

Corso di aggiornamento

Progettazione delle strutture antisismiche secondo le  
indicazioni del capitolo 10 delle NTC 2008: approfondimenti

**Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.**

4 - Prima valutazione di massima

Bologna

14-15 febbraio 2013

Aurelio Gheresi

# Modalità operative

1. Determinare le rigidezze dei pilastri
  - Usare formule semplificate (linee guida della Basilicata, suggerimenti di A. Ghersi)
2. Determinare le forze sulla struttura con analisi statica
  - Fare il calcolo a meno del periodo  $T$ , non noto
3. Determinare il periodo proprio  $T$  della struttura (formula di Rayleigh) e le forze conseguenti
4. Ripartire il taglio tra i pilastri e verificarli, determinando il moltiplicatore del sisma che possono sopportare
5. Stimare i momenti flettenti e determinare il moltiplicatore del sisma che porta al limite

# 1. Rigidezze dei pilastri

Linee guida della Basilicata

- Valutare le rigidezze dei pilastri

$$k_i = c \frac{EI}{h^3}$$

$c = 9$  in presenza di travi emergenti

$c = 6$  in presenza di travi a spessore

$c = 3$  in assenza di travi

# 1. Rigidezze dei pilastri

Indicazioni di A. Ghersi

- Valutare le rigidezze solo dei pilastri "che contano"
- Ridurre la rigidezza per tener conto delle travi

Dal secondo piano in su

$$k_r = \frac{\frac{12 E \sum I_p}{h_r^3}}{1 + \frac{I_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_t}}$$

$$k_r = \frac{\frac{12 E \sum I_p}{h_r^3}}{1 + 0.5 \frac{I_{media}}{h_r} \frac{\sum I_p}{\sum I_t}}$$

Al primo piano

# 1. Rigidezze dei pilastri

Indicazioni di A. Ghersi

- In alternativa, valutare le rigidezze di ciascun pilastro, riducendola per tener conto delle travi

$$k_i = \frac{12 E I_{p,i}}{h_r^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{E I_{p,i} / h_r}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_{p,i} / h_r}{E I_{t,inf} / L_t} \right)}$$

## 2. Forze da analisi statica

- Calcolare le forze  $F_j$ , con formule per analisi statica (a meno di T)

$$F_k = 0.85 W_k z_k \frac{\sum_i W_i}{\sum_i W_i z_i} S_e(T_1) \quad \text{con } S_e(T_1)=1$$

- Calcolare tagli di piano e spostamenti relativi

$$V_p = \sum_{j=p}^n F_j \quad u_{rel,p} = \frac{V_p}{K_p} \quad K_p = \sum k_i$$

- Calcolare spostamenti assoluti

$$u_p = \sum_{j=1}^p u_{rel,j}$$

### 3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Stimare il periodo con la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n m_j u_j^2}{\sum_{j=1}^n F_j u_j}}$$

E quindi  $a_g$

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Ripartire il taglio di piano in base alla rigidezza

$$V_i = V_p \frac{k_i}{K_p}$$

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

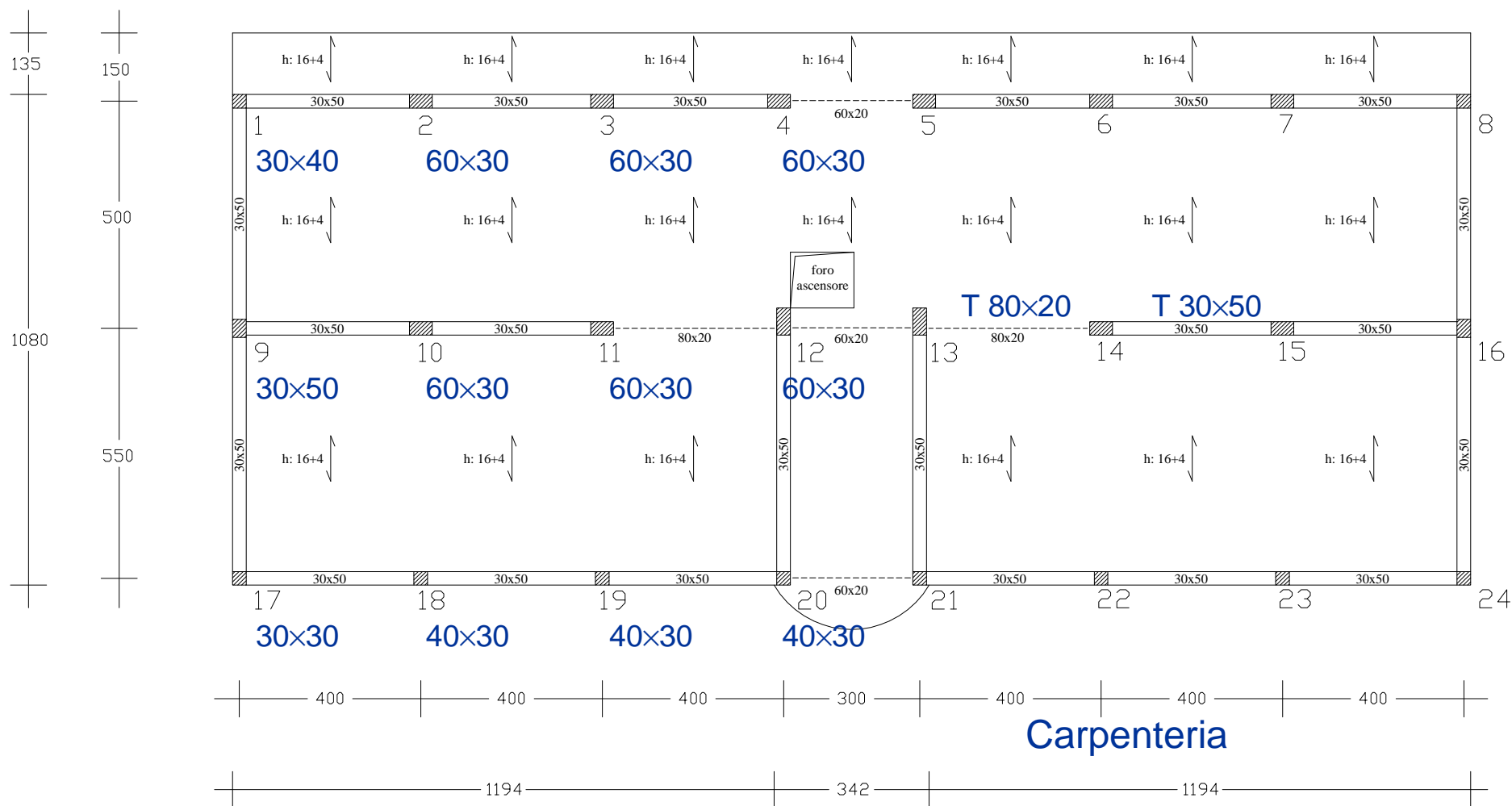


## 5. Valutare il momento flettente e verificare travi e pilastri

- Il procedimento è stato già più volte descritto (dal taglio al momento flettente nei pilastri e da questo a quello delle travi)
- Effettuare la verifica a flessione, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta

Esempio

# Rilievo dell'edificio



# 1. Rigidezze dei pilastri

- Seguendo le linee guida della Basilicata

$$k_i = c \frac{EI}{h^3}$$

$c = 9$  in presenza di travi emergenti  
 $c = 6$  in presenza di travi a spessore  
 $c = 3$  in assenza di travi

si ha ad esempio, per la direzione y

piano	2	.						h	3.20	m
		pil	b	h	E I / h <sup>3</sup>	c	k	n	k	
			cm	cm	kN/mm					
pilastri	a	1, 17, 20	30	30	0.587	9	5.28	3	15.85	
	b	18, 19	30	30	0.587	3	1.76	2	3.52	
	c	9	30	40	1.392	9	12.52	1	12.52	
	d	12	30	50	2.718	9	24.46	1	24.46	
	e	2,3,4,10,11	50	30	0.978	3	2.94	5	14.68	
									71.04	

vedi file Excel "Analisi semplificata"

## 2. Forze da analisi statica

### massa (peso) degli impalcati

- Dai carichi unitari, si valutano le masse di impalcato, secondo le norme attualmente vigenti

			m <sup>2</sup>	solaio	m <sup>2</sup>	sbalzo	m	trave	m	tompagno	somma	pilastro	TOT	a m <sup>2</sup>
Impalcati	ultimo	sism	283.5	5.6	40.5	5.2	113.0	3.5	44.5	7.0	2505	81.0	2586.2	7.98
												massa	263.6	
	altri	sism	283.5	5.6	40.5	5.2	113.0	3.5	89.0	7.0	2817	200.7	3017.4	9.31
												massa	307.6	

Impalcato	Peso	Peso a m <sup>2</sup>
6	2586.2 kN	7.98 kN/m <sup>2</sup>
altri	3017.4 kN	9.31 kN/m <sup>2</sup>

Nota: i valori sono riferiti all'intero edificio. Nel seguito data la simmetria si considererà solo mezzo edificio

## 2. Forze da analisi statica

### forze

- Si sono calcolare le forze  $F_j$ , con formule per analisi statica (a meno di T)

$$F_k = 0.85 W_k z_k \frac{\sum_i W_i}{\sum_i W_i z_i} S_e(T_1) \quad \text{con } S_e(T_1)=1$$

piano	h	z	peso W	W z	F	V
	m	m	kN		kN	kN
6	3.20	19.20	1293.1	24828	1917.7	1917.7
5	3.20	16.00	1508.7	24139	1864.5	3782.1
4	3.20	12.80	1508.7	19311	1491.6	5273.7
3	3.20	9.60	1508.7	14484	1118.7	6392.4
2	3.20	6.40	1508.7	9656	745.8	7138.2
1	3.20	3.20	1508.7	4828	372.9	7511.1
			8836.6	97245		

## 2. Forze da analisi statica spostamenti

- Dalle forze e rigidezze si sono calcolati gli spostamenti relativi e assoluti

$$u_{rel,p} = \frac{V_p}{K_p}$$

$$u_p = \sum_{j=1}^p u_{rel,j}$$

piano	V	k	dr	u
	kN	kN/mm	mm	mm
6	1917.7	38.75	49.49	580.30
5	3782.1	38.75	97.61	530.81
4	5273.7	38.75	136.11	433.20
3	6392.4	48.92	130.66	297.10
2	7138.2	71.04	100.49	166.43
1	7511.1	113.89	65.95	65.95

### 3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Stimare il periodo con la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n m_j u_j^2}{\sum_{j=1}^n F_j u_j}}$$

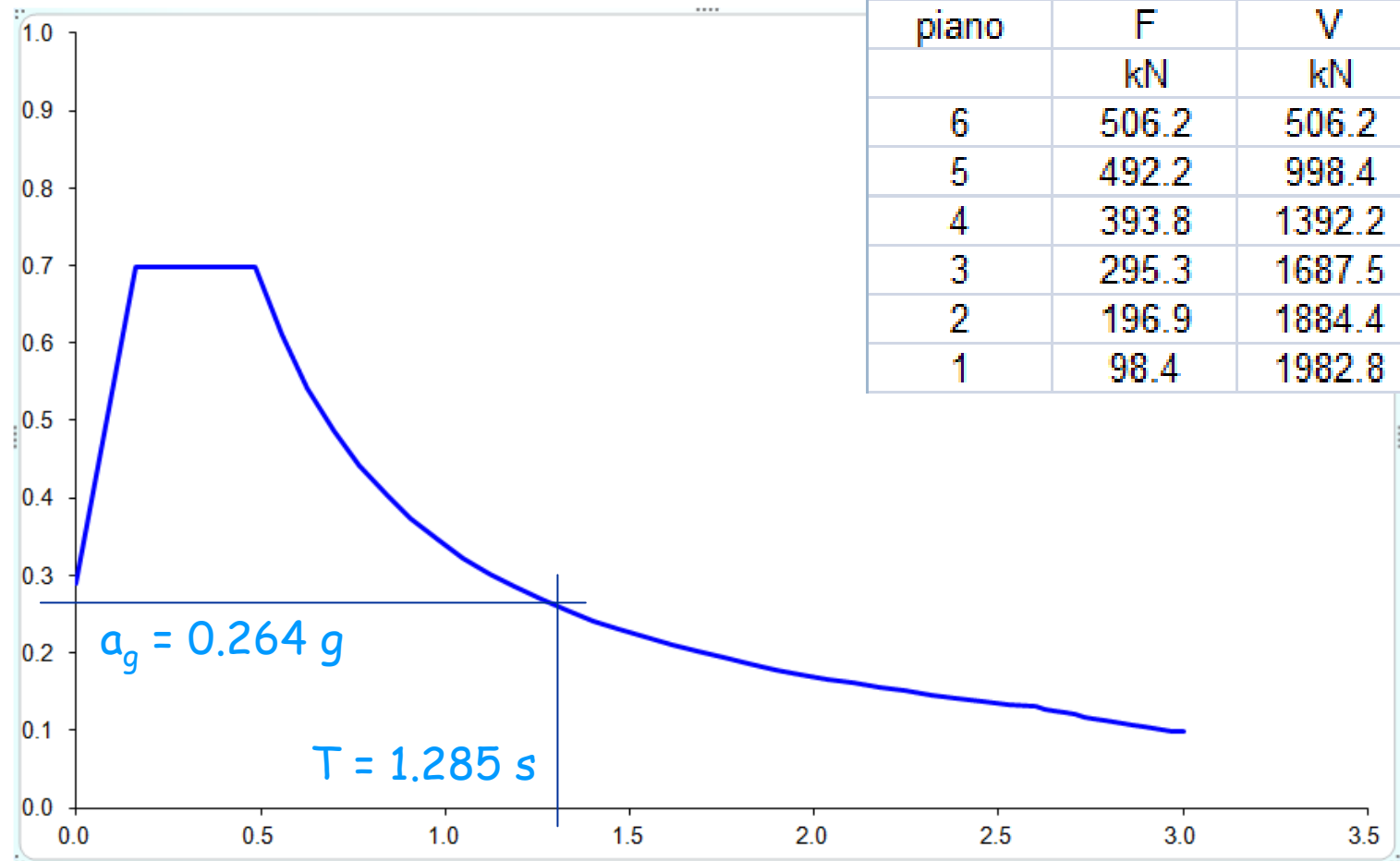
Si ottiene  $T = 1.285 \text{ s}$

piano	m	F	u	m u <sup>2</sup>	F u
	t	kN	mm		
6	131.81	1917.7	580.30	44389	1112817
5	153.79	1864.5	530.81	43333	989690
4	153.79	1491.6	433.20	28861	646158
3	153.79	1118.7	297.10	13575	332359
2	153.79	745.8	166.43	4260	124126
1	153.79	372.9	65.95	669	24592
				135086	3229742



### 3. Determinare il periodo proprio e le forze conseguenti

- Si ha:



## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Ripartire il taglio di piano in base alla rigidezza

$$V_i = V_p \frac{k_i}{K_p}$$

- Si ottiene ad esempio  $V_{12} = 1884.4 \times \frac{24.46}{71.04} = 648.9 \text{ kN}$

[illegible]

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- 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  $f_{ym} \times FC = 504 \text{ MPa}$

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Effettuare la verifica a taglio, valutando per quale aliquota dell'azione sismica la verifica è soddisfatta
- Si utilizzano le usuali formule di verifica, con i valori di resistenza innanzi definiti

$$V_{Rd,s} = 0.9 d \frac{A_{st}}{s} f_y \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = 0.9 b d \alpha_c f'_c \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

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

sezione 30x30, staffe Ø6/20

$$V_{Rd,s} = 0.9 \times 26 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 50.3 \text{ kN}$$

sezione 30x50, staffe Ø6/20

$$V_{Rd,s} = 0.9 \times 46 \times \frac{0.566}{20} \times 304 \times 2.5 \times 10^{-1} = 89.1 \text{ kN}$$

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

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

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%

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

Il rapporto tra effetto del sisma e resistenza indica di quanto si deve ridurre il sisma (o l'aliquota di sisma che può essere portata)



## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- Il valore più alto di  $\rho$  (o il più piccolo di  $1/\rho$ ) indica quale accelerazione sismica può essere portata dalla struttura prima che avvenga la rottura a taglio

Nell'esempio;

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

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

Nota: questo valore può essere moltiplicato per un fattore di struttura piccolo (quanto? forse 1.5?)

piano	4			
pil	VEd	VRds	$\rho$	$1/\rho$
1,9,12,17,20	189.8	50.3	3.77	26.5%
altri	63.3	50.3	1.26	79.5%
piano	3			
pil	VEd	VRds	$\rho$	$1/\rho$
1,9,17,20	182.2	50.3	3.62	27.6%
18, 19	60.7	50.3	1.21	82.9%
12	432.0	69.7	6.20	16.1%
2,3,4,10,11	81.0	50.3	1.61	62.1%
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%
piano	1			
pil	VEd	VRds	$\rho$	$1/\rho$
17	92.0	50.3	1.83	54.7%
20	122.6	50.3	2.44	41.0%
18, 19	40.9	50.3	0.81	123.1%
1	218.0	69.7	3.13	32.0%
9	425.9	89.1	4.78	20.9%
12	735.9	108.4	6.79	14.7%
2,3,4,10,11	61.3	50.3	1.22	82.1%

## 4. Ripartire il taglio e verificare i pilastri

- È importante, in questa fase, valutare la massima resistenza a flessione dei pilastri (con i valori incrementati) ed il massimo taglio che potrà aversi di conseguenza nei pilastri
  - Se questo valore è inferiore alla resistenza a taglio il pilastro non arriverà mai a rottura per taglio

Nota: ho approfondito questo aspetto nella presentazione successiva

## 5. Valutare il momento flettente e verificare travi e pilastri

- Non è riportato

Nota: ho approfondito questo aspetto nella presentazione successiva

## Stesso procedimento con rigidezze calcolate secondo A. Gheresi

- Le elaborazioni sono riportate nel file Excel "Analisi semplificata AG"
- Come si può vedere da quei numeri (che qui non riporto) i risultati sono molto vicini a quelle che verranno mostrati più avanti, ottenuti partendo dall'analisi modale