

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.

5 - Verifica per collasso fragile - rottura a taglio

Spoletto
24-26 maggio 2012
Aurelio Ghersi

*Analisi strutturale
ai fini della verifica per rotture fragili*

Possibili metodi di analisi e modalità operative

- Per una prima valutazione di massima
 - Determinare le sollecitazioni (di taglio) in maniera approssimata (linee guida della Basilicata, suggerimenti di A. Gheresi)
 - Determinare il moltiplicatore del sisma con verifica a taglio dei pilastri
- Per una valutazione più accurata
 - Determinare le sollecitazioni con analisi modale
 - Determinare il moltiplicatore del sisma con verifica a taglio dei pilastri, verifica dei nodi, verifica a scorrimento testa pilastro-trave
- Non pensare ad analisi non lineari

Prima valutazione di massima

Linee guida della Basilicata, appendice D
oppure indicazioni di A. Ghersi

Modalità operative

1. Determinare le rigidezze dei pilastri
 - Usare formule semplificate (linee guida della Basilicata, suggerimenti di A. Ghersi)
2. Determinare le forze sulla struttura con analisi statica
 - Fare il calcolo a meno del periodo T , non noto
3. Determinare il periodo proprio T della struttura (formula di Rayleigh) e le forze conseguenti
4. Ripartire il taglio tra i pilastri e verificarli, determinando il moltiplicatore del sisma che possono sopportare

1. Rigidezze dei pilastri

Linee guida della Basilicata

- Valutare le rigidezze dei pilastri

$$k_i = c \frac{EI}{h^3}$$

$c = 9$ in presenza di travi emergenti

$c = 6$ in presenza di travi a spessore

$c = 3$ in assenza di travi

1. Rigidezze dei pilastri

Indicazioni di A. Ghersi

- Valutare le rigidezze solo dei pilastri "che contano"
- Ridurre la rigidezza per tener conto delle travi

Dal secondo piano in su

$$k_r = \frac{\frac{12 E \sum I_p}{h_r^3}}{1 + \frac{I_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_t}}$$

$$k_r = \frac{\frac{12 E \sum I_p}{h_r^3}}{1 + 0.5 \frac{I_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_t}}$$

Al primo piano

1. Rigidezze dei pilastri

Indicazioni di A. Ghersi

- In alternativa, valutare le rigidezze di ciascun pilastro, riducendola per tener conto delle travi

$$k_i = \frac{12 E I_{p,i}}{h_r^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{E I_{p,i} / h_r}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_{p,i} / h_r}{E I_{t,inf} / L_t} \right)}$$

2. Forze da analisi statica

- Calcolare le forze F_j , con formule per analisi statica (a meno di T)

$$F_k = 0.85 W_k z_k \frac{\sum_i W_i}{\sum_i W_i z_i} S_e(T_1) \quad \text{con } S_e(T_1)=1$$

- Calcolare tagli di piano e spostamenti relativi

$$V_p = \sum_{j=p}^n F_j \quad u_{\text{rel},p} = \frac{V_p}{K_p} \quad K_p = \sum k_i$$

- Calcolare spostamenti assoluti

$$u_p = \sum_{j=1}^p u_{\text{rel},j}$$

3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Stimare il periodo con la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n m_j u_j^2}{\sum_{j=1}^n F_j u_j}}$$

E quindi a_g

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

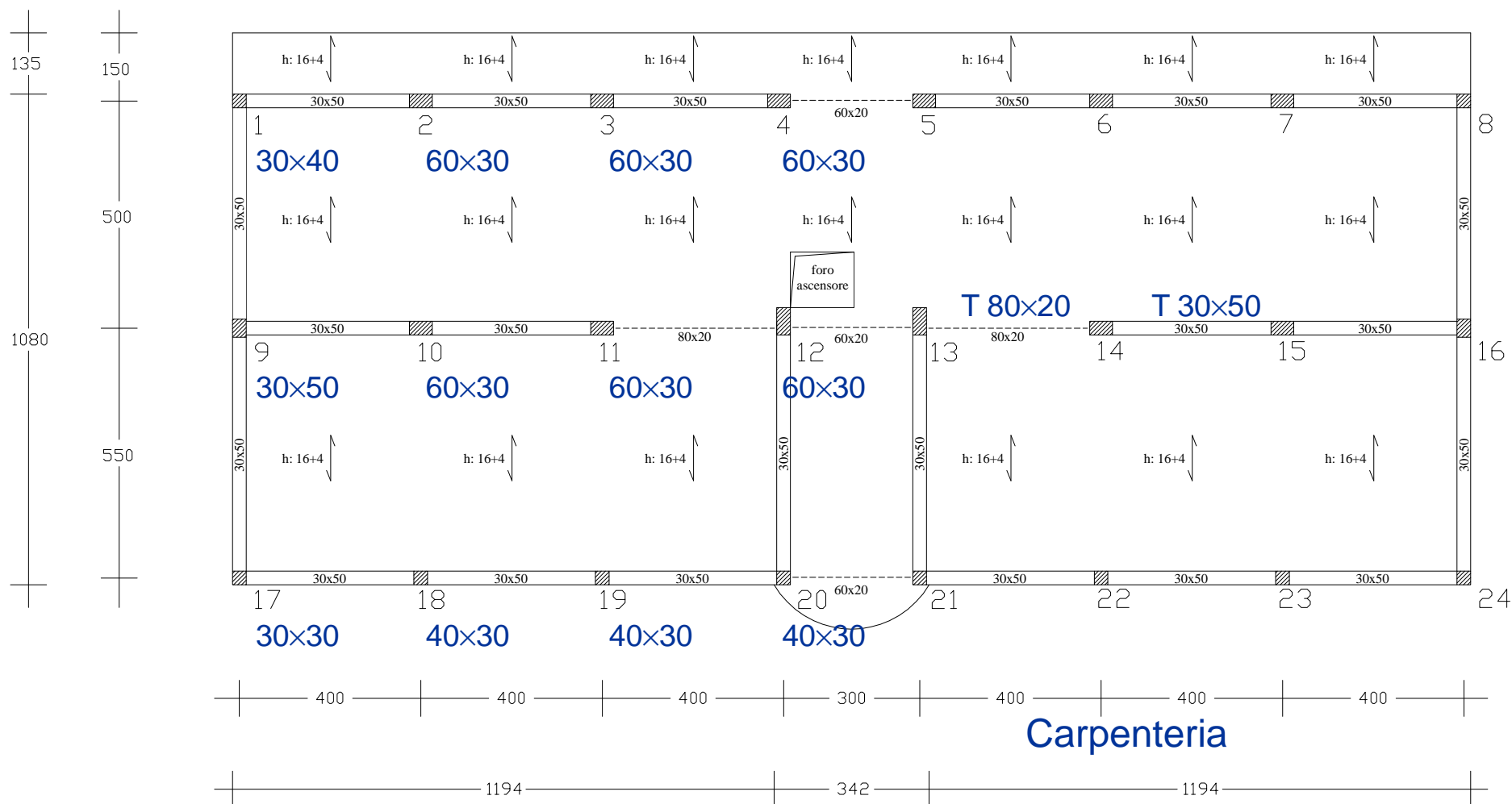
- Ripartire il taglio di piano in base alla rigidezza

$$V_i = V_p \frac{k_i}{K_p}$$

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta

Esempio

Rilievo dell'edificio



1. Rigidezze dei pilastri

- Seguendo le linee guida della Basilicata

$$k_i = c \frac{EI}{h^3}$$

$c = 9$ in presenza di travi emergenti
 $c = 6$ in presenza di travi a spessore
 $c = 3$ in assenza di travi

si ha ad esempio, per la direzione y

piano	2							h	3.20	m
		pil	b	h	EI / h ³	c	k	n	k	
			cm	cm	kN/mm					
pilastri	a	1, 17, 20	30	30	0.587	9	5.28	3	15.85	
	b	18, 19	30	30	0.587	3	1.76	2	3.52	
	c	9	30	40	1.392	9	12.52	1	12.52	
	d	12	30	50	2.718	9	24.46	1	24.46	
	e	2,3,4,10,11	50	30	0.978	3	2.94	5	14.68	
									71.04	

vedi file Excel "Analisi semplificata"

2. Forze da analisi statica

massa (peso) degli impalcati

- Dai carichi unitari, si valutano le masse di impalcato, secondo le norme attualmente vigenti

			m ²	solaio	m ²	sbalzo	m	trave	m	tompagno	somma	pilastro	TOT	a m ²
Impalcati	ultimo	sism	283.5	5.6	40.5	5.2	113.0	3.5	44.5	7.0	2505	81.0	2586.2	7.98
												massa	263.6	
	altri	sism	283.5	5.6	40.5	5.2	113.0	3.5	89.0	7.0	2817	200.7	3017.4	9.31
												massa	307.6	

Impalcato	Peso	Peso a m ²
6	2586.2 kN	7.98 kN/m ²
altri	3017.4 kN	9.31 kN/m ²

Nota: i valori sono riferiti all'intero edificio. Nel seguito data la simmetria si considererà solo mezzo edificio

2. Forze da analisi statica forze

- Si sono calcolare le forze F_j , con formule per analisi statica (a meno di T)

$$F_k = 0.85 W_k z_k \frac{\sum_i W_i}{\sum_i W_i z_i} S_e(T_1) \quad \text{con } S_e(T_1)=1$$

piano	h	z	peso W	W z	F	V
	m	m	kN		kN	kN
6	3.20	19.20	1293.1	24828	1917.7	1917.7
5	3.20	16.00	1508.7	24139	1864.5	3782.1
4	3.20	12.80	1508.7	19311	1491.6	5273.7
3	3.20	9.60	1508.7	14484	1118.7	6392.4
2	3.20	6.40	1508.7	9656	745.8	7138.2
1	3.20	3.20	1508.7	4828	372.9	7511.1
			8836.6	97245		

2. Forze da analisi statica spostamenti

- Dalle forze e rigidezze si sono calcolati gli spostamenti relativi e assoluti

$$u_{rel,p} = \frac{V_p}{K_p}$$

$$u_p = \sum_{j=1}^p u_{rel,j}$$

piano	V	k	dr	u
	kN	kN/mm	mm	mm
6	1917.7	38.75	49.49	580.30
5	3782.1	38.75	97.61	530.81
4	5273.7	38.75	136.11	433.20
3	6392.4	48.92	130.66	297.10
2	7138.2	71.04	100.49	166.43
1	7511.1	113.89	65.95	65.95

3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Stimare il periodo con la formula di Rayleigh

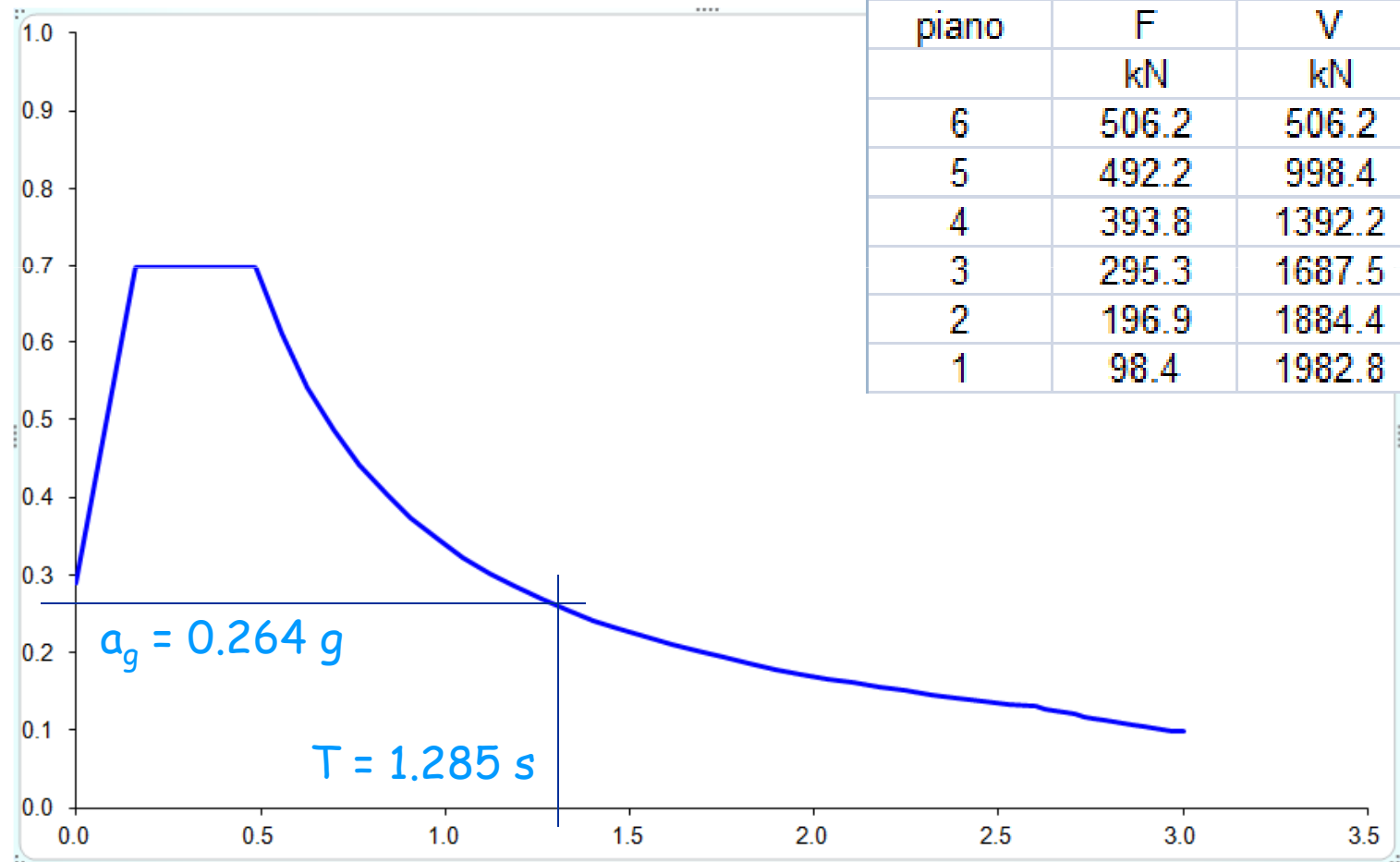
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n m_j u_j^2}{\sum_{j=1}^n F_j u_j}}$$

Si ottiene $T = 1.285 \text{ s}$

piano	m	F	u	m u ²	F u
	t	kN	mm		
6	131.81	1917.7	580.30	44389	1112817
5	153.79	1864.5	530.81	43333	989690
4	153.79	1491.6	433.20	28861	646158
3	153.79	1118.7	297.10	13575	332359
2	153.79	745.8	166.43	4260	124126
1	153.79	372.9	65.95	669	24592
				135086	3229742

3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Si ha:



4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Ripartire il taglio di piano in base alla rigidezza

$$V_i = V_p \frac{k_i}{K_p}$$

- Si ottiene ad esempio $V_{12} = 1884.4 \times \frac{24.46}{71.04} = 648.9 \text{ kN}$

[illegible]

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta

Quali resistenze usare?

Valori delle resistenze da utilizzare

- Come base, si utilizzano i valori medi (non quelli caratteristici)
 - La scelta dei valori medi ha senso in caso di comportamento duttile:
se un pilastro è meno resistente e, plasticizzandosi, porta un taglio minore ce ne sarà un altro più resistente che porta un taglio maggiore
- I valori devono essere corretti mediante un "fattore di confidenza" FC che tiene conto delle incertezze

Nota: nelle NTC08 (punto 8.7.2) si dice solo "si impiegano le proprietà dei materiali esistenti"; non viene mai detto di usare i valori medi

COMMENTARE

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1.00

I fattori di confidenza sono ulteriori coefficienti di sicurezza

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

- Se si è sicuri di conoscere bene il materiale (o, in genere, la struttura) si usano direttamente i valori medi: $FC = 1$
- Se si hanno incertezze si suppone che il valore medio reale possa variare rispetto a quello ottenuto dalle prove
- Si assume che il valore medio della resistenza nella struttura possa essere f_{cm} / FC
- Nei casi in cui una maggiore resistenza può essere penalizzante si assume che il valore medio della resistenza nella struttura possa essere $f_{cm} \times FC$

Valori delle resistenze da utilizzare per verifica di elementi fragili

- Come base di riferimento si utilizzano i valori medi (non quelli caratteristici)
- Se si ha una rottura fragile la compensazione tra resistenze minori e maggiori non si può attuare
- Occorre far riferimento ad un valore al di sotto del quale non si scenda (quasi mai)
- Per valutare la resistenza dell'elemento fragile i valori di riferimento (valori medi divisi per FC) vengono ulteriormente divisi per il fattore di sicurezza parziale γ_M

Valori delle resistenze da utilizzare

Esempio:

- Per il calcestruzzo si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

Come riferimento base si assume che il materiale reale abbia una resistenza media

- Per il calcestruzzo: $f_{cm} / FC = 15.83 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio: $f_{ym} / FC = 350 \text{ MPa}$

Nota: ovviamente ove occorre si usano tutti i coefficienti riduttivi di norma (esempio: $f_{cd} = 0.85 f_c = 13.46 \text{ MPa}$)

Valori delle resistenze da utilizzare

Esempio:

- Per il calcestruzzo si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

Quando la maggiore resistenza è penalizzante si assume che il materiale reale abbia una resistenza media

- Per il calcestruzzo: $f_{cm} \times FC = 22.8 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio: $f_{ym} \times FC = 504 \text{ MPa}$

Valori delle resistenze da utilizzare

Esempio:

- Per il calcestruzzo si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio si è trovato (in base alle prove sperimentali) $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

Nelle verifiche a comportamento fragile si assume che il materiale reale abbia una resistenza

- Per il calcestruzzo: $f_{cm} / FC / \gamma_c = 10.56 \text{ MPa}$ ($\gamma_c=1.5$)
- Per l'acciaio: $f_{ym} / FC / \gamma_s = 304.3 \text{ MPa}$ ($\gamma_s=1.15$)

Nota: ovviamente ove occorre si usano tutti i coefficienti riduttivi di norma (esempio: $f_{cd} = 0.85 f_c = 8.97 \text{ MPa}$)

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta
- Si utilizzano le usuali formule di verifica, con i valori di resistenza innanzi definiti

$$V_{Rd,s} = 0.9 d \frac{A_{st}}{s} f_y \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = 0.9 b d \alpha_c f'_c \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta
- Esempio

sezione 30x30, staffe Ø6/20

$$V_{Rd,s} = 0.9 \times 26 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 50.3 \text{ kN}$$

sezione 30x50, staffe Ø6/20

$$V_{Rd,s} = 0.9 \times 46 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 89.1 \text{ kN}$$

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta
- Esempio

piano	2			
pil	VEd	VRds	ρ	$1/\rho$
1, 17, 20	140.2	50.3	2.78	35.9%
18, 19	46.7	50.3	0.93	107.7%
9	332.2	69.7	4.77	21.0%
12	648.9	89.1	7.29	13.7%
2,3,4,10,11	77.9	50.3	1.55	64.6%

$$\rho = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$$

Il rapporto tra effetto del sisma e resistenza indica di quanto si deve ridurre il sisma (o l'aliquota di sisma che può essere portata)

4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Il valore più alto di ρ (o il più piccolo di $1/\rho$) indica quale accelerazione sismica può essere portata dalla struttura prima che avvenga la rottura a taglio

Nell'esempio;

$$\rho_{\max} = 7.29$$

$$(1/\rho)_{\min} = 13.7\%$$

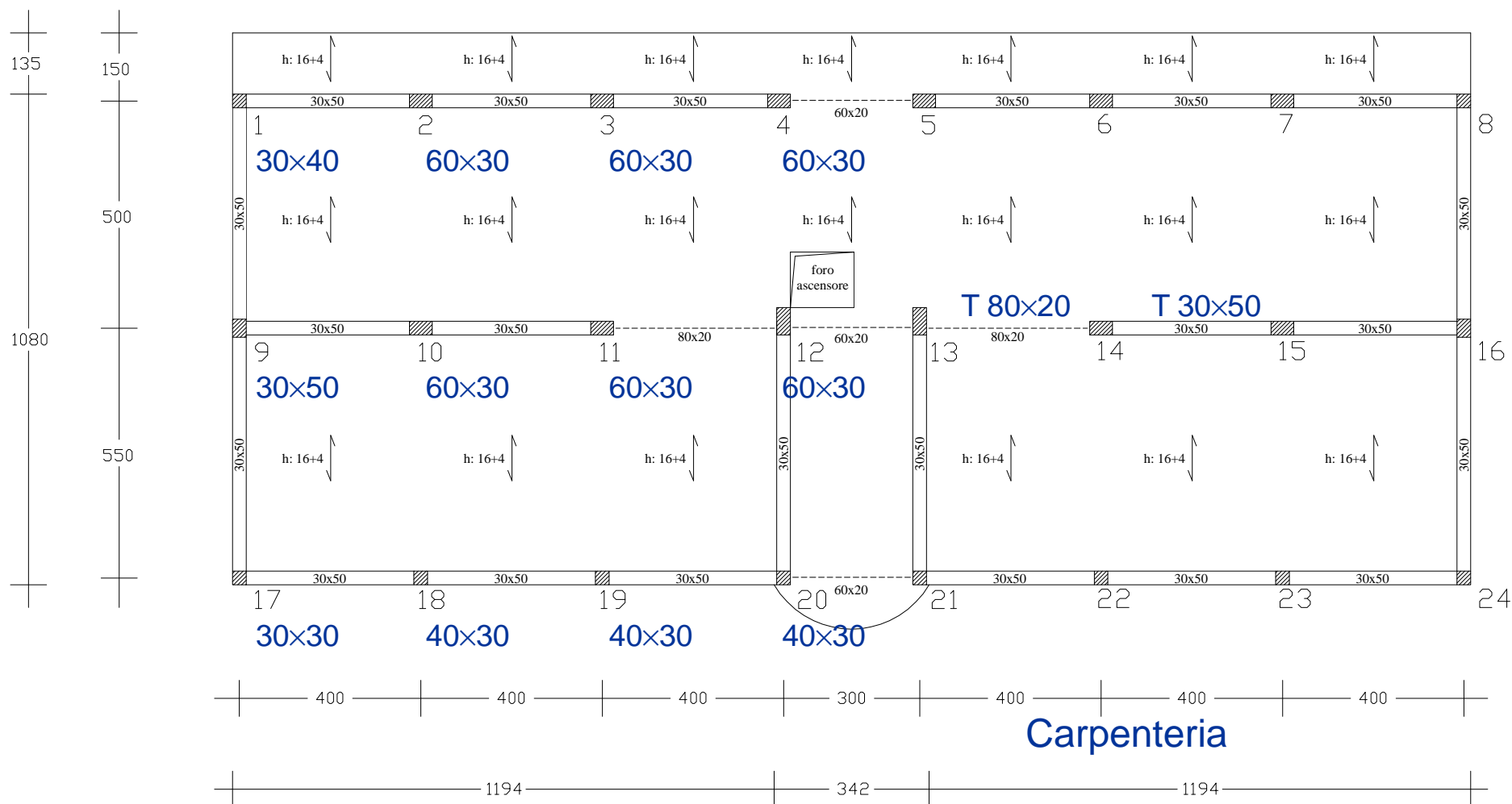
Nota: questo valore può essere moltiplicato per un fattore di struttura piccolo (quanto? forse 1.5?)

piano	4			
pil	VEd	VRds	ρ	$1/\rho$
1,9,12,17,20	189.8	50.3	3.77	26.5%
altri	63.3	50.3	1.26	79.5%
piano	3			
pil	VEd	VRds	ρ	$1/\rho$
1,9,17,20	182.2	50.3	3.62	27.6%
18, 19	60.7	50.3	1.21	82.9%
12	432.0	69.7	6.20	16.1%
2,3,4,10,11	81.0	50.3	1.61	62.1%
piano	2			
pil	VEd	VRds	ρ	$1/\rho$
1, 17, 20	140.2	50.3	2.78	35.9%
18, 19	46.7	50.3	0.93	107.7%
9	332.2	69.7	4.77	21.0%
12	648.9	89.1	7.29	13.7%
2,3,4,10,11	77.9	50.3	1.55	64.6%
piano	1			
pil	VEd	VRds	ρ	$1/\rho$
17	92.0	50.3	1.83	54.7%
20	122.6	50.3	2.44	41.0%
18, 19	40.9	50.3	0.81	123.1%
1	218.0	69.7	3.13	32.0%
9	425.9	89.1	4.78	20.9%
12	735.9	108.4	6.79	14.7%
2,3,4,10,11	61.3	50.3	1.22	82.1%

Valutazione più accurata

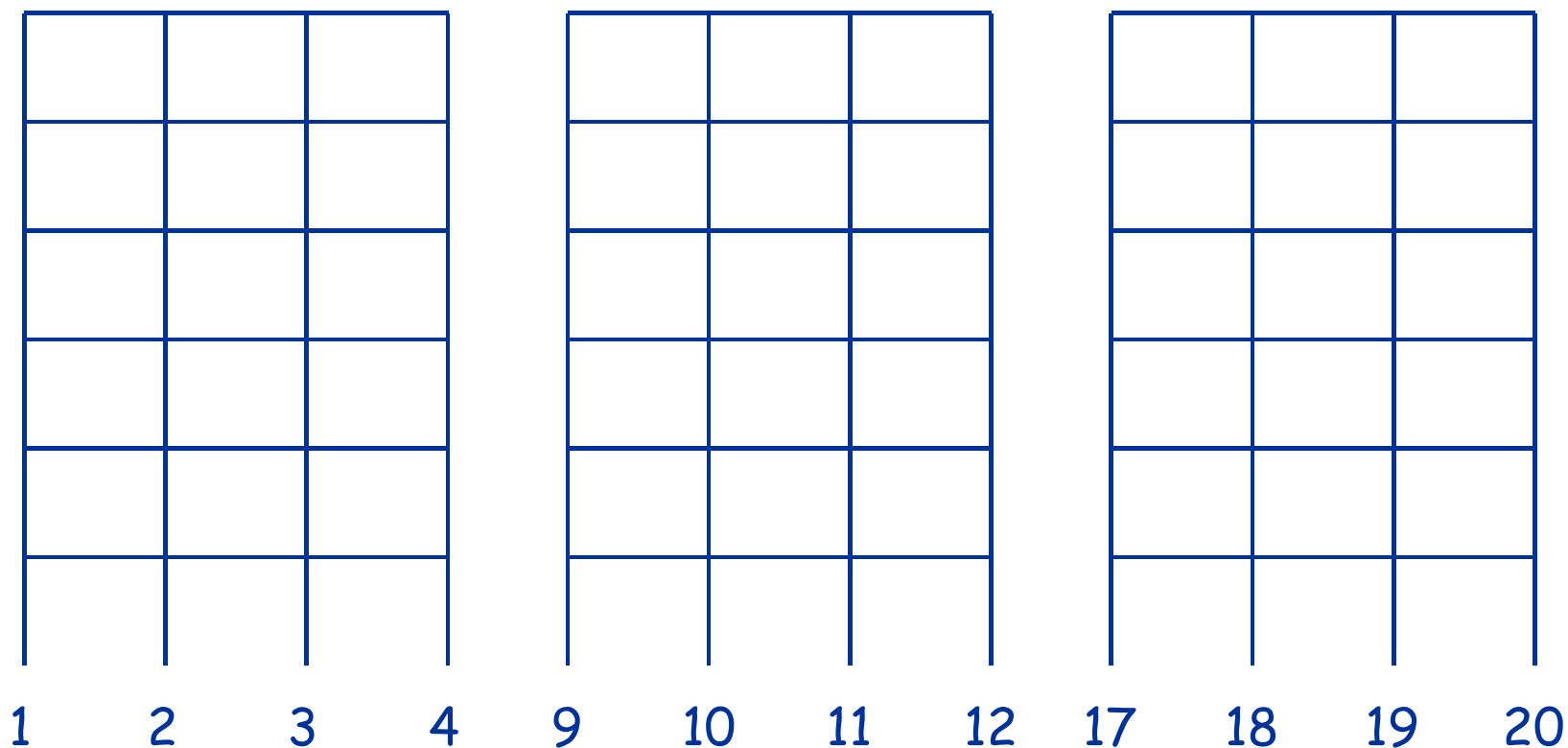
Con analisi modale con spettro di risposta

Rilievo dell'edificio



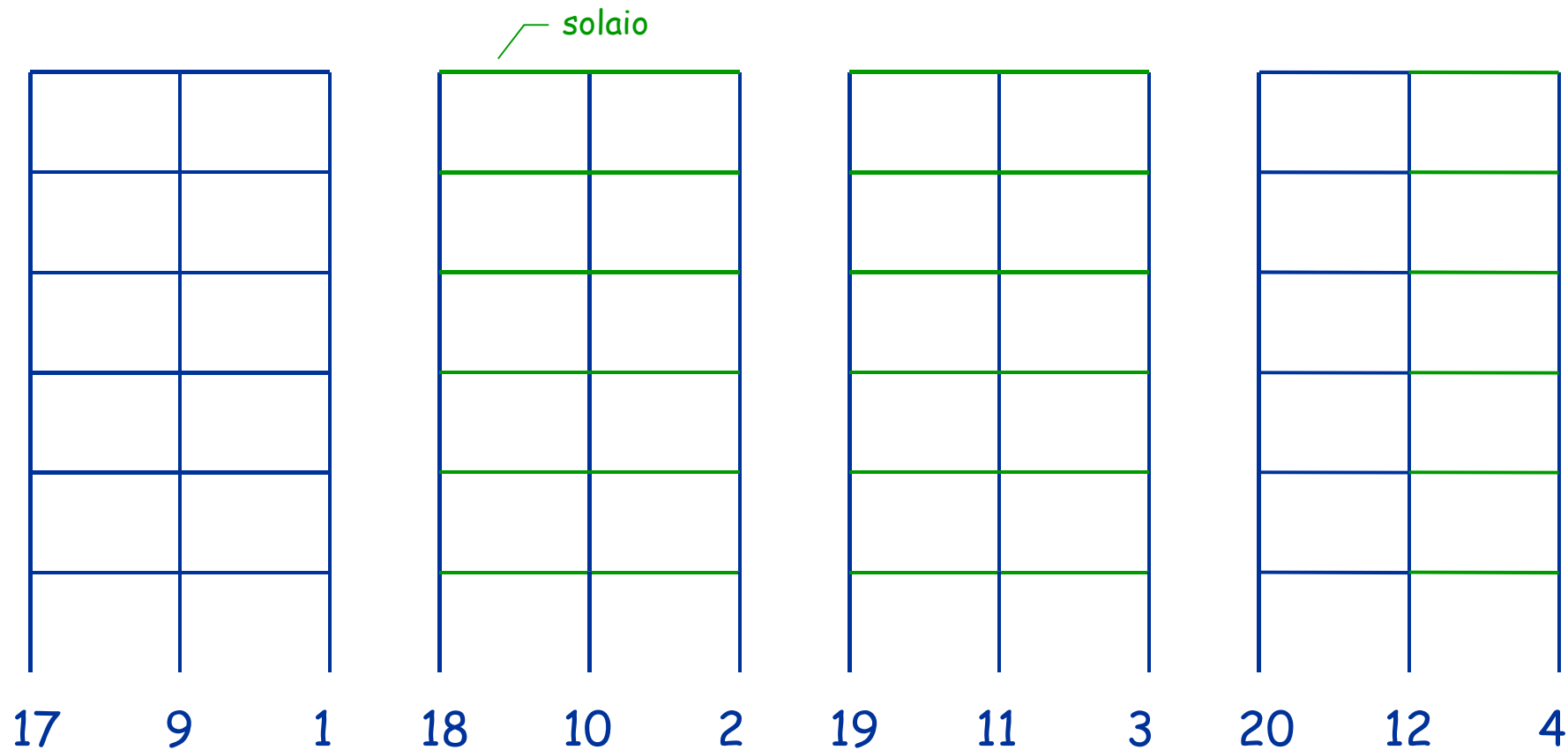
Schema geometrico

treno di telai - direzione x



Periodo: $T = 1.06 \text{ s}$

Schema geometrico treno di telai - direzione y



Periodo: $T = 1.68 \text{ s}$

Analisi modale (con $q = 1$)

Si procede come per nuovi edifici:

- Determinazione delle masse di piano, con $g_k + \psi_2 q_k$ (già fatto)
- Definizione dello spettro di risposta elastico per SLV
nell'esempio: periodo di ritorno 475 anni, suolo B (già fatto)
- Effettuazione dell'analisi modale con spettro elastico ($q = 1$)

Pilastri

Sforzo normale in condizioni sismiche

	1										con sisma	
	N pia	N	Ac,nec	b	h	Ac	As,nec	n	fi	As	N pia	N
ultimo	81.5	81.5	126	30	30	900	2.7	4	12	4.5	66.1	66.1
5	113.0	194.5	300	30	30	900	2.7	4	12	4.5	97.6	163.7
4	113.0	307.5	474	30	30	900	2.8	4	12	4.5	97.6	261.3
3	113.0	420.5	648	30	30	900	3.9	4	12	4.5	97.6	358.9
2	113.0	533.5	823	30	30	900	4.9	4	14	6.2	97.6	456.5
1	113.0	646.5	997	30	40	1200	6.0	6	14	9.2	99.9	556.4
	9											
	N pia	N									N pia	N
ultimo	110.0	110.0									94.6	94.6
	150.3	260.3									133.1	227.7
	150.3	410.6									133.1	360.8
	150.3	560.9									133.1	493.9
	150.3	711.2									135.4	629.3
	150.3	861.5									137.6	766.9
	17											
	N pia	N									N pia	N
ultimo	57.5	57.5	89	30	30	900	2.7	4	12	4.5	50.5	50.5
	89.0	146.5	226	30	30	900	2.7	4	12	4.5	82.0	132.5
	89.0	235.5	363	30	30	900	2.7	4	12	4.5	82.0	214.5
	89.0	324.5	500	30	30	900	3.0	4	12	4.5	82.0	296.5
	89.0	413.5	638	30	30	900	3.8	4	12	4.5	82.0	378.5
	89.0	502.5	775	30	30	900	4.6	4	14	6.2	82.0	460.5

Dallo stesso foglio di calcolo
usato per il progetto simulato
si ottiene anche lo sforzo
normale da carichi verticali in
presenza di sisma,
conformemente alle NTC 08

vedi file Excel "Edificio 2012"

Travi

Momenti flettenti da q in condizioni sismiche

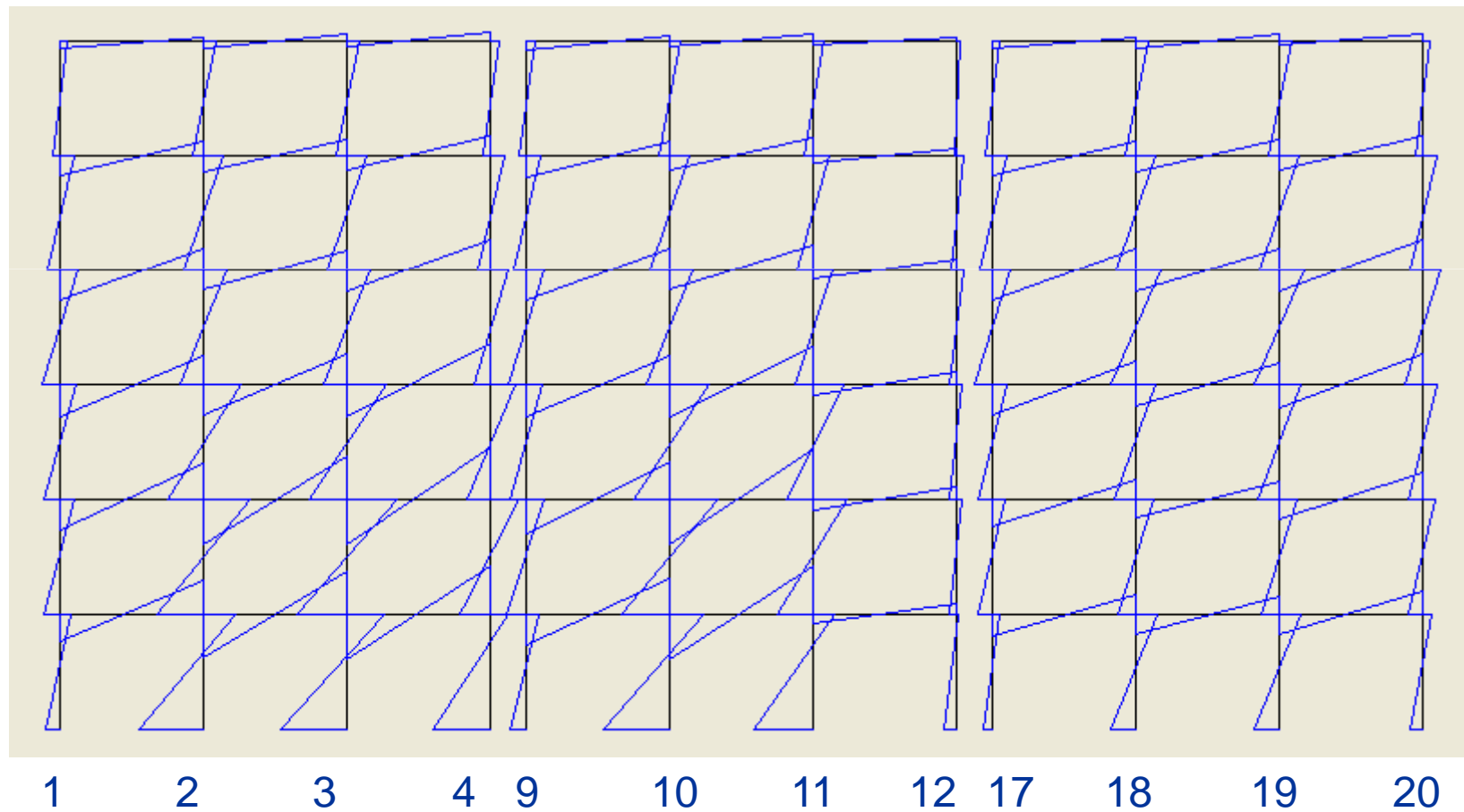
			luce		4.00		4.00		4.00	
				1		2		3		4
Trave				M-	M+	M-	M+	M-	M+	M-
1...4	ultimo	sism	25.3	16.9	28.9	40.5	25.3	33.7	25.3	25.3
		max	33.0	22.0	37.7	52.8	33.0	44.0	33.0	33.0
		As		2.5	4.2	5.9	3.7	4.9	3.7	3.7
			n,sup	2	0	4	0	4	0	3
			fi	14	0	14	0	14	0	14
			n,inf	2	3	2	3	2	3	2
			fi	14	14	14	14	14	14	14

	altri	sism	32.3	21.5	36.9	51.7	32.3	43.1	32.3	32.3
		max	40.0	26.7	45.7	64.0	40.0	53.3	40.0	40.0
		As		3.0	5.1	7.2	4.5	6.0	4.5	4.5
			n,sup	2	0	5	0	4	0	3
						14	0	14	0	14
						2	3	2	3	2
						14	14	14	14	14

Dal foglio di calcolo usato per il progetto simulato si ottiene anche il momento flettente da carichi verticali in presenza di sisma

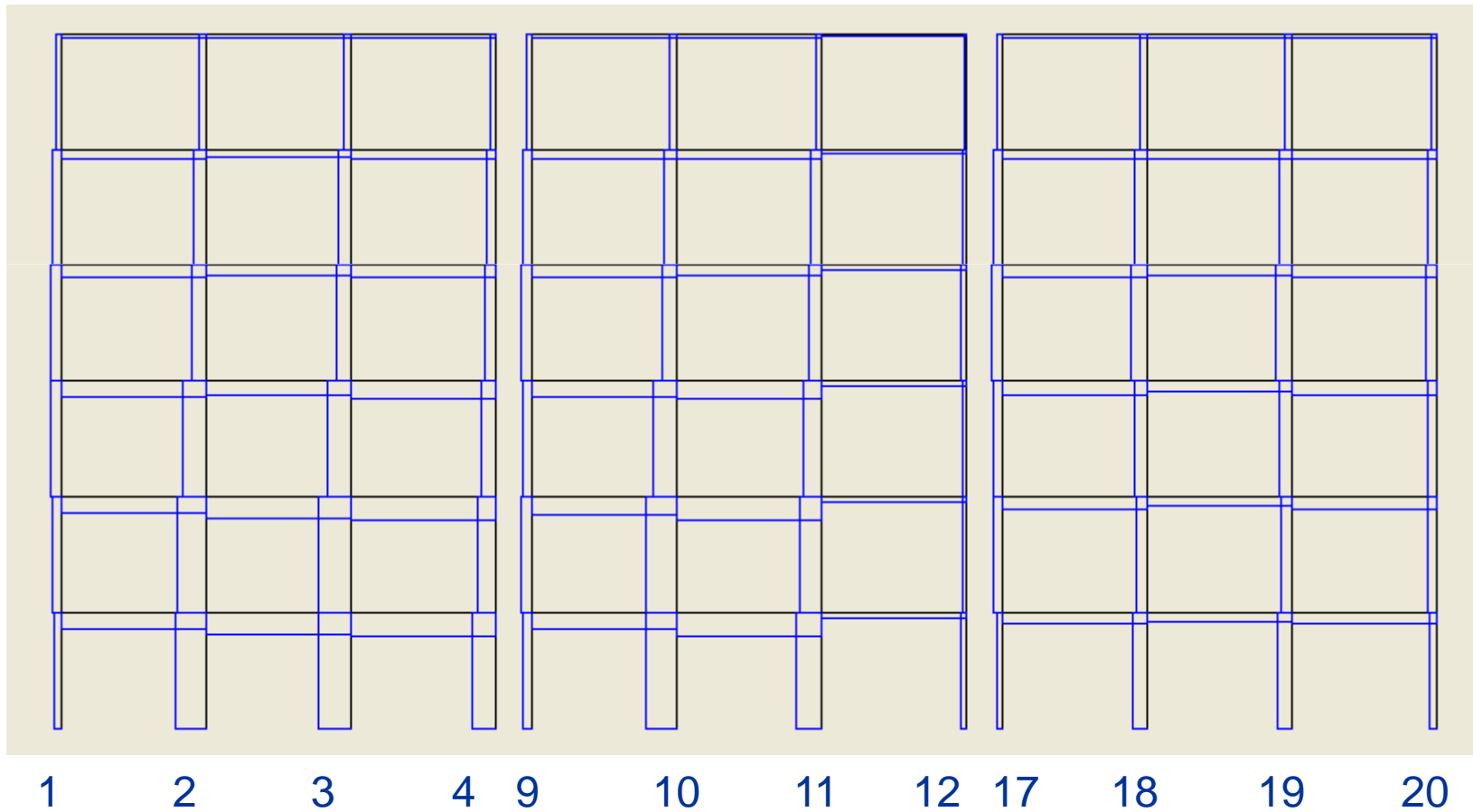
Sisma in direzione x

diagramma del momento flettente



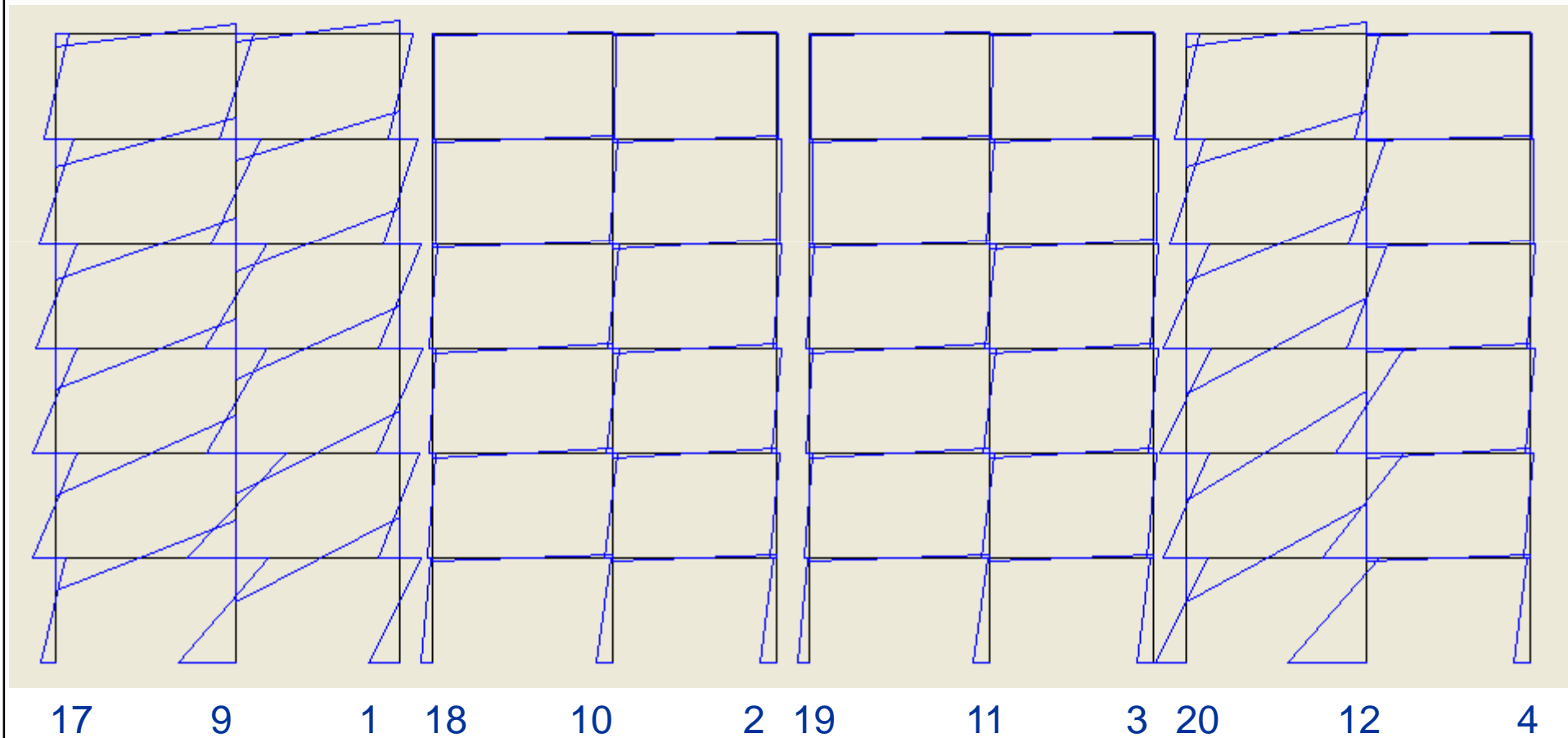
Sisma in direzione x

diagramma del taglio



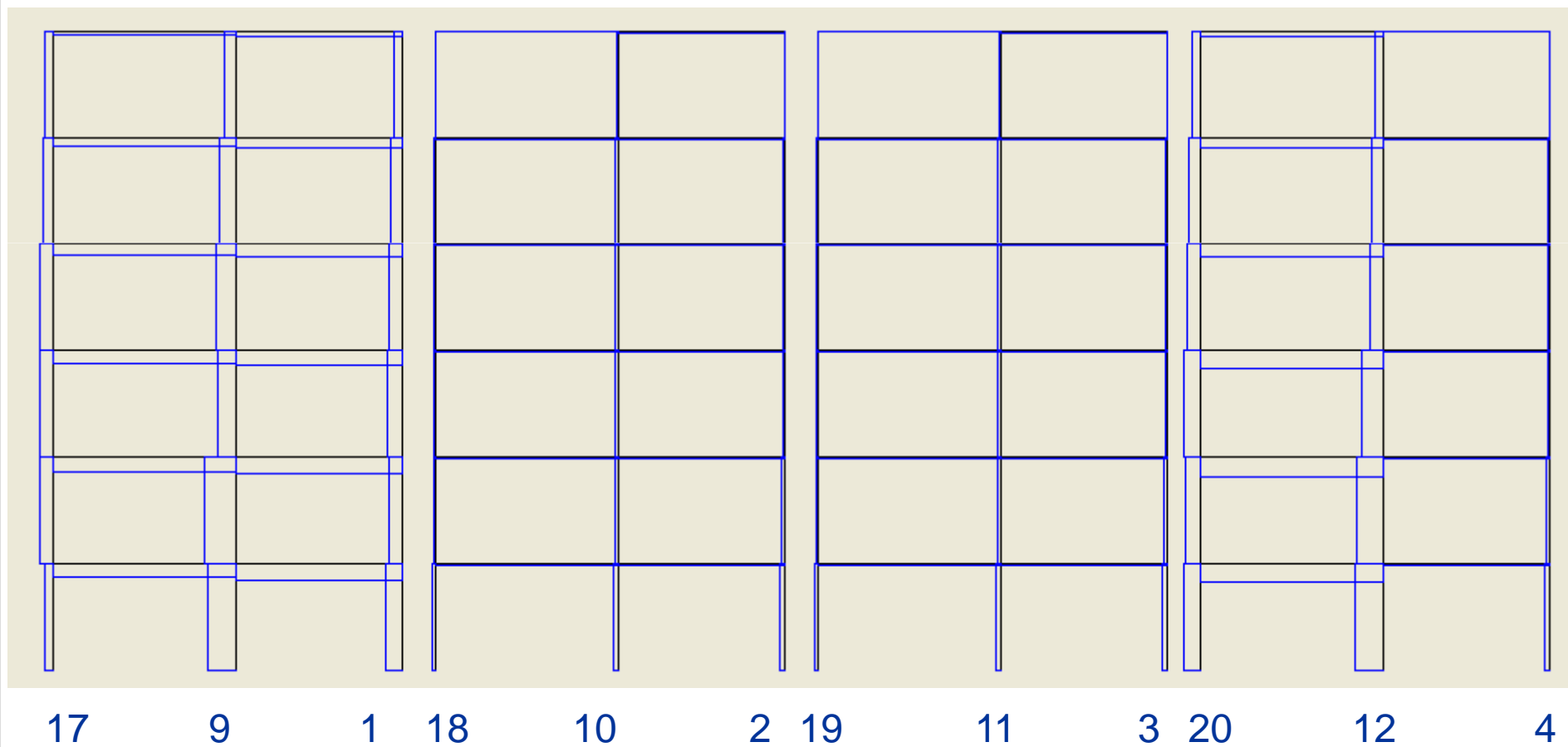
Sisma in direzione y

diagramma del momento flettente



Sisma in direzione y

diagramma del taglio



Risultati, con $a_g = 0.25 g$ pilastri, direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq
		analisi modale	q=1, $a_g/g=$	0.250		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4
2	6	130.59	-122.78	79.17	13.39	108.0
2	5	215.70	-211.50	133.49	18.66	244.0
2	4	263.48	-252.56	161.24	-30.36	380.0
2	3	426.34	-393.12	255.99	-32.93	518.2
2	2	514.65	-516.45	322.09	42.92	658.7
2	1	363.79	-722.63	339.43	108.46	801.4
3	6	131.79	-123.98	79.92	-12.69	108.0
3	5	216.58	-211.99	133.92	-18.88	244.0
3	4	265.58	-256.94	163.27	33.88	380.0
3	3	446.64	-417.48	269.97	58.91	518.2
3	2	565.63	-562.64	352.49	77.56	658.7
3	1	411.50	-746.51	361.81	92.62	801.4
4	6	91.61	-77.85	52.92	-35.52	108.0
4	5	156.77	-146.76	94.80	-132.80	244.0
4	4	193.03	-183.43	117.55	-271.21	380.0
4	3	280.40	-263.24	169.56	-459.92	518.2
4	2	318.81	-346.82	207.65	-706.08	658.7
4	1	200.06	-640.42	262.41	-948.23	801.4

File "Edificio 2012" - foglio PilX dati

Risultati, con $a_g = 0.25 g$ pilastri, direzione y

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq
		analisi modale	q=1, $a_g/g=$	0.250		
17	6	156.87	-131.81	90.14	48.93	50.5
17	5	210.53	-196.52	127.02	155.02	132.5
17	4	254.24	-245.34	155.92	288.42	214.5
17	3	262.84	-271.11	166.72	430.76	296.5
17	2	250.54	-276.62	164.68	586.68	378.5
17	1	129.02	-173.53	94.53	724.02	460.5
9	6	219.94	-207.84	133.68	4.45	94.6
9	5	308.91	-303.52	191.37	17.02	227.7
9	4	379.20	-378.46	236.75	34.00	360.8
9	3	374.96	-352.82	227.38	53.46	493.9
9	2	619.91	-596.24	379.98	75.07	629.3
9	1	406.92	-707.89	348.22	121.36	766.9
1	6	157.75	-134.60	91.30	-53.09	66.1
1	5	215.43	-202.35	130.40	-171.81	163.7
1	4	261.50	-253.18	160.66	-322.33	261.3
1	3	273.49	-283.83	174.05	-484.21	358.9
1	2	249.48	-259.30	158.93	-661.75	456.5
1	1	251.69	-384.30	198.72	-844.48	556.4
18	6	23.65	22.26	-8.56	8.41	76.8
18	5	49.93	35.43	20.74	21.03	181.6
18	4	52.88	-42.15	24.61	37.12	286.4
18	3	45.73	-43.60	23.46	54.25	391.2
18	2	31.09	-56.73	24.67	70.42	496.0
18	1	-18.88	-137.47	38.18	82.54	603.0

File "Edificio 2012" - foglio PilY dati

Risultati, con $a_g = 0.25 g$ spostamenti orizzontali

direzione x		
traverso	spostamento	spostamento
	assoluto (mm)	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
direzione y		
traverso	spostamento	spostamento
	assoluto (mm)	relativo (mm)
6	186.971	24.067
5	168.612	34.841
4	139.445	42.230
3	100.777	43.865
2	58.056	38.803
1	19.354	19.354

File "Edificio 2012" - foglio Spo

Utilizzo dei risultati

Una volta determinate le sollecitazioni:

- esaminare i risultati per individuare rotture fragili
 - La normativa fornisce indicazioni su quali valori utilizzare per la resistenza dei materiali nel fare le verifiche
(già discusso)
 - È importante tener conto del fatto che quando entrambi gli estremi di un pilastro si plasticizzano il momento flettente non può crescere e quindi anche il taglio non può crescere ulteriormente

Valutazione delle sollecitazioni per verifica di elementi fragili

Rotture a taglio:

- Si noti che c'è un legame tra taglio V e resistenza a flessione M_R
ad esempio, per il pilastro, $V \leq (M_{R,\text{sup}} + M_{R,\text{inf}})/h$
- Finché non si hanno plasticizzazioni si usa il taglio fornito dal calcolo
- Se si hanno plasticizzazioni (nelle sezioni adiacenti) il taglio si ricava per l'equilibrio, dai M_R

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4
2	6	130.59	-122.78	79.17	13.39	108.0
2	5	215.70	-211.50	133.49	18.66	244.0
2	4	263.48	-252.56	161.24	-30.36	380.0
2	3	426.34	-393.12	255.99	-32.93	518.2
2	2	514.65	-516.45	322.09	42.92	658.7
2	1	363.79	-722.63	339.43	108.46	801.4
3	6	131.79	-123.98	79.92	-12.69	108.0
3	5	216.58	-211.99	133.92	-18.88	244.0
3	4	265.58	-256.94	163.27	33.88	380.0
3	3	446.64	-417.48	269.97	58.91	518.2
3	2	565.63	-562.64	362.49	77.56	658.7
3	1	411.50	-746.51	361.81	92.62	801.4
4	6	91.61	-77.85	52.92	-35.52	108.0
4	5	156.77	-146.76	94.80	-132.80	244.0
4	4	193.03	-183.43	117.55	-271.21	380.0
4	3	280.40	-263.24	169.56	-459.92	518.2
4	2	318.81	-346.82	207.65	-706.08	658.7
4	1	200.06	-640.42	262.41	-948.23	801.4

File "Edificio 2012" - foglio PilX dati

MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)
con res.*FC	con h=2.70
39.13	28.98
50.14	37.14
60.14	44.55
69.10	51.19
85.72	63.50
115.81	85.78
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50

foglio V (PilX)

Pilastro 1
piano 3
per 0.25 g
V=111.93 kN

Ma il
pilastro si
plasticizza
prima
Il taglio non
può superare
il valore
V=51.19 kN

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4
2	6	130.59	-122.78	79.17	13.39	108.0
2	5	215.70	-211.50	133.49	18.66	244.0
2	4	263.48	-252.56	161.24	-30.36	380.0
2	3	426.34	-393.12	255.99	-32.93	518.2
2	2	514.65	-516.45	322.09	42.92	658.7
2	1	363.79	-722.63	339.43	108.46	801.4
3	6	131.79	-123.98	79.92	-12.69	108.0
3	5	216.58	-211.99	133.92	-18.88	244.0
3	4	265.58	-256.94	163.27	33.88	380.0
3	3	446.64	-417.48	269.97	58.91	518.2
3	2	565.63	-562.64	362.49	77.56	658.7
3	1	411.50	-746.51	361.81	92.62	801.4
4	6	91.61	-77.85	52.92	-35.52	108.0
4	5	156.77	-146.76	94.80	-132.80	244.0
4	4	193.03	-183.43	117.55	-271.21	380.0
4	3	280.40	-263.24	169.56	-459.92	518.2
4	2	318.81	-346.82	207.65	-706.08	658.7
4	1	200.06	-640.42	262.41	-948.23	801.4

MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)
con res.*FC	con h=2.70
39.13	28.98
50.14	37.14
60.14	44.55
69.10	51.19
85.72	63.50
115.81	85.78
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50
43.98	32.58
58.44	43.29
70.90	52.52
131.24	97.21
193.91	143.64
267.98	198.50

Nota:
in realtà
dovrebbe
essere con
N variabile

(l'ho trascurato
per semplicità;
vedere più
avanti, con
riferimento a
rottura duttile)

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione y

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	N _q
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250		
17	6	156.87	-131.81	90.14	48.93	50.5
17	5	210.53	-196.52	127.02	155.02	132.5
17	4	254.24	-245.34	155.92	288.42	214.5
17	3	262.84	-271.11	166.72	430.76	296.5
17	2	250.54	-276.62	164.68	586.68	378.5
17	1	129.02	-173.53	94.53	724.02	460.5
9	6	219.94	-207.84	133.68	4.45	94.6
9	5	308.91	-303.52	191.37	17.02	227.7
9	4	379.20	-378.46	236.75	34.00	360.8
9	3	374.96	-352.82	227.38	53.46	493.9
9	2	619.91	-596.24	379.98	75.07	629.3
9	1	406.92	-707.89	348.22	121.36	766.9
1	6	157.75	-134.60	91.30	-53.09	66.1
1	5	215.43	-202.35	130.40	-171.81	163.7
1	4	261.50	-253.18	160.66	-322.33	261.3
1	3	273.49	-283.83	174.05	-484.21	358.9
1	2	249.48	-259.30	158.93	-661.75	456.5
1	1	251.69	-384.30	198.72	-844.48	556.4
18	6	23.65	22.26	-8.56	8.41	76.8
18	5	49.93	35.43	20.74	21.03	181.6
18	4	52.88	-42.15	24.61	37.12	286.4
18	3	45.73	-43.60	23.46	54.25	391.2
18	2	31.09	-56.73	24.67	70.42	496.0
18	1	-18.88	-137.47	38.18	82.54	603.0

File "Edificio 2012" - foglio PilY dati

MRd(N _q) (kNm)	VEd max (kN)
con res.*FC	con h=2.70
37.27	27.61
46.73	34.61
55.47	41.09
63.49	47.03
70.77	52.42
86.02	63.72
42.45	31.44
56.81	42.08
69.27	51.31
88.42	65.50
143.09	105.99
208.69	154.58
39.13	28.98
50.14	37.14
60.14	44.55
69.10	51.19
85.72	63.50
135.48	100.35
40.38	29.91
52.05	38.56
62.55	46.33
71.83	53.21
88.57	65.61
119.35	88.41

foglio V (PilY)

Rottura fragile per taglio

Verifica a taglio

- Nell'OPCM 3431 non vi sono indicazioni specifiche (deduco che si deve fare riferimento a $V_{Rd,max}$ e $V_{Rd,s}$)
- Le linee guida della Basilicata rinviano espressamente alle formule dell'Eurocodice 2
- L'Eurocodice 8, parte 3, propone formule specifiche (punto A.3.3.1) ma che valgono solo per SLC

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0,55A_c f_c) + \left(1 - 0,05 \min\left(5; \mu_{\Delta}^{pl}\right)\right) \cdot \left[0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0,16 \min\left(5; \frac{L_V}{h}\right)\right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \right]$$

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw}$$

Verifica a taglio

Formule utilizzate (secondo NTC 08, punto 4.1.2.1.3.2):

$$V_{Rd,s} = 0.9 d \frac{A_{st}}{s} f_{yd} \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = 0.9 b d \alpha_c f'_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

con

$$f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$$

$$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2,5$$

$$\alpha_c = \begin{cases} 1 & \\ 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} & \\ 1,25 & \\ 2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd}) & \end{cases}$$

per membrane non compresse

per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$

per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$

per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

Nota: con f_c e f_y definiti in precedenza, anziché f_{cd} e f_{yd}

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)	VRd,s (kN)	VRd,max (kN)	ag/g
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250			con res.*FC	con h=2.70	cot teta=2.5		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	39.13	28.98	50.34	117.48	ok
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7	50.14	37.14	50.34	130.61	ok
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	60.14	44.55	50.34	135.74	ok
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	69.10	51.19	50.34	135.74	0.112
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	85.72	63.50	50.34	118.01	0.118
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	115.81	85.78	50.34	174.92	0.145

Sezione 30×30 staffe Ø6/20

$$V_{Rd,s} = 0.9 d \frac{A_{st}}{s} f_y \cot \theta =$$

$$= 0.9 \times 26 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 50.34 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 0.9 b d \alpha_c f'_c \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} =$$

$$= 0.9 \times 30 \times 26 \times 1.25 \times \frac{8.97}{2} \times \frac{2.5}{1 + 2.5^2} \times 10^{-1} = 135.74 \text{ kN}$$

Nota:

si potrebbe pensare anche a resistenza in assenza di armatura, ma di solito questa è molto bassa

File "Edificio 2012" - foglio V (PilX)

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)	VRd,s (kN)	VRd,max (kN)	ag/g
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250			con res.*FC	con h=2.70	cot teta=2.5		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	39.13	28.98	50.34	117.48	ok
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7	50.14	37.14	50.34	130.61	ok
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	60.14	44.55	50.34	135.74	ok
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	69.10	51.19	50.34	135.74	0.112
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	85.72	63.50	50.34	118.01	0.118
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	115.81	85.78	50.34	174.92	0.145

Sezione 30×30 staffe Ø6/20

$$V_{Rd} = \text{MIN}(V_{Rd,s}, V_{Rd,max}) = 50.34 \text{ kN}$$

Per $a_g = 0.25 \text{ g}$ $V_{Ed} = 111.93 \text{ kN}$

$$\rho = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{111.93}{50.34} = 2.223$$

quindi $V_{Rd} = V_{Ed}$ per

$$a_g = 0.25 \times 0.450 = 0.112 \text{ g}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{2.223} = 0.450 = 45.0\%$$

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)	VRd,s (kN)	VRd,max (kN)	ag/g
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250			con res.*FC	con h=2.70	cot teta=2.5		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	39.13	28.98	50.34	117.48	ok
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7	50.14	37.14	50.34	130.61	ok
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	60.14	44.55	50.34	135.74	ok
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	69.10	51.19	50.34	135.74	0.112
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	85.72	63.50	50.34	118.01	0.118
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	115.81	85.78	50.34	174.92	0.145

In altri casi la resistenza è maggiore di $V_{Ed,max}$
e quindi non si ha mai rottura

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)	VRd,s (kN)	VRd,max (kN)	ag/g
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250			con res.*FC	con h=2.70	cot teta=2.5		
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	39.13	28.98	50.34	117.48	ok
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	163.7	50.14	37.14	50.34	130.61	ok
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	60.14	44.55	50.34	135.74	ok
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	69.10	51.19	50.34	135.74	0.112
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	85.72	63.50	50.34	118.01	0.118
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	115.81	85.78	50.34	174.92	0.145
2	6	130.59	-122.78	79.17	13.39	108.0	43.98	32.58	50.34	123.12	ok
2	5	215.70	-211.50	133.49	18.66	244.0	58.44	43.29	50.34	135.74	ok
2	4	263.48	-252.56	161.24	-30.36	380.0	70.90	52.52	50.34	135.74	0.078
2	3	426.34	-393.12	255.99	-32.93	518.2	131.24	97.21	69.70	187.95	0.068
2	2	514.65	-516.45	322.09	42.92	658.7	193.91	143.64	89.06	240.16	0.069
2	1	363.79	-722.63	339.43	108.46	801.4	267.98	198.50	108.43	292.37	0.080
3	6	131.79	-123.98	79.92	-12.69	108.0	43.98	32.58	50.34	123.12	ok
3	5	216.58	-211.99	133.92	-18.88	244.0	58.44	43.29	50.34	135.74	ok
3	4	265.58	-256.94	163.27	33.88	380.0	70.90	52.52	50.34	135.74	0.077
3	3	446.64	-417.48	269.97	58.91	518.2	131.24	97.21	69.70	187.95	0.065
3	2	565.63	-562.64	352.49	77.56	658.7	193.91	143.64	89.06	240.16	0.063
3	1	411.50	-746.51	361.81	92.62	801.4	267.98	198.50	108.43	292.37	0.075
4	6	91.61	-77.85	52.92	-35.52	108.0	43.98	32.58	50.34	123.12	ok
4	5	156.77	-146.76	94.80	-132.80	244.0	58.44	43.29	50.34	135.74	ok
4	4	193.03	-183.43	117.55	-271.21	380.0	70.90	52.52	50.34	135.74	0.107
4	3	280.40	-263.24	169.56	-459.92	518.2	131.24	97.21	69.70	187.95	0.103
4	2	318.81	-346.82	207.65	-706.08	658.7	193.91	143.64	89.06	240.16	0.107
4	1	200.06	-640.42	262.41	-948.23	801.4	267.98	198.50	108.43	292.37	0.103

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione y

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	MRd(Nq) (kNm)	VEd max (kN)	VRd,s (kN)	VRd,max (kN)	ag/g
		analisi modale	q=1, ag/g=	0.250			con res.*FC	con h=2.70	cot teta=2.5		
17	6	156.87	-131.81	90.14	48.93	50.5	37.27	27.61	50.34	115.39	ok
17	5	210.53	-196.52	127.02	155.02	132.5	46.73	34.61	50.34	126.41	ok
17	4	254.24	-245.34	155.92	288.42	214.5	55.47	41.09	50.34	135.74	ok
17	3	262.84	-271.11	166.72	430.76	296.5	63.49	47.03	50.34	135.74	ok
17	2	250.54	-276.62	164.68	586.68	378.5	70.77	52.42	50.34	135.74	0.076
17	1	129.02	-173.53	94.53	724.02	460.5	86.02	63.72	50.34	116.66	0.133
9	6	219.94	-207.84	133.68	4.45	94.6	42.45	31.44	50.34	121.32	ok
9	5	308.91	-303.52	191.37	17.02	227.7	56.81	42.08	50.34	135.74	ok
9	4	379.20	-378.46	236.75	34.00	360.8	69.27	51.31	50.34	135.74	0.053
9	3	374.96	-352.82	227.38	53.46	493.9	88.42	65.50	50.34	105.43	0.055
9	2	619.91	-596.24	379.98	75.07	629.3	143.09	105.99	69.70	156.19	0.046
9	1	406.92	-707.89	348.22	121.36	766.9	208.69	154.58	89.06	206.62	0.064
1	6	157.75	-134.60	91.30	-53.09	66.1	39.13	28.98	50.34	117.48	ok
1	5	215.43	-202.35	130.40	-171.81	163.7	50.14	37.14	50.34	130.61	ok
1	4	261.50	-253.18	160.66	-322.33	261.3	60.14	44.55	50.34	135.74	ok
1	3	273.49	-283.83	174.05	-484.21	358.9	69.10	51.19	50.34	135.74	0.072
1	2	249.48	-259.30	158.93	-661.75	456.5	85.72	63.50	50.34	118.01	0.079
1	1	251.69	-384.30	198.72	-844.48	556.4	135.48	100.35	69.70	181.64	0.088
18	6	23.65	22.26	-8.56	8.41	76.8	40.38	29.91	50.34	118.92	ok
18	5	49.93	35.43	20.74	21.03	181.6	52.05	38.56	50.34	133.02	ok
18	4	52.88	-42.15	24.61	37.12	286.4	62.55	46.33	50.34	135.74	ok
18	3	45.73	-43.60	23.46	54.25	391.2	71.83	53.21	50.34	135.74	ok
18	2	31.09	-56.73	24.67	70.42	496.0	88.57	65.61	50.34	104.73	ok
18	1	-18.88	-137.47	38.18	82.54	603.0	119.35	88.41	50.34	159.25	ok

Verifica a taglio

conclusione

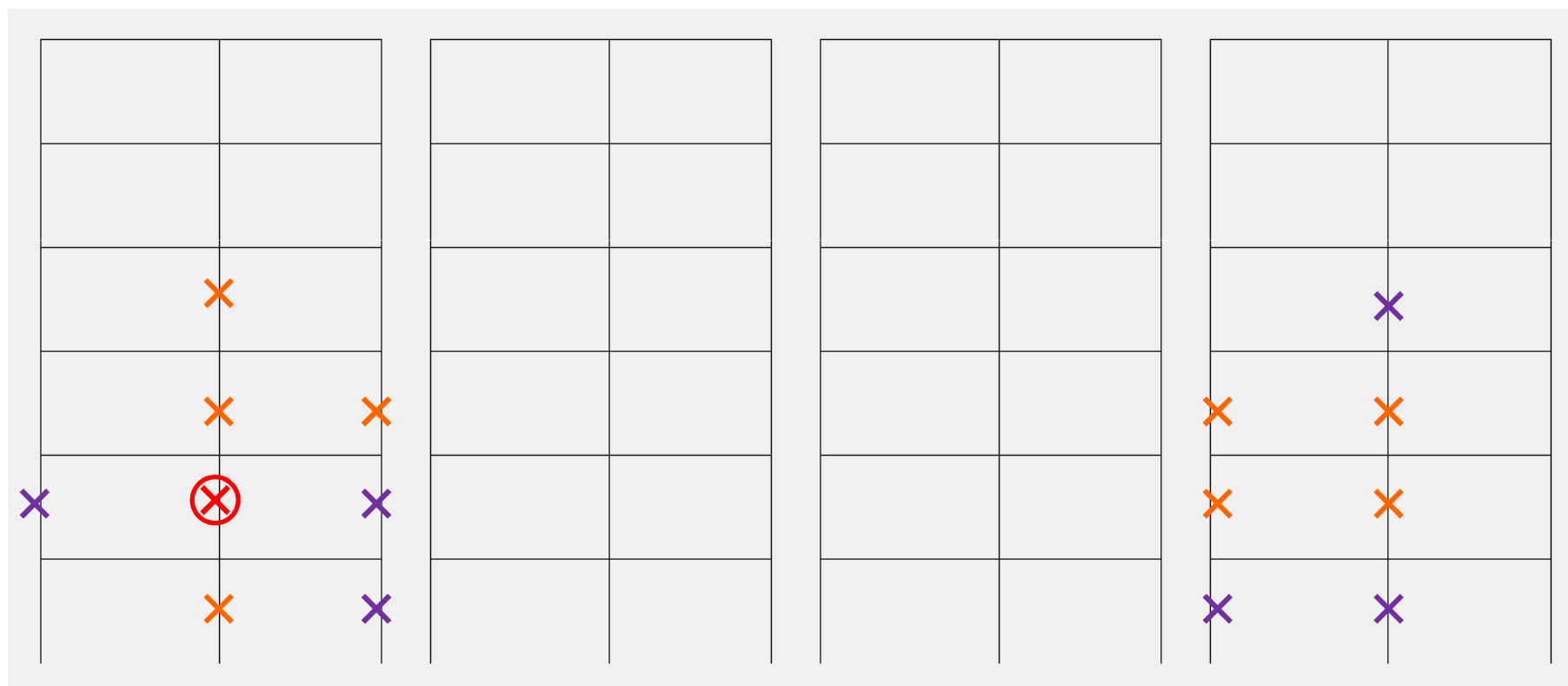
La sezione più vulnerabile è quella del pilastro 9, II ordine, per sisma in direzione y

La rottura a taglio avviene per $a_g = 0.046 \text{ g}$ o, più precisamente, per $\rho = 5.45$ ovvero per il 18.3% dell'accelerazione richiesta

Numerose altre sezioni arrivano alla rottura a taglio per accelerazioni un po' maggiori, sempre piccole rispetto a $a_g = 0.250 \text{ g}$

Telai in direzione y

✕ La rottura a taglio avviene per $\rho=5.45$ (18.3% di 0.25 g)



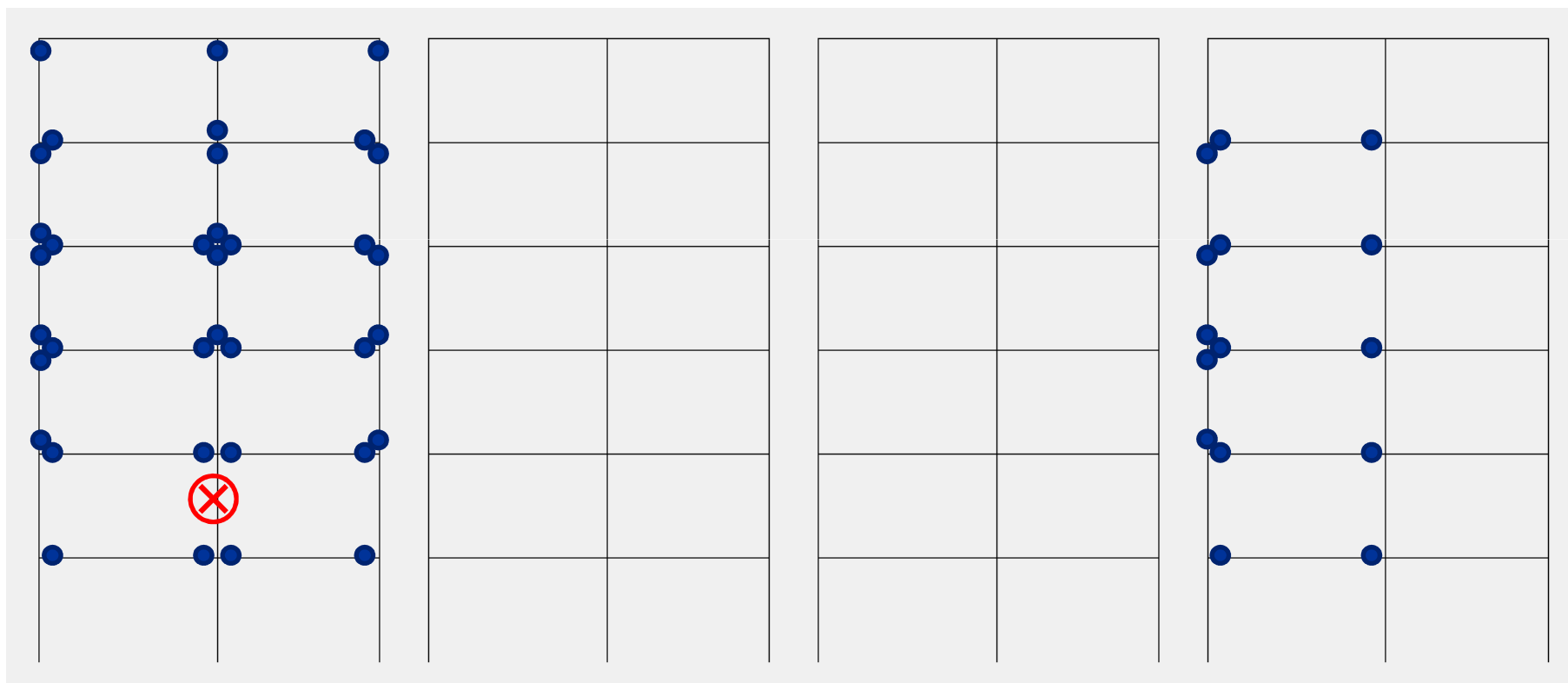
Altre rotture

$x < 30\%$ di 0.25 g

$x < 30-50\%$ di 0.25 g

Telai in direzione y

✗ La rottura a taglio avviene per $\rho=5.45$ (18.3% di 0.25 g)



- Le analisi che verranno fatte più avanti mostrano che prima della rottura a taglio si sono formate numerose cerniere

Verifica a taglio

conclusione

La rottura a taglio avviene per $a_g = 0.046 g$ o, più precisamente, per $\rho = 5.45$ ovvero per il 18.3% dell'accelerazione richiesta

Questo valore può essere incrementato se un certo numero di sezioni si plasticizza a flessione prima della rottura a taglio

Si potrebbe pensare ad un incremento per $q=1.5$, ottenendo così che la rottura avviene per il 27.4% dell'accelerazione richiesta

Nota: si dovrebbero verificare anche le travi, ma in genere stanno molto meglio

Considerazioni

Risultato delle analisi

- La prima valutazione di massima indica che la rottura a taglio avviene per una accelerazione che è il 13.7% di quella richiesta
 - Considerando un fattore di struttura $q=1.5$ si può pensare che il collasso avvenga al 20.6% della accelerazione voluta
- La valutazione più accurata indica che la rottura a taglio avviene per una accelerazione che è il 18.3% di quella richiesta
 - Considerando un fattore di struttura $q=1.5$ si può pensare che il collasso avvenga al 27.4% della accelerazione voluta

Risultato delle analisi

- Prima valutazione di massima:
collasso al 20.6% dell'accelerazione richiesta
- Valutazione più accurata:
collasso al 27.4% dell'accelerazione richiesta
- C'è una certa differenza ma la sostanza non cambia



La struttura è fortemente vulnerabile a taglio

Spettri di risposta

una considerazione

- Per l'Eurocodice 8 (e in precedenti versioni delle norme italiane) la forma dello spettro (e i valori F_o , T_B , T_C , T_D) sono indipendenti da a_g
- Per le NTC08 questi parametri variano con a_g
- Consiglio:
 - Fare riferimento ai parametri relativi allo spettro di risposta elastico corrispondente allo SLV
 - Effettuare i calcoli determinando il valore ρ per cui dividere lo spettro perché la verifica sia soddisfatta (o l'aliquota $1/\rho$ del sisma sopportabile)
 - Indicare questi valori
(o, se necessario, trovare lo spettro corrispondente ad un T_r ridotto che fornisce i valori voluti in corrispondenza di T_1)

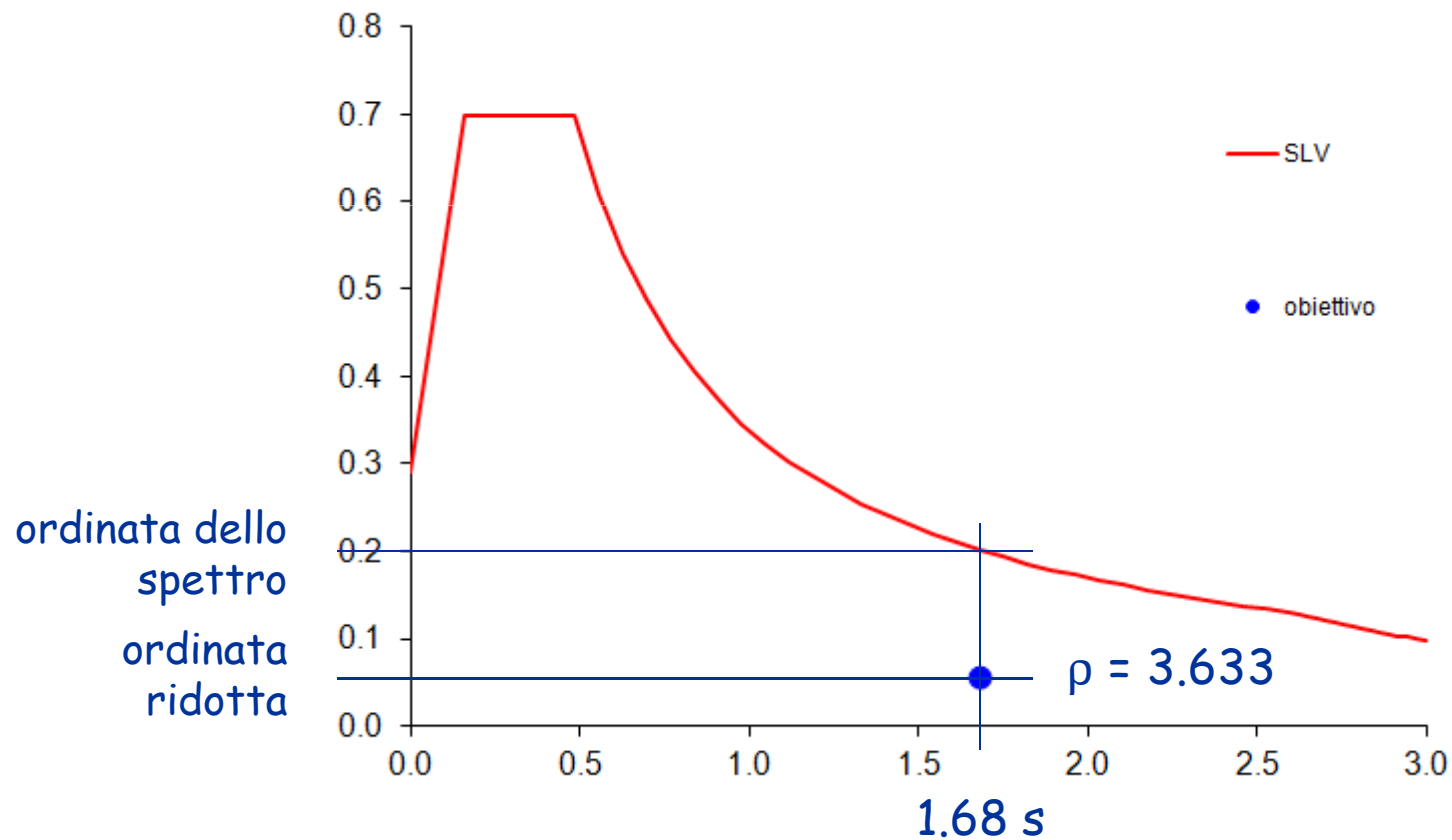
Spettri di risposta

possibile trasformazione

- La richiesta di usare uno spettro corrispondente ad un periodo di ritorno diverso, perché la struttura porta solo una aliquota del sisma richiesto, non ha un gran senso ma può essere soddisfatta facilmente
- Una volta determinato il valore p per cui dividere lo spettro perché la verifica sia soddisfatta (o l'aliquota $1/p$ del sisma sopportabile) si può trovare uno spettro (con T_r diverso) che abbia per $T=T_1$ un valore uguale a quello dello spettro di partenza diviso p

Spettri di risposta possibile trasformazione

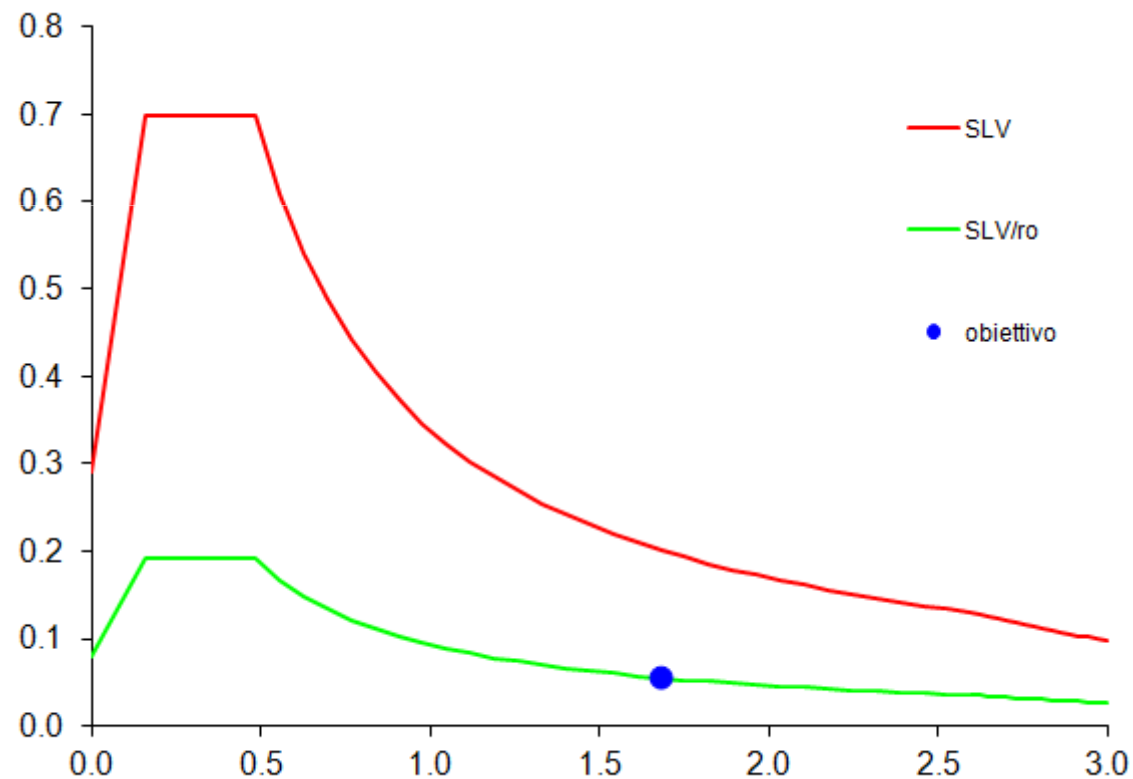
- Spettro richiesto e riduzione calcolata



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

Spettri di risposta possibile trasformazione

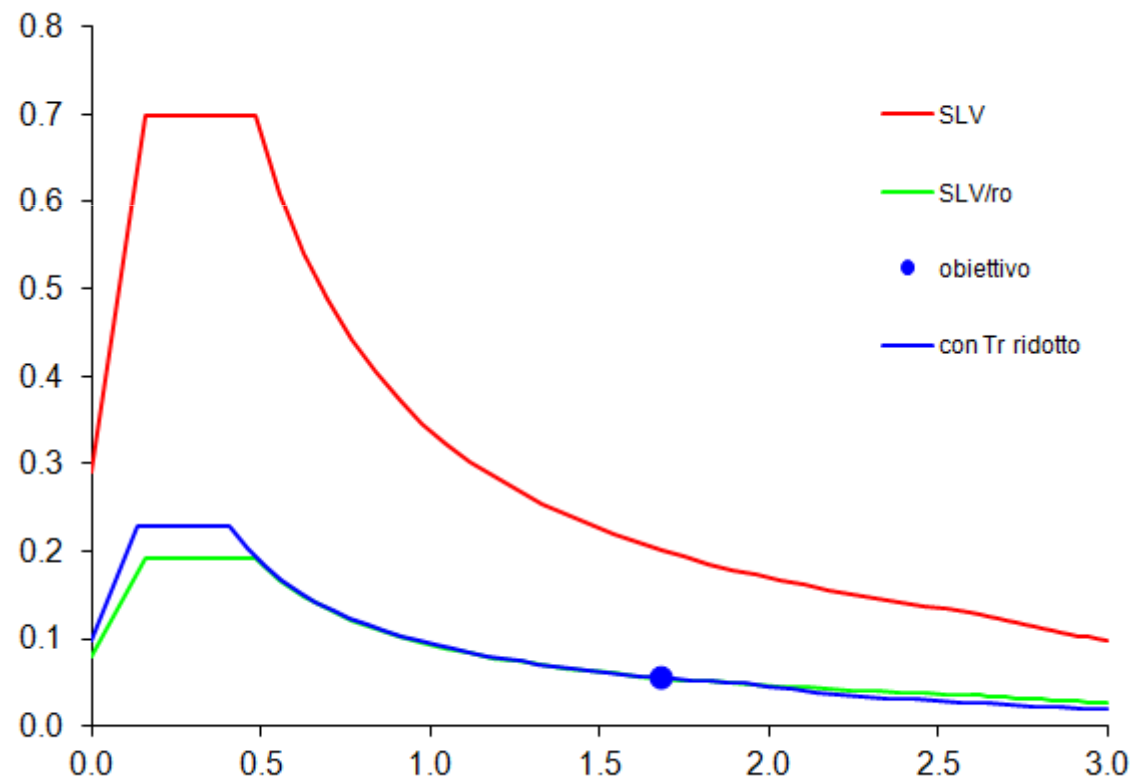
- Spettro ridotto di ρ



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

Spettri di risposta possibile trasformazione

- Nuovo spettro



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

Spettri di risposta possibile trasformazione

- Nuovo spettro

Parametri dello spettro:

$$T_r = 51 \text{ anni}$$

$$a_g = 0.082 \text{ g}$$

$$F_o = 2.316$$

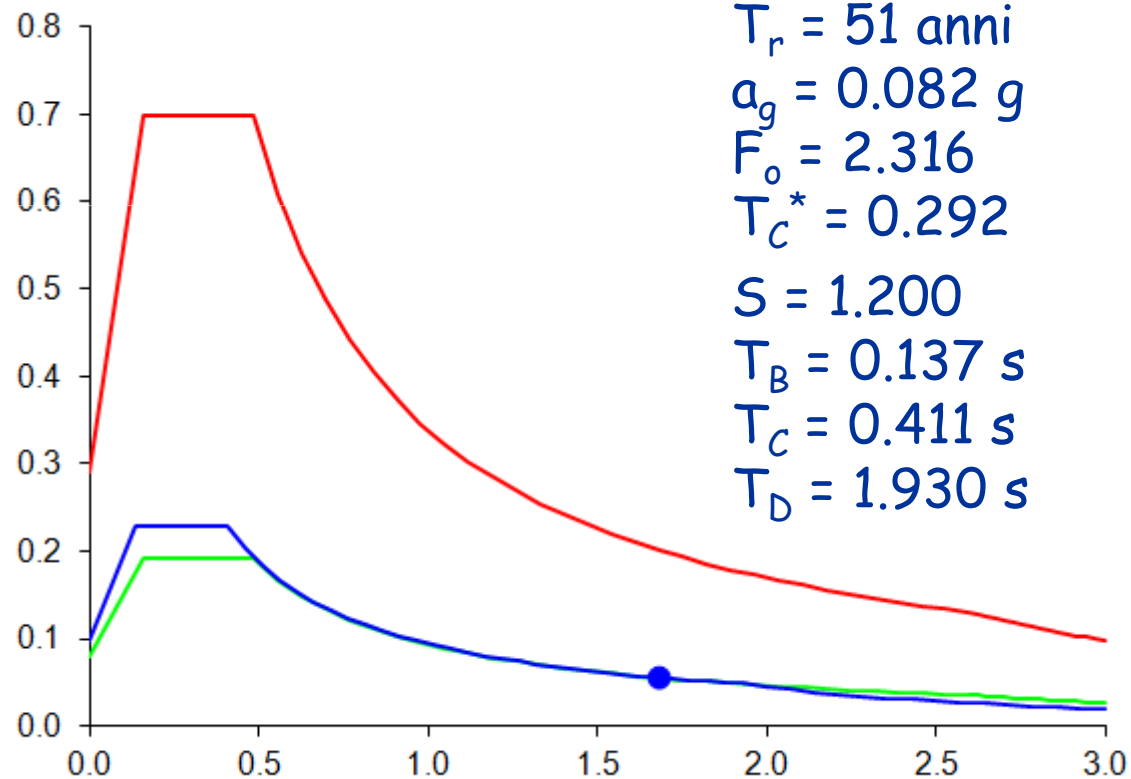
$$T_C^* = 0.292$$

$$S = 1.200$$

$$T_B = 0.137 \text{ s}$$

$$T_C = 0.411 \text{ s}$$

$$T_D = 1.930 \text{ s}$$



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

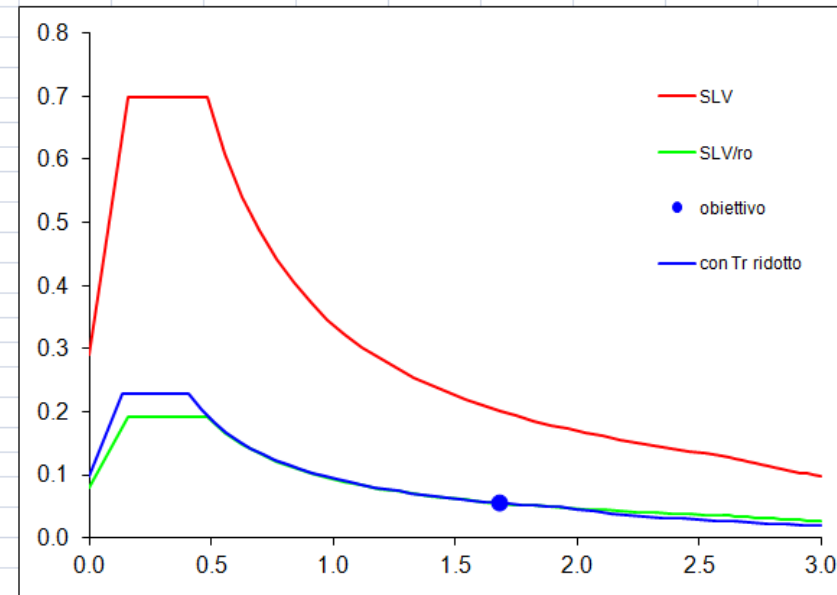
Spettri di risposta possibile trasformazione

- Foglio di calcolo usato

Procedura per ottenere uno spettro di risposta con periodo di ritorno tale da far passare lo spettro per un punto voluto									
1) assegnare i dati del sito			SLO	SLD	SLV	SLC			
		T_r	30	50	475	975	categoria topografica	T1	
		a_g	0.061	0.082	0.250	0.339	smorzamento	5%	
		F_o	2.360	2.316	2.410	2.445	suolo	B	
		T_C^*	0.280	0.292	0.360	0.383			
2) assegnare T_1		$T_1 =$	1.68	s					
3) assegnare ρ		$\rho =$	3.633		$1/\rho$	27.5%			
4) azzerare cambiando T_r			0.000	<-- valore da azzerare					
		$T_r =$	51.0	<-- valore da cambiare					
Il valore T_r cercato è quello così ottenuto									
	spettro cercato			spettro SLV					
	T_r	51.0			475				
	a_g	0.082			0.250				
	F_o	2.316			2.410				
	T_C^*	0.292			0.360				
	suolo	B			B				
	S_S	1.200			1.159				
	S_T	1.0			1.0				
	S	1.200			1.159				
	C_C	1.407			1.349				
	T_C	0.411			0.486				
	T_B	0.137			0.162				
	T_D	1.930			2.600				

Legend:

- SLV
- SLV/ro
- obiettivo
- con T_r ridotto



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"