

Corso di aggiornamento

## Verifica sismica degli edifici esistenti in c.a.

8 - Analisi lineare: verifica di resistenza - taglio

Forlì

29-31 gennaio 2015

Aurelio Gheresi

# Analisi lineare

## Utilizzo dei risultati per verifica a taglio

Una volta determinate le sollecitazioni:

- esaminare i risultati per individuare rotture fragili
  - Determinare la resistenza a taglio delle sezioni (in particolare, dei pilastri).  
La normativa fornisce indicazioni su quali valori utilizzare per la resistenza dei materiali nel fare le verifiche

# Verificare i pilastri a taglio

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

Resistenze da usare:

per verifiche del comportamento "fragile" di una singola sezione :

$$\frac{f_m}{FC \gamma_M}$$

per verifiche del comportamento globale "duttile" di una struttura :

$$\frac{f_m}{FC}$$

# 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 <b>e</b> <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca <b>e</b> <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ <b>oppure</b> <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ <b>oppure</b> <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ <b>oppure</b> <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ <b>oppure</b> <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1.00

I fattori di confidenza sono ulteriori coefficienti di sicurezza

# Valori delle resistenze da utilizzare

## riepilogo (con $FC=1.2$ )

### Valori sperimentali:

- Per il calcestruzzo  $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

### Valori di riferimento, da usare per rotture "duttili":

- Per il calcestruzzo  $f_{cm}/FC = 15.83 \text{ MPa}$  (x0.85 ove necessario)
- Per l'acciaio  $f_{ym}/FC = 350 \text{ MPa}$

### Valori di calcolo, da usare per rotture "fragili":

- Per il calcestruzzo  $f_{cm}/FC / \gamma_c = 10.56 \text{ MPa}$  (x0.85 ove necessario)
- Per l'acciaio  $f_{ym}/FC / \gamma_s = 304.3 \text{ MPa}$

### Valori incrementati, da usare quando necessario:

- Per il calcestruzzo  $f_{cm} \times FC = 22.8 \text{ MPa}$  (x0.85 ove necessario)
- Per l'acciaio  $f_{ym} \times FC = 504 \text{ MPa}$

# Resistenza 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

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

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

# 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

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

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

$$\alpha_c = \begin{cases} 1 & \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd} \\ 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} & \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd} \\ 1,25 & \text{per } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd} \\ 2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd}) & \text{per } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd} \end{cases}$$

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	Nq	b	h	n	n	fi	As	staffe		Ast/m
					tot				fi	passo	cm2/m
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	5	163.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62	6	20	2.83

VRd		VRd,s	VRd,c	VRd,max
kN		kN	kN	kN
		cot teta=2.5		
50.34		50.34	25.02	117.48
50.34		50.34	26.29	130.61
50.34		50.34	27.56	135.74
50.34		50.34	28.83	135.74
50.34		50.34	32.71	118.01
50.34		50.34	44.37	174.92

Sezione 30×30    staffe Ø6/20

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,s} &= 0.9 d \frac{A_{st}}{s} f_y \cot \theta = \\
 &= 0.9 \times 26 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 50.34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max} &= 0.9 b d \alpha_c f'_c \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = \\
 &= 0.9 \times 30 \times 26 \times 1.25 \times \frac{8.97}{2} \times \frac{2.5}{1 + 2.5^2} \times 10^{-1} = 135.74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



# Esempio

## risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As	staffe		Ast/m
					tot				fi	passo	cm2/m
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	5	163.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62	6	20	2.83

VRd		VRd,s	VRd,c	VRd,max
kN		kN	kN	kN
		cot teta=2.5		
50.34		50.34	25.02	117.48
50.34		50.34	26.29	130.61
50.34		50.34	27.56	135.74
50.34		50.34	28.83	135.74
50.34		50.34	32.71	118.01
50.34		50.34	44.37	174.92

Sezione 30×30    staffe Ø6/20

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

Nota:

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

# Utilizzo dei risultati

Una volta determinate le sollecitazioni:

- esaminare i risultati per individuare rotture fragili
  - Determinare la resistenza a taglio delle sezioni (in particolare, dei pilastri).  
La normativa fornisce indicazioni su quali valori utilizzare per la resistenza dei materiali nel fare le verifiche
  - 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  $M_R$

Nota: una maggior resistenza a flessione consente di raggiungere valori più alti del taglio (e maggior rischio di rottura a taglio). Per questo occorre determinare  $M_R$  maggiorando la resistenza

# Momento resistente e massimo taglio direzione x

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As	staffe		Ast/m
					tot				fi	passo	cm2/m
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	5	163.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62	6	20	2.83
2	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
2	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
2	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	6	20	2.83
4	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
4	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
										20	2.83

Con resistenze maggiorate

max MRd(Nq) kNm	max VEd kN
	h net=2.70
38.53	28.54
49.12	36.39
58.57	43.39
66.84	49.51
82.55	61.15
111.98	82.95
43.21	32.01
56.98	42.21
68.47	50.72
127.04	94.10
187.53	138.91
258.85	191.74
43.21	32.01
56.98	42.21
68.47	50.72
127.04	94.10
187.53	138.91

$$V = \frac{2 \times 66.84}{2.70} = 49.51 \text{ kN}$$

Il pilastro si plasticizza e il taglio non può superare questo valore

Nota: in realtà durante il sisma N varia e quindi anche  $M_{Rd}$  varia, ma l'effetto è in genere trascurabile

# Momento resistente e massimo taglio direzione x

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As	staffe		Ast/m
					tot				fi	passo	cm2/m
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	5	163.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62	6	20	2.83
2	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
2	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
2	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
2	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
3	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
3	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	6	20	2.83
4	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
4	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
4	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
										20	2.83

VRd	max MRd(Nq)	max VEd
kN	kNm	kN
		h net=2.70
50.34	38.53	28.54
50.34	49.12	36.39
50.34	58.57	43.39
50.34	66.84	49.51
50.34	82.55	61.15
50.34	111.98	82.95
50.34		
50.34	43.21	32.01
50.34	56.98	42.21
50.34	68.47	50.72
69.70	127.04	94.10
89.06	187.53	138.91
108.43	258.85	191.74
50.34	43.21	32.01
50.34	56.98	42.21
50.34	68.47	50.72
69.70	127.04	94.10
89.06	187.53	138.91
108.43	258.85	191.74

Dove la resistenza a taglio è maggiore del taglio massimo non si può avere rottura a taglio

# Momento resistente e massimo taglio direzione y

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As	staffe		Ast/m
					tot				fi	passo	cm2/m
17	6	50.5	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
17	5	132.5	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
17	4	214.5	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
17	3	296.5	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
17	2	378.5	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
17	1	460.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
9	6	94.6	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
9	5	227.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
9	4	360.8	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
9	3	493.9	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
9	2	629.3	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
9	1	766.9	30	50	6	2	14	3.08	6	20	2.83
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	5	163.7	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
1	1	556.4	30	40	6	2	14	3.08	6	20	2.83
18	6	76.8	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
18	5	181.6	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
18	4	286.4	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
18	3	391.2	30	30	4	2	12	2.26	6	20	2.83
18	2	496.0	30	30	4	2	14	3.08	6	20	2.83
										20	2.83

VRd	max MRd(Nq)	max VEd
kN	kNm	kN
		h net=2.70
50.34	36.73	27.21
50.34	45.86	33.97
50.34	54.19	40.14
50.34	61.69	45.70
50.34	68.36	50.63
50.34	82.81	61.34
50.34		
50.34	41.74	30.92
50.34	55.45	41.07
50.34	66.99	49.62
50.34	84.91	62.89
69.70	137.54	101.88
89.06	200.59	148.58
50.34	38.53	28.54
50.34	49.12	36.39
50.34	58.57	43.39
50.34	66.84	49.51
50.34	82.55	61.15
69.70	130.84	96.92

Dove la resistenza a taglio è maggiore del taglio massimo non si può avere rottura a taglio

# Utilizzo dei risultati

Una volta determinate le sollecitazioni:

- esaminare i risultati per individuare rotture fragili
  - Determinare la resistenza a taglio delle sezioni (in particolare, dei pilastri).  
La normativa fornisce indicazioni su quali valori utilizzare per la resistenza dei materiali nel fare le verifiche
  - 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
  - Infine si determina il moltiplicatore del sisma che porta a rottura la singola sezione



# Esempio

## risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	max	max	
						MRd(Nq) kNm	VEd kN	VRd (kN)
		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	38.53	28.54	50.34
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	49.12	36.39	50.34
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	58.57	43.39	50.34
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	66.84	49.51	50.34
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	82.55	61.15	50.34
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	111.98	82.95	50.34

ag/g	ρ	1/ρ
	3.958	25.3%
ok	ok	ok
ok	ok	ok
ok	ok	ok
ok	ok	ok
0.118	2.120	47.2%
0.145	1.725	58.0%

Sezione 30×30 staffe Ø6/20

$$V_{Rd} = 50.34 \text{ kN}$$

Per  $a_g = 0.25 \text{ g}$   $V_{Ed} = 106.74 \text{ kN}$

$$\rho = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{106.74}{50.34} = 2.120$$

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

$$a_g = 0.25 \times 0.472 = 0.118 \text{ g}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{2.120} = 0.472 = 47.2\%$$



# Esempio

## risultati dell'analisi modale, pilastri direzione x

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	max	max	
						MRd(Nq) kNm	VEd kN	VRd (kN)
		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	38.53	28.54	50.34
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	49.12	36.39	50.34
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	58.57	43.39	50.34
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	66.84	49.51	50.34
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	82.55	61.15	50.34
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	111.98	82.95	50.34

ag/g	$\rho$	1/ $\rho$
	3.958	25.3%
ok	ok	ok
ok	ok	ok
ok	ok	ok
ok	ok	ok
0.118	2.120	47.2%
0.145	1.725	58.0%

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

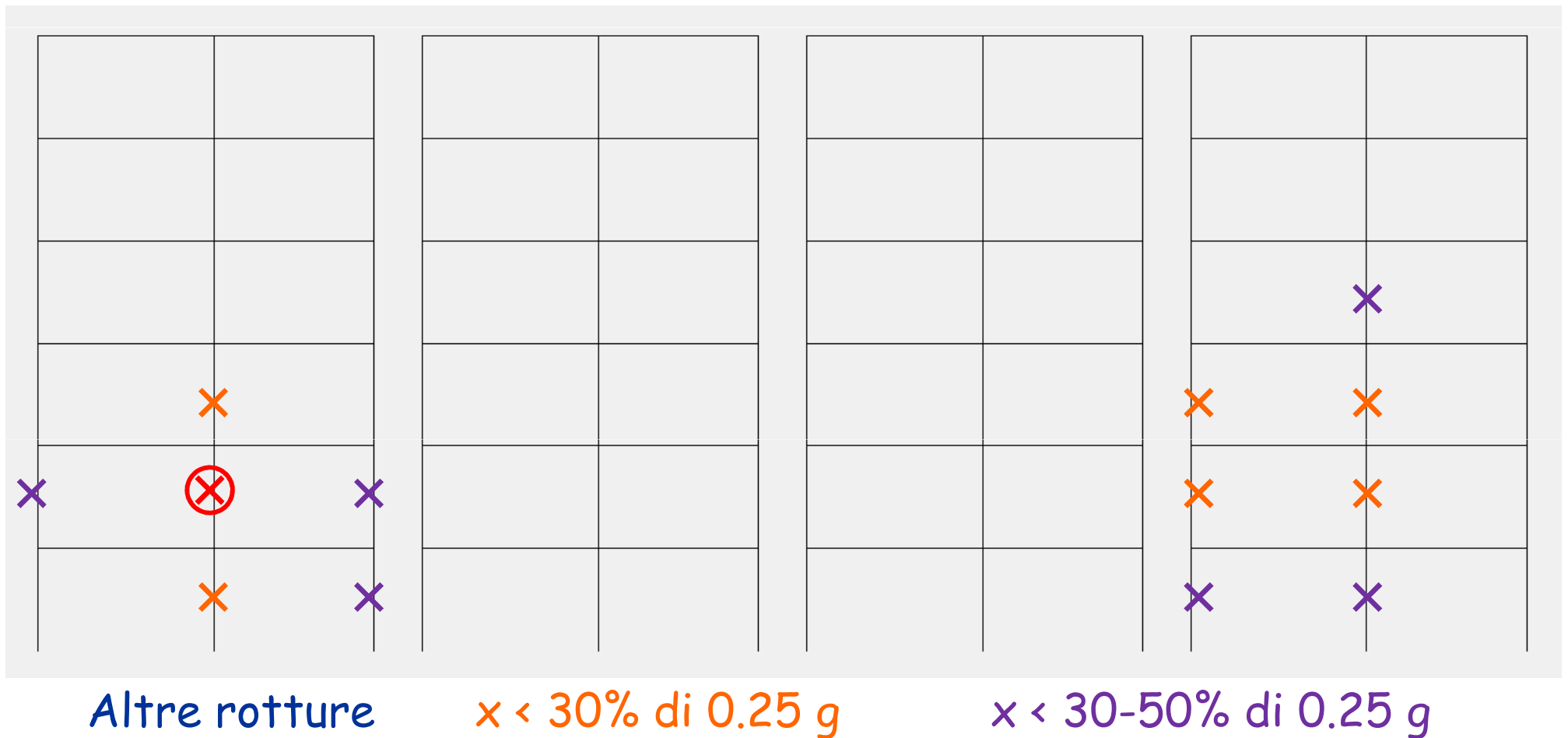
La sezione più vulnerabile è quella del pilastro 9, II ordine, per sisma in direzione y

La rottura a taglio avviene per  $a_g = 0.046 g$  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  $a_g = 0.250 g$

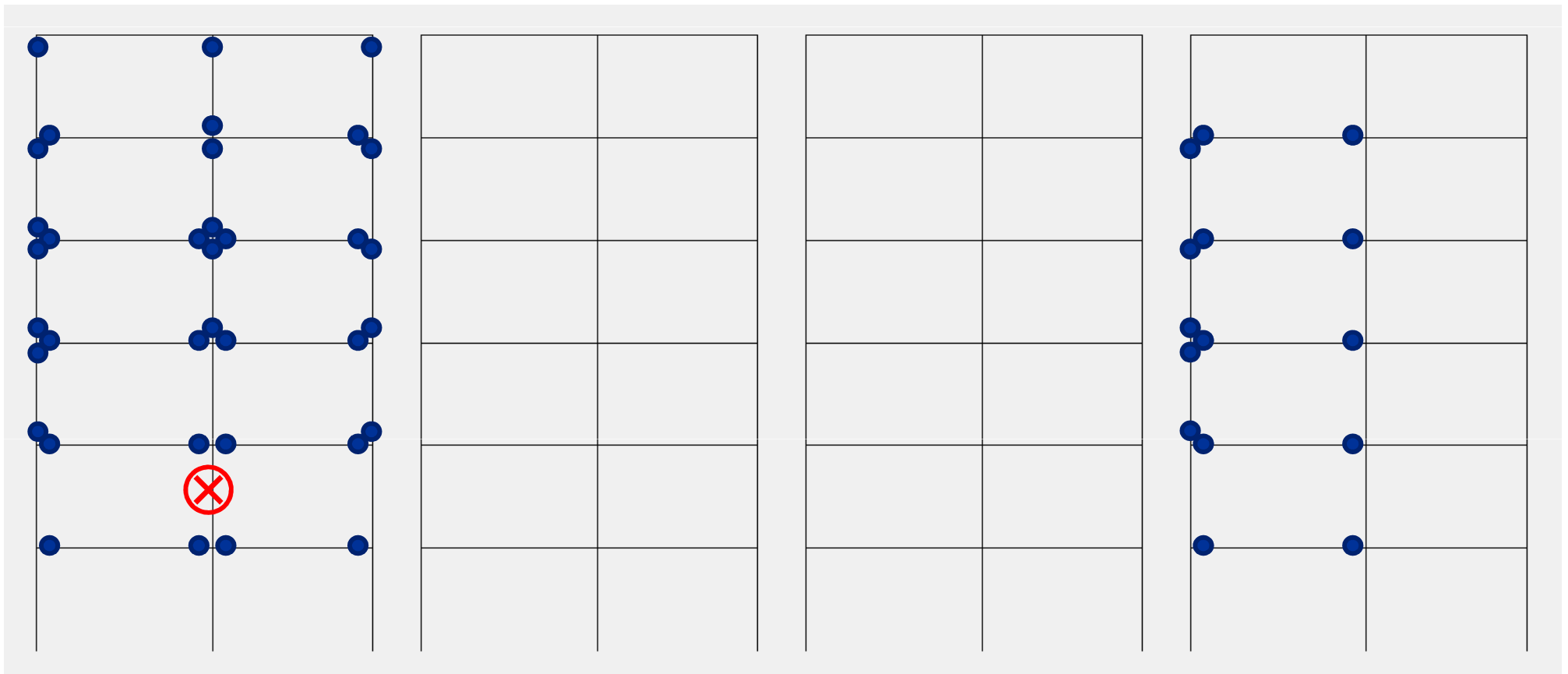
# Telai in direzione y

✗ La rottura a taglio avviene per  $\rho=5.45$  (18.3% 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  $\rho=3.96$  (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



# Nota

## Analisi semplificata

- Effettuando una stima approssimata del taglio si sarebbero ottenuti valori abbastanza simili

piano	2			
pil	VEd	VRds	$\rho$	$1/\rho$
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%

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

Nell'esempio;

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

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

# Considerazioni

# Spettri di risposta

## una considerazione

- Per l'Eurocodice 8 (e in precedenti versioni delle norme italiane) la forma dello spettro (e i valori  $F_0$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ ) 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  $T_1$ )

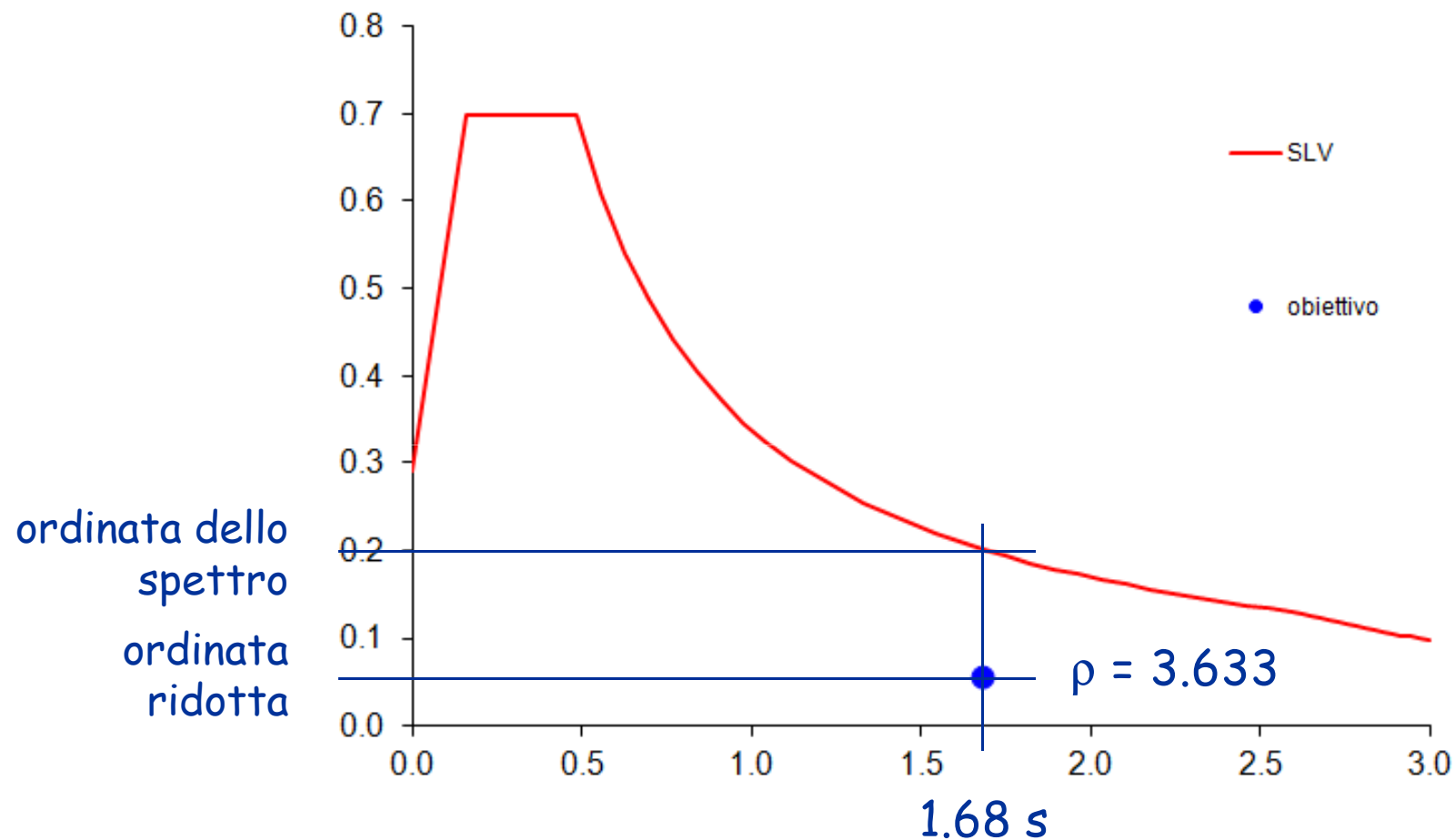
# Spettri di risposta

## 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  $\rho$  per cui dividere lo spettro perché la verifica sia soddisfatta (o l'aliquota  $1/\rho$  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  $\rho$

# Spettri di risposta possibile trasformazione

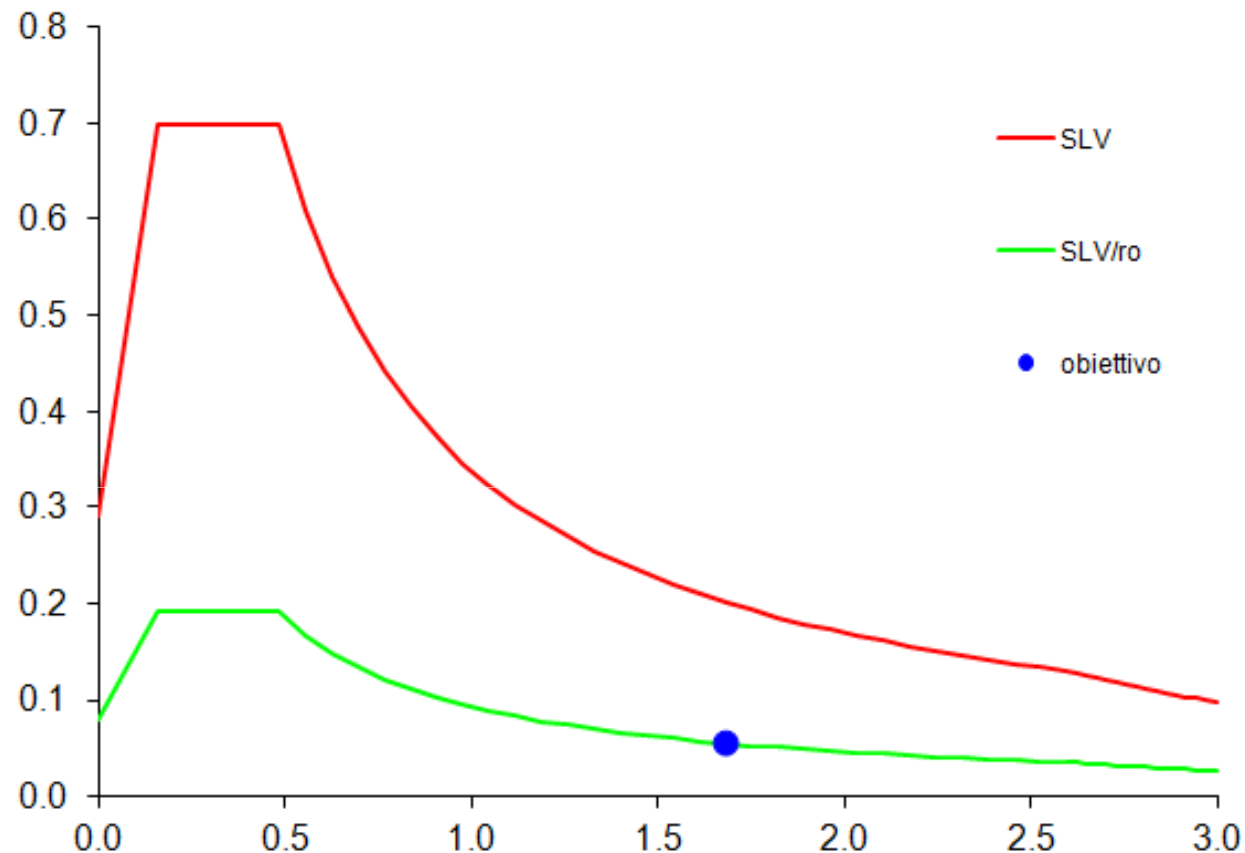
- Spettro richiesto e riduzione calcolata



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"

# Spettri di risposta possibile trasformazione

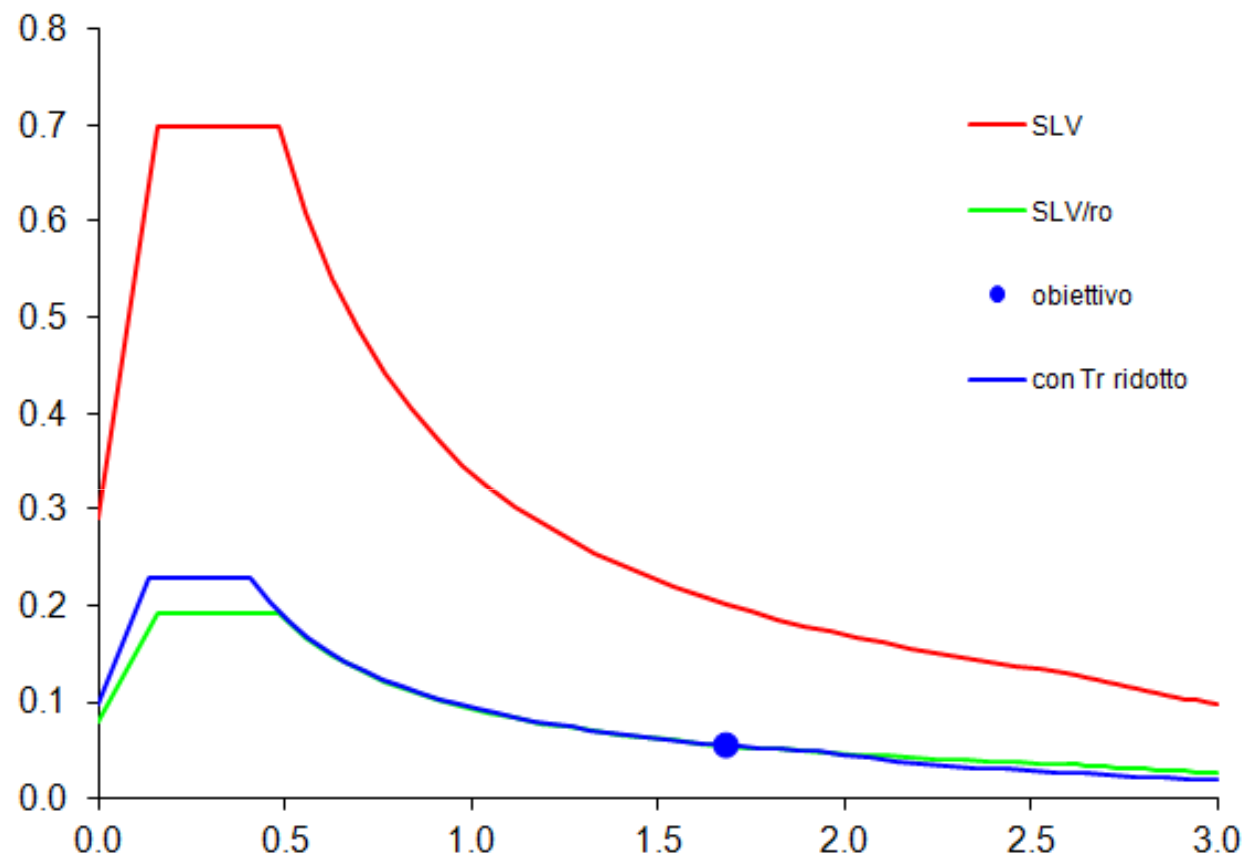
- Spettro ridotto di  $\rho$



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:

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

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

$$F_o = 2.316$$

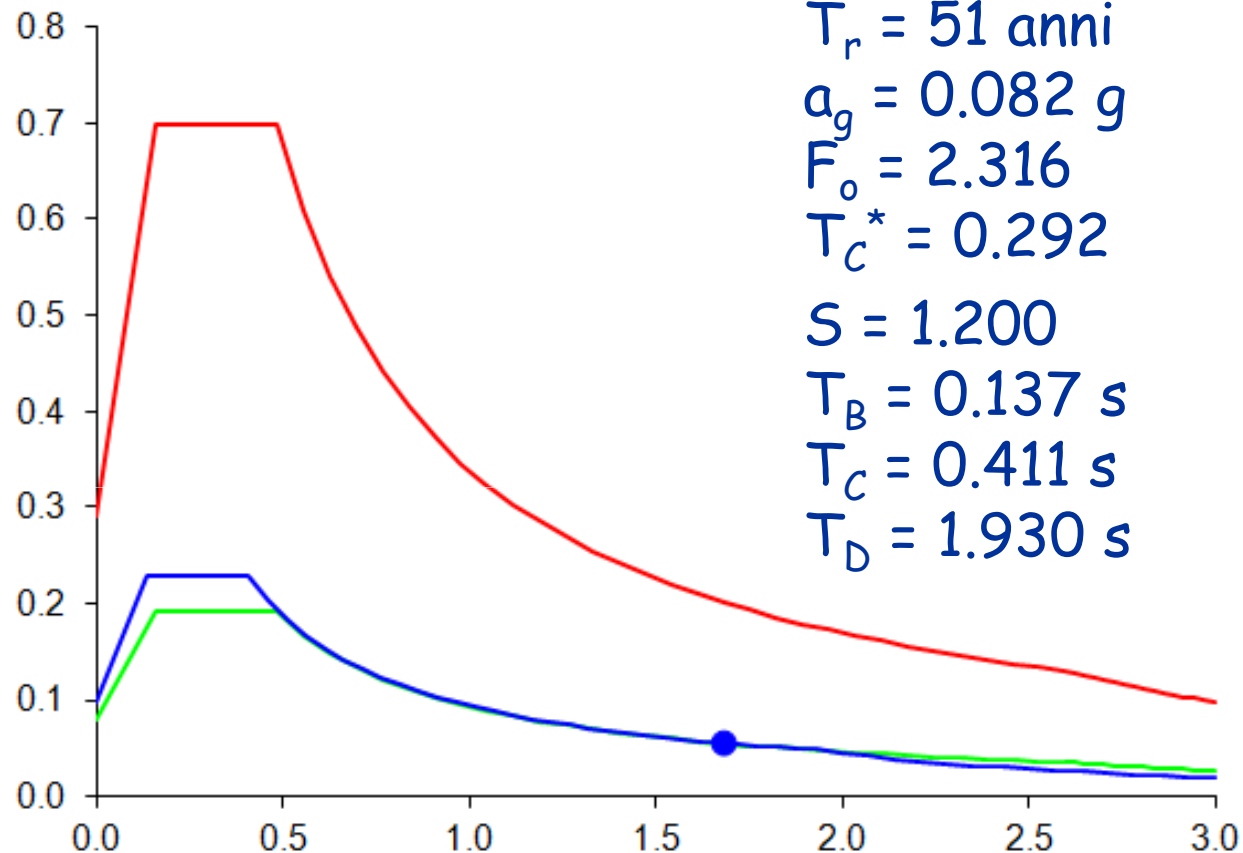
$$T_C^* = 0.292$$

$$S = 1.200$$

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

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

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



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"



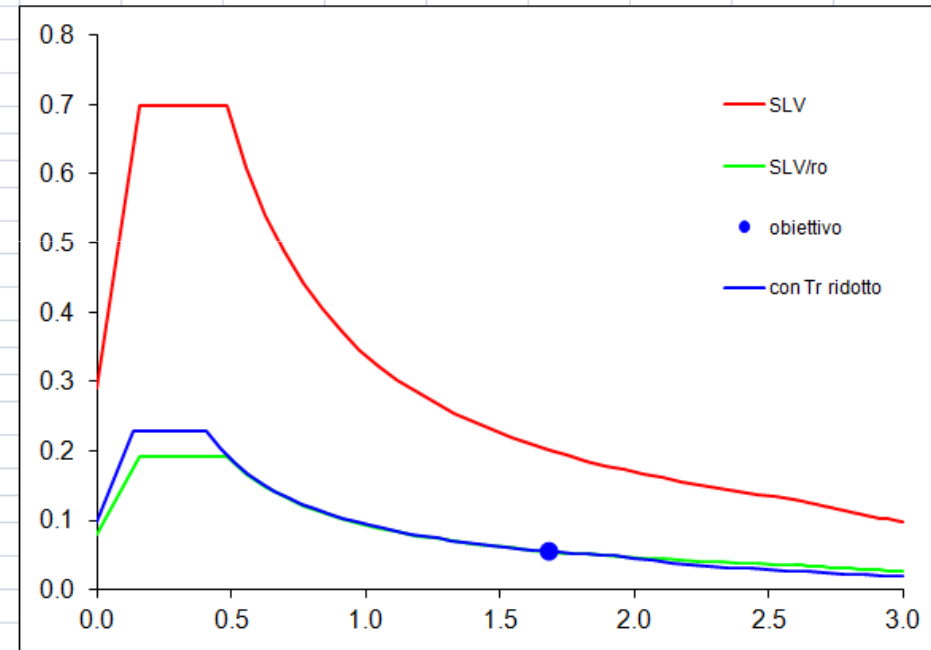
# Spettri di risposta possibile trasformazione

- 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 $\rho$		$\rho =$	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				

Legend:

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



vedi file Excel "Spettri 2012 con modifica EdEsist"