} \cong \frac{d_f}{h/2}$$

Rotazione alla corda

- Valore limite della rotazione alla corda a collasso (CO, ovvero SLC):
Può essere calcolato partendo dalla rotazione della cerniera plastica

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_v} \right) \right)$$

Non è molto agevole utilizzarla, per la complessità nel determinare la rotazione ultima della cerniera plastica

Rotazione alla corda

- Valore limite della rotazione alla corda a collasso (CO, ovvero SLC)

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d})$$

- Moltiplicare per 0.85 negli elementi non dotati di adeguati dettagli antisismici
 - Moltiplicare per 0.75 in presenza di barre lisce o ancoraggi non sufficienti
- Valore limite per DS (SLV):
moltiplicare per 0.75

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25 \left(\alpha_{psx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1,25^{100 \rho_d})$$

$\gamma_{el} = 1.5$ per gli elementi primari

$$\frac{1}{\gamma_{el}} = 0.6667$$

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d})$$

$$f_c = \frac{f_{cm}}{FC \gamma_c} = \frac{19}{1,2 \times 1,5} = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v = \frac{N}{A_c f_c} = \frac{400 \times 10^3}{900 \times 10^2 \times 10,56} = 0,4211$$

$$0,3^v = 0,6023$$

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d})$$

$$\omega = \frac{A_s}{b h} \frac{f_y}{f_c} \quad \omega' = \frac{A'_s}{b h} \frac{f_y}{f_c} \quad \text{per pilastri } \omega = \omega'$$

$$\left[\frac{\max(0,01, \omega')}{\max(0,01, \omega)} f_c \right]^{0,225} = 10,56^{0,225} = 1,6994$$

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25 \left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1,25^{100 \rho_d})$$

$$L_v = 135 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

luce di taglio = distanza dal punto di flesso
(metà della lunghezza netta del pilastro)

$$\left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} = \left(\frac{135}{30} \right)^{0,35} = 1.6929$$

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d})$$

Contributo delle staffe: per staffatura modesta viene circa 1

Più precisamente, in questo caso, 1.0057 - lo trascuro

Contributo di ferri piegati - non ce ne sono

Rotazione alla corda esempio

Sezione 30x30 con 4Ø12, N=400 kN

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha_{psx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d})$$

Quindi, per DS (SLV):

$$\begin{aligned} \theta_{u(DS)} &= 0.75 \times 0.85 \times 0.6667 \times 0.0160 \times 0.6023 \times 1.6994 \times 1.6929 = \\ &= 0.0118 \end{aligned}$$

Spostamento relativo limite di interpiano

- Se le rotazioni alla corda in testa e al piede del pilastro sono uguali e se si trascura la rotazione dei nodi si ha:

$$u_{rel} = \theta_{u,DS} \times 2 L_v = \theta_{u,DS} \times h_p$$

Nell'esempio:

$$u_{rel} = 0.0118 \times 2700 = 31.8 \text{ mm}$$

Nota: si è considerata come distanza tra le cerniere
l'altezza netta (2700 mm)

Spostamento relativo limite di interpiano

- Lo spostamento limite dipende dallo sforzo normale, che varia per effetto del sisma

| pilastro | piano | Nq | b | h | spo u per Nq | ag 0.1 | ag 0.2 | ag 0.3 | ag 0.4 |
|----------|-------|-------|----|----|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 6 | 66.1 | 30 | 30 | 54.72 | 54.09 | 53.46 | 52.84 | 52.23 |
| 1 | 5 | 163.7 | 30 | 30 | 50.39 | 48.23 | 46.15 | 44.17 | 42.28 |
| 1 | 4 | 261.3 | 30 | 30 | 46.40 | 42.38 | 38.71 | 35.35 | 32.29 |
| 1 | 3 | 358.9 | 30 | 30 | 42.73 | 36.95 | 31.95 | 27.63 | 23.89 |
| 1 | 2 | 456.5 | 30 | 30 | 39.35 | 32.11 | 26.20 | 21.38 | 17.45 |
| 1 | 1 | 556.4 | 40 | 30 | 40.67 | 33.55 | 27.68 | 22.84 | 18.84 |

Considerando il sisma nel verso peggiore si ha sempre una riduzione di spostamento limite

Spostamento relativo limite di interpiano - direzione x

| pilastro | piano |
|----------|-------|
| | |
| 1 | 6 |
| 1 | 5 |
| 1 | 4 |
| 1 | 3 |
| 1 | 2 |
| 1 | 1 |
| | |
| 2 | 6 |
| 2 | 5 |
| 2 | 4 |
| 2 | 3 |
| 2 | 2 |
| 2 | 1 |
| | |
| 3 | 6 |
| 3 | 5 |
| 3 | 4 |
| 3 | 3 |
| 3 | 2 |
| 3 | 1 |
| | |
| | 6 |
| | 5 |
| | 4 |
| | 3 |
| | 2 |
| | 1 |

| Nq | b | h | spo u per Nq | ag 0.1 | ag 0.2 | ag 0.3 | ag 0.4 |
|-------|----|----|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | | |
| 66.1 | 30 | 30 | 54.72 | 54.09 | 53.46 | 52.84 | 52.23 |
| 163.7 | 30 | 30 | 50.39 | 48.23 | 46.15 | 44.17 | 42.28 |
| 261.3 | 30 | 30 | 46.40 | 42.38 | 38.71 | 35.35 | 32.29 |
| 358.9 | 30 | 30 | 42.73 | 36.95 | 31.95 | 27.63 | 23.89 |
| 456.5 | 30 | 30 | 39.35 | 32.11 | 26.20 | 21.38 | 17.45 |
| 556.4 | 40 | 30 | 40.67 | 33.55 | 27.68 | 22.84 | 18.84 |
| | | | | | | | |
| 108.0 | 30 | 30 | 52.82 | 52.58 | 52.34 | 52.10 | 51.87 |
| 244.0 | 30 | 30 | 47.08 | 46.79 | 46.49 | 46.20 | 45.91 |
| 380.0 | 30 | 30 | 41.97 | 41.54 | 41.12 | 40.70 | 40.28 |
| 518.2 | 30 | 40 | 37.68 | 37.36 | 37.05 | 36.74 | 36.44 |
| 658.7 | 30 | 50 | 34.65 | 34.35 | 34.05 | 33.76 | 33.47 |
| 801.4 | 30 | 60 | 32.36 | 31.77 | 31.20 | 30.63 | 30.07 |
| | | | | | | | |
| 108.0 | 30 | 30 | 52.82 | 52.59 | 52.37 | 52.14 | 51.92 |
| 244.0 | 30 | 30 | 47.08 | 46.78 | 46.49 | 46.19 | 45.90 |
| 380.0 | 30 | 30 | 41.97 | 41.49 | 41.02 | 40.56 | 40.09 |
| 518.2 | 30 | 40 | 37.68 | 37.12 | 36.57 | 36.03 | 35.49 |
| 658.7 | 30 | 50 | 34.65 | 34.11 | 33.58 | 33.06 | 32.54 |
| 801.4 | 30 | 60 | 32.36 | 31.86 | 31.36 | 30.88 | 30.40 |
| | | | | | | | |
| | | | spo u min | spo u min | spo u min | spo u min | spo u min |
| | | | 51.23 | 50.89 | 50.54 | 50.20 | 49.86 |
| | | | 45.37 | 44.31 | 43.04 | 41.15 | 39.35 |
| | | | 40.17 | 38.30 | 34.94 | 31.88 | 29.09 |
| | | | 36.27 | 32.85 | 28.31 | 24.40 | 21.03 |
| | | | 33.48 | 30.03 | 26.02 | 21.38 | 17.45 |
| | | | 31.34 | 27.57 | 23.49 | 20.01 | 16.94 |

Lo spostamento limite del piano è quello del pilastro che ha un limite più basso

Analisi lineare

Ordinanza 3431 e Circolare 2/2/09

Analisi lineare

- Si ipotizza che gli spostamenti reali per un qualsiasi a_g siano uguali a quelli forniti dall'analisi lineare
- Si giudica la struttura confrontando gli spostamenti di calcolo con quelli limite

Analisi lineare

Nota:

- La previsione dello spostamento in testa con l'analisi lineare è abbastanza accettabile
- Quello che può cambiare molto, e non è colto dall'analisi lineare, è la variazione della deformata al progredire della plasticizzazione:
se si forma un meccanismo di piano lo spostamento si concentra tutto a quel piano, con valori molto maggiori di quelli previsti dall'analisi lineare

Per questo motivo occorre verificare l'applicabilità dell'analisi lineare

Applicabilità dell'analisi lineare (1)

- Calcolare per tutte le sezioni il momento resistente (con valori medi di f_c e f_y - non divisi per il fattore di confidenza né per il coefficiente parziale di sicurezza)
 C = capacità
- Per un assegnato a_g calcolare il momento sollecitante
 D = domanda
- Calcolare il rapporto $\rho = D / C$

Applicabilità dell'analisi lineare (2)

- Esaminare tutte le sezioni in cui $\rho > 2$;
tra queste:
 - Trovare il minimo ρ_{\min}
 - Trovare il massimo ρ_{\max}
 - Calcolare il rapporto $\rho_{\max} / \rho_{\min}$
- L'analisi è applicabile se $\rho_{\max} / \rho_{\min} \leq 2.5$

Si può trovare il valore massimo di a_g per il quale l'analisi è applicabile

Applicabilità dell'analisi lineare

basso

| | | X | | ag | min | 2.037 |
|----------|-------|----------|--------|--------|------|--------|
| | | per 0.25 | | 0.150 | max | 3.337 |
| | | | | | rapp | 1.638 |
| pilastro | piano | Msisma | Mres | M(ag) | | ρ |
| 1 | 6 | 89.92 | 29.03 | 53.95 | 1.86 | |
| 1 | 5 | 154.46 | 39.03 | 92.68 | 2.37 | 2.374 |
| 1 | 4 | 203.44 | 47.35 | 122.06 | 2.58 | 2.578 |
| 1 | 3 | 184.94 | 53.88 | 110.96 | 2.06 | 2.059 |
| 1 | 2 | 175.33 | 64.58 | 105.20 | 1.63 | |
| 1 | 1 | 152.73 | 87.72 | 91.64 | 1.04 | |
| 2 | 6 | 130.59 | 33.53 | 78.35 | 2.34 | 2.337 |
| 2 | 5 | 215.70 | 46.00 | 129.42 | 2.81 | 2.813 |
| 2 | 4 | 263.48 | 55.05 | 158.09 | 2.87 | 2.872 |
| 2 | 3 | 426.34 | 101.89 | 255.80 | 2.51 | 2.510 |
| 2 | 2 | 516.45 | 151.81 | 309.87 | 2.04 | 2.041 |
| 2 | 1 | 722.63 | 210.92 | 433.58 | 2.06 | 2.056 |
| 3 | 6 | 131.79 | 33.53 | 79.07 | 2.36 | 2.359 |
| 3 | 5 | 216.58 | 46.00 | 129.95 | 2.82 | 2.825 |
| 3 | 4 | 265.58 | 55.05 | 159.35 | 2.89 | 2.895 |
| 3 | 3 | 446.64 | 101.89 | 267.98 | 2.63 | 2.630 |
| 3 | 2 | 565.63 | 151.81 | 339.38 | 2.24 | 2.235 |
| 3 | 1 | 746.51 | 210.92 | 447.91 | 2.12 | 2.124 |

**non
accettabile**

| | | X | | ag | min | 2.023 |
|----------|-------|----------|--------|--------|------|--------|
| | | per 0.25 | | 0.300 | max | 6.674 |
| | | | | | rapp | 3.299 |
| pilastro | piano | Msisma | Mres | M(ag) | | ρ |
| 1 | 6 | 89.92 | 29.03 | 107.90 | 3.72 | 3.717 |
| 1 | 5 | 154.46 | 39.03 | 185.35 | 4.75 | 4.748 |
| 1 | 4 | 203.44 | 47.35 | 244.13 | 5.16 | 5.156 |
| 1 | 3 | 184.94 | 53.88 | 221.93 | 4.12 | 4.119 |
| 1 | 2 | 175.33 | 64.58 | 210.40 | 3.26 | 3.258 |
| 1 | 1 | 152.73 | 87.72 | 183.28 | 2.09 | 2.089 |
| 2 | 6 | 130.59 | 33.53 | 156.71 | 4.67 | 4.674 |
| 2 | 5 | 215.70 | 46.00 | 258.84 | 5.63 | 5.626 |
| 2 | 4 | 263.48 | 55.05 | 316.18 | 5.74 | 5.744 |
| 2 | 3 | 426.34 | 101.89 | 511.61 | 5.02 | 5.021 |
| 2 | 2 | 516.45 | 151.81 | 619.74 | 4.08 | 4.082 |
| 2 | 1 | 722.63 | 210.92 | 867.16 | 4.11 | 4.111 |
| 3 | 6 | 131.79 | 33.53 | 158.15 | 4.72 | 4.717 |
| 3 | 5 | 216.58 | 46.00 | 259.90 | 5.65 | 5.649 |
| 3 | 4 | 265.58 | 55.05 | 318.70 | 5.79 | 5.790 |
| 3 | 3 | 446.64 | 101.89 | 535.97 | 5.26 | 5.260 |
| 3 | 2 | 565.63 | 151.81 | 678.76 | 4.47 | 4.471 |
| 3 | 1 | 746.51 | 210.92 | 895.81 | 4.25 | 4.247 |

File Edificio 2012.xls - foglio applicabil.

Applicabilità dell'analisi lineare

| | | | | | | |
|----------|-------|----------|--------|--------|------|--------|
| | | | | | min | 2.623 |
| | | | | | max | 6.385 |
| | | | | | rapp | 2.434 |
| | | X | | ag | | |
| | | per 0.25 | | 0.287 | | |
| pilastro | piano | Msisma | Mres | M(ag) | | ρ |
| 1 | 6 | 89.92 | 29.03 | 103.23 | 3.56 | 3.556 |
| 1 | 5 | 154.46 | 39.03 | 177.32 | 4.54 | 4.543 |
| 1 | 4 | 203.44 | 47.35 | 233.55 | 4.93 | 4.932 |
| 1 | 3 | 184.94 | 53.88 | 212.31 | 3.94 | 3.940 |
| 1 | 2 | 175.33 | 64.58 | 201.28 | 3.12 | 3.117 |
| 1 | 1 | 152.73 | 87.72 | 175.33 | 2.00 | |
| 2 | 6 | 130.59 | 33.53 | 149.92 | 4.47 | 4.472 |
| 2 | 5 | 215.70 | 46.00 | 247.62 | 5.38 | 5.383 |
| 2 | 4 | 263.48 | 55.05 | 302.48 | 5.49 | 5.495 |
| 2 | 3 | 426.34 | 101.89 | 489.44 | 4.80 | 4.803 |
| 2 | 2 | 516.45 | 151.81 | 592.88 | 3.91 | 3.905 |
| 2 | 1 | 722.63 | 210.92 | 829.58 | 3.93 | 3.933 |
| 3 | 6 | 131.79 | 33.53 | 151.29 | 4.51 | 4.513 |
| 3 | 5 | 216.58 | 46.00 | 248.63 | 5.40 | 5.405 |
| 3 | 4 | 265.58 | 55.05 | 304.89 | 5.54 | 5.539 |
| 3 | 3 | 446.64 | 101.89 | 512.74 | 5.03 | 5.032 |
| 3 | 2 | 565.63 | 151.81 | 649.34 | 4.28 | 4.277 |
| 3 | 1 | 746.51 | 210.92 | 856.99 | 4.06 | 4.063 |

| | | | | | | |
|----------|-------|----------|--------|--------|-------|--------|
| | | | | | min | 2.602 |
| | | | | | max | 5.225 |
| | | | | | rapp | 2.008 |
| | | Y | | ag | | |
| | | per 0.25 | | 0.186 | | |
| pilastro | piano | Msisma | Mres | M(ag) | | ρ |
| 17 | 6 | 156.87 | 27.28 | 116.71 | 4.279 | 4.279 |
| 17 | 5 | 210.53 | 36.01 | 156.63 | 4.349 | 4.349 |
| 17 | 4 | 254.24 | 43.58 | 189.15 | 4.340 | 4.340 |
| 17 | 3 | 271.11 | 49.92 | 201.71 | 4.041 | 4.041 |
| 17 | 2 | 276.62 | 54.97 | 205.81 | 3.744 | 3.744 |
| 17 | 1 | 173.53 | 64.73 | 129.11 | 1.994 | |
| 9 | 6 | 219.94 | 32.12 | 163.64 | 5.095 | 5.095 |
| 9 | 5 | 308.91 | 44.68 | 229.83 | 5.143 | 5.143 |
| 9 | 4 | 379.20 | 53.99 | 282.12 | 5.225 | 5.225 |
| 9 | 3 | 374.96 | 65.84 | 278.97 | 4.237 | 4.237 |
| 9 | 2 | 619.91 | 108.32 | 461.21 | 4.258 | 4.258 |
| 9 | 1 | 707.89 | 159.70 | 526.67 | 3.298 | 3.298 |
| 1 | 6 | 157.75 | 29.03 | 117.37 | 4.043 | 4.043 |
| 1 | 5 | 215.43 | 39.03 | 160.28 | 4.106 | 4.106 |
| 1 | 4 | 261.50 | 47.35 | 194.56 | 4.109 | 4.109 |
| 1 | 3 | 283.83 | 53.88 | 211.17 | 3.919 | 3.919 |
| 1 | 2 | 259.30 | 64.58 | 192.92 | 2.987 | 2.987 |
| 1 | 1 | 384.30 | 104.41 | 285.92 | 2.738 | 2.738 |

File Edificio 2012.xls - foglio applicabil.

Spostamento relativo limite di interpiano - direzione x

| direzione x | | ag = 0.25 |
|-------------|------------------------------|------------------------------|
| traverso | spostamento assoluto (mm) | spostamento relativo (mm) |
| 6 | 119.282 | 14.166 |
| 5 | 107.605 | 23.586 |
| 4 | 86.782 | 29.592 |
| 3 | 58.958 | 25.488 |
| 2 | 33.862 | 21.890 |
| 1 | 11.999 | 11.999 |

| spostamento relativo limite per rotazione corda | | accelerazione sopportabile | |
|---|--|----------------------------|--|
| per Nq | | per Nq | |
| 51.23 | | 0.904 | |
| 45.37 | | 0.481 | |
| 40.17 | | 0.339 | |
| 36.27 | | 0.356 | |
| 33.48 | | 0.382 | |
| 31.34 | | 0.653 | |

Spostamento relativo limite di interpiano - direzione x

| direzione x | | ag = 0.25 | ag 0.1 | spostamento relativo limite per rotazione corda | | accelerazione sopportabile | |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|-----------|----------------------------|-----------|
| traverso | spostamento assoluto (mm) | spostamento relativo (mm) | spostamento relativo (mm) | per Nq | ag 0.1 | per Nq | ag 0.1 |
| 6 | 119.282 | 14.166 | 5.67 | 51.23 | 50.89 | 0.904 | 0.898 |
| 5 | 107.605 | 23.586 | 9.43 | 45.37 | 44.31 | 0.481 | 0.470 |
| 4 | 86.782 | 29.592 | 11.84 | 40.17 | 38.30 | 0.339 | 0.324 |
| 3 | 58.958 | 25.488 | 10.20 | 36.27 | 32.85 | 0.356 | 0.322 |
| 2 | 33.862 | 21.890 | 8.76 | 33.48 | 30.03 | 0.382 | 0.343 |
| 1 | 11.999 | 11.999 | 4.80 | 31.34 | 27.57 | 0.653 | 0.574 |

Spostamento relativo limite di interpiano - direzione x

| direzione x | | ag | | | spostamento relativo limite per rotazione corda | | | | | accelerazione sopportabile | | | | | |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|---|--------|--------|--------|-----------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| traverso | spostamento assoluto (mm) | spostamento relativo (mm) | spostamento relativo (mm) | per Nq | ag 0.1 | ag 0.2 | ag 0.3 | ag 0.4 | ag 0.2556 | per Nq | ag 0.1 | ag 0.2 | ag 0.3 | ag 0.4 | ag 0.2556 |
| | | | 0.2556 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 119.282 | 14.166 | 14.48 | 51.23 | 50.89 | 50.54 | 50.20 | 49.86 | 50.35 | 0.904 | 0.898 | 0.892 | 0.886 | 0.880 | 0.889 |
| 5 | 107.605 | 23.586 | 24.11 | 45.37 | 44.31 | 43.04 | 41.15 | 39.35 | 41.98 | 0.481 | 0.470 | 0.456 | 0.436 | 0.417 | 0.445 |
| 4 | 86.782 | 29.592 | 30.25 | 40.17 | 38.30 | 34.94 | 31.88 | 29.09 | 33.21 | 0.339 | 0.324 | 0.295 | 0.269 | 0.246 | 0.281 |
| 3 | 58.958 | 25.488 | 26.06 | 36.27 | 32.85 | 28.31 | 24.40 | 21.06 | 26.06 | 0.356 | 0.322 | 0.278 | 0.239 | 0.206 | 0.256 |
| 2 | 33.862 | 21.890 | 22.38 | 33.48 | 30.03 | 26.02 | 21.38 | 17.45 | 23.40 | 0.382 | 0.343 | 0.297 | 0.244 | 0.199 | 0.267 |
| 1 | 11.999 | 11.999 | 12.27 | 31.34 | 27.57 | 23.49 | 20.01 | 16.94 | 21.49 | 0.653 | 0.574 | 0.489 | 0.417 | 0.353 | 0.448 |

La rotazione limite si raggiunge per
 $a_g = 0.256 g$

Spostamento relativo limite di interpiano - direzione y

| | | ag | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---|-------|-------|-------|-------|----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| direzione y | | ag = 1 | 0.1629 | spostamento relativo limite per rotazione corda | | | | | accelerazione sopportabile | | | | | | |
| traverso | spostamento | spostamento | spostamento | | | | | | | | | | | | |
| | assoluto (mm) | relativo (mm) | relativo (mm) | per Nq | ag | ag | ag | ag | ag | per Nq | ag | ag | ag | ag | ag |
| | | | | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.1629 | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.1629 |
| 6 | 186.971 | 24.067 | 15.68 | 51.23 | 50.41 | 49.60 | 48.80 | 48.02 | 49.90 | 0.532 | 0.524 | 0.515 | 0.507 | 0.499 | 0.518 |
| 5 | 168.612 | 34.841 | 22.70 | 45.37 | 42.99 | 40.74 | 38.61 | 36.59 | 41.56 | 0.326 | 0.308 | 0.292 | 0.277 | 0.263 | 0.298 |
| 4 | 139.445 | 42.230 | 27.52 | 40.17 | 36.31 | 32.82 | 29.67 | 26.81 | 34.07 | 0.238 | 0.215 | 0.194 | 0.176 | 0.159 | 0.202 |
| 3 | 100.777 | 43.865 | 28.58 | 36.27 | 32.16 | 28.51 | 24.34 | 20.36 | 29.82 | 0.207 | 0.183 | 0.163 | 0.139 | 0.116 | 0.170 |
| 2 | 58.056 | 38.803 | 25.28 | 33.48 | 29.22 | 23.04 | 17.92 | 13.94 | 25.28 | 0.216 | 0.188 | 0.148 | 0.115 | 0.090 | 0.163 |
| 1 | 19.354 | 19.354 | 12.61 | 31.34 | 27.16 | 22.25 | 17.56 | 13.86 | 24.29 | 0.405 | 0.351 | 0.287 | 0.227 | 0.179 | 0.314 |

La rotazione limite si raggiunge per
 $a_g = 0.163 g$

Conclusioni

per analisi lineare (con ρ)

- L'analisi mostra che il moltiplicatore di collasso potrebbe arrivare a

$$a_g = 0.163 g$$

raggiunto per sisma in direzione y

L'analisi è applicabile in tale direzione fino a un valore

$$a_g = 0.186 g$$

quindi il valore 0.163 g può essere assunto come moltiplicatore di collasso