

Corso

# Dinamica delle strutture e progetto di costruzioni in zona sismica - mod. B

Catania

marzo-maggio 2018

13 - Controllo del dimensionamento

Aurelio Gheresi

# Approssimazioni o omissioni nel primo dimensionamento fatto

1. Masse stimate in maniera approssimata
2. Periodo proprio della struttura stimato con formule semplificate
3. Regolarità in altezza, assunta senza controllo
4. Regolarità in pianta (bilanciamento delle rigidezze), stimato a occhio
5. Forze statiche ripartite tra i pilastri "che contano" o in base a rapporti di rigidezza valutati a occhio
6. Controllo spostamenti SLD non effettuato
7. Classe di rischio sismico non esaminata

# Approssimazioni o omissioni nel primo dimensionamento fatto

1. Masse stimate in maniera approssimata

2. Periodo  
formu

3. Regola

4. Regola  
stimat

5. Forze  
o in ba

Queste approssimazioni sono  
state discusse e in parte  
affrontate al termine del  
dimensionamento

Ora che sono note le rigidezze è  
possibile procedere in maniera  
più precisa

n

ullo

gidezze),

contano"  
occhio

6. Controllo spostamenti SLD non effettuato

7. Classe di rischio sismico non esaminata

# Controllo del dimensionamento

## 2. Determinazione del periodo

- Si assegna una distribuzione di forze (da analisi statica, con masse esatte e  $a_g$  qualsiasi)
- Si determinano gli spostamenti a partire dai valori di taglio e rigidezza di piano
- Si applica la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i u_i}}$$

$m_i$ : massa di piano

$F_i$ : Forza di piano

$u_i$ : spostamento del baricentro di piano  
(provocato dalla forze  $F_i$ )

# Controllo del dimensionamento

## 2. Determinazione del periodo

- La formula di normativa aveva fornito  $T_1 = 0.611 \text{ s}$
- Con le masse esatte e stimando le rigidezze di piano con l'approccio globale semplificato si era ottenuto  $T_{1,x} = 0.567 \text{ s}$  e  $T_{1,y} = 0.548 \text{ s}$
- Con le masse esatte e le rigidezze calcolate per tipologia di pilastro si ottiene  $T_{1,x} = 0.547 \text{ s}$  e  $T_{1,y} = 0.530 \text{ s}$

# Controllo del dimensionamento

## 3. Regolarità in altezza

- La massa varia poco da un impalcato all'altro
- La rigidezza in entrambe le direzioni varia poco da un ordine e l'altro

ordine	$K_x$ [kN/mm]	rapporto	$K_y$ [kN/mm]	rapporto
5	403.9	0.840	429.8	0.836
4	481.1	1.000	514.2	1.000
3	481.1	1.000	514.2	1.000
2	481.1	0.780	514.2	0.786
1	616.9		654.5	

È un po' maggiore lo scarto tra primo e secondo ordine

# Controllo del dimensionamento

## 5. Forze (e spostamenti) per analisi statica

Nota operativa:

- Per applicare la formula di Rayleigh forze e spostamenti sono stati determinati usando una accelerazione  $a_g$  arbitraria
- I valori devono essere modificati per tener conto dell'accelerazione corrispondente ai periodi trovati

	Tx	0.547	s					
per SLV	ag	0.133	g	inserire i valori corrispondenti a T = 0.547 s				
per SLD	ag	0.240	g					
	Ty	0.530	s					
per SLV	ag	0.138	g	inserire i valori corrispondenti a T = 0.53 s				
per SLD	ag	0.239	g					

# Controllo del dimensionamento

## 5. Forze (e spostamenti) per analisi statica

- In direzione x

piano	Sd, SLV			Se, SLD	
	ag = 0.133 g			ag = 0.24 g	
	dr	u	Vi	dr	u
	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
5	1.39	12.66	560.4	2.50	22.84
4	2.15	11.27	1032.5	3.87	20.33
3	2.89	9.12	1390.2	5.21	16.46
2	3.40	6.23	1633.4	6.13	11.25
1	2.84	2.84	1750.1	5.12	5.12

Il taglio di piano è un po' maggiore di quanto previsto



# Controllo del dimensionamento

## 5. Forze (e spostamenti) per analisi statica

- In direzione y

piano	Sd, SLV			Se, SLD	
	ag = 0.138 g			ag = 0.239 g	
	dr	u	Vi	dr	u
	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
5	1.35	12.31	581.4	2.34	21.32
4	2.08	10.96	1071.3	3.61	18.98
3	2.81	8.88	1442.4	4.86	15.37
2	3.30	6.07	1694.8	5.71	10.51
1	2.77	2.77	1815.9	4.81	4.81

Il taglio di piano è un po' maggiore di quanto previsto

# Controllo del dimensionamento

## 5. Caratteristiche della sollecitazione

- 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

# Controllo del dimensionamento

## 5. Caratteristiche della sollecitazione

- 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)
- Questo bilancia sostanzialmente l'incremento di taglio ottenuto dalla riduzione del periodo: i pilastri più rigidi porteranno quindi un taglio (e un momento flettente) molto simile a quello previsto
- I pilastri rigidi di estremità porteranno il 60% di questi valori

# Controllo del dimensionamento

## 5. Caratteristiche della sollecitazione - direz. x

Sisma in direzione x									luce della trave di estremità			
		n.pilastr	var.						Ltra	4.10	m	
Risoluzione dello schema base, traslante				pilastro con 2 travi emergenti			trave		pilastro con solo 1 trave emergente			
ordine/impalcato	Vi TOT	hi	n.pil	Vpil	Mpil		Mtra	Vtra	riduz.	Vpil	Mpil	ΔNpil
5	560.4	3.20	14.77	37.9	60.7		30.4	14.8	0.6	22.8	36.4	14.8
4	1032.5	3.20	14.52	71.1	113.8		87.3	42.6	0.6	42.7	68.3	57.4
3	1390.2	3.20	14.52	95.8	153.2		133.5	65.1	0.6	57.5	91.9	122.5
2	1633.4	3.20	14.52	112.5	180.0		166.6	81.3	0.6	67.5	108.0	203.8
1 testa	1750.1	3.60	14.93	117.2	168.8		174.4	85.1	0.8	93.8	135.0	288.8
1 piede					253.1						202.5	
Valori a filo pilastro/trave				pilastro con 2 travi emergenti			trave		pilastro con solo 1 trave emergente			
ordine/impalcato				Vpil	Mpil	Mpil ger.res.	Mtra	Vtra	Vpil	Mpil	Mpil ger.res.	ΔNpil
5				37.9	54.6	82.0	27.3	14.8	22.8	32.8	49.2	14.8
4				71.1	102.4	153.6	78.5	42.6	42.7	61.5	92.2	57.4
3				95.8	137.9	206.8	120.2	65.1	57.5	82.7	124.1	122.5
2				112.5	162.0	243.0	150.0	81.3	67.5	97.2	145.8	203.8
1 testa				117.2	151.9	227.8	157.0	85.1	93.8	121.5	182.3	288.8
1 piede					253.1					202.5		

Vedi file Excel 4\_Controllo dimensionamento foglio Car.Soll.

# Controllo del dimensionamento

## 5. Caratteristiche della sollecitazione - direz. y

Sisma in direzione y									luce della trave di estremità			
		n.pilastri		var.					Ltra	4.10	m	
Risoluzione dello schema base, traslante				pilastro con 2 travi emergenti			trave		pilastro con solo 1 trave emergente			
ordine/impalcato	Vi TOT	hi	n.pil	Vpil	Mpil		Mtra	Vtra	riduz.	Vpil	Mpil	ΔNpil
5	581.4	3.20	15.71	37.0	59.2		29.6	14.4	0.6	22.2	35.5	14.4
4	1071.3	3.20	15.52	69.0	110.5		84.8	41.4	0.6	41.4	66.3	55.8
3	1442.4	3.20	15.52	93.0	148.7		129.6	63.2	0.6	55.8	89.2	119.1
2	1694.8	3.20	15.52	109.2	174.8		161.8	78.9	0.6	65.5	104.9	198.0
1 testa	1815.9	3.60	15.84	114.6	165.0		169.9	82.9	0.8	91.7	165.0	280.8
1 piede					247.6						198.1	
Valori a filo pilastro/trave				pilastro con 2 travi emergenti			trave		pilastro con solo 1 trave emergente			
ordine/impalcato				Vpil	Mpil	Mpil ger.res.	Mtra	Vtra	Vpil	Mpil	Mpil ger.res.	ΔNpil
5				37.0	53.3	79.9	26.6	14.4	22.2	32.0	48.0	14.4
4				69.0	99.4	149.1	76.4	41.4	41.4	59.7	89.5	55.8
3				93.0	133.9	200.8	116.6	63.2	55.8	80.3	120.5	119.1
2				109.2	157.3	235.9	145.6	78.9	65.5	94.4	141.6	198.0
1 testa				114.6	148.5	222.8	152.9	82.9	91.7	148.5	222.8	280.8
1 piede					247.6					198.1		

Vedi file Excel 4\_Controllo dimensionamento foglio Car.Soll.

# Controllo del dimensionamento

## 5. Caratteristiche della sollecitazione

- Sulla base di questi valori e di quelli stimati per carichi verticali si possono calcolare i momenti flettenti nelle travi, nonché i momenti flettenti e gli sforzi normali nei pilastri, e controllare se il dimensionamento è ancora accettabile

# Controllo del dimensionamento

## 4. Regolarità in pianta

- 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

# Controllo del dimensionamento

## 4. Regolarità in pianta

<b>Centro rigidezze - versione 1.2b</b>										apr-18										
<b>Questo file vuole essere di aiuto per calcolare il baricentro delle rigidezze dei pilastri</b>																				
Si consiglia di duplicare i fogli, in modo da averne uno per ciascuna ordine																				
E' possibile creare un Riepilogo che riporta i valori di ciascun foglio (i collegamenti devono essere impostati dall'utente)																				
<b>Singolo foglio Ordine</b>																				
Occorre inserire i dati richiesti (caselle evidenziate in giallo)																				
Viene fornito il baricentro delle rigidezze, il raggio d'inerzia delle rigidezze, l'eccentricità tra masse e rigidezze																				
E' possibile indicare due serie di rigidezze, da usare in alternativa o da confrontare																				
Questo può essere utile in fase di controllo del dimensionamento, per valutare l'effetto di modifiche, oppure nella fase finale per confrontare le rigidezze stimate con quelle ottenute dal calcolo																				
<b>Controlli effettuati:</b>																				
eccentricità		se l'eccentricità è superiore a		5.0%		ma non superiore al		10.0%		indica "eccentricità abbastanza alta"										
		se l'eccentricità è superiore a		10%		indica "eccentricità troppo alta"														
rigidezza torsionale		se il rapporto $r_k / r_m$ è compreso tra 1 e		1.10		indica "poco rigida torsionalmente"														
		se il rapporto $r_k / r_m$ è inferiore a 1 indica "torsiodeformabile, non accettabile"																		
I limiti riportati nelle caselle in giallo possono essere modificati sbloccando la protezione del foglio																				

Vedi file Excel Centro rigidezze



# Controllo del dimensionamento

## 4. Regolarità in pianta

- Usare un foglio per ciascun ordine
- Inserire una tabella di rigidezze

### Baricentro e raggio d'inerzia delle rigidezze

numero di pilastri

27

### Rigidezza dei pilastri

pilastro	rigidezza per	
	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

Vedi file Excel Centro rigidezze

# Controllo del dimensionamento 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

Vedi file Excel Centro rigidzze

# Controllo del dimensionamento foglio Excel Centro rigidezze

La rigidezza di ogni pilastro viene inserita al posto

• Piano tipo - direzione x

Si possono calcolare le coordinate del baricentro

Rigidzze per forze x															
x =	0.15		4.85		8.65		11.65		14.85		19.05		22.65		rk x =
y =													yG = 5.89		9.24
15.85	19.90	33.14	19.90										somma	s y	s y2
													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

Vedi file Excel Centro rigidezze

# Controllo del dimensionamento

## foglio Excel Centro rigidezze

La rigidezza di ogni pilastro viene inserita al posto

- Piano tipo - direzione y

Rigidezze 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

# Controllo del dimensionamento foglio Excel Centro rigidzze

- Inserire anche i dati relativi alle masse
- In ciascun foglio viene effettuato il confronto tra centro di massa e centro delle rigidità

[illegible]

Vengono confrontati i raggi d'inerzia di masse e rigidezze, evidenziando debolezze torsionali

# Controllo del dimensionamento

## foglio Excel Centro rigidezze

- Viene fornito anche un riepilogo per tutti i fogli (il collegamento con i fogli deve essere adattato dall'utente)

rigidezze							variazione tra i piani		rigidezza rotazionale					
ordine	$\Sigma kx$	$\Sigma ky$	$xGk$	$yGk$	$rk\ x$	$rky$	rapp $kx$	rapp $ky$	$rkx / rm$	$rky / rm$				
5	403.97	429.79	8.39	5.88	9.19	8.91	0.84	0.84	1.14	1.11				
4	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94	1.00	1.00	1.10	1.07	poco rigida torsionalmente			
3	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94	1.00	1.00	1.10	1.07	poco rigida torsionalmente			
2	481.08	514.19	8.39	5.89	9.24	8.94	0.78	0.79	1.10	1.07	poco rigida torsionalmente			
1	616.88	654.49	9.04	6.21	9.56	9.28			1.22	1.19				
asse							eccentricità							
ordine	$xGm$	$yGm$	$rm$						$\Delta x\ (k-m)$	$\Delta y\ (k-m)$	$\Delta x / Lx$	$\Delta y / Ly$		
5	10.14	5.76	8.05						-1.75	0.12	-11.12%	0.74%	eccentricità troppo alta	
4	10.35	5.64	8.38						-1.96	0.25	-12.48%	1.57%	eccentricità troppo alta	
3	10.35	5.64	8.38						-1.96	0.25	-12.48%	1.57%	eccentricità troppo alta	
2	10.35	5.64	8.38						-1.96	0.25	-12.48%	1.57%	eccentricità troppo alta	
1	11.08	6.33	7.81						-2.04	-0.12	-13.02%	-0.79%	eccentricità troppo alta	

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