

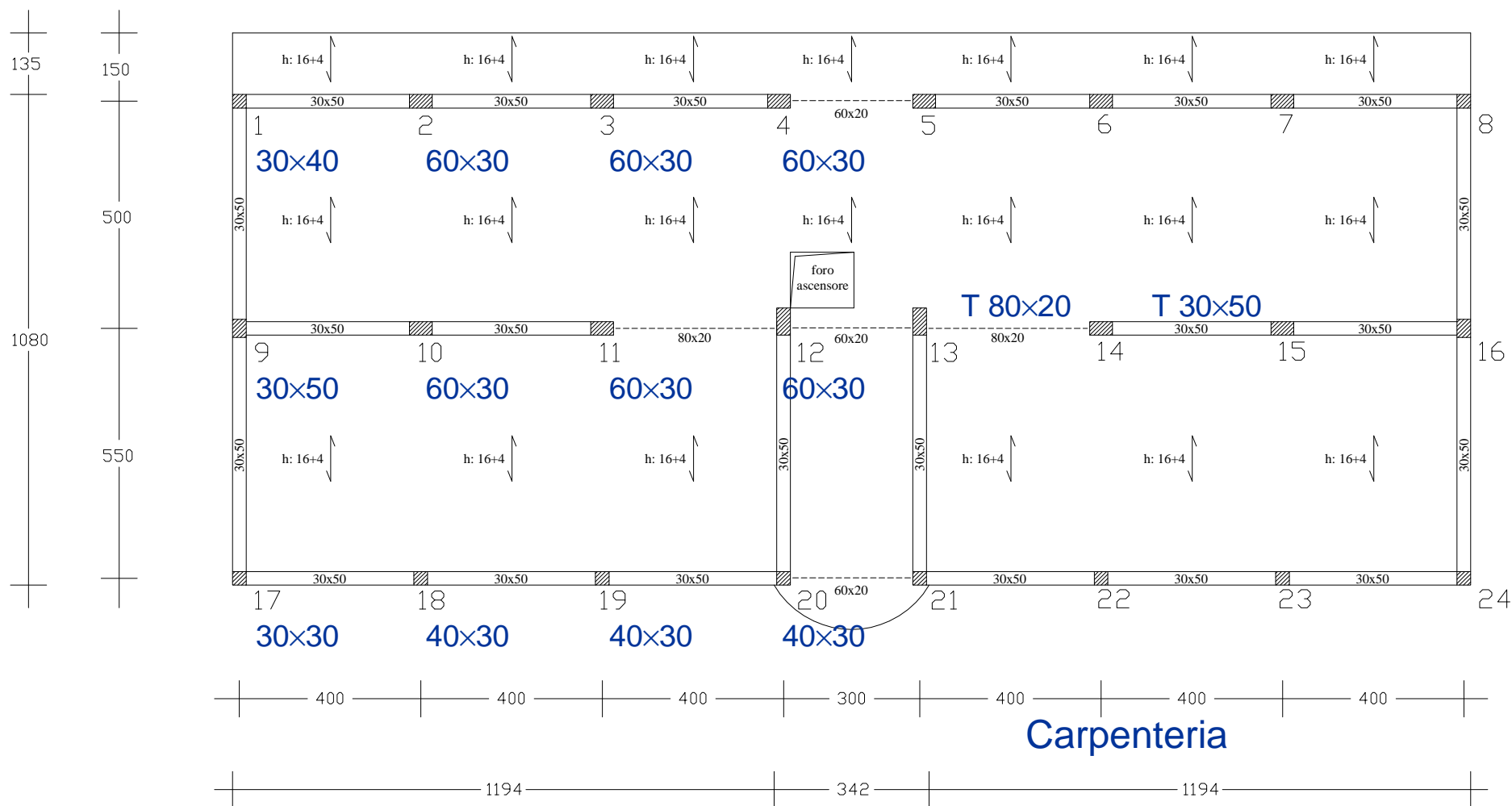
Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale
e Norme Tecniche per le Costruzioni

Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.

6 - Analisi lineare: verifica di resistenza - taglio

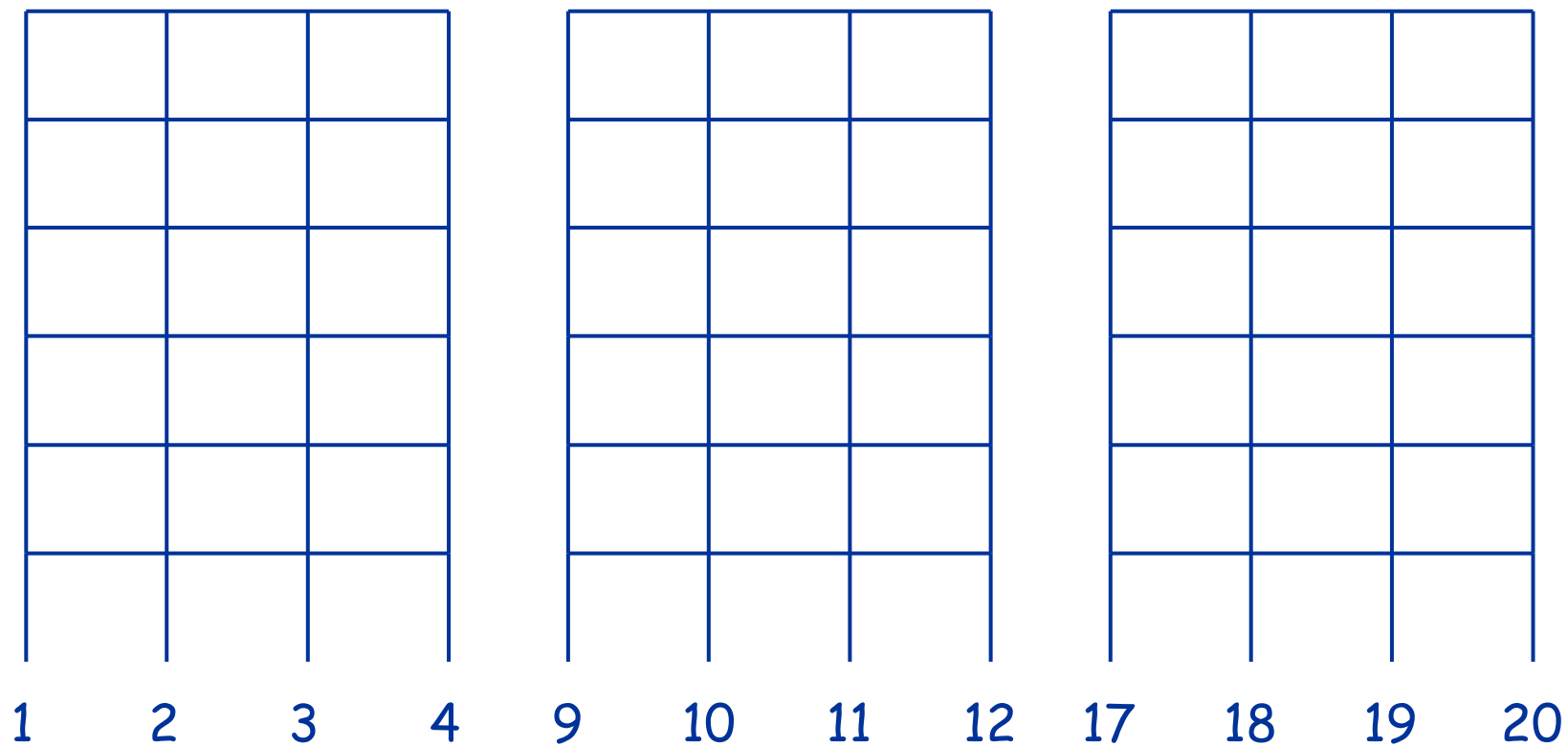
Imola
16-18 maggio 2013
Aurelio Ghersi

Rilievo dell'edificio



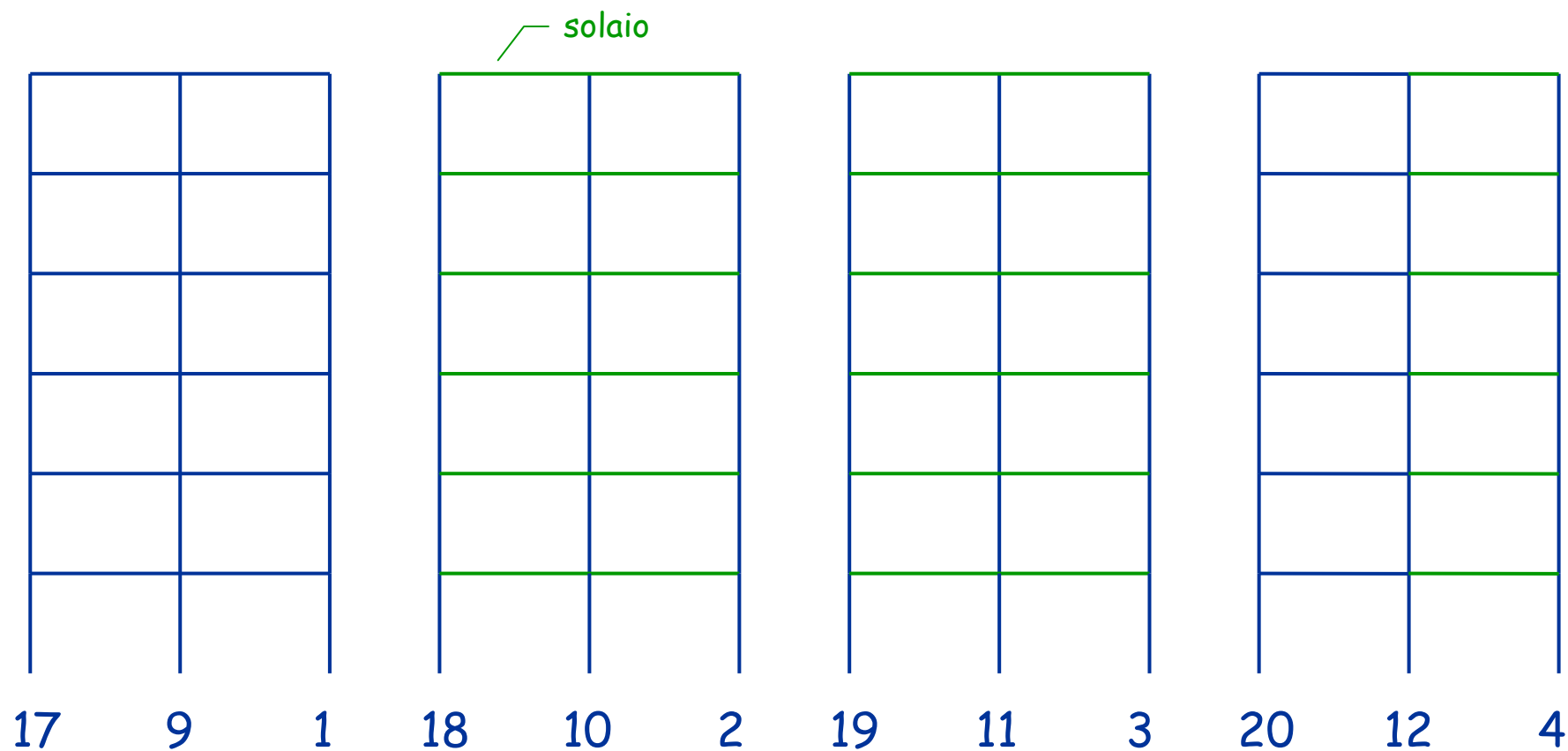
Schema geometrico

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

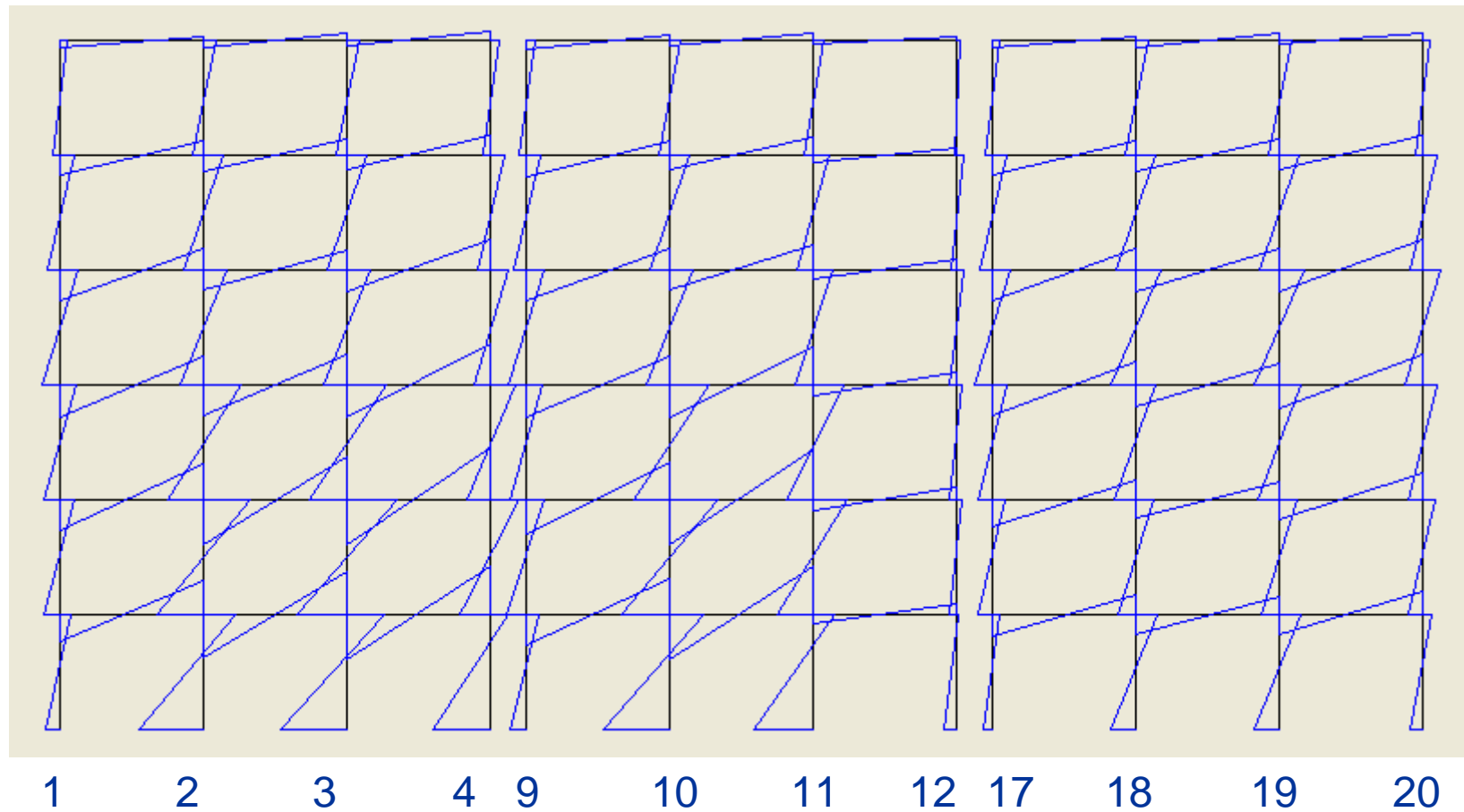
			luce		4.00		4.00		4.00	
				1		2		3		4
Trave				M-	M+	M-	M+	M-	M+	M-
1...4	ultimo	sism	25.3	16.9	28.9	40.5	25.3	33.7	25.3	25.3
		max	33.0	22.0	37.7	52.8	33.0	44.0	33.0	33.0
		As		2.5	4.2	5.9	3.7	4.9	3.7	3.7
			n,sup	2	0	4	0	4	0	3
			fi	14	0	14	0	14	0	14
			n,inf	2	3	2	3	2	3	2
			fi	14	14	14	14	14	14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

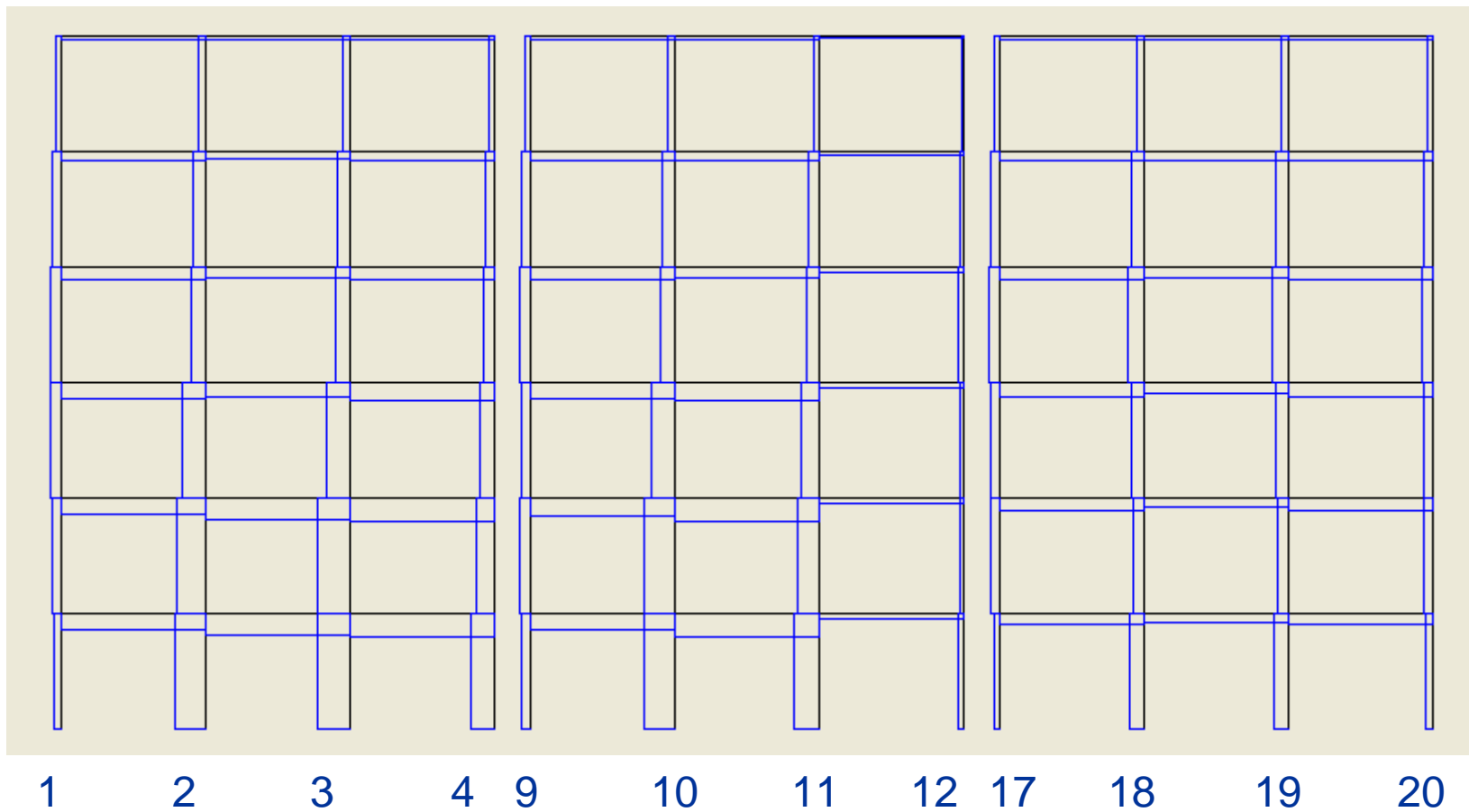
Sisma in direzione x

diagramma del momento flettente



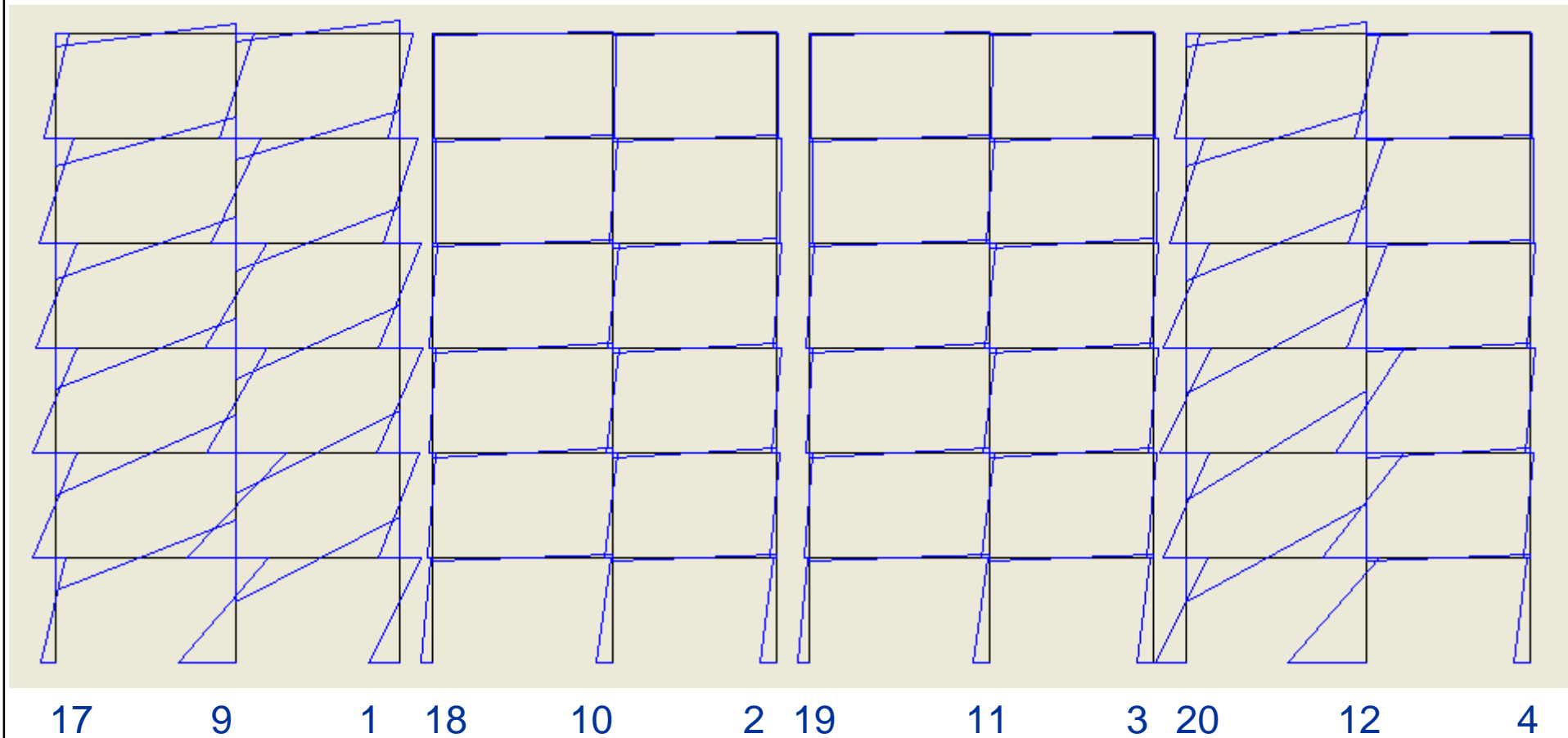
Sisma in direzione x

diagramma del taglio



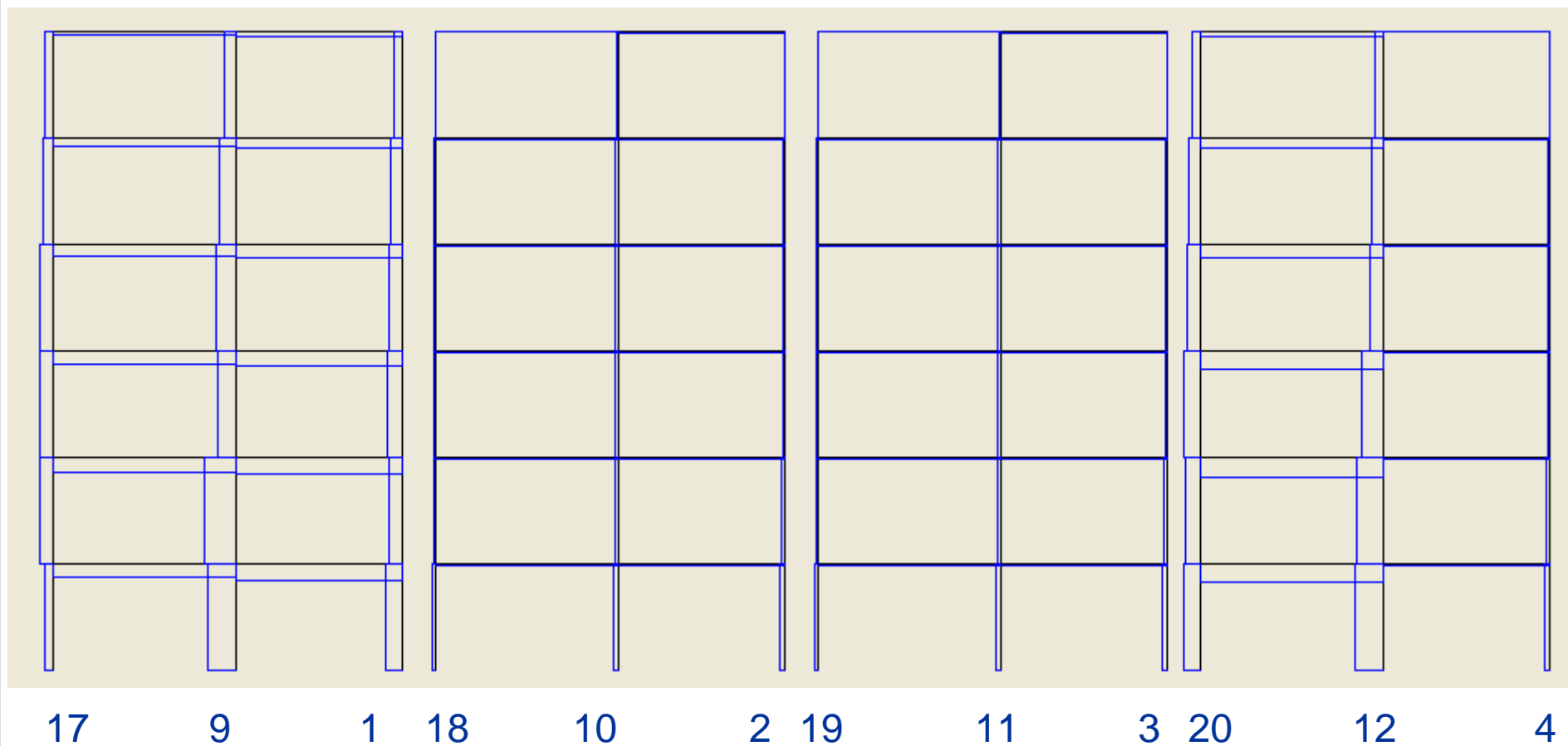
Sisma in direzione y

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, 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

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, 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

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

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)	N _g
		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(N _g) (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

$$V = \frac{2 \times 69.10}{2.70} = 51.19 \text{ kN}$$

Esempio

risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	N _g
		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 _g) (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)	Nq
		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(Nq) (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

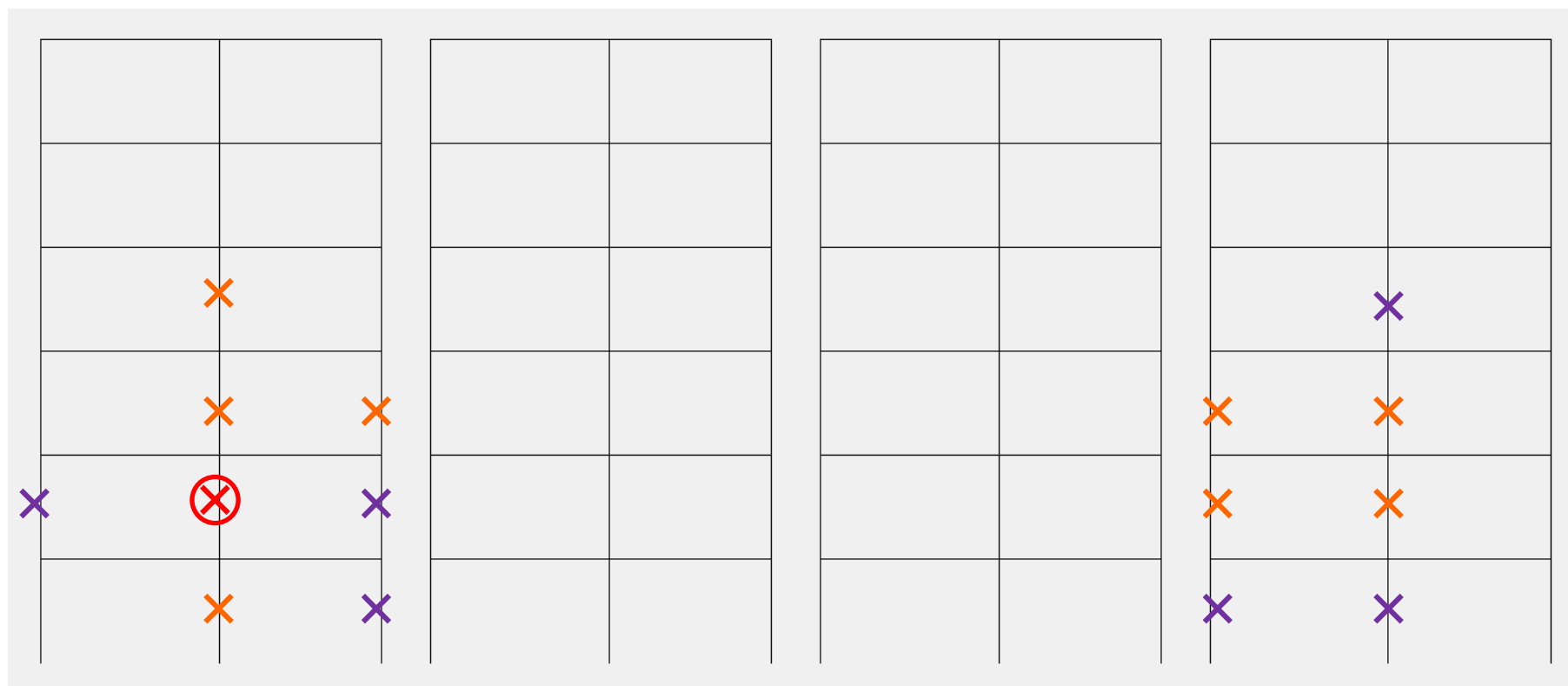
La sezione più vulnerabile è quella del pilastro 9, II ordine, per sisma in direzione y

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)



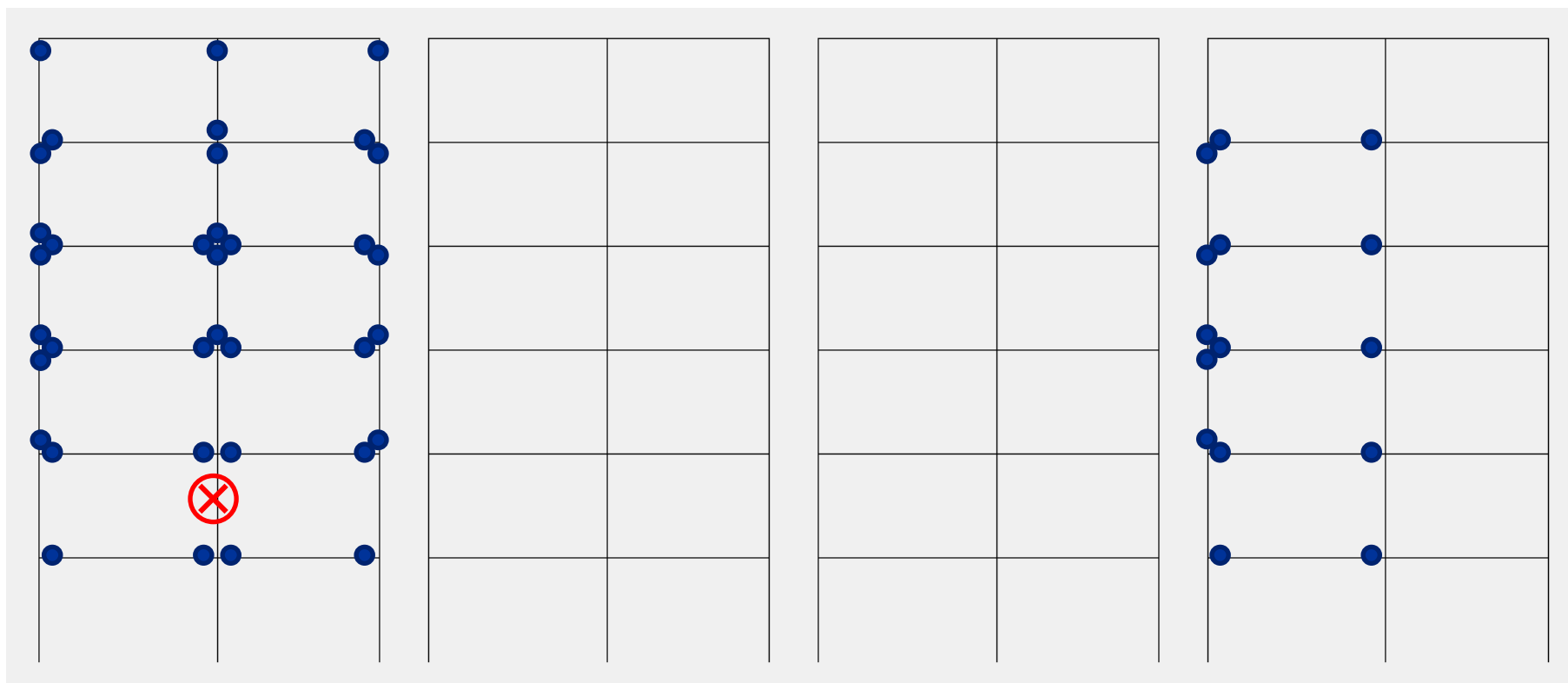
Altre rotture

$x < 30\%$ di 0.25 g

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

Telai in direzione y

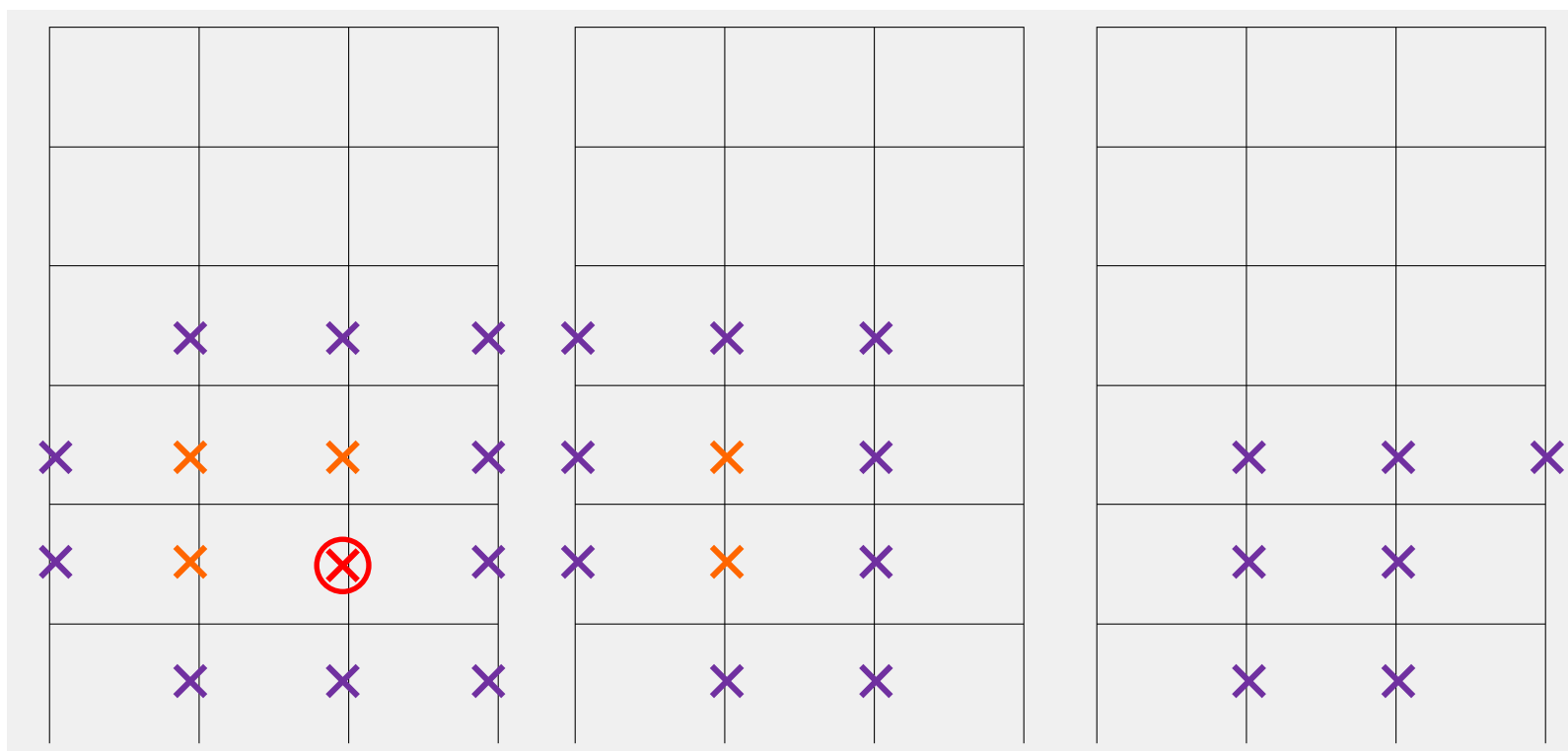
✗ La rottura a taglio avviene per $\rho=5.45$ (18.3% di 0.25 g)



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

Telai in direzione x

✗ La rottura a taglio avviene per $p=3.96$ (25.3% di 0.25 g)



Altre rotture

$x < 30\%$ di 0.25 g

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

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)

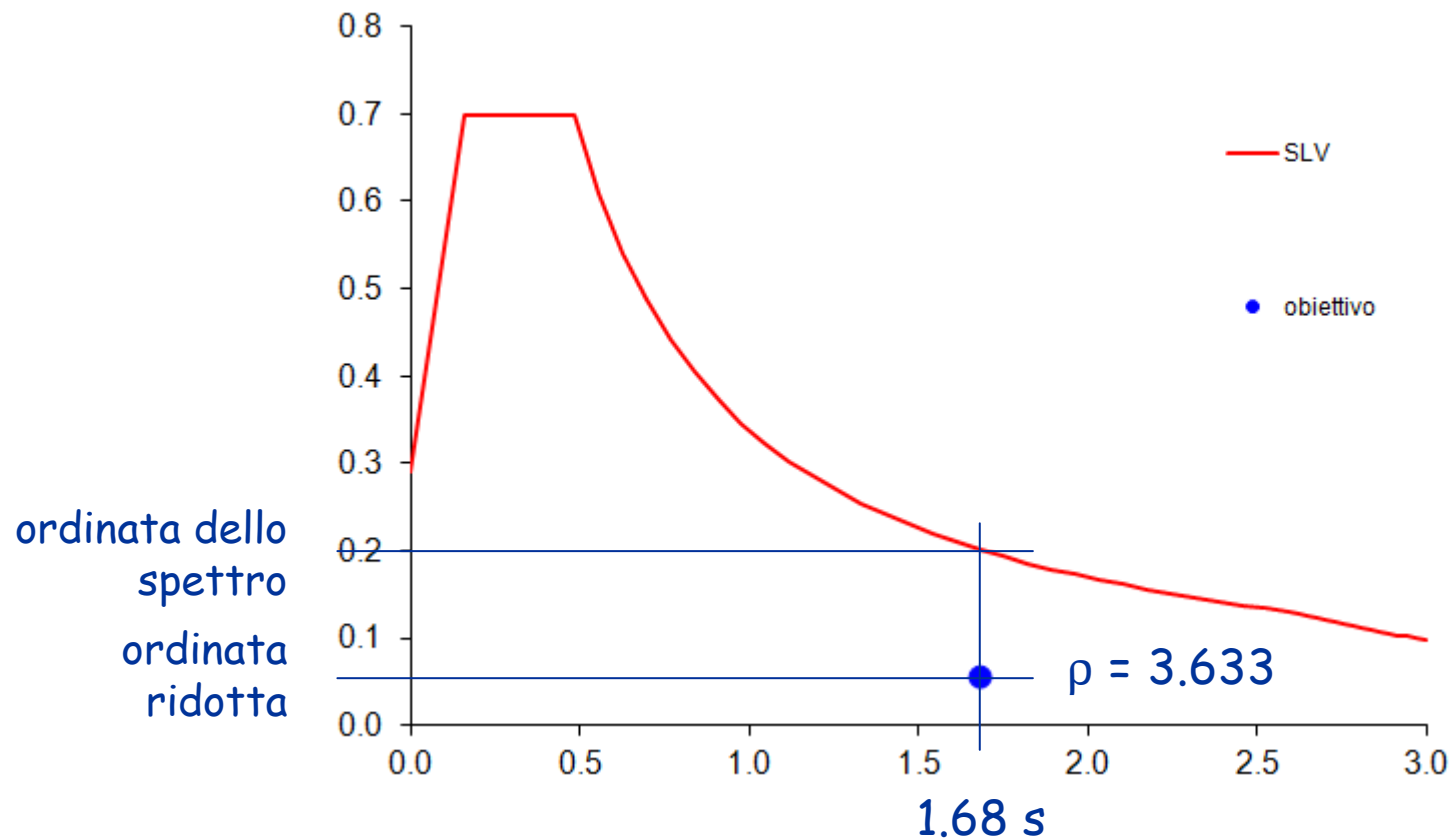
Spettri di risposta

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

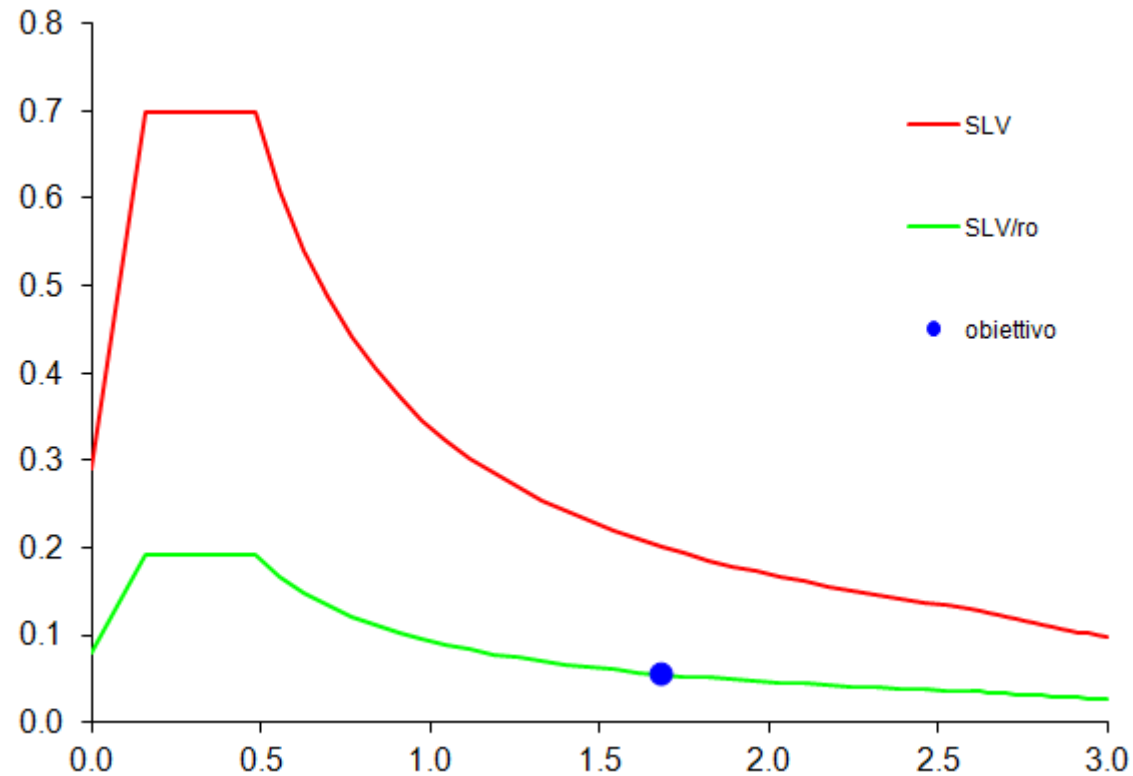
- Spettro richiesto e riduzione calcolata



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

Spettri di risposta possibile trasformazione

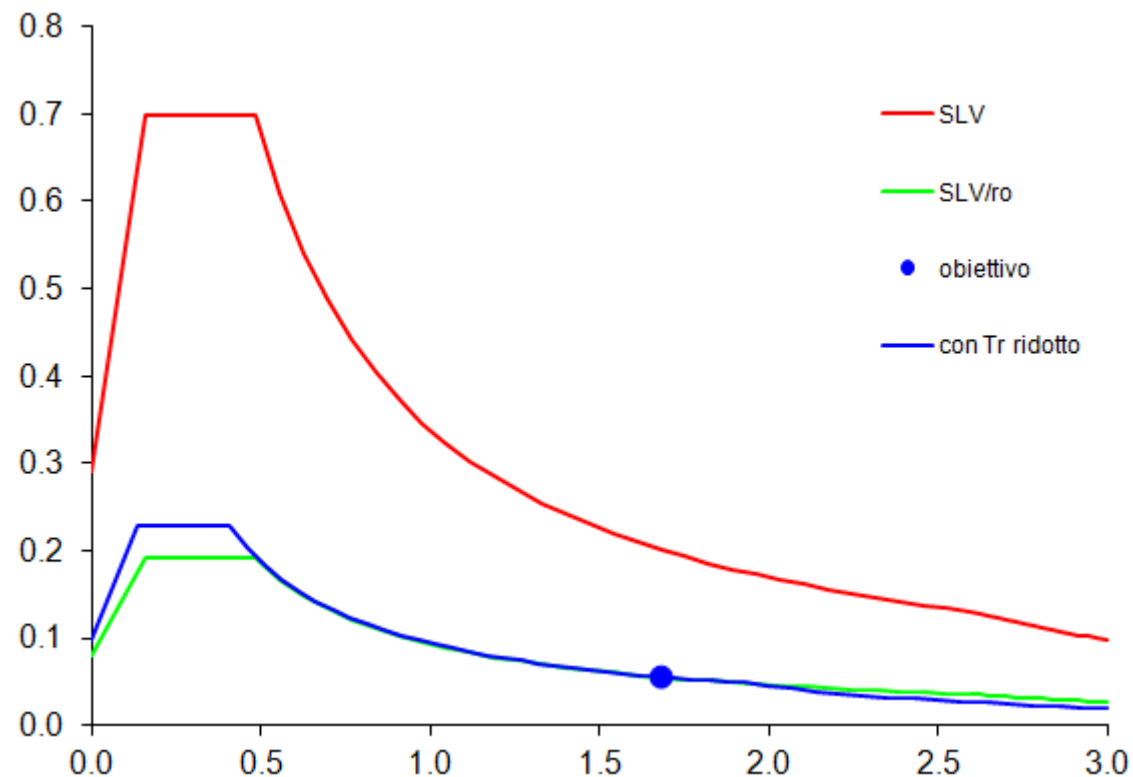
- Spettro ridotto di ρ



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:

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

$$a_g = 0.082 g$$

$$F_o = 2.316$$

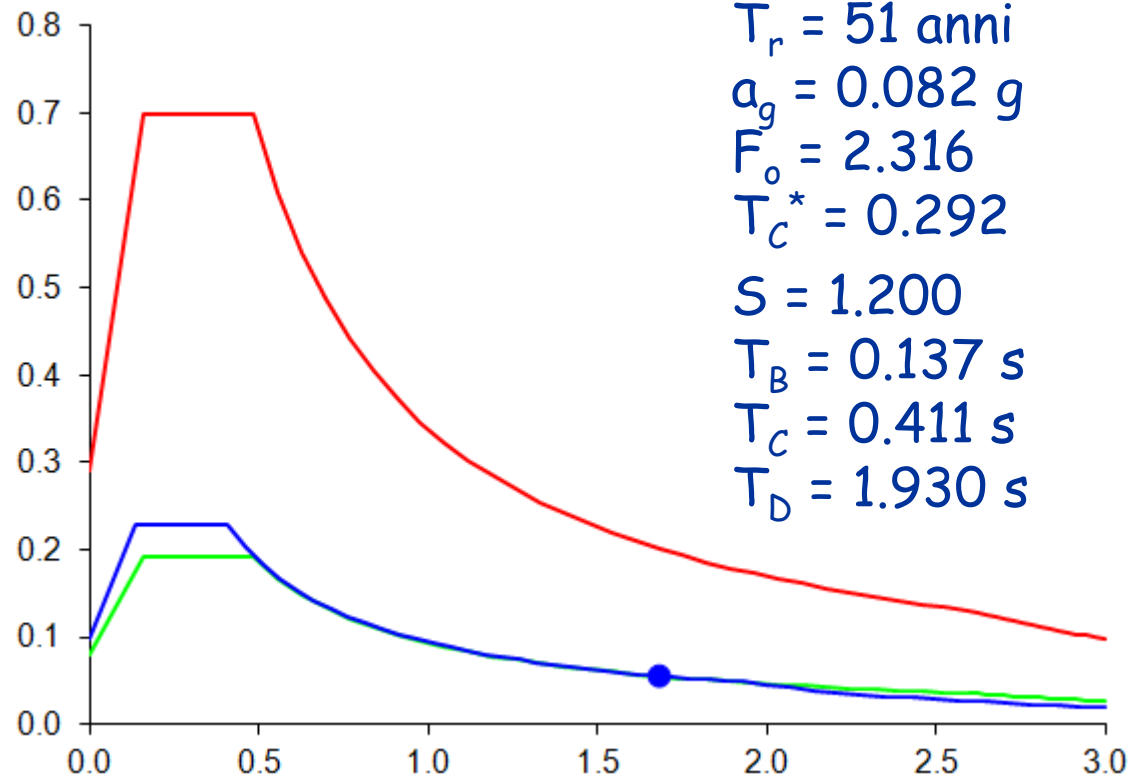
$$T_C^* = 0.292$$

$$S = 1.200$$

$$T_B = 0.137 s$$

$$T_C = 0.411 s$$

$$T_D = 1.930 s$$

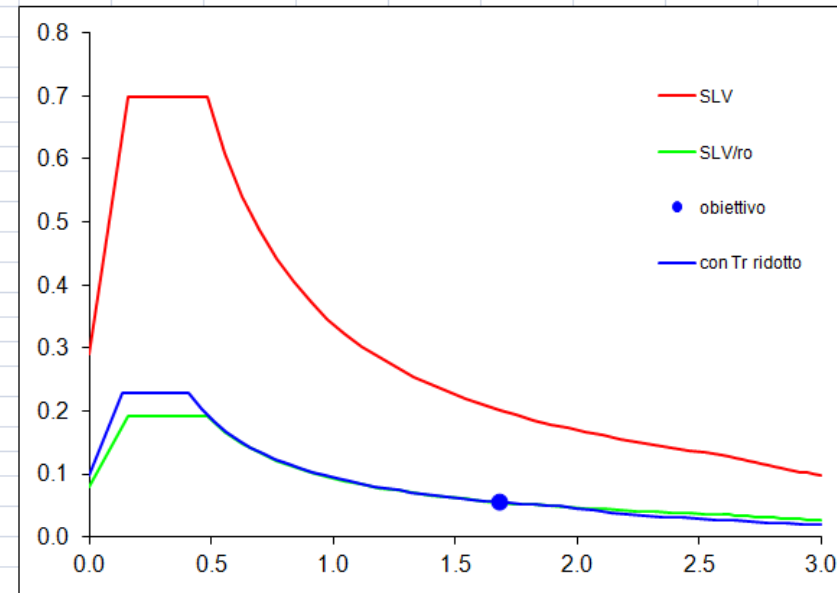


vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

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 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			



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"