

Corso di aggiornamento

Progettazione delle strutture antisismiche secondo le indicazioni del capitolo 10 delle NTC 2008: approfondimenti

**Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.**

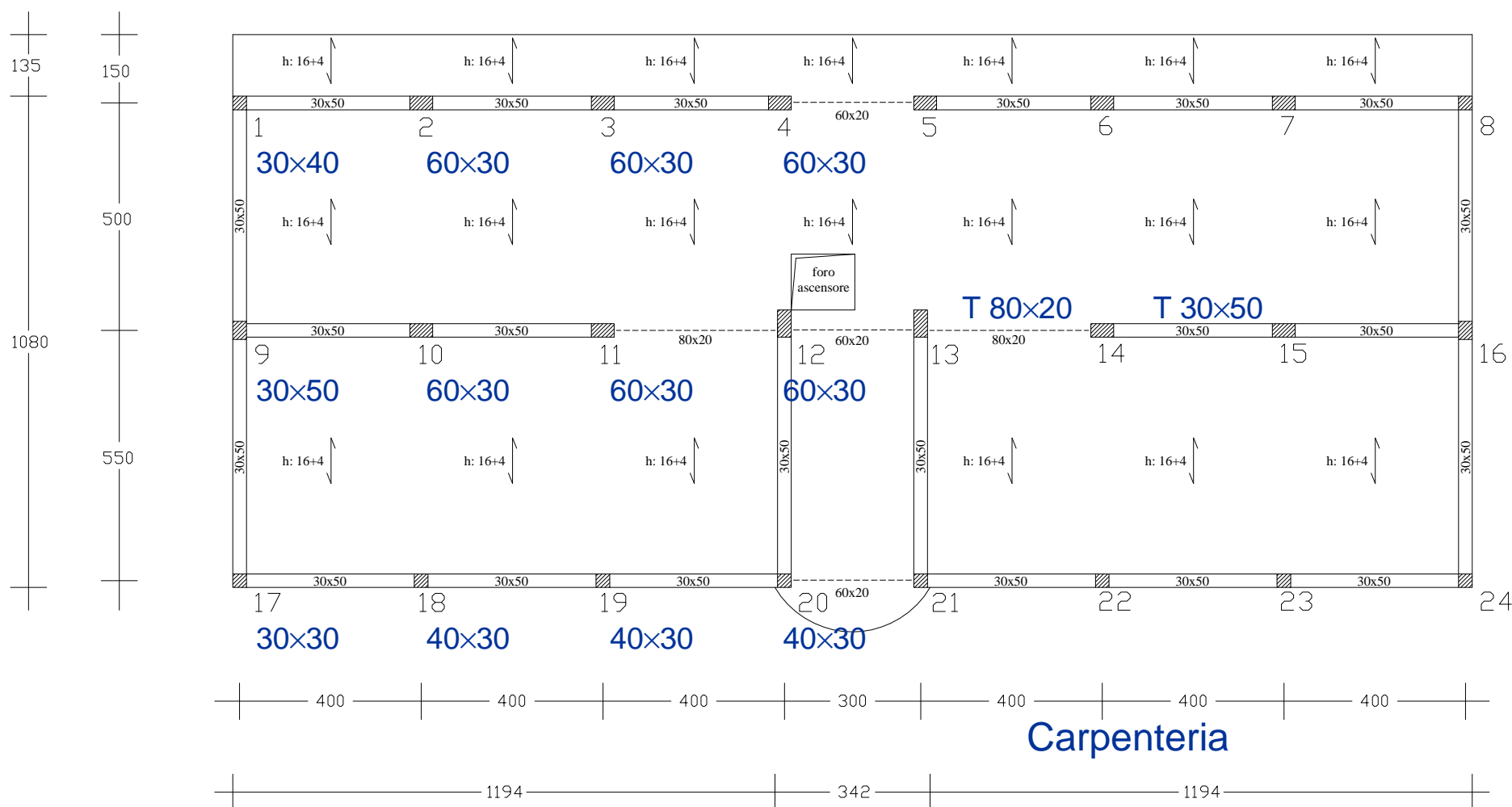
5 - Analisi lineare (modale con spettro di risposta),  
giudizio in termini di resistenza

Bologna

14-15 febbraio 2013

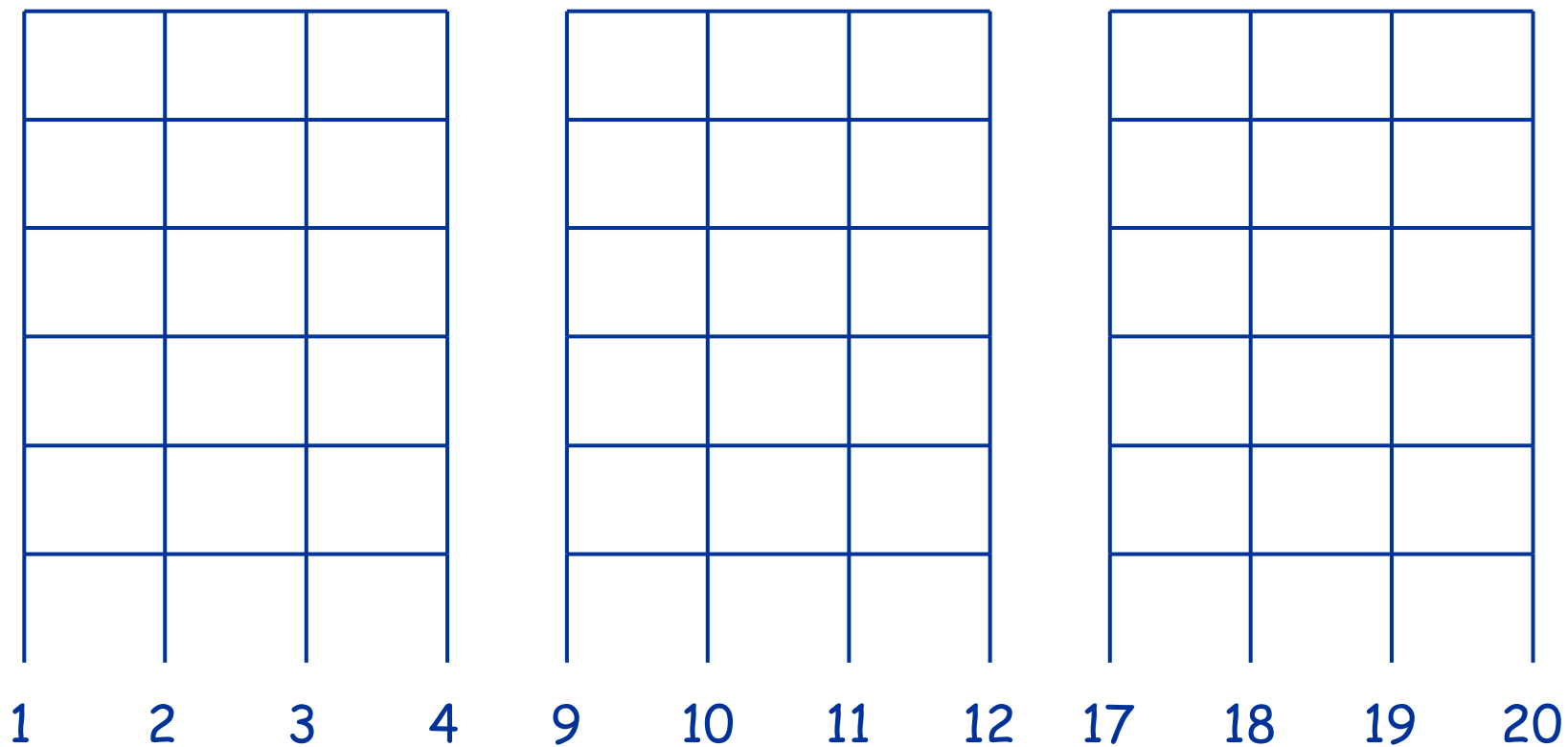
Aurelio Gherzi

# Rilievo dell'edificio



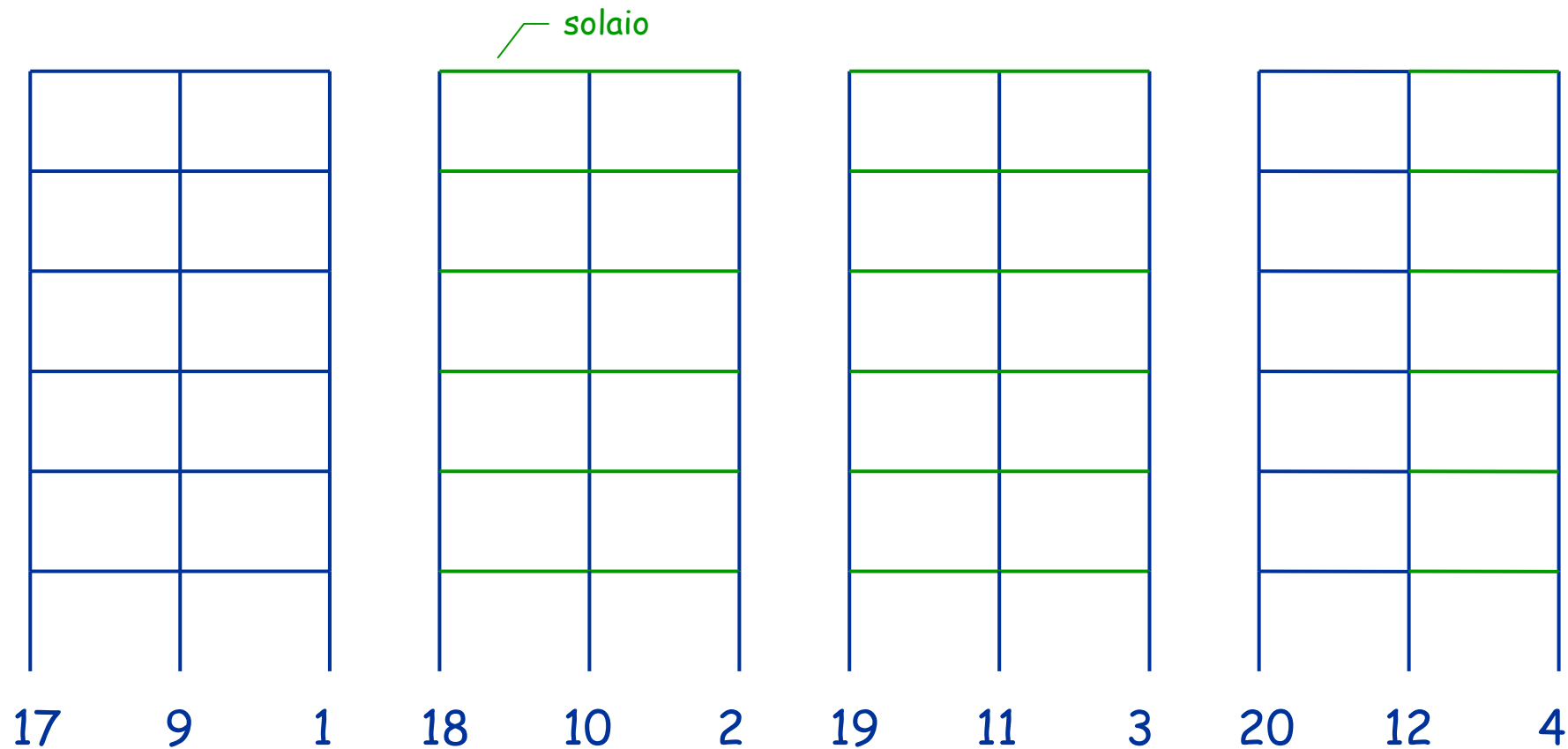
# Schema geometrico

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

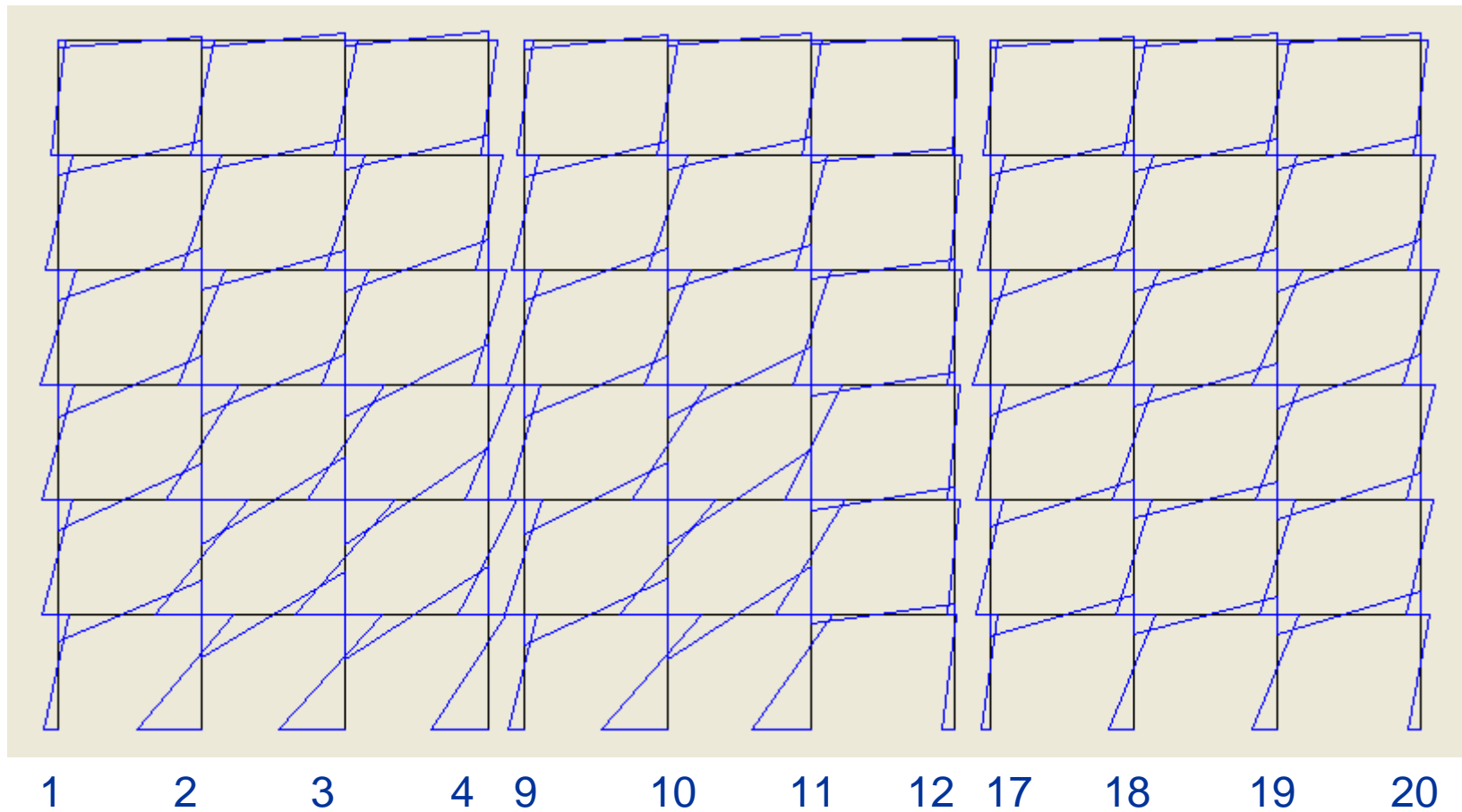
			luce		4.00		4.00		4.00	
				1		2		3		4
Trave				M-	M+	M-	M+	M-	M+	M-
1...4	ultimo	sism	25.3	16.9	28.9	40.5	25.3	33.7	25.3	25.3
		max	33.0	22.0	37.7	52.8	33.0	44.0	33.0	33.0
		As		2.5	4.2	5.9	3.7	4.9	3.7	3.7
			n,sup	2	0	4	0	4	0	3
			fi	14	0	14	0	14	0	14
			n,inf	2	3	2	3	2	3	2
			fi	14	14	14	14	14	14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

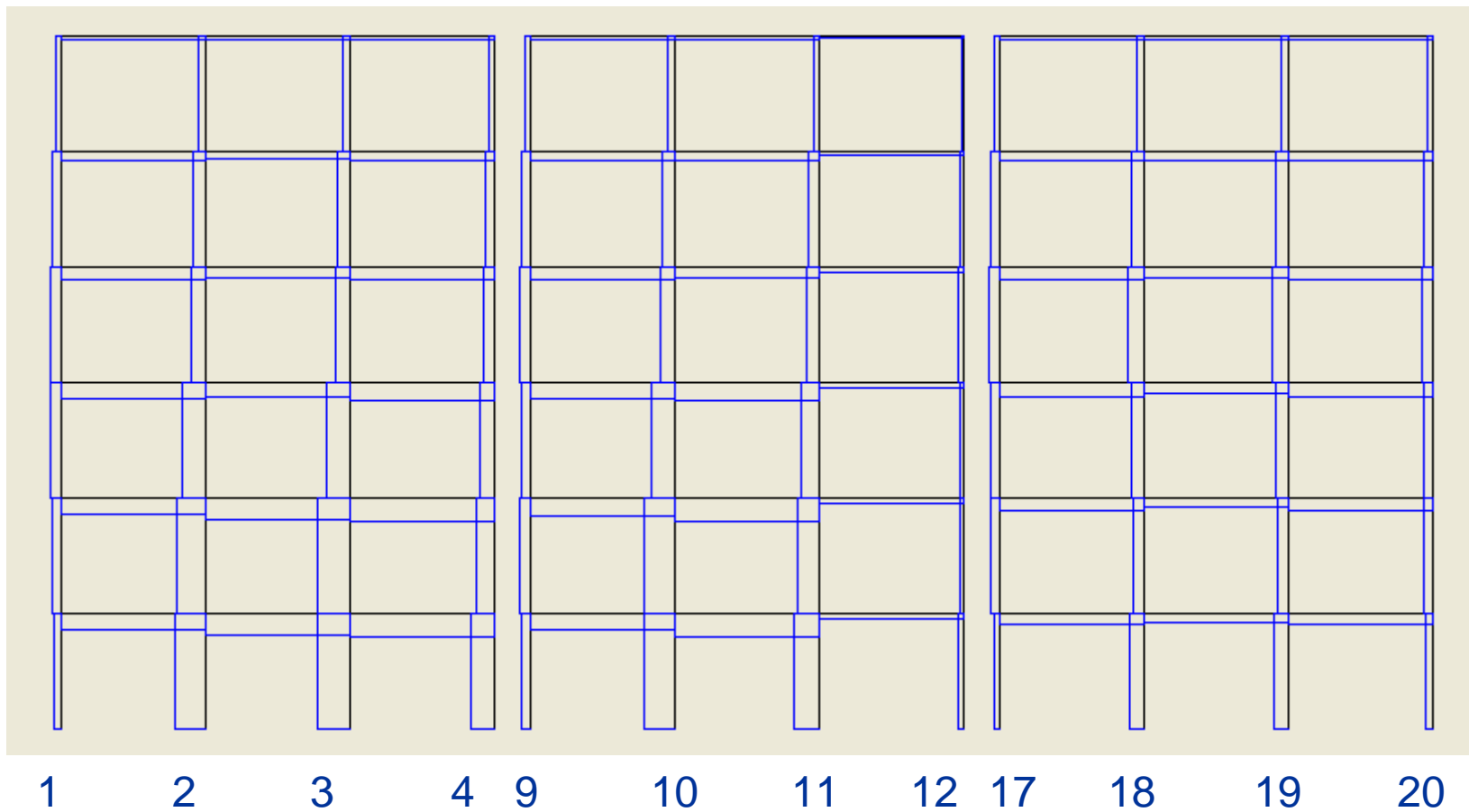
## diagramma del momento flettente





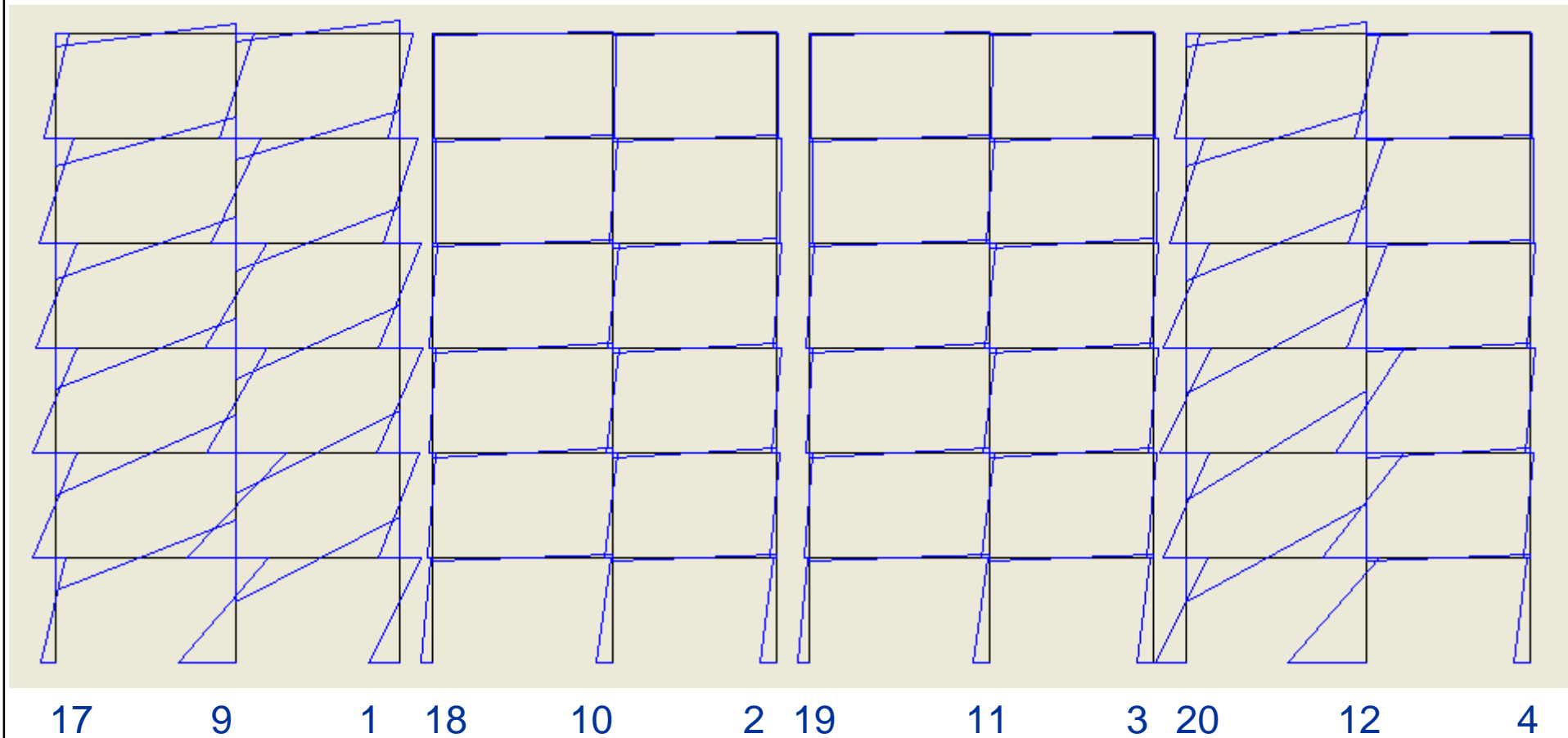
# Sisma in direzione x

## diagramma del taglio



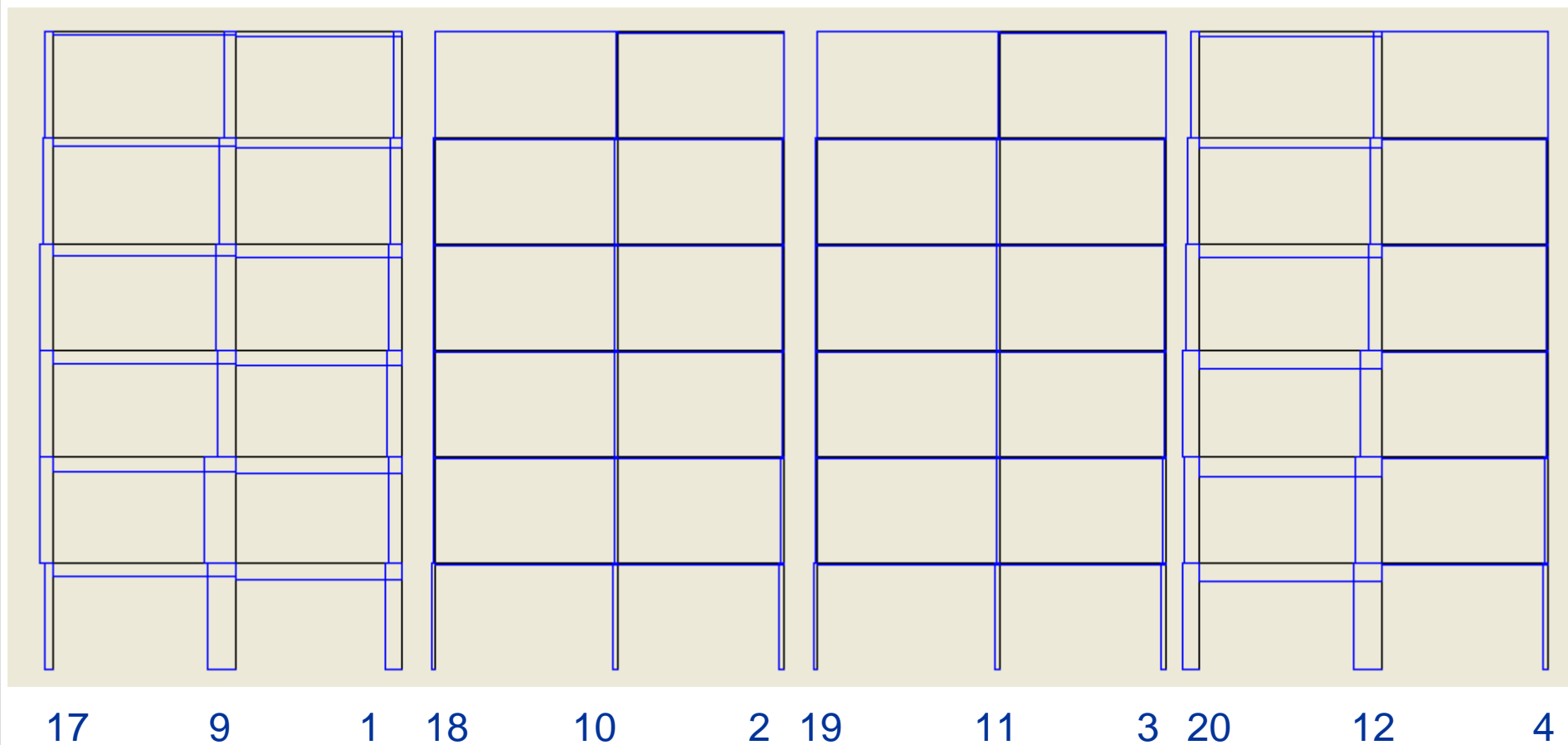
# Sisma in direzione y

## 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	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

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)	N <sub>g</sub>
		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	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

MRd(N <sub>g</sub> ) (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 <sub>q</sub>
		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 <sub>q</sub> ) (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

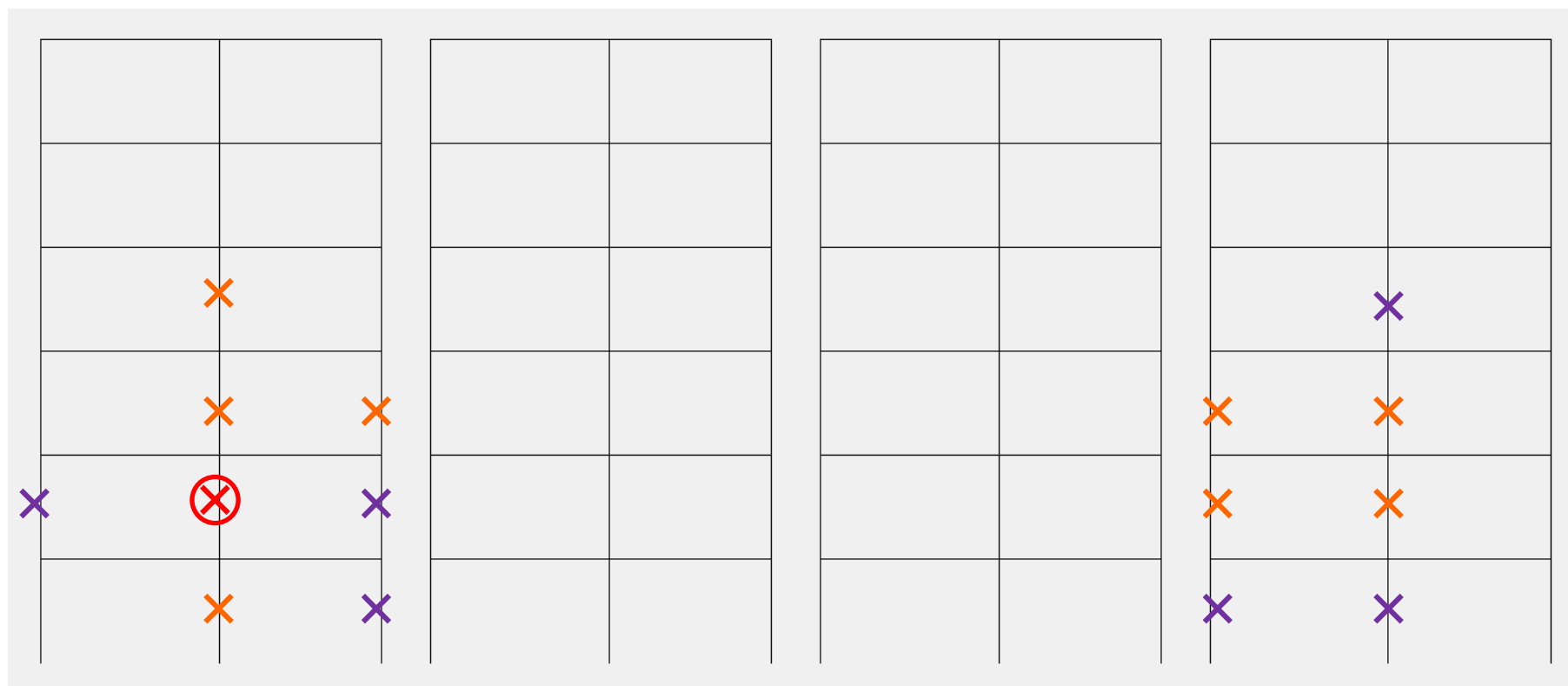
La sezione più vulnerabile è quella del pilastro 9, II ordine, per sisma in direzione y

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)



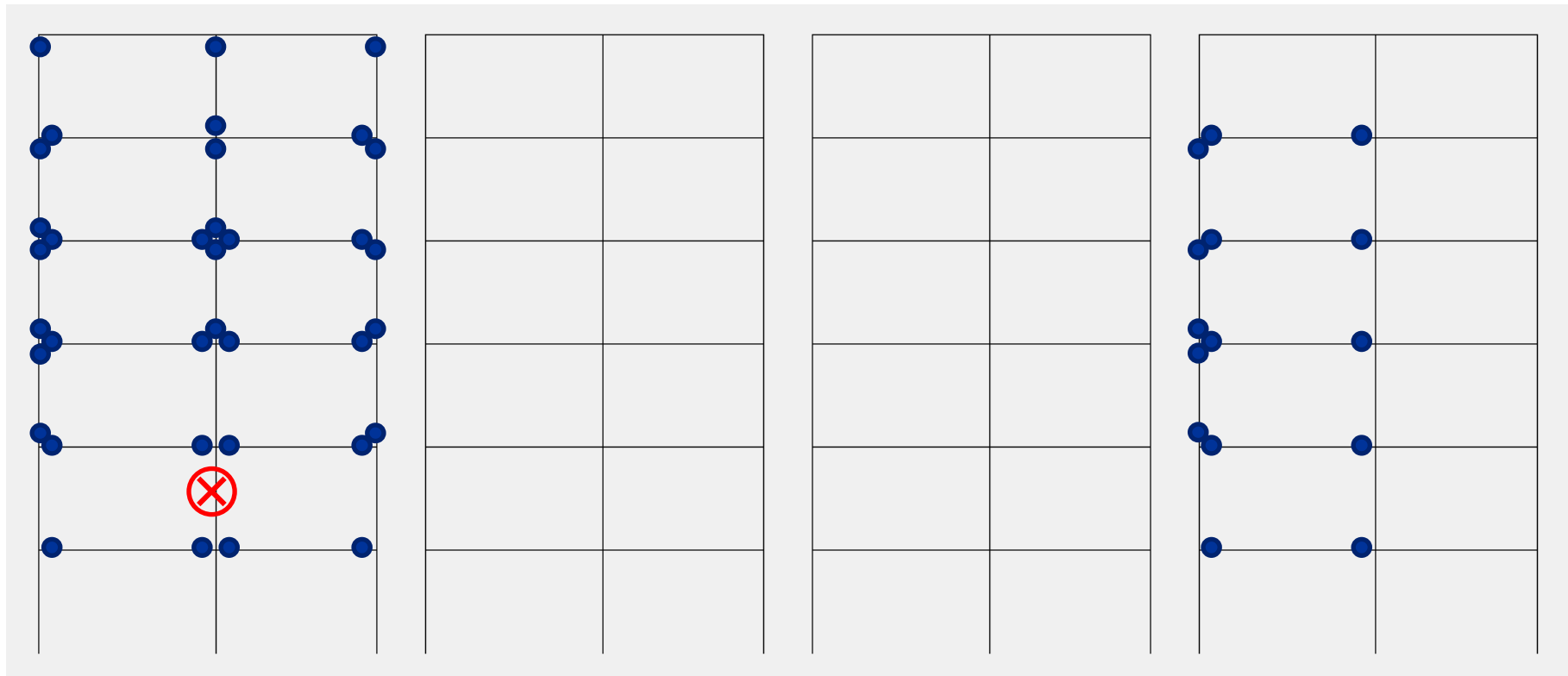
Altre rotture

$x < 30\%$  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  $\rho$  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  $T_1$ )

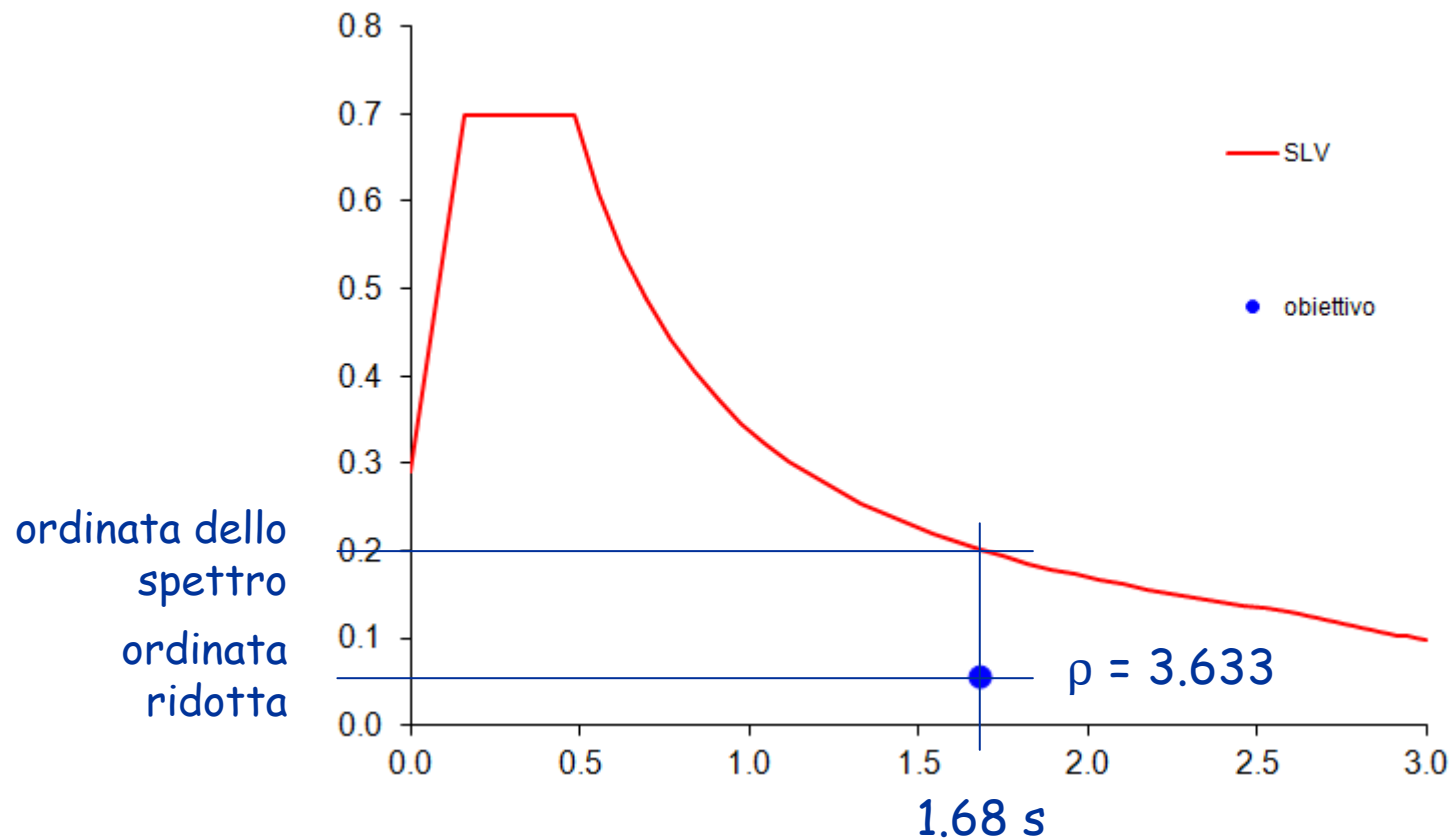
# Spettri di risposta

## 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

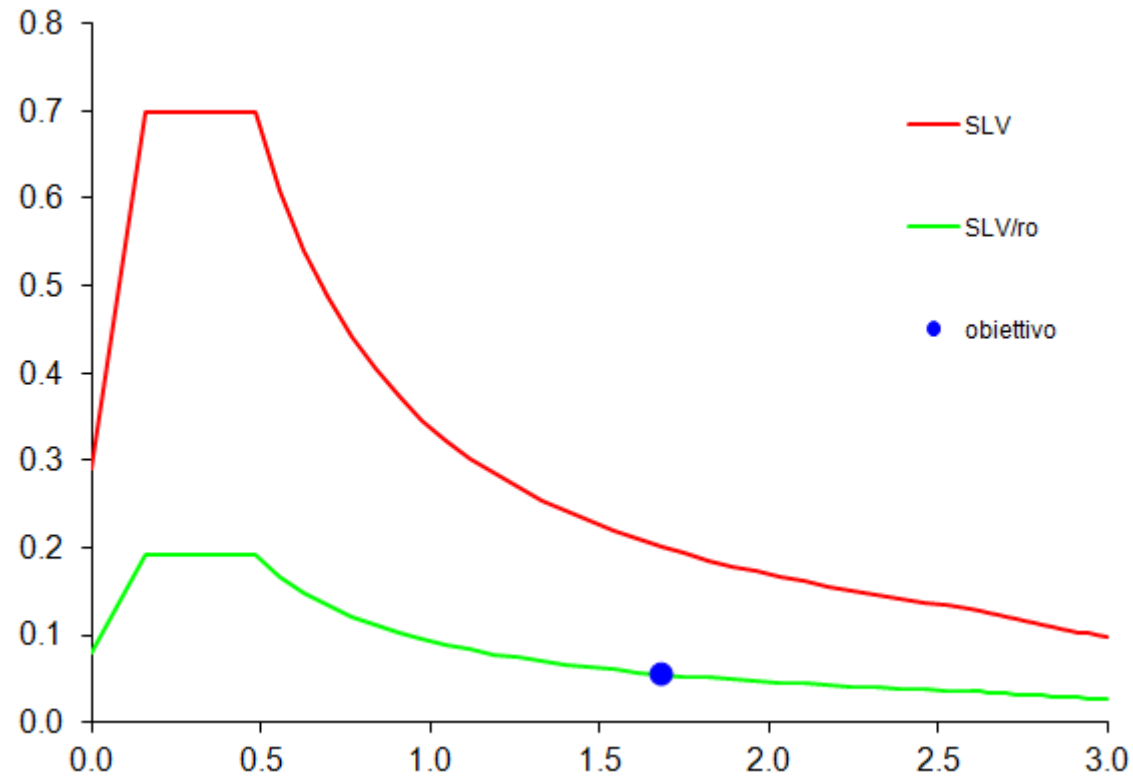
- Spettro richiesto e riduzione calcolata



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

# Spettri di risposta possibile trasformazione

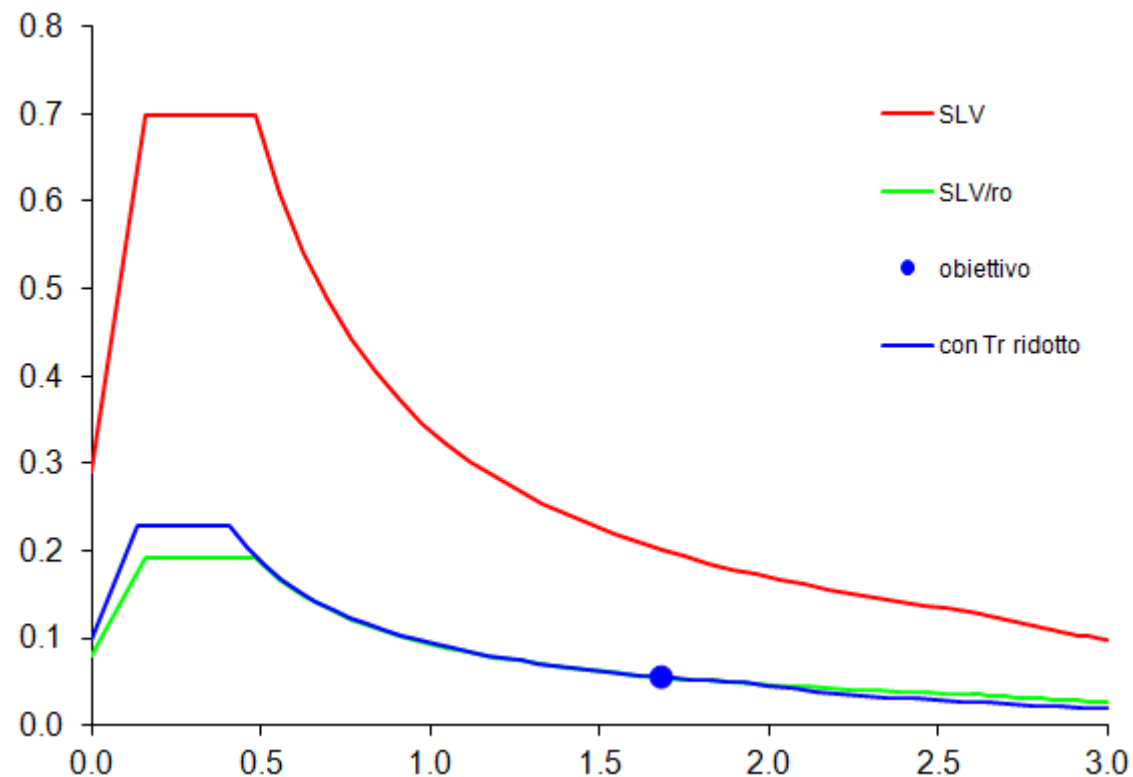
- Spettro ridotto di  $\rho$



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:

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

$$a_g = 0.082 g$$

$$F_o = 2.316$$

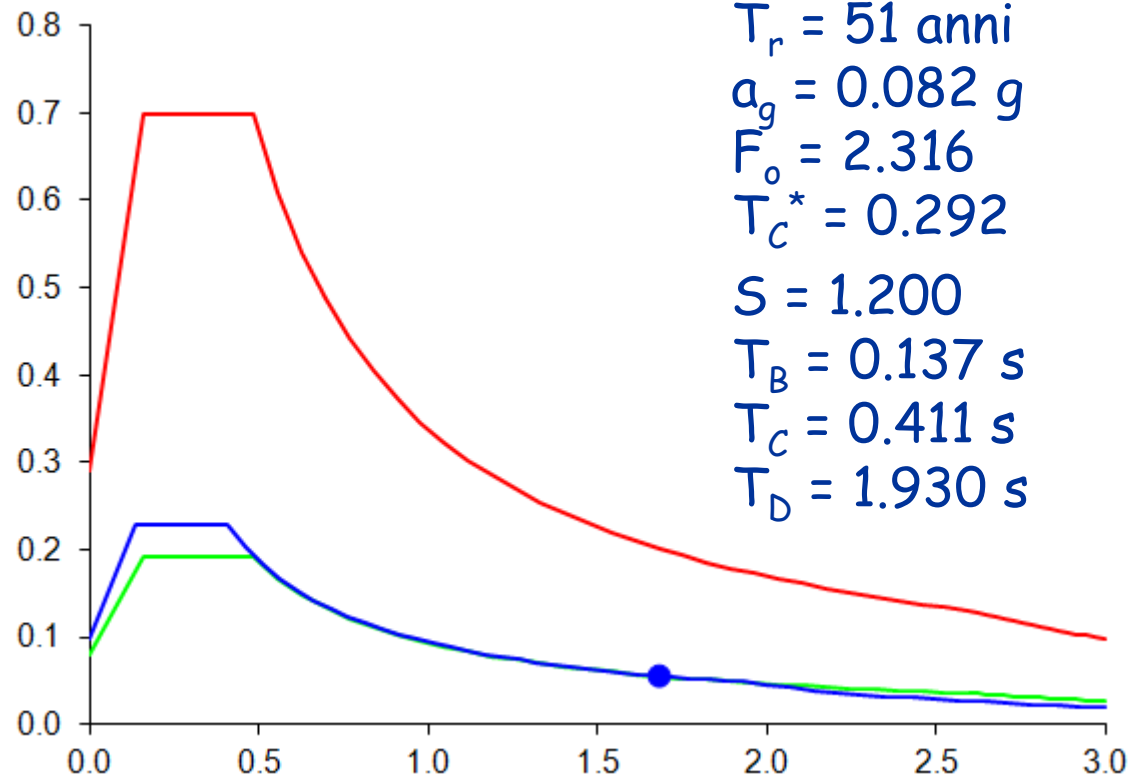
$$T_c^* = 0.292$$

$$S = 1.200$$

$$T_B = 0.137 s$$

$$T_C = 0.411 s$$

$$T_D = 1.930 s$$



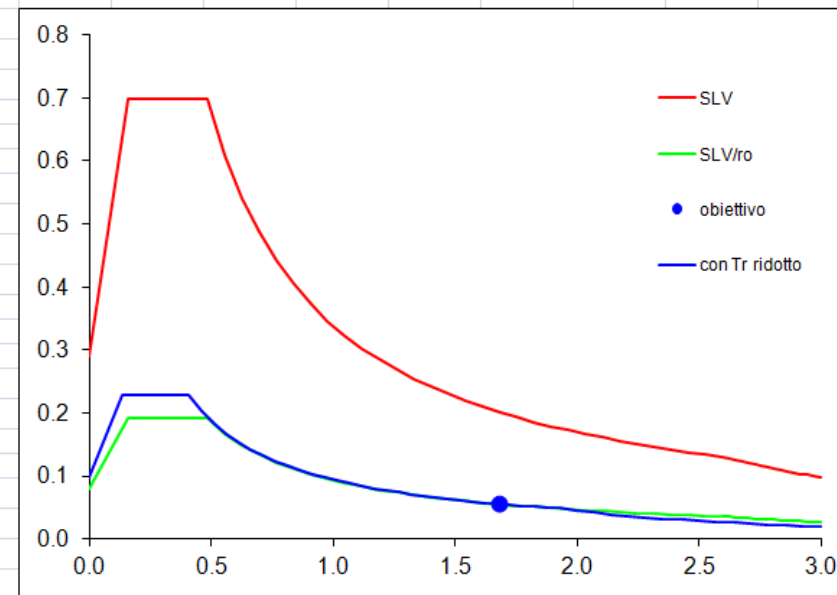
vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"



# 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 $\rho$		$\rho =$	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					



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"