

Corso

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

Catania

marzo-maggio 2018

11 - Qualche controllo, prima di andare avanti

Aurelio Gheresi

# Approssimazioni o omissioni nel 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

## 1. Masse

- Ora è stato effettuato un calcolo preciso delle masse
- La differenza riscontrata è globalmente inferiore al 2%

Si può ritenere non influente

# Approssimazioni o omissioni

## 2. Periodo proprio

- Per determinare il periodo proprio è necessario conoscere massa e rigidezza laterale globale di ciascun impalcato/ordine
  - Le masse ora sono note
  - È possibile fare una stima approssimata della rigidezza globale di ciascun ordine
- Lo definisco "approccio globale semplificato per il calcolo delle rigidezze"

# Stima delle rigidezze laterali

## Approccio globale semplificato

La rigidezza totale ad un ordine può essere stimata con

$$\text{rigidezza} = \frac{12 E \sum I_p}{L_p^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{E \sum I_p / L_p}{E \sum I_{t,\text{sup}} / L_t} + \frac{E \sum I_p / L_p}{E \sum I_{t,\text{inf}} / L_t} \right)}$$

considerando solo i pilastri e le travi "che contano"

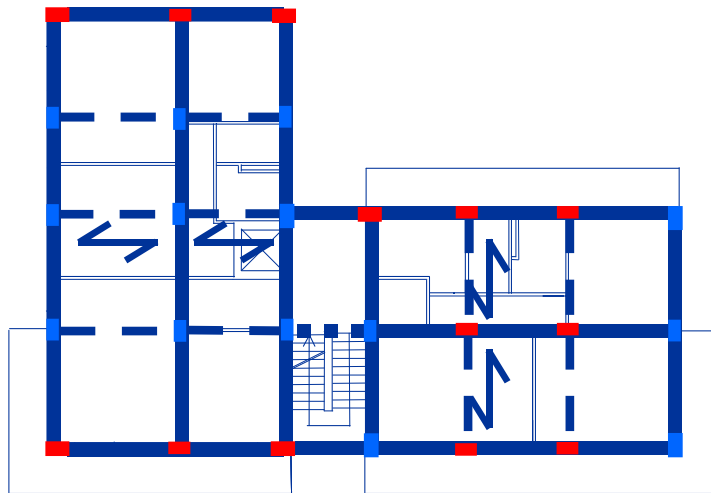
- Nel caso di edificio con travi emergenti e a spessore, i pilastri di coltello e le travi emergenti
- Nel caso di edificio con tutte travi a spessore, i pilastri "equivalenti" stimati in maniera forfaitaria e tutte le travi

La formula verrà giustificata più avanti

# Stima delle rigidezze laterali

## Approccio globale semplificato

Rigidezza laterale totale



I pilastri (tutti uguali) sono:  
13 allungati in direzione x  
14 allungati in direzione y

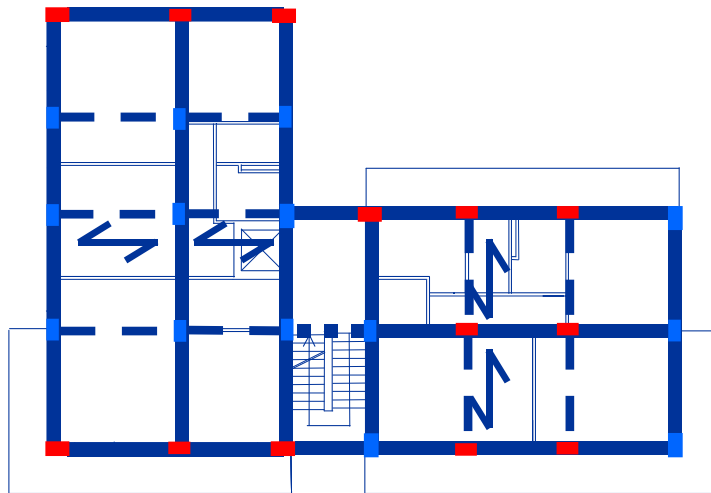
Le travi emergenti sono:  
15 in direzione x  
16 in direzione y

Considero 13 pilastri e  
15 travi (direzione x)

# Stima delle rigidezze laterali

## Approccio globale semplificato

Rigidezza laterale totale



Al piano tipo, direzione x

Pilastri 30x70 (13)

$L_p = 3.20$  m

$I_p = 857500$  cm<sup>4</sup>

Travi 30x60 (15)

$L_t = 4.00$  m in media

$I_t = 540000$  cm<sup>4</sup>

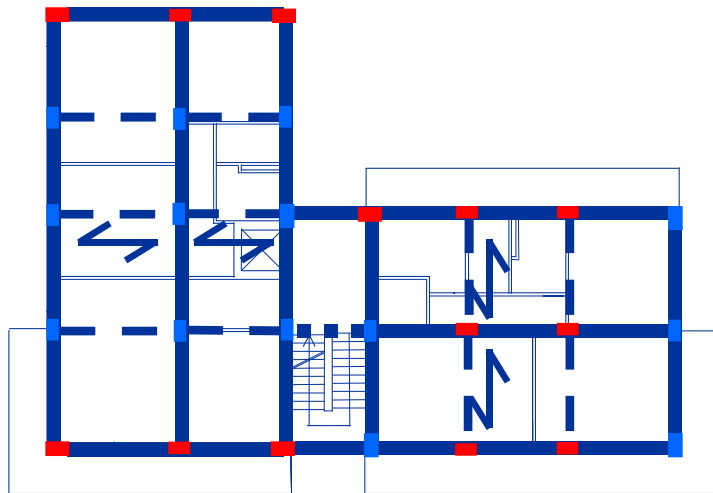
Ottengo

$k = 472.7$  kN/mm

# Stima delle rigidezze laterali

## Approccio globale semplificato

Rigidezza laterale totale



ordine	$K_x$ [kN/mm]	$K_y$ [kN/mm]
5	384.3	411.1
4	472.7	506.0
3	472.7	506.0
2	472.7	506.0
1	511.8	548.9



# Controllo del periodo proprio

## Formula di Rayleigh

- La formula di normativa non tiene conto della effettiva rigidezza della struttura
- È opportuno controllare appena possibile se il periodo è plausibile (e quindi se le forze sono effettivamente quelle da usare)
- Possibile procedimento per valutare il periodo:

Formula di Rayleigh

$m_i$ : massa di piano

$F_i$ : Forza di piano

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

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

# Controllo del periodo proprio

## direzione x

Piano	F (kN)	V (kN)	k (kN/mm)	d <sub>r</sub> (mm)	u (mm)
Torrino+V	501.4	501.4	384.3	1.30	12.04
IV	422.4	923.8	472.7	1.95	10.74
III	320.0	1243.8	472.7	2.63	8.78
II	217.6	1461.4	472.7	3.09	6.15
I	104.5	1565.9	511.8	3.06	3.06

Nota: forze ricalcolate con le masse più precise (e  $a_g = 0.119 g$ )

# Controllo del periodo proprio

## direzione x

Piano	m (kN s <sup>2</sup> /m)	F (kN)	u (mm)	m u <sup>2</sup> (kN m s <sup>2</sup> )	F u (kN mm)
Torrino+V	310.1	501.4	12.04	44.96	6037
IV	324.6	422.4	10.74	37.41	4535
III	324.6	320.0	8.78	25.03	2810
II	324.6	217.6	6.15	12.28	1339
I	294.3	104.5	3.06	2.75	320
somma				122.44	15041

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

$$T = 0.567 \text{ s}$$

file Dimensionamento, foglio Rayleigh

# Controllo del periodo proprio

## direzione y

Piano	F (kN)	V (kN)	k (kN/mm)	d <sub>r</sub> (mm)	u (mm)
Torrino+V	501.4	501.4	411.1	1.22	11.24
IV	422.4	923.8	506.0	1.83	10.02
III	320.0	1243.8	506.0	2.46	8.20
II	217.6	1461.4	506.0	2.89	5.74
I	104.5	1565.9	548.9	2.85	2.85

# Controllo del periodo proprio

## direzione y

Piano	m (kN s <sup>2</sup> /m)	F (kN)	u (mm)	m u <sup>2</sup> (kN m s <sup>2</sup> )	F u (kN mm)
Torrino+V	310.1	501.4	11.24	39.20	5638
IV	324.6	422.4	10.02	32.62	4235
III	324.6	320.0	8.20	21.82	2624
II	324.6	217.6	5.74	10.70	1249
I	294.3	104.5	2.85	2.39	298
somma				106.74	14044

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

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

file Dimensionamento, foglio Rayleigh

# Approssimazioni o omissioni

## 2. Periodo proprio

I valori del periodo proprio ottenuti:

- Sono analoghi nelle due direzioni, così come la rigidezza

Era uno degli obiettivi

- Sono minori di circa il 10% di quanto ottenuto con la formula di normativa
  - La struttura è un po' più rigida della media
  - Le forze sismiche e le caratteristiche di sollecitazione cresceranno della stessa misura
  - Una variazione del 10% non modifica il dimensionamento della struttura

# Approssimazioni o omissioni

## 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	384.3	0.813	411.1	0.812
4	472.7	1.000	506.0	1.000
3	472.7	1.000	506.0	1.000
2	472.7	0.924	506.0	0.922
1	511.8		548.9	

# Approssimazioni o omissioni

## 4. Regolarità in pianta

- Per una valutazione più precisa occorre stimare numericamente la rigidezza di ciascun pilastro  
Per il momento si lascia la questione in sospeso, rinviando un giudizio alla fase successiva



# Approssimazioni o omissioni

## 5. Ripartizione delle forze

- Per una valutazione più precisa occorre stimare numericamente la rigidezza di ciascun pilastro  
Per il momento si lascia la questione in sospeso, rinviando un giudizio alla fase successiva

# Approssimazioni o omissioni

## 6. Controllo spostamenti SLD

- Per valutare il periodo proprio si è determinato un valore dello spostamento dei diversi impalcati
  - Il calcolo è stato fatto con l'accelerazione di prima stima ( $a_g = 0.119 \text{ g}$ )
  - I risultati variano linearmente con l'accelerazione; è quindi possibile prevedere gli spostamenti per SLV ed SLD, in funzione delle accelerazioni corrispondenti ai periodi stimati

# Approssimazioni o omissioni

## 6. Controllo spostamenti SLD

Direzione x

$T = 0.567 \text{ s}$

	Sd, SLV		Se, SLD	
	ag = 0.129 g		ag = 0.231 g	
piano	dr	u	dr	u
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5	1.41	13.05	2.53	23.37
4	2.12	11.64	3.79	20.84
3	2.85	9.52	5.11	17.05
2	3.35	6.67	6.00	11.94
1	3.32	3.32	5.94	5.94

# Approssimazioni o omissioni

## 6. Controllo spostamenti SLD

Direzione y

$T = 0.548 \text{ s}$

Direzione	Sd, SLV		Se, SLD	
	ag = 0.133 g		ag = 0.239 g	
piano	dr	u	dr	u
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5	1.36	12.57	2.45	22.58
4	2.04	11.20	3.67	20.13
3	2.75	9.16	4.94	16.47
2	3.23	6.42	5.80	11.53
1	3.19	3.19	5.73	5.73

# Approssimazioni o omissioni

## 6. Controllo spostamenti SLD

- Gli spostamenti sono maggiori (anche se di poco) per sisma in direzione  $x$
- Per tener conto dell'effetto di eccentricità accidentale e combinazione componenti sisma si può prevedere un incremento fino al 20% nei telai di estremità (forse un po' meno in  $x$ , perché le due dimensioni in pianta sono diverse)
- Questi valori vanno confrontati con i limiti di normativa
  - per tamponature collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità della stessa: 0,005 h per tamponature fragili

# Approssimazioni o omissioni

## 6. Controllo spostamenti SLD

- Confronto tra spostamenti per sisma in direzione x (incrementati di 1.20) e valori limite (0.005 h)

ordine	h [m]	d <sub>r</sub> [mm]	d <sub>r,max</sub> [mm]	d <sub>r,lim</sub> [mm]	rapporto
5	3.20	2.53	3.04	16.0	5.26
4	3.20	3.79	4.55	16.0	3.51
3	3.20	5.11	6.13	16.0	2.61
2	3.20	6.00	7.20	16.0	2.22
1	3.60	5.94	7.13	18.0	2.53

- Il valore massimo non è mai superiore al valore limite diviso per 2.22

# Approssimazioni o omissioni

## 7. Classe di rischio sismico

- Per definirla occorre determinare il valore dell'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento di SLV e SLD
- La struttura è stata progettata con un fattore di struttura pari al valore massimo ammesso
  - Poiché si seguiranno tutte le indicazioni di normativa, si può ritenere che l'accelerazione che porta allo SLV non sia minore di quella prevista per il sito  
Nel caso in esame, 0.250 g
  - Al termine del progetto si potrà controllare se per tutte le sezioni vi è una sovrarresistenza, che porterebbe ad una  $a_g$  maggiore (in genere di poco)

# Approssimazioni o omissioni

## 7. Classe di rischio sismico

- Per definirla occorre determinare il valore dell'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento di SLV e SLD
- La verifica allo SLD mostra che i limiti sono almeno 2.22 volte i valori massimi stimati per lo spostamento
  - Si può ritenere che l'accelerazione che porta allo SLD sia pari a quella prevista per il sito incrementata di 2.22 volte  
Nel caso in esame,  $0.082 \text{ g} \times 2.22 = 0.182 \text{ g}$



# Approssimazioni o omissioni

## 7. Classe di rischio sismico

- Per definirla occorre determinare il valore dell'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento di SLV e SLD
  - La verifica allo SLD mostra che i limiti sono almeno 2.22 volte i valori massimi stimati per lo spostamento
    - Si può ritenere che l'accelerazione che porta allo SLD sia pari a quella prevista per il sito incrementata di 2.22 volte
- Nel caso in esame,  $0.082 \text{ g} \times 2.22 = 0.182 \text{ g}$

# Approssimazioni o omissioni

## 7. Classe di rischio sismico

- Si ottiene un  $PAM = 0.590\%$  e  $IS-V=100\%$
- L'edificio è di classe di rischio A

Pericolosità sismica del sito				Tr	ag (PGA)						Tr	ag	rapp	
				30	0.061	PAM	IS-V				SLV (D)	475.0	0.250	0.423
Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)				50	0.082	0.590%	100.0%							
				475	0.250							ag	Tr	η
				975	0.339	classe	classe				SLO (C)			
						A	A				SLD (C)	0.082	50.0	2.020
						2	2				SLV (C)	0.250	475.0	2.361
											SLC (C)			
						l'edificio è di classe A								

