

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica  
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto  
5-6 giugno 2015

02 - Impostazione della carpenteria, dimensionamento  
e verifica di massima

# Definizioni

- **Interfaccia d'isolamento**  
la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema di isolamento
- **Sottostruttura**  
la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento
  - include le fondazioni
  - ha in genere deformabilità orizzontale trascurabile
  - È soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno
- **Sovrastruttura**  
la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata

# Posizione del sistema di isolamento

Possibilità (per edificio senza piano interrato):

- Tra fondazione e solaio di base  
Problemi: difficoltà di accesso
- Tra solaio di base e parte inferiore delle colonne del primo ordine
- A metà altezza dei pilastri del primo ordine
- In testa ai pilastri del primo ordine  
Problemi: dettagli per scale, ascensori, tamponature primo livello

# Posizione del sistema di isolamento

Possibilità (per edificio con piano seminterrato):

- In testa ai pilastri del primo ordine  
Problemi: dettagli per scale, ascensori, tamponature primo livello

È la soluzione ottimale, specie se il seminterrato ha pareti che costituiscono una scatola rigida

# Principi generali

## da seguire nella progettazione

- La sottostruttura deve essere dimensionata in modo da assicurare un comportamento rigido, in modo da limitare gli effetti di spostamenti sismici differenziali
  - Lo spostamento orizzontale in condizioni sismiche deve essere minore di  $1/20$  dello spostamento relativo del sistema di isolamento

Questo è facilmente garantito se gli isolatori sono posti al di sopra di un seminterrato con pareti scatolari e pilastri interni molto rigidi

- L'impalcato sovrastante deve essere un diaframma rigido

# Principi generali

## da seguire nella progettazione

- La sottostruttura e la sovrastruttura devono rimanere sostanzialmente in campo elastico
  - Il danneggiamento di elementi strutturali aumenta il periodo proprio della struttura e riduce l'efficacia dell'isolamento
- La sottostruttura deve rimanere preferibilmente in campo elastico
- La sovrastruttura deve essere progettata con riferimento alle prescrizioni relative alle strutture con bassa duttilità (DC "B"), con fattore di struttura  $q=1.5$

# Principi generali

## da seguire nella progettazione

- La struttura isolata deve avere un periodo fondamentale nettamente maggiore rispetto a quello della corrispondente struttura a base fissa
- Nel progetto occorre tener conto della differenza di smorzamento del sistema di isolamento rispetto a quello della sovrastruttura
  - Per la sovrastruttura si usa di solito uno smorzamento del 5%
  - Il sistema di isolamento ha smorzamento nettamente maggiore (10-15%)

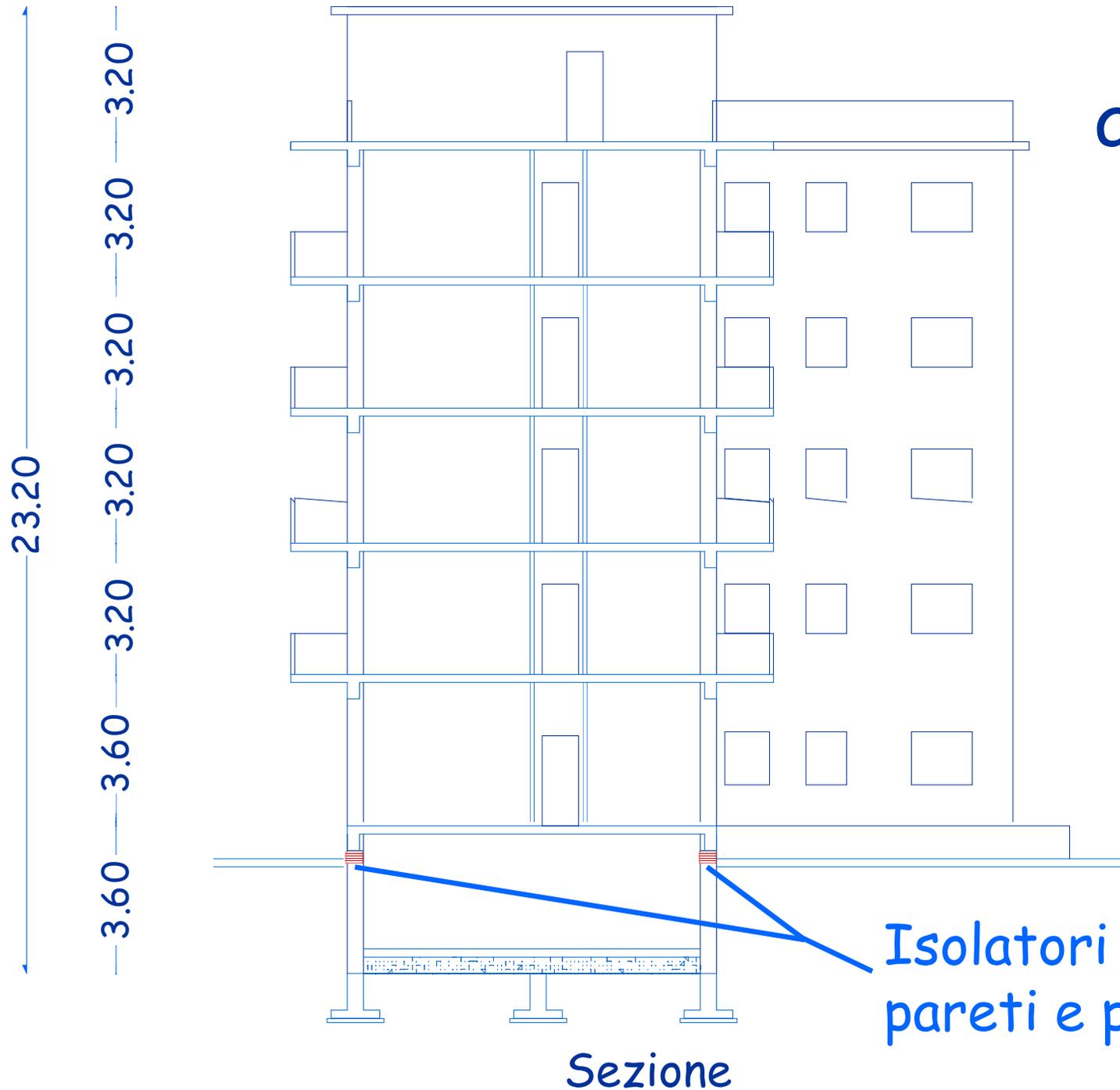
Esempio



# Edificio analizzato

Sismicità media  
= zona 2

Suolo C



Isolatori disposti tra  
pareti e primo impalato

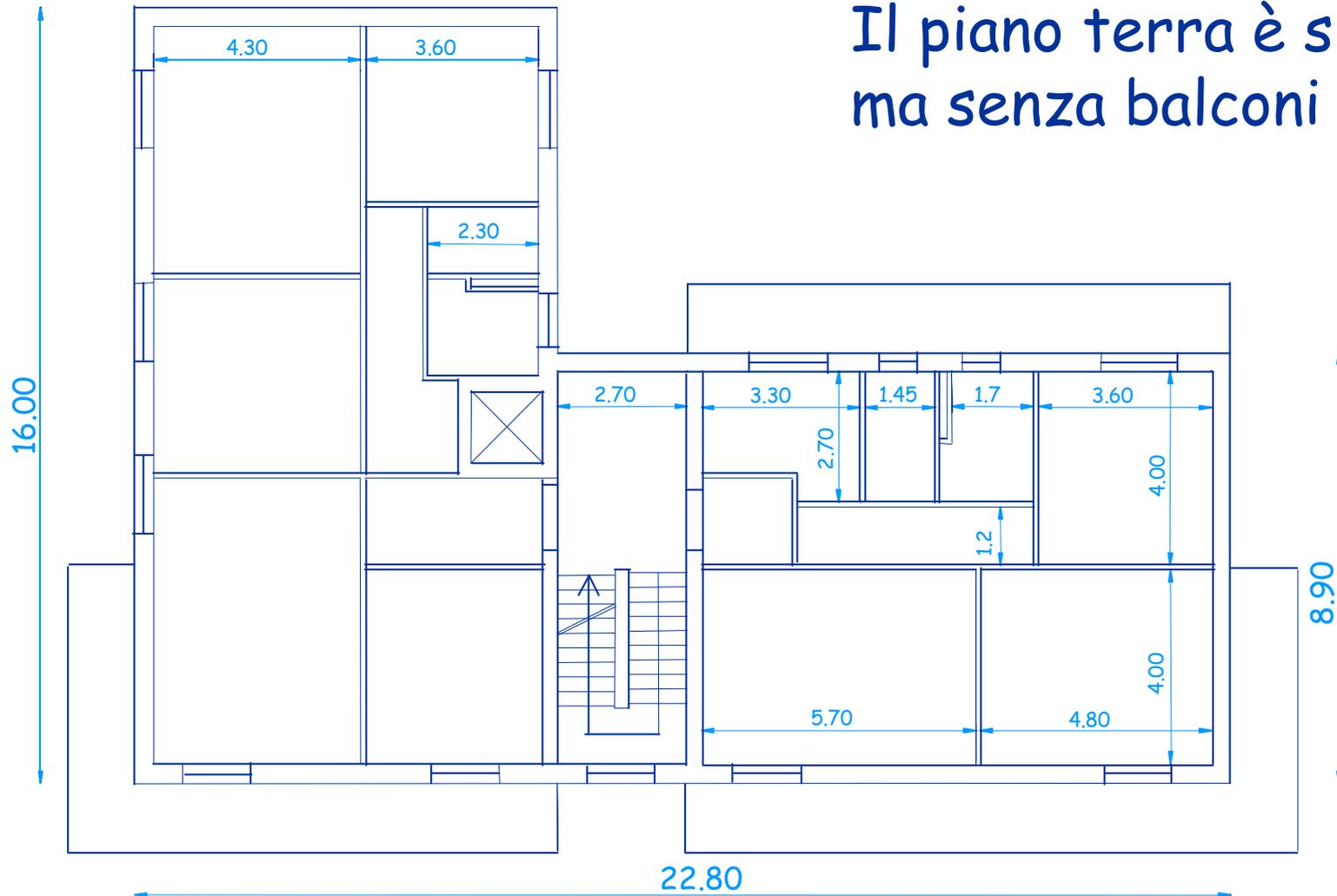
Sezione

# Impostazione della carpenteria

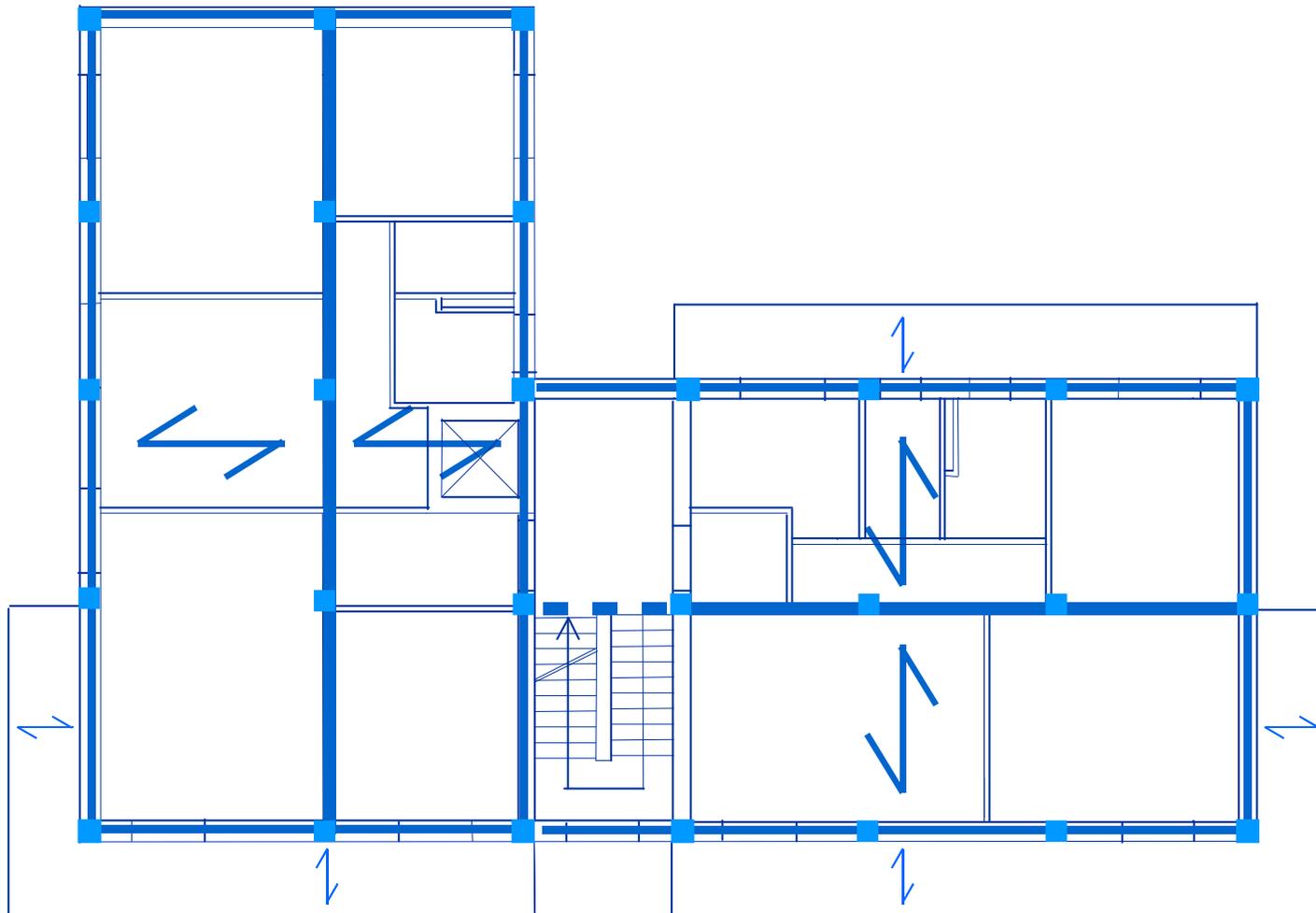
- Carpenteria pensata principalmente per carichi verticali
- Orientamento dei pilastri e aggiunta di travi emergenti per sopportare azioni orizzontali e conferire:
  - una buona rigidezza in entrambe le direzioni
  - una buona rigidezza rotazionale
- Cercare di realizzare in ogni caso una struttura rotazionalmente bilanciata

# Piano tipo

Il piano terra è simile,  
ma senza balconi

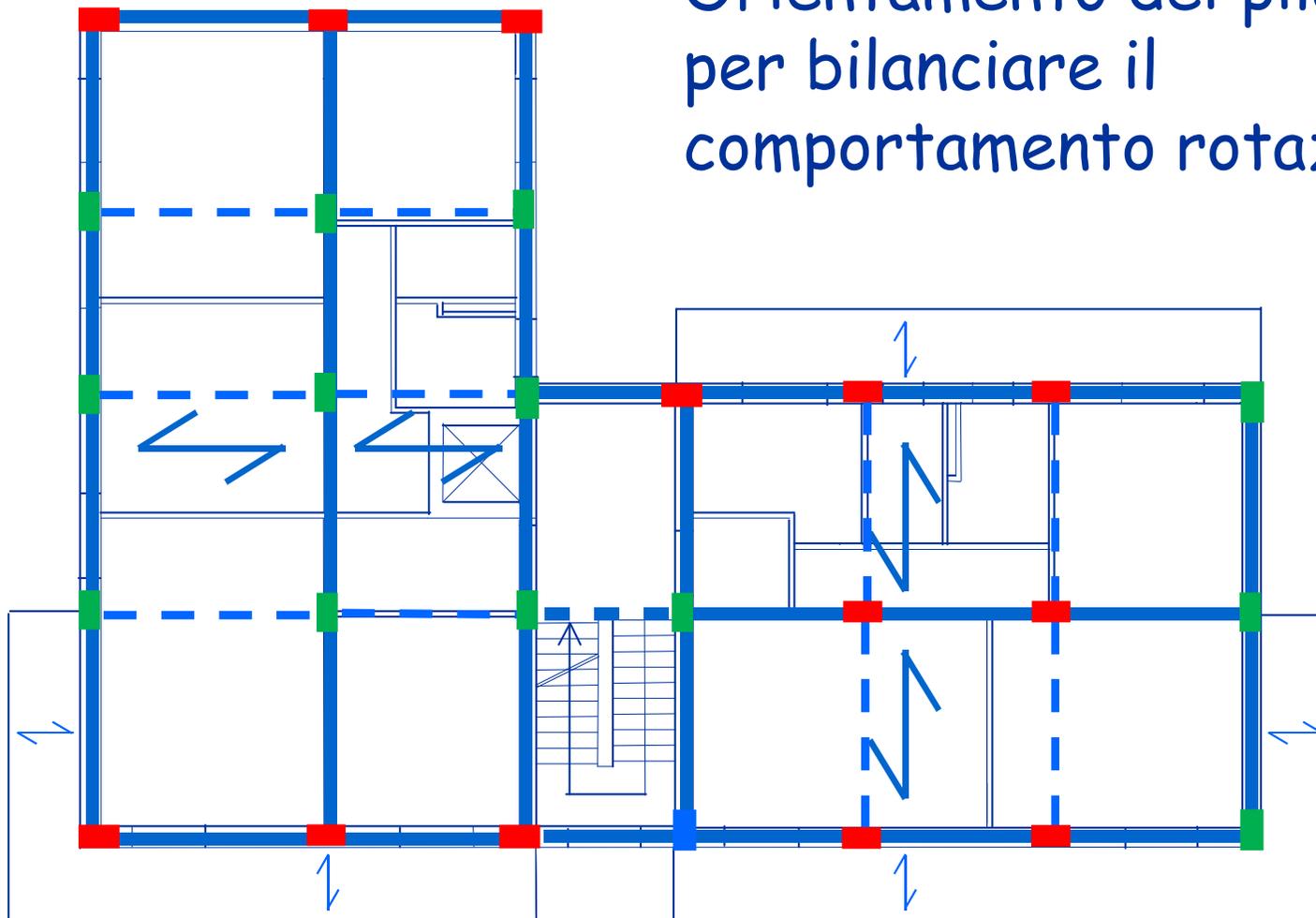


# Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

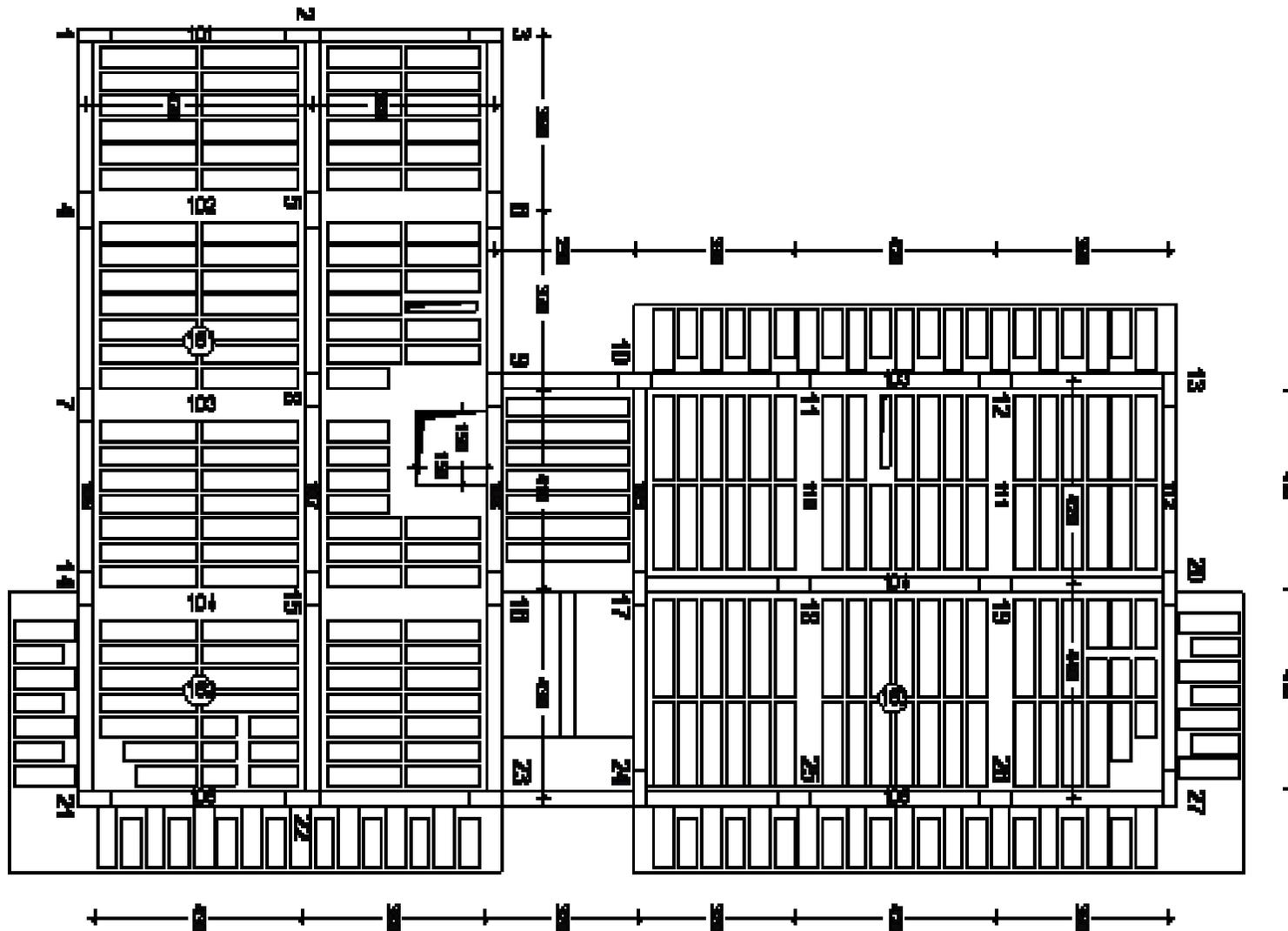


# Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Orientamento dei pilastri per bilanciare il comportamento rotazionale



# Carpenteria del piano tipo



# Dimensionamento

1. Stima carichi unitari, carichi verticali su travi e pilastri, sollecitazioni da carichi verticali in condizioni sismiche e non sismiche
2. Valutazione delle masse sismiche
3. Spettro di risposta elastica, fattore di struttura e spettro di progetto
4. Stima preliminare del periodo della struttura a base fissa e scelta del periodo della struttura isolata alla base
5. Previsione delle caratteristiche di sollecitazione nella struttura
6. Dimensionamento delle sezioni e controllo periodo

# 1. Carichi verticali

Si procede come ben noto

- Dimensionamento spessore solaio

Nell'esempio:  $s = 22 \text{ cm}$

- Definizione carichi unitari
- Analisi dei carichi sulle travi
- Stima del momento flettente nelle travi ( $q l^2 / 12$  o simile)

Nell'esempio, in assenza di sisma:

travi emergenti  $M=100 \text{ kNm}$

travi a spessore  $M=36 \text{ kNm}$

In presenza di sisma circa il 60% di questi valori

# 1. Carichi verticali

Si procede come ben noto

- Stima dello sforzo normale nei pilastri

Nell'esempio,

in assenza di sisma:

2° ordine  $N=560\div 1570$  kN

1° ordine  $N=660\div 1850$  kN

in presenza di sisma:

2° ordine  $N=385\div 1045$  kN

1° ordine  $N=455\div 1225$  kN

## 2. Masse

- In un edificio in cemento armato il peso delle masse di piano corrisponde in genere ad una incidenza media di 8÷11 kN/m<sup>2</sup>
  - Nell'esempio, una stima di prima approssimazione del peso delle masse a ciascun piano è stata ottenuta moltiplicando la superficie totale dell'impalcato per 10 kN/m<sup>2</sup> (9 kN/m<sup>2</sup> in copertura, per la minore incidenza delle tamponature)

Impalcato	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Incidenza [kN/m <sup>2</sup> ]	Peso [kN]
Torrino + VI	379.9	9.0	3419
V, IV, III, II	323.5	10.0	3235
I	263.2	10.0	2632

### 3. Spettro di risposta

- Lo spettro si ricava a partire dai dati relativi al sito  
Nell'esempio

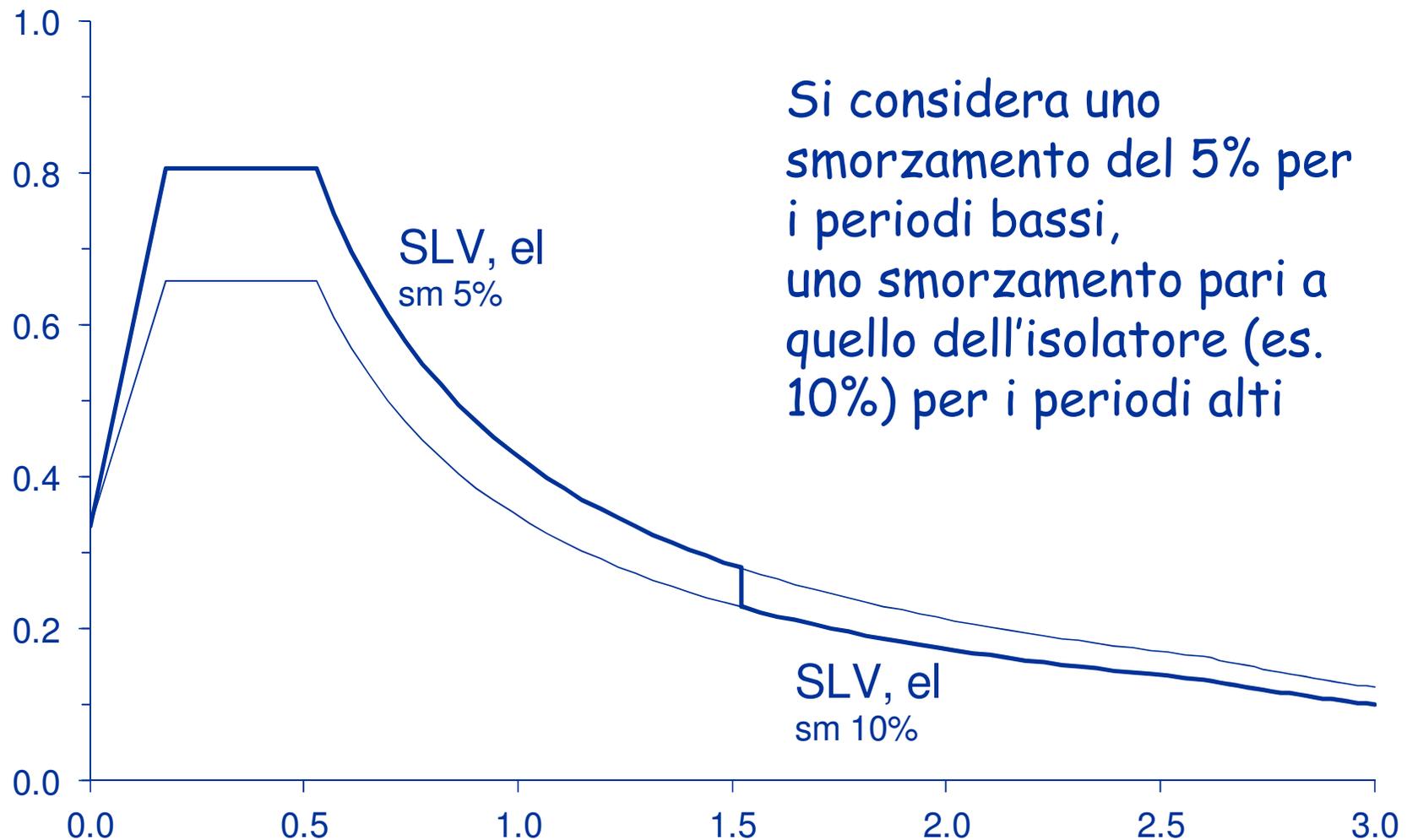
stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC
$T_r$	30	50	475	975
$a_g$	0.061	0.082	0.250	0.339
$F_o$	2.360	2.316	2.410	2.445
$T_C^*$	0.280	0.292	0.360	0.383

Per suolo C e stato limite SLV si ha:

$$S = 1.335 \quad T_B = 0.177 \text{ s} \quad T_C = 0.53 \text{ s} \quad T_D = 2.60 \text{ s}$$

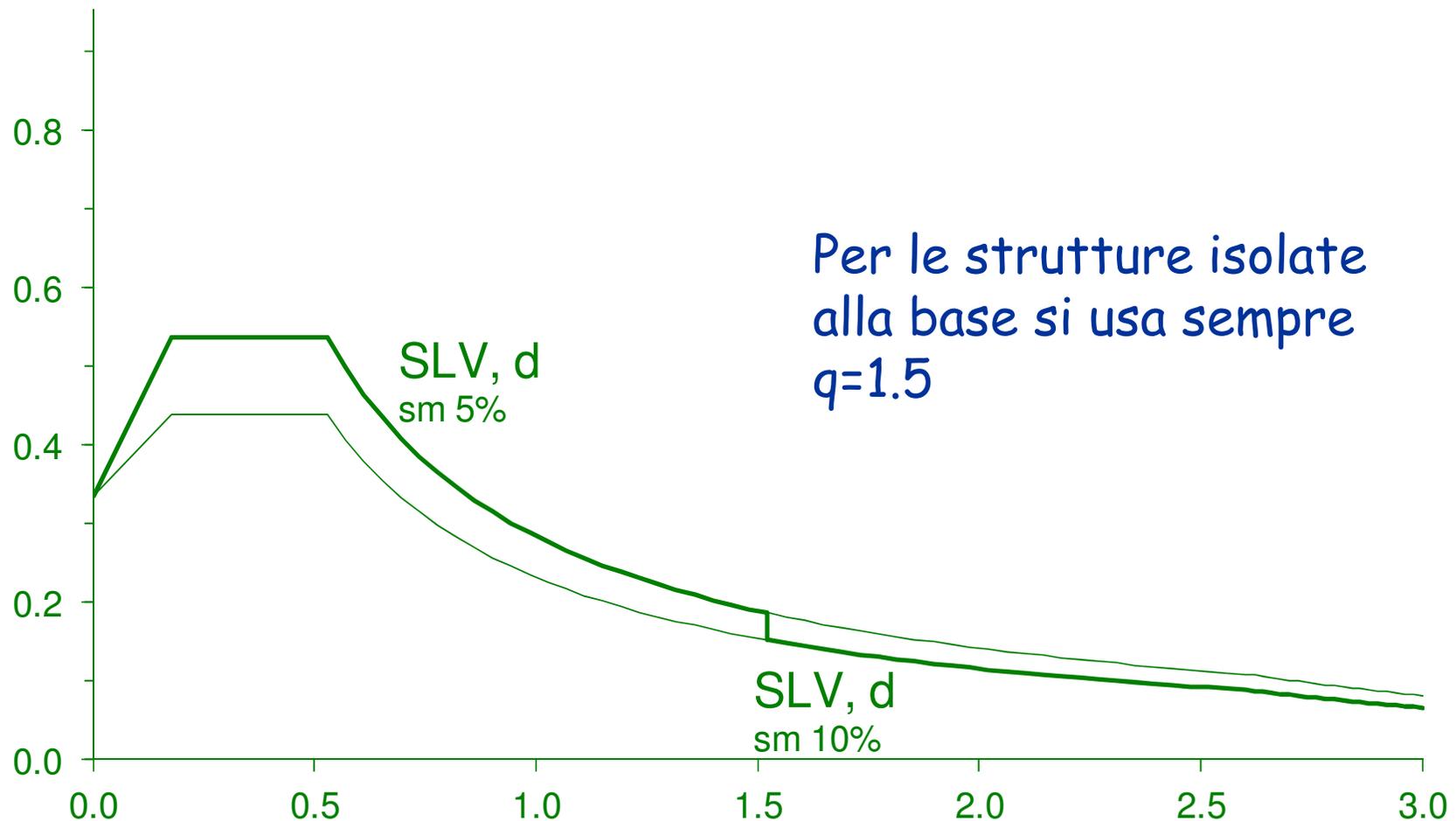
### 3. Spettro di risposta

- Lo spettro dipende anche dallo smorzamento



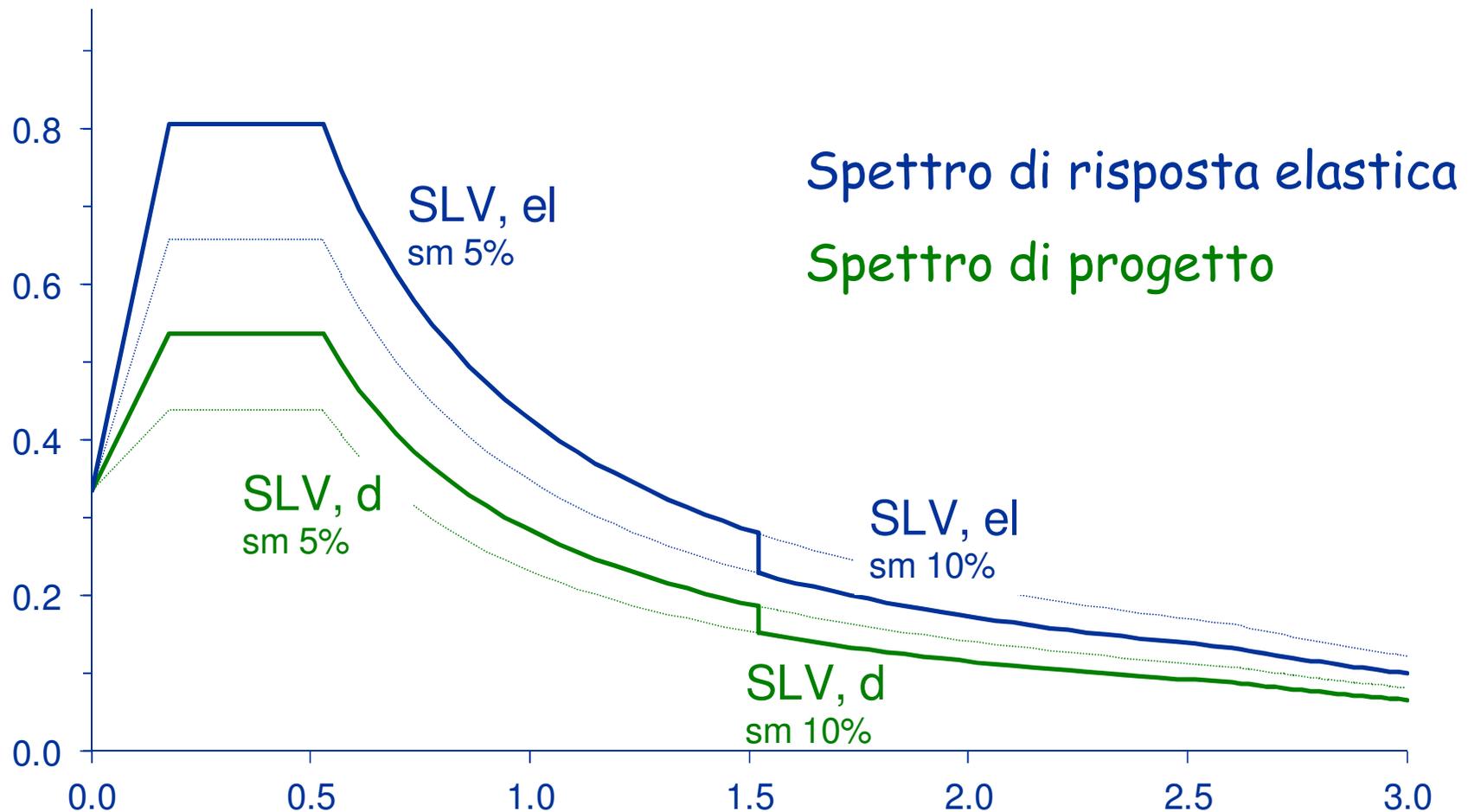
### 3. Spettro di risposta

- Nel progetto della struttura si considera lo spettro ridotto in funzione del fattore di struttura  $q$



### 3. Spettro di risposta

- Nel progetto della struttura si considera lo spettro ridotto in funzione del fattore di struttura  $q$



## 4. Periodi

- Occorre preliminarmente stimare il periodo fondamentale della struttura a base fissa
- In mancanza di altre indicazioni si può utilizzare la formula di normativa

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

con  $C_1 = 0.075$  per strutture intelaiate in c.a.

Per la presenza delle pareti del cantinato, userò  
 $H = 16.00$  m

altezza dell'edificio dall'estradosso delle pareti del cantinato

$$T_1 = 0.60 \text{ s}$$

## 4. Periodi

- Occorre preliminarmente stimare il periodo fondamentale della struttura a base fissa

$$T_1 = 0.60 \text{ s}$$

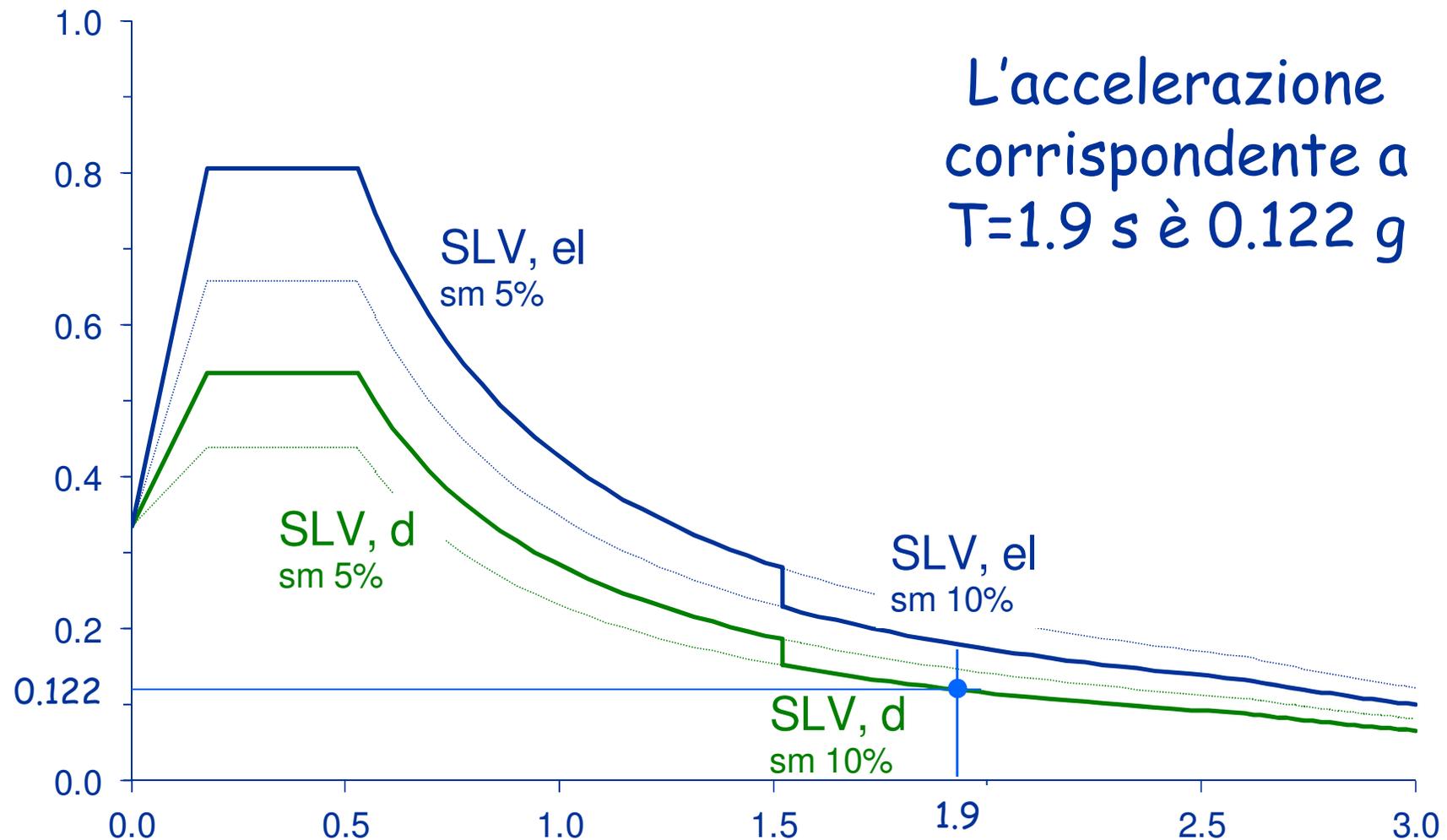
- Il periodo della struttura isolata deve essere almeno 3 volte quello della struttura a base fissa
- Assumo  $T_{iso} = 1.9 \text{ s}$

## 5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Il procedimento è analogo a quello che si usa per nuova progettazione
- La distribuzione delle forze è diversa (accelerazione costante, anziché variabile linearmente)

# 5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Ordinata dello spettro di progetto



## 5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Forze e tagli di piano  
con  $S_d = 0.122 g$  (nota:  $\lambda=1$ )

piano	W	F [kN]	V [kN]
6 + torrino	3419	418.3	418.3
5	3235	395.8	814.1
4	3235	395.8	1209.9
3	3235	395.8	1605.7
2	3235	395.8	2001.5
1	2632	322.0	2323.5
Totale	18991		

## 5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Taglio e momento flettente nei pilastri  
considero 13 pilastri

piano	V [kN]	$V_{pil}$ [kN]	$M_{pil}$ [kNm]
6 + torrino	418.3	32.2	51.5
5	814.1	62.6	100.2
4	1209.9	93.1	148.9
3	1605.7	123.5	197.6
2	2001.5	154.0	277.1
1	2323.5		

Incrementare per tener conto  
di eccentricità accidentale

$$V_{pil} = \frac{V}{n_{pil}}$$

$$M_{pil} = V_{pil} \frac{h}{2}$$

# 5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Momento flettente nelle travi  
dall'equilibrio nel nodo

piano	V [kN]	$M_{pil}$ [kNm]	$M_{tra}$ [kNm]
6 + torrino	418.3	51.5	25.7
5	814.1	100.2	75.8
4	1209.9	148.9	124.6
3	1605.7	197.6	173.3
2	2001.5	277.1	237.4
1	2323.5		138.6

Incrementare per tener conto  
di eccentricità accidentale

$$M_{tra,i} = \frac{M_{pil,i+1} + M_{pil,i}}{2}$$

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- In base ai momenti stimati  
(da incrementare di 1.1÷1.2 per eccentricità accidentale)

piano	$M_{pil}$ [kNm]	pilastro	$M_{tra}$ [kNm]	trave
6 + torrino	51.5	30x70	25.7	30x50
5	100.2	30x70	75.8	30x50
4	148.9	30x70	124.6	30x50
3	197.6	30x70	173.3	30x60
2	277.1	30x70	237.4	30x60
1			138.6	30x60

tenendo conto che per carichi verticali  $M_{tra}=58.2$  kNm

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Ho usato l'approccio "per singola tipologia di elemento"

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

**Esempio:**

pilastro 30x70 con 2 travi emergenti 30x60 sup e 30x60 inf  
(con  $h_{\text{pil}} = 3.20 \text{ m}$ ,  $l_{\text{tra}} = 4.00 \text{ m}$ )

$k = 33.14 \text{ kN/mm}$

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Riepilogo rigidezze singole tipologie, ai vari piani

	1	2	3	4
	pilastro di coltello	pilastro di coltello	pilastro di coltello	pilastro di coltello
ordine	2 travi eme. sup/inf	1 trave eme. sup/inf	2 travi sp. sup/inf	1 trave sp. sup/inf
6	22.33	12.59	4.68	2.40
5	22.33	12.59	4.68	2.40
4	27.36	16.04	4.68	2.40
3	33.14	19.90	4.68	2.40
2	33.14	19.90	4.68	2.40

	6	7	8	9
	pilastro di piatto	pilastro di piatto	pilastro di piatto	pilastro di piatto
ordine	2 travi eme. sup/inf	1 trave eme. sup/inf	2 travi sp. sup/inf	1 trave sp. sup/inf
6	11.15	8.04	3.87	2.16
5	11.15	8.04	3.87	2.16
4	12.18	9.19	3.87	2.16
3	13.31	10.51	3.87	2.16
2	13.31	10.51	3.87	2.16

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze singoli telai, ai vari piani

telaio	1		y =	0.15	m					
ordine	6									
tipologia pilastri		2	1	1	6	1	1	7	<b>k tot</b>	
rigidezza		12.59	22.33	22.33	11.15	22.33	22.33	8.04		<b>121.09</b>
ordine	5									
tipologia pilastri		2	1	1	6	1	1	7	<b>k tot</b>	
rigidezza		12.59	22.33	22.33	11.15	22.33	22.33	8.04		<b>121.09</b>
ordine	4									
tipologia pilastri		2	1	1	6	1	1	7	<b>k tot</b>	
rigidezza		16.04	27.36	27.36	12.18	27.36	27.36	9.19		<b>146.83</b>
ordine	3									
tipologia pilastri		2	1	1	6	1	1	7	<b>k tot</b>	
rigidezza		19.90	33.14	33.14	13.31	33.14	33.14	10.51		<b>176.28</b>
ordine	2									
tipologia pilastri		2	1	1	6	1	1	7	<b>k tot</b>	
rigidezza		19.90	33.14	33.14	13.31	33.14	33.14	10.51		<b>176.28</b>

eccetera

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze totali, ai vari piani

Telai in direzione x						
complessivo						
		pil.eq.	k tot	ktot y	y Gk	y CM
ordine	6					
rigidezza		15.07	336.51	1972.4	5.86	5.76
ordine	5					
rigidezza		15.07	336.51	1972.4	5.86	5.70
ordine	4					
rigidezza		14.77	403.93	2373.8	5.88	5.68
ordine	3					
rigidezza		14.52	481.08	2831.8	5.89	5.67
ordine	2					
rigidezza		14.52	481.08	2831.8	5.89	5.67

Per sisma in  
direzione x la  
struttura è  
bilanciata

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze totali, ai vari piani

Telai in direzione y						
complessivo						
		pil.eq.	k tot	ktot x	x Gk	x CM
ordine	6					
rigidezza		15.95	<b>356.04</b>	2987.9	<b>8.39</b>	10.14
ordine	5					
rigidezza		15.95	<b>356.04</b>	2987.9	<b>8.39</b>	10.24
ordine	4					
rigidezza		15.71	<b>429.76</b>	3607.8	<b>8.39</b>	10.28
ordine	3					
rigidezza		15.52	<b>514.18</b>	4314.3	<b>8.39</b>	10.30
ordine	2					
rigidezza		15.52	<b>514.18</b>	4314.3	<b>8.39</b>	10.31

Per sisma in direzione y la struttura è fortemente sbilanciata (2 m)

Questo è meno importante per strutture isolate, ma comunque conta

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Dalle rigidezze si ricavano gli spostamenti e quindi il periodo, con la formula di Rayleigh

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

Rigidezze con approccio per singolo pilastro			direzione x			distribuzione costante			
Forze orizzontali			Sd	0.122	(valore arbitrario)		Fh	1927.7	
piano	W	Fi	Vi [kN]	k [kN/mm]	dr [mm]	u [mm]	m [t]	m u <sup>2</sup>	F u
6 + torino	3419	418.3	418.3	336.51	1.24	14.00	348.5	68.3	5857
5	3235	395.8	814.1	336.51	2.42	12.76	329.8	53.7	5050
4	3235	395.8	1209.9	403.93	3.00	10.34	329.8	35.3	4093
3	3235	395.8	1605.7	481.08	3.34	7.34	329.8	17.8	2907
2	2632	322.0	1927.7	481.08	4.01	4.01	268.3	4.3	1290
Totale	15756	1927.7						179.4	19197
							T	0.607	s

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Dalle rigidezze si ricavano gli spostamenti e quindi il periodo, con la formula di Rayleigh

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

Rigidezze con approccio per singolo pilastro			direzione y			distribuzione costante			
Forze orizzontali			Sd	0.122			Fh	1638.6	
piano	W	Fi	Vi [kN]	k [kN/mm]	dr [mm]	u [mm]	m [t]	m u <sup>2</sup>	F u
6 + torino	3419	418.3	418.3	356.04	1.17	13.15	348.5	60.3	5500
5	3235	395.8	814.1	356.04	2.29	11.97	329.8	47.3	4739
4	3235	395.8	1209.9	429.76	2.82	9.69	329.8	30.9	3834
3	3235	395.8	1605.7	514.18	3.12	6.87	329.8	15.6	2720
2	2632	322.0	1927.7	514.18	3.75	3.75	268.3	3.8	1207
Totale	15756	1927.7						157.8	18001
							T	0.588	s

## 6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Il periodo della struttura a base fissa è effettivamente prossimo a 0.6 s
- Di conseguenza va bene un periodo della struttura isolata pari a 1.9 s