

Corso

Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

17 - Stima più precisa delle rigidezze
e controllo del dimensionamento

15-16 novembre 2017

Aurelio Ghersi

Controllo del dimensionamento

Approssimazioni insite nella fase precedente:

1. Il periodo proprio della struttura è stato stimato con formule semplificate
Ora occorre controllarlo
2. Le forze statiche sono state ripartite tra i pilastri "che contano" o in base a rapporti di rigidezza valutati a occhio
Ora occorre controllare meglio le rigidezze
3. Il bilanciamento delle rigidezze della struttura è stato stimato a occhio
Ora può essere verificato numericamente

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali

Per tutte e tre gli aspetti occorre effettuare una stima più accurata delle rigidezze laterali dei pilastri

Possibili approcci:

1. Approccio globale semplificato Già visto
Molto rapido, ma utile solo per stimare il periodo
2. Approccio per tipologia di pilastro
3. Approccio dettagliato per singolo pilastro
Molto oneroso
4. Calcolo delle rigidezze a partire dai risultati di un calcolo a telaio
Utilizzabile solo in fasi successive, per un controllo delle rigidezze stimate in precedenza

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali

2. Approccio per tipologia di pilastro

- Si individuano le tipologie di pilastri, in funzione della loro sezione ed orientamento e delle travi che li vincolano
- Si accorpano tutti i casi di lunghezza trave simile, per ridurre il numero di tipologie
- Si determina la rigidezza di ciascuna tipologia con la formula citata in precedenza

$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{r_1 + r_2 + 2 r_1 r_2 / 3}{1 + (r_1 + r_2) / 6}}$$

$$\text{con } r_1 = \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,\text{sup}} / L_t} \quad r_2 = \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,\text{inf}} / L_t}$$

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali

3. Approccio dettagliato per singolo pilastro

- Analogo al 2, ma considerando per ciascun pilastro le effettive lunghezze delle travi
- Non lo consiglio, perché è molto oneroso e la maggior precisione non giustifica la fatica necessaria per utilizzarlo

In ogni caso anche questo approccio non è rigoroso

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali

4. Calcolo a posteriori

- Dopo aver effettuato la risoluzione dello schema intelaiato soggetto ad una distribuzione di forze plausibile (analisi statica, un modo dell'analisi modale) si conoscono tagli e spostamenti relativi per ciascun pilastro
- La rigidezza è pari al rapporto tra taglio del pilastro e spostamento relativo testa-piede
- Questo calcolo può essere utile a posteriori, per valutare la correttezza della stima iniziale delle rigidezze degli elementi strutturali

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

- Usate per comodità il foglio di calcolo Rigidezze (vers 2.1, set 2017)
- Usate un file per ciascun ordine di pilastri e rinominatelo in modo da evidenziare di quale piano si tratta; in ciascun file, un foglio per ogni tipo di pilastro
- Se più ordini hanno situazioni identiche usare un unico file

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

Rigidezze - versione 2.1	set-17									
Questo file vuole essere di aiuto per calcolare la rigidezza dei pilastri										
E' possibile duplicare i fogli, in modo da averne uno per ciascuna tipologia di pilastro										
Tipicamente, in un singolo file si conservano i dati di tutti i pilastri di un ordine										
E' possibile creare un Riepilogo che riporta i valori di ciascun foglio (i collegamenti devono essere impostati dall'utente)										
Singolo foglio Rig										
Occorre inserire i dati richiesti (caselle a discesa e valori evidenziati in rosso)										
Viene fornita la rigidezza e la posizione del punto di nullo di M (valori in blu)										

Vedi file Excel Rigidezze (vers 2.1, set 2017)

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

Superiormente			pilastro			k (t=inf)			98.92	kN/mm	
esiste un pilastro al di sopra ▼			b	30	cm	riduzione			0.335		
			h	70	cm						
			Lp	3.20	m	k			33.14	kN/mm	
Inferiormente									punto di nullo di M a	0.500	da base
esiste un pilastro al di sotto ▼											
Travi superiori e inferiori			travi (inf=sup)								
uguali tra loro ▼			trave sx=dx								
			b	30	cm						
			h	60	cm						
			Lt	4.00	m						
Travi a destra e sinistra											
due, dx e sx, uguali tra loro ▼											
E	31500	MPa									

Vedi file Excel Rigidezze (vers 2.1, set 2017) foglio rig-2 t em

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

pilastro	rig/def	travi em.	travi sp.	k	d inf	rapp k	n x	n y	nx appr	ny appr	kx	ky
30x70	rigido	2		33.14	0.500	1.00	10	11	10	11	331.4	364.5
30x70	rigido	1		19.90	0.500	0.60	3	3	2.1	2.1	59.7	59.7
70x30	deform.	2		13.31	0.500	0.40	1	0	0.3	0	13.3	0.0
70x30	deform.	1		10.51	0.500	0.32	5	7	0.5	0.7	52.5	73.6
70x30	deform.		2	3.87	0.500	0.12	4	2			15.5	7.7
70x30	deform.		1	2.16	0.500	0.07	4	4			8.7	8.7
							27	27			481.1	514.2
n eq									12.9	13.8	14.52	15.52
					33.14	19.90	13.31	10.51	3.87	2.16	481.1	514.2
					1.00	0.60	0.40	0.32	0.12	0.07	14.52	15.52

Vedi file Excel Rigidezze (vers 2.1, set 2017) foglio riepilogo

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

- Riepilogo valori ottenuti

Rigidezze						
	30x70	30x70	70x30	70x30	70x30	70x30
Piano	2 emerg.	1 emerg.	2 emerg.	1 emerg.	2 spess.	1 spess.
5	27.36	16.04	12.18	9.19	3.87	2.16
4	33.14	19.90	13.31	10.51	3.87	2.16
3	33.14	19.90	13.31	10.51	3.87	2.16
2	33.14	19.90	13.31	10.51	3.87	2.16
1	41.31	32.91	11.06	9.87	6.19	4.97

Rigidezze normalizzate						
	30x70	30x70	70x30	70x30	70x30	70x30
Piano	2 emerg.	1 emerg.	2 emerg.	1 emerg.	2 spess.	1 spess.
5	1.00	0.59	0.45	0.34	0.14	0.08
4	1.00	0.60	0.40	0.32	0.12	0.07
3	1.00	0.60	0.40	0.32	0.12	0.07
2	1.00	0.60	0.40	0.32	0.12	0.07
1	1.00	0.80	0.27	0.24	0.15	0.12

Vedi file Excel 2_Controllo dimensionamento foglio Rigidezze

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

- Rigidezza totale in direzione x

direzione x									
	2 emerg.	1 emerg.	2 emerg.	1 emerg.	2 spess.	1 spess.			
n.pil	10	3	1	5	4	4			
Piano	Σk	Σk	Σk	Σk	Σk	Σk	totale	rapp.piano	pilastri eq.
5	273.6	48.1	12.2	46.0	15.5	8.7	403.9		14.77
4	331.4	59.7	13.3	52.5	15.5	8.7	481.1	1.191	14.52
3	331.4	59.7	13.3	52.5	15.5	8.7	481.1	1.000	14.52
2	331.4	59.7	13.3	52.5	15.5	8.7	481.1	1.000	14.52
1	413.1	98.7	11.1	49.4	24.8	19.9	616.9	1.282	14.93

Rapporto
rigidezze tra i
piani adiacenti

Pilastri
equivalenti

Vedi file Excel 2_Controllo dimensionamento foglio Rigidezze

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

- Rigidezza totale in direzione y

direzione y									
	30x70	30x70	70x30	70x30	70x30	70x30			
	2 emerg.	1 emerg.	2 emerg.	1 emerg.	2 spess.	1 spess.			
n.pil	11	3	0	7	2	4			
Piano	Σk	Σk	Σk	Σk	Σk	Σk	totale	rapp.piano	pilastri eq.
5	300.9	48.1	0.0	64.3	7.7	8.7	429.8		15.71
4	364.5	59.7	0.0	73.6	7.7	8.7	514.2	1.196	15.52
3	364.5	59.7	0.0	73.6	7.7	8.7	514.2	1.000	15.52
2	364.5	59.7	0.0	73.6	7.7	8.7	514.2	1.000	15.52
1	454.4	98.7	0.0	69.1	12.4	19.9	654.5	1.273	15.84

Rapporto
rigidezze tra i
piani adiacenti

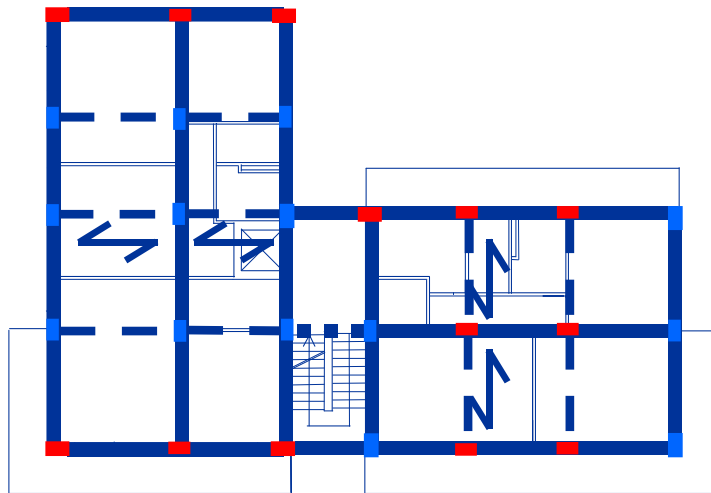
Pilastri
equivalenti

Vedi file Excel 2_Controllo dimensionamento foglio Rigidezze

Controllo del dimensionamento

Stima delle rigidezze laterali - approccio 2

- Riepilogo rigidezze
approccio 2: singola tipologia di pilastro



ordine	K_x [kN/mm ²]	K_y [kN/mm ²]
5	404.0	429.8
4	481.1	514.2
3	481.1	514.2
2	481.1	514.2
1	616.9	654.5

I valori totali sono molto simili a quelli ottenuti con l'approccio 1

Controllo del dimensionamento

Approssimazioni insite nella fase precedente:

1. Il periodo proprio della struttura è stato stimato con formule semplificate

Ora occorre controllarlo

2. Le forze statiche sono state ripartite tra i pilastri "che contano" o in base a rapporti di rigidezza valutati a occhio

Ora occorre controllare meglio le rigidezze

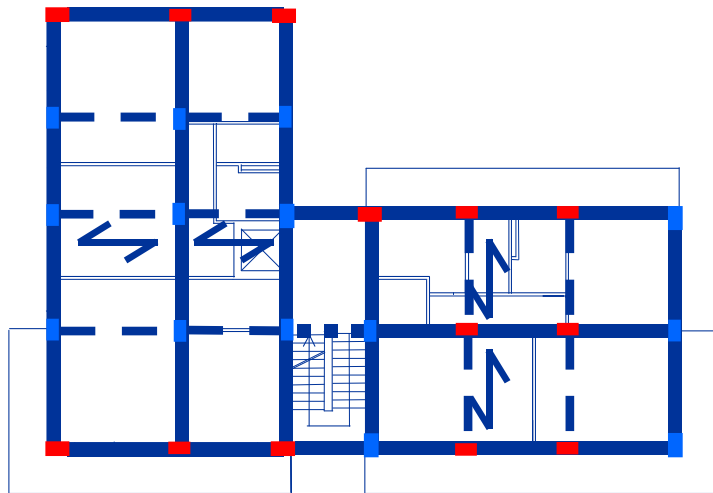
3. Il bilanciamento delle rigidezze della struttura è stato stimato a occhio

Ora può essere verificato numericamente

Controllo del dimensionamento

Controllo del periodo

- Stima periodo con formula di Rayleigh
approccio 2: singola tipologia di pilastro



Si trova:

$$T_x = 0.562 \text{ s}$$

$$T_y = 0.544 \text{ s}$$

Con approccio 3, esaminando i pilastri
uno ad uno:

$$T_x = 0.564 \text{ s}$$

$$T_y = 0.548 \text{ s}$$

Controllo del dimensionamento

Controllo del periodo

- La formula di normativa aveva fornito un periodo $T=0.611\text{ s}$
- Le valutazioni più precise forniscono un periodo compreso tra 0.54 s e 0.58 s (leggermente minore per la direzione y, che è un po' più rigida)
- Questa differenza porterebbe ad un leggero incremento di sollecitazioni (circa il 10%)...
... ma il dimensionamento fatto non verrebbe modificato

Controllo del dimensionamento

Approssimazioni insite nella fase precedente:

1. Il periodo proprio della struttura è stato stimato con formule semplificate

Ora occorre controllarlo

2. Le forze statiche sono state ripartite tra i pilastri "che contano" o in base a rapporti di rigidezza valutati a occhio

Ora occorre controllare meglio le rigidezze

3. Il bilanciamento delle rigidezze della struttura è stato stimato a occhio

Ora può essere verificato numericamente

Ripartizione del taglio tra i pilastri e previsione del momento flettente

- In fase di dimensionamento si è ipotizzato che il taglio di piano si dividesse tra 13 pilastri in direzione x e 14 in direzione y
- Dividendo la rigidezza totale (approccio 2) per quella del pilastro più rigido si ottiene

ordine	x - pilastri equivalenti	y - pilastri equivalenti
5	14.76	15.71
4, 3, 2	14.52	15.52
1	14.93	15.84

Ripartizione del taglio tra i pilastri e previsione del momento flettente

- In sostanza, è come se il taglio di piano si dividesse tra 14.5 pilastri in direzione x (anziché 13) e 15.5 in direzione y (anziché 14)
- I pilastri più rigidi porteranno quindi un taglio (e un momento flettente) leggermente minore rispetto alla previsione
- I pilastri rigidi di estremità porteranno il 60% di questi valori.

Quindi anche per la trave ad essi adiacente il momento flettente non sarà molto diverso da quanto previsto (si era ripartito un M_{\max} tra due travi, ora si ha circa $0.6 M_{\max}$ su una singola trave)

Nuova previsione - x

con forze e numero pilastri variato

Sisma in direzione x			n.pilastri	var		Ltra	4.10	m		increment. F	1.088			
Risoluzione dello schema base, traslante														
piano	Vi TOT	hi	n.pil	Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil						
5 + torino	597.8	3.20	14.77	40.5	64.8	32.4	15.8	15.8						
4	1053.1	3.20	14.52	72.5	116.1	90.4	44.1	59.9						
3	1398.0	3.20	14.52	96.3	154.1	135.1	65.9	125.8						
2	1632.5	3.20	14.52	112.5	179.9	167.0	81.5	207.3						
1 testa	1733.5	3.60	14.93	116.1	167.2	173.5	84.6	291.9						
1 piede					250.7									
Valori a filo pilastro/trave														
piano				Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil		Incremento per gerarchia delle resistenze				
5 + torino				40.5	58.3	29.2	15.8	15.8		incr.	Mpil			
4				72.5	104.5	81.4	44.1	59.9		1.5	156.7			
3				96.3	138.7	121.6	65.9	125.8		1.5	208.0			
2				112.5	161.9	150.3	81.5	207.3		1.5	242.9			
1 testa				116.1	150.4	156.2	84.6	291.9		1.5	225.7			
1 piede					250.7					1	250.7			
Incremento per eccentricità (solo telai eccentrici)														
piano			incr.	Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil		Incremento per gerarchia delle resistenze				
5 + torino			1.20	48.6	70.0	35.0	19.0	19.0		incr.	Mpil			
4			1.20	87.0	125.3	97.6	52.9	71.9		1.5	188.0			
3			1.20	115.6	166.4	145.9	79.1	151.0		1.5	249.6			
2			1.20	134.9	194.3	180.4	97.8	248.7		1.5	291.5			
1 testa			1.20	139.3	180.5	187.4	101.6	350.3		1.5	270.8			
1 piede			1.20		300.9					1	300.9			

Vedi file Excel 2_Controllo dimensionamento foglio Car.Soll.

Nuova previsione - y con forze e numero pilastri variato

Sisma in direzione y			n.pilastri	var		Ltra	4.10	m		incr. F	1.123			
Risoluzione dello schema base, traslante														
piano	Vi TOT	hi	n.pil	Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil						
5 + torino	617.3	3.20	15.71	39.3	62.9	31.4	15.3	15.3						
4	1087.5	3.20	15.52	70.1	112.1	87.5	42.7	58.0						
3	1443.7	3.20	15.52	93.0	148.9	130.5	63.7	121.7						
2	1685.9	3.20	15.52	108.7	173.8	161.4	78.7	200.4						
1 testa	1790.2	3.60	15.84	113.0	162.7	168.3	82.1	282.5						
1 piede					244.1									
Valori a filo pilastro/trave														
piano				Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil		Incremento per gerarchia delle resistenze				
5 + torino				39.3	56.6	28.3	15.3	15.3		incr.	Mpil			
4				70.1	100.9	78.8	42.7	58.0		1.5	151.4			
3				93.0	134.0	117.5	63.7	121.7		1.5	201.0			
2				108.7	156.5	145.3	78.7	200.4		1.5	234.7			
1 testa				113.0	146.4	151.5	82.1	282.5		1.5	219.7			
1 piede					244.1					1	244.1			
Incremento per eccentricità (solo telai eccentrici)														
piano			incr.	Vpil	Mpil	Mtra	Vtra	ΔNpil		Incremento per gerarchia delle resistenze				
5 + torino			1.20	47.2	67.9	33.9	18.4	18.4		incr.	Mpil			
4			1.20	84.1	121.1	94.5	51.2	69.6		1.5	181.7			
3			1.20	111.7	160.8	140.9	76.4	146.0		1.5	241.2			
2			1.20	130.4	187.8	174.3	94.5	240.5		1.5	281.6			
1 testa			1.20	135.6	175.7	181.8	98.5	339.0		1.5	263.6			
1 piede			1.20		292.9					1	292.9			

Vedi file Excel 2_Controllo dimensionamento foglio Car.Soll.

Controllo del dimensionamento

Approssimazioni insite nella fase precedente:

1. Il periodo proprio della struttura è stato stimato con formule semplificate

Ora occorre controllarlo

2. Le forze statiche sono state ripartite tra i pilastri "che contano" o in base a rapporti di rigidezza valutati a occhio

Ora occorre controllare meglio le rigidezze

3. Il bilanciamento delle rigidezze della struttura è stato stimato a occhio

Ora può essere verificato numericamente

Bilanciamento delle rigidezze

- Per ciascun pilastro è nota la rigidezza (in ciascuna delle due direzioni) e la posizione (x ed y)
- Il baricentro delle rigidezze può essere calcolato valutando il momento statico totale delle rigidezze rispetto agli assi e poi dividendo questo valore per la rigidezza totale
- Può essere comodo farlo utilizzando il foglio Excel Centro rigidezze

Bilanciamento delle rigidzze

foglio Excel Centro rigidzze

- Inserire una tabella di rigidzze

Baricentro e raggio d'inerzia delle rigidzze

numero di pilastri	27		
Rigidzza dei pilastri			
	rigidzza per		
pilastro	sisma x	sisma y	
1	32.91	9.87	
2	41.31	9.87	
3	32.91	9.87	
4	4.97	41.31	
5	6.19	41.31	
6	4.97	41.31	
7	4.97	41.31	
8	6.19	41.31	
9	9.87	41.31	
10	41.31	9.87	
11	41.31	4.97	
12	41.31	4.97	
13	9.87	32.91	
14	4.97	41.31	
15	6.19	41.31	
16	6.19	41.31	
17	9.87	41.31	
18	41.31	6.19	
19	41.31	6.19	
20	9.87	41.31	
21	32.91	9.87	
22	41.31	9.87	
23	41.31	9.87	
24	11.06	32.91	
25	41.31	4.97	
26	41.31	4.97	
27	9.87	32.91	

Bilanciamento delle rigidzze

foglio Excel Centro rigidzze

- Inserire posizione dei telai e numerazione dei pilastri

Schema strutturale (pilastri e telai)

Disporre nelle caselle verdi il numero di ciascun pilastro in modo da ricostruire visivamente la pianta

Riportare nelle caselle gialle l'ascissa dei telai in direzione y e l'ordinata dei telai in direzione x, ricostruendo visivamente lo schema

	x =	0.15	4.85	8.65	11.65	14.85	19.05	22.65
y = 15.85		1	2	3				
12.25		4	5	6				
8.75		7	8	9	10	11	12	13
4.55		14	15	16	17	18	19	20
0.15		21	22	23	24	25	26	27

Bilanciamento delle rigidità

foglio Excel Centro rigidità

La rigidità di ogni pilastro viene inserita al posto

• Piano tipo - direzione x

Si possono calcolare le coordinate del baricentro

Rigidzze per forze x														barice				
	x =	0.15		4.85		8.65		11.65		14.85		19.05		22.65		yG = 5.89	rk x = 9.24	
y =																somma	s y	s y2
15.85		19.90		33.14		19.90										72.94	1156.1	18324
12.25		2.16		3.87		2.16										8.19	100.3	1229
8.75		2.16		3.87		10.51		33.14		33.14		33.14		10.51		126.47	1106.6	9683
4.55		2.16		3.87		3.87		10.51		33.14		33.14		10.51		97.2	442.3	2012
0.15		19.90		33.14		33.14		13.31		33.14		33.14		10.51		176.28	26.4	4
																481.08	2831.7	31252

Bilanciamento delle rigidità

foglio Excel Centro rigidità

La rigidità di ogni pilastro viene inserita al posto

- Piano tipo - direzione y

Rigidità per forze y															
x =	0.15		4.85		8.65		11.65		14.85		19.05		22.65	Ik =	41059
y =															
15.85	10.51	10.51	10.51												
12.25	33.14	33.14	33.14												
8.75	33.14	33.14	33.14	10.51	2.16	2.16	19.90								
4.55	33.14	33.14	33.14	33.14	3.87	3.87	33.14								
0.15	10.51	10.51	10.51	19.90	2.16	2.16	19.90								
somma	120.44	120.44	120.44	63.55	8.19	8.19	72.94	514.19						xG =	
s x	18.1	584.1	1041.8	740.4	121.6	156.0	1652.1	4314.1						8.39	
s x2	3	2833	9012	8625	1806	2972	37420	62671						rk y = 8.94	

Si possono calcolare le coordinate del baricentro

Bilanciamento delle rigidezze

- Confrontando le coordinate del centro delle rigidezze con quello delle masse si può valutare numericamente se la struttura è bilanciata o no

ordine	Σkx	Σky	xGk	yGk	$rk\ x$	$rk\ y$		xGm	yGm	rm
5	403.97	429.79	8.39	5.88	9.19	8.91		10.14	5.76	8.05
4	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94		10.35	5.64	8.38
3	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94		10.35	5.64	8.38
2	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94		10.35	5.64	8.38
1	616.88	654.49	9.04	6.21	9.56	9.28		11.08	6.33	7.81

- In questo caso si hanno eccentricità minime come Δy ma rilevanti come Δx . La struttura è quindi non bilanciata per sisma y
- Occorre modificare la carpenteria per bilanciarla

Ulteriore controllo: spostamenti per SLD

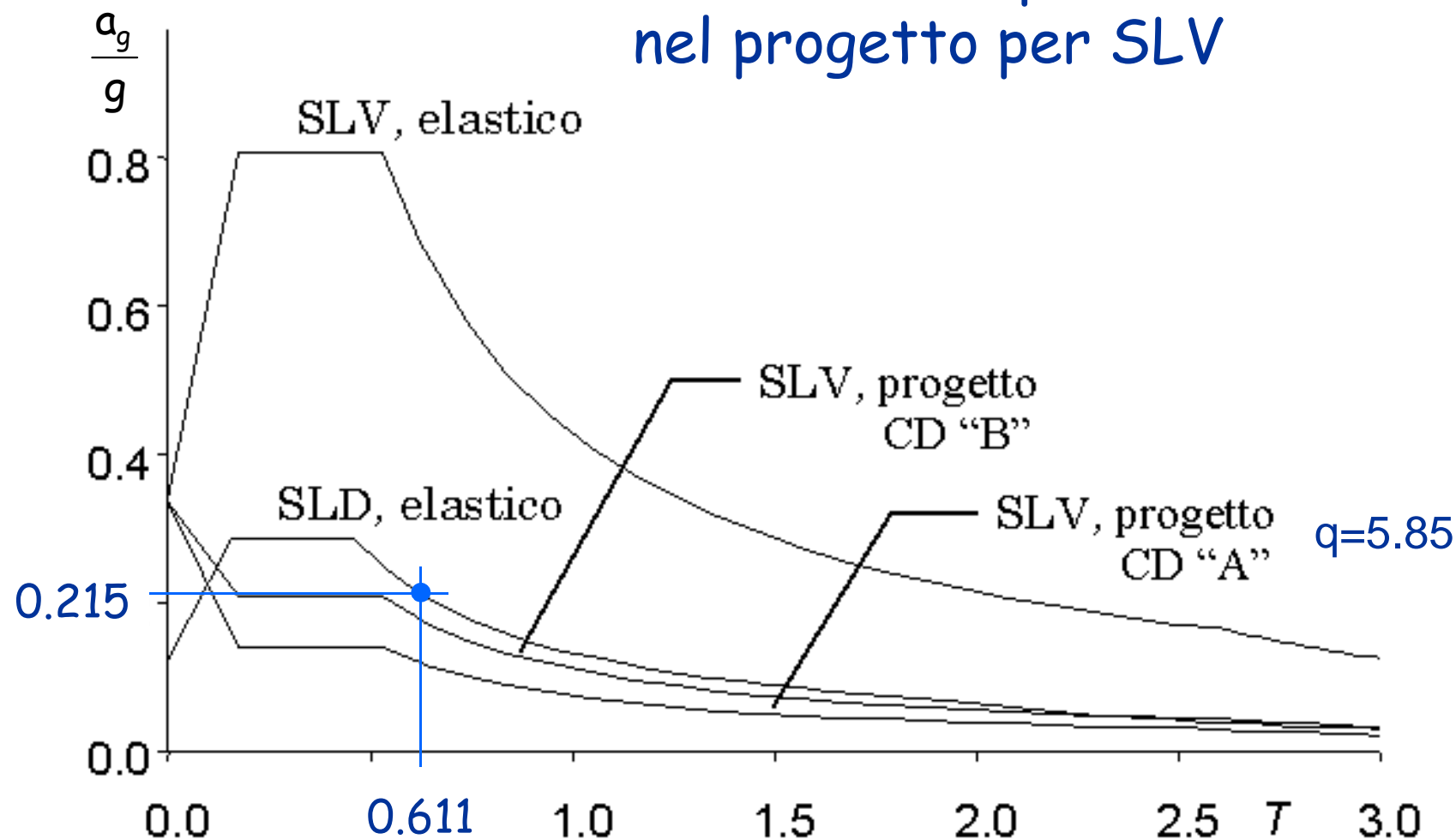
Gli spostamenti (relativi) sono importanti per la verifica allo stato limite di danno

Ho già fatto una previsione degli spostamenti per SLV con $q=5.85$

Data la linearità del calcolo, posso fare una proporzione tra ordinate spettrali e risultati del calcolo

Spettro e accelerazioni per stato limite di danno

L'accelerazione per SLD è 0.215 g
cioè circa 1.8 per il valore usato
nel progetto per SLV



Ulteriore controllo: spostamenti per SLD

$$11.75 \times 1.81 = 21.23 \qquad 2.46 \times 1.2 = 2.95$$

$$21.23 - 18.77 = 2.46$$

Piano	u SLV [mm]	u SLD [mm]	d _r SLD [mm]	con incr.rot.	h _r [m]	d _{r, amm} [mm]
5	11.75	21.23	2.46	2.95	3.20	16.0
4	10.39	18.77	3.64	4.36	3.20	16.0
3	8.38	15.13	4.83	5.79	3.20	16.0
2	5.70	10.30	5.64	6.76	3.20	16.0
1	2.58	4.67	4.67	5.60	3.60	18.0

Gli spostamenti sono pienamente ammissibili,
anche considerando il possibile incremento del 20% per
eccentricità accidentale e combinazione componenti sisma

Ulteriore controllo: spostamenti per SLD

Piano	u SLV [mm]	u SLD [mm]	d _r SLD [mm]	con incr.rot.	d _{r, amm} [mm]	rapp.
5	11.75	21.23	2.46	2.95	16.0	5.42
4	10.39	18.77	3.64	4.36	16.0	3.67
3	8.38	15.13	4.83	5.79	16.0	2.76
2	5.70	10.30	5.64	6.76	16.0	2.37
1	2.58	4.67	4.67	5.60	18.0	3.21

Min = 2.37

Il rapporto minimo è 2.37

Lo SLD si raggiunge per un'accelerazione 2.37 volte rispetto a quella richiesta dalla normativa

Classe di rischio sismico

Pericolosità sismica del sito

	Tr	ag (PGA)
	30	0.061
	50	0.082
	475	0.250
	975	0.339

Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)

Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente

PAM	IS-V
0.608%	100.0%
classe	classe
A	A
2	2

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.495
	ag	Tr	η
SLO (C)			
SLD (C)	0.082	50.0	1.727
SLV (C)	0.250	475.0	2.020
SLC (C)			

l'edificio è di classe A

Domanda per SLV

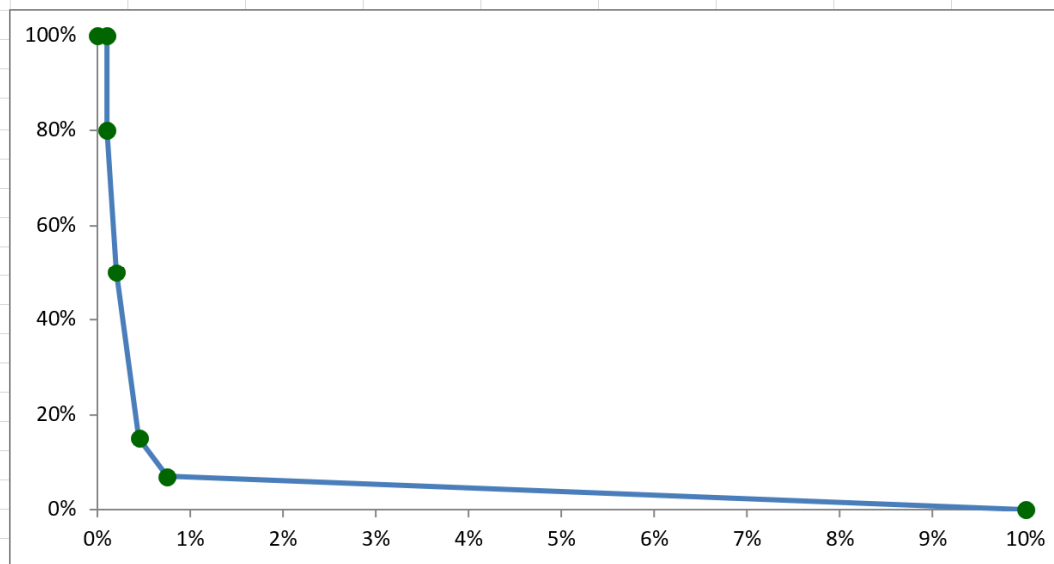
	Tr	ag (PGA)
Indicare il periodo di ritorno per SLV	475	0.2500

Capacità

	SL	ag (PGA)	Tr
	SLO		132.7
	SLD	0.1940	221.2
	SLV	0.2500	475.0
	SLC		975.0

Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.324%
SLO		132.7	0.754%	7%	0.033%
SLD	0.194	221.2	0.452%	15%	0.079%
SLV	0.250	475.0	0.211%	50%	0.070%
SLC		975.0	0.103%	80%	0.000%
SLR		975.0	0.103%	100%	0.103%
			0.000%	100%	



$$0.082 \times 2.37 = 0.194$$

Controllo spostamenti per SLD

Considerazioni:

- La normativa ha subito varie evoluzioni, che nel caso della verifica allo SLD hanno comportato differenze molto più rilevanti che per la verifica allo SLV
- Attualmente i limiti per SLD sono meno condizionanti rispetto a versioni passate della norma
- È possibile che future versioni tornino a limiti più condizionanti
- La Bozza NTC introduce un fattore di comportamento ($q \leq 1.5$) anche per SLD, ma questo non influisce sulla verifica perché, per $T > T_c$, gli spostamenti calcolati con uno spettro ridotto di q vanno poi nuovamente amplificati per q