

Workshop

**Progetto di edifici antisismici con struttura in c.a.**

Catania

aula IT del DAU

10-20 settembre 2013

18 - Modellazione in presenza di pareti

Edifici con pareti solo al primo livello:  
problemi specifici

# Tipologia in esame

- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
  - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato

Nota: le pareti di solito sono quelle che servono da contenimento al terreno

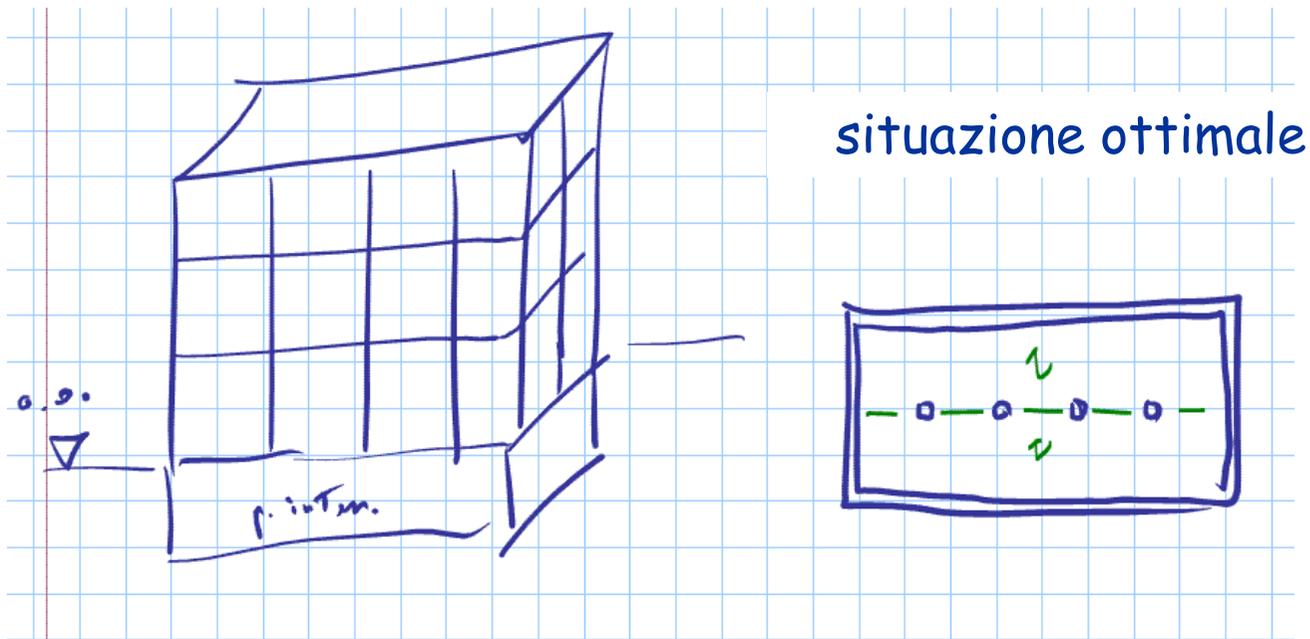


Se le pareti non possono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato è indispensabile staccarle dalla struttura

Ovvero: le pareti di contenimento del terreno devono essere arretrate e separate da pilastri, travi e impalcato

# Tipologia in esame

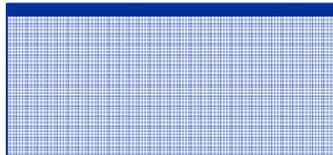
- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
  - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato



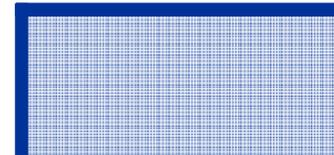
# Tipologia in esame

- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
  - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato

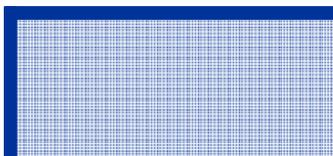
assolutamente  
**NO**



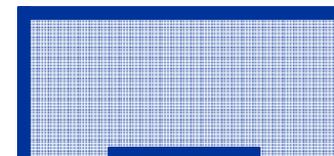
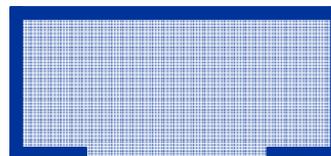
potrebbe  
andare



assolutamente  
**NO**



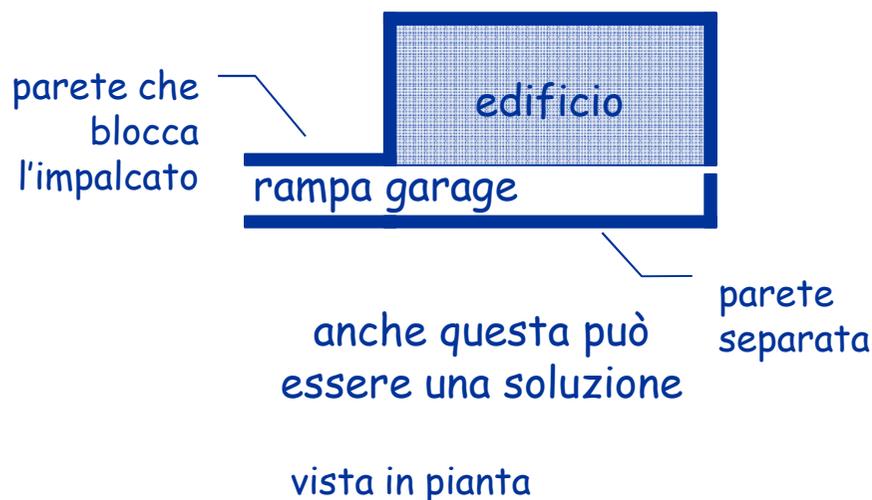
così va sicuramente meglio



vista in pianta

# Tipologia in esame

- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
  - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato



# Tipologia in esame

- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
  - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato
  - Le pareti possono essere considerate come "pareti estese debolmente armate"

# Pareti estese debolmente armate

- Definizione di normativa

Per la singola direzione:

- Periodo fondamentale non superiore a  $T_c$
- Almeno due pareti con  $l_w \geq \text{MIN}(4.00 \text{ m}; 2/3 h_w)$
- Le pareti portano almeno il 20% del carico gravitazionale

Definizione poco significativa: in sostanza

- Devono essere estese
- Devono essere molto rigide (tanto da bloccare bene il primo impalcato)

# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Occorre esaminare in maniera distinta la struttura a pareti del primo livello e la struttura a telaio sovrastante

- Usare fattori di struttura diversi per le due strutture
- È possibile usare modelli geometrici distinti per le due strutture (ognuno col proprio  $q$ )
- Se più comodo, si può usare un unico modello geometrico che comprende entrambe le strutture, calcolandolo con i due diversi fattori di struttura (e usando per ciascuna struttura il calcolo appropriato)

# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

## Pareti al primo livello

Sono sostanzialmente strutture a pareti non accoppiate di classe di duttilità B

- Fattore di struttura:

$$q_0 = 3 k_w$$

ma in questo caso  $k_w = 0.5$  perché  $l_w \gg h_w$

quindi  $q_0 = 1.5$

inoltre  $K_R = 1.0$  perché le pareti sono solo a un piano

quindi  $q = 1.5$

## Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di $q$

- Ulteriori indicazioni:

Per prevenire il collasso delle strutture a seguito della rottura delle pareti, i valori di  $q_0$  devono essere ridotti mediante il fattore  $k_w$

$$k_w = \begin{cases} 1,00 & \text{per strutture a telaio e miste equivalenti a telai} \\ \underline{0,5 \leq (1+\alpha_0)/3 \leq 1} & \text{per strutture a pareti, miste equivalenti a pareti, torsionalmente deformabili} \end{cases}$$

dove  $\alpha_0$  è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezze e larghezze delle pareti. Nel caso in cui gli  $\alpha_0$  delle pareti non differiscano significativamente tra di loro, il valore di  $\alpha_0$  per l'insieme delle pareti può essere calcolato assumendo come altezza la somma delle altezze delle singole pareti e come larghezza la somma delle larghezze.

$$\alpha_0 = \frac{h_w}{l_w}$$

$k_w$  è minore di 1 per pareti tozze ( $h_w < 2 l_w$ )

# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

## Pareti al primo livello

Sono sostanzialmente strutture a pareti non accoppiate di classe di duttilità B

- Fattore di struttura:

$$q = 1.5$$

- Amplificazione del taglio:

per pareti estese debolmente armate il taglio dovrebbe essere amplificato di  $(q+1)/2$  e quindi di 1.25 (vedi più avanti, tipologia pareti non accoppiate)

questa mi sembra una cautela  
eccessiva, ma comunque poco rilevante

NTC 08, punto 7.4.4.5.1

# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

## Struttura a telaio sovrastante

È a tutti gli effetti una struttura a telaio  
(può essere di CD "A" oppure "B")

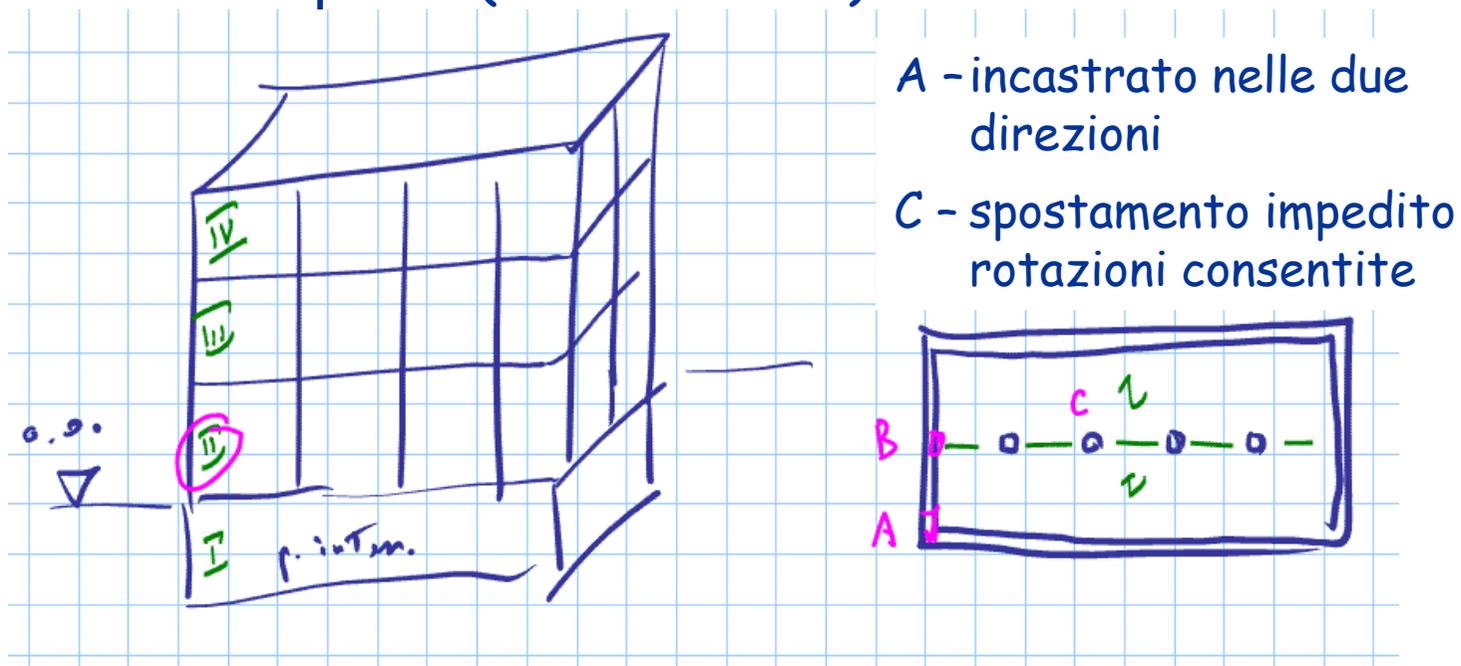
- Fattore di struttura:  
come per una qualsiasi struttura a telaio
- Nel modello geometrico (e nel giudizio sulla regolarità) fare attenzione al diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

## Struttura a telaio sovrastante

- Diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)



# Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

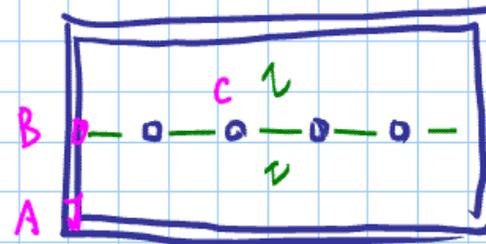
## Struttura a telaio sovrastante

- Diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

La regolarità in pianta e la regolarità in altezza del telaio possono essere condizionate dal diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo

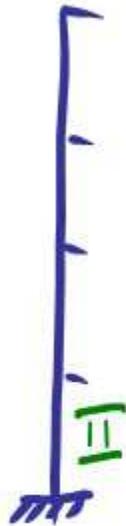
A - incastrato nelle due direzioni

C - spostamento impedito  
rotazioni consentite

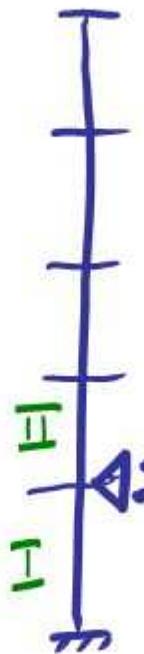


# Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



Incastro al piede  
del II ordine:  
maggiore rigidezza



Possibilità di  
ruotare:  
minore rigidezza

spostamento  
impedito



Non è un problema se  
la cerniera si forma al  
piede del II ordine  
anzi è coerente col  
modello voluto

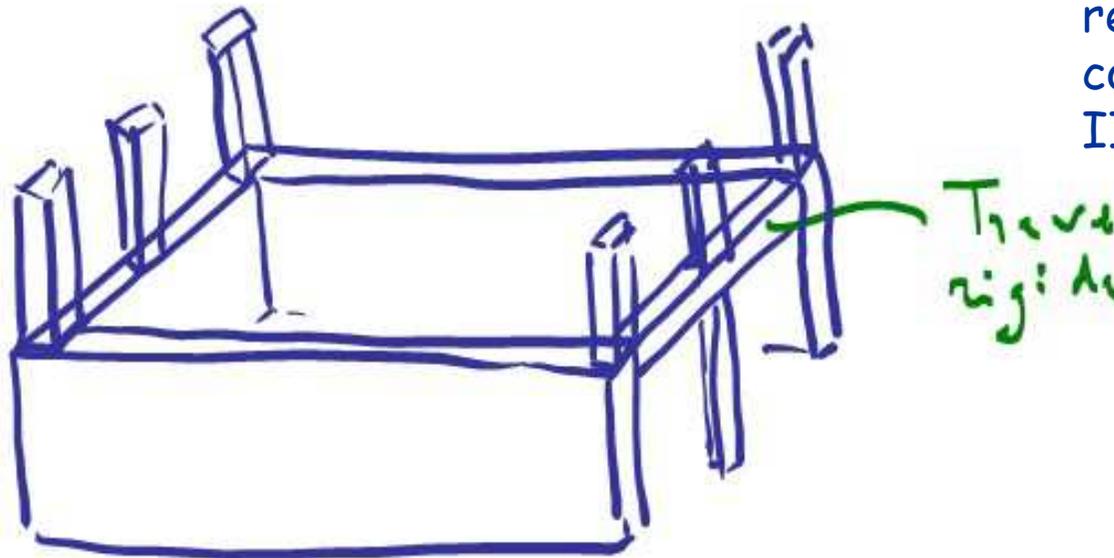
spostamento  
impedito

Disporre una trave  
rigida riduce la  
rotazione e aumenta  
la rigidezza



# Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



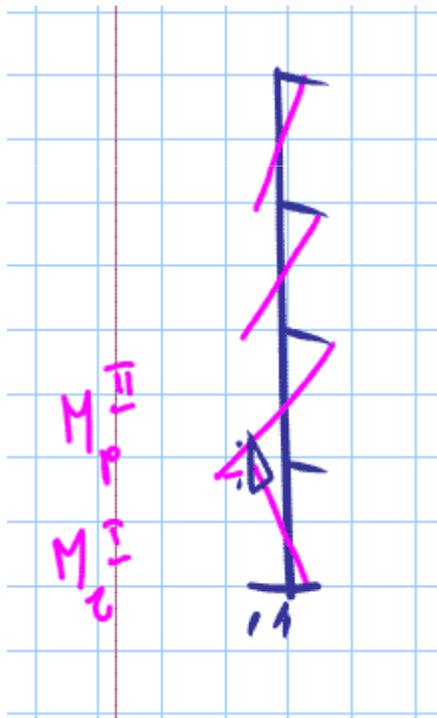
La trave rigida può  
regolarizzare il  
comportamento al  
II ordine

Trave  
rigide

La trave rigida non serve a  
regolarizzare il comportamento  
della "scatola"

# Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



Comportamento di un pilastro  
che parte dal I ordine

Inversione del taglio (e della  
pendenza del momento flettente)

Se le travi sono a spessore:

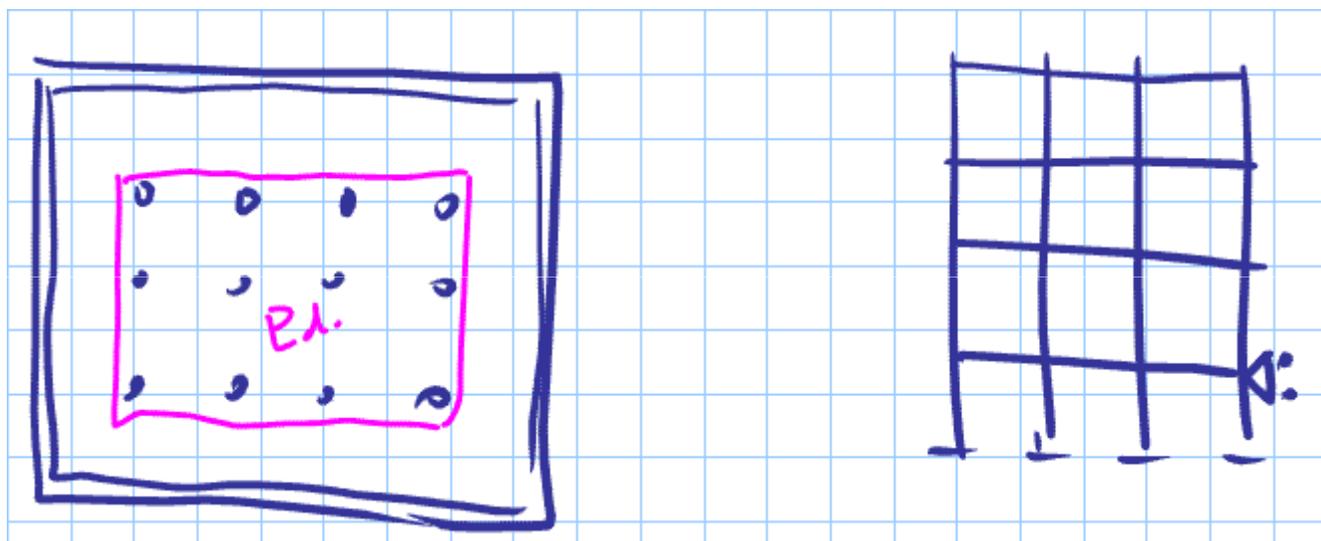
$$M_t^I \cong M_p^{II}$$

Se le travi sono rigide:

$$M_t^I \ll M_p^{II}$$

# Edifici con base molto più estesa

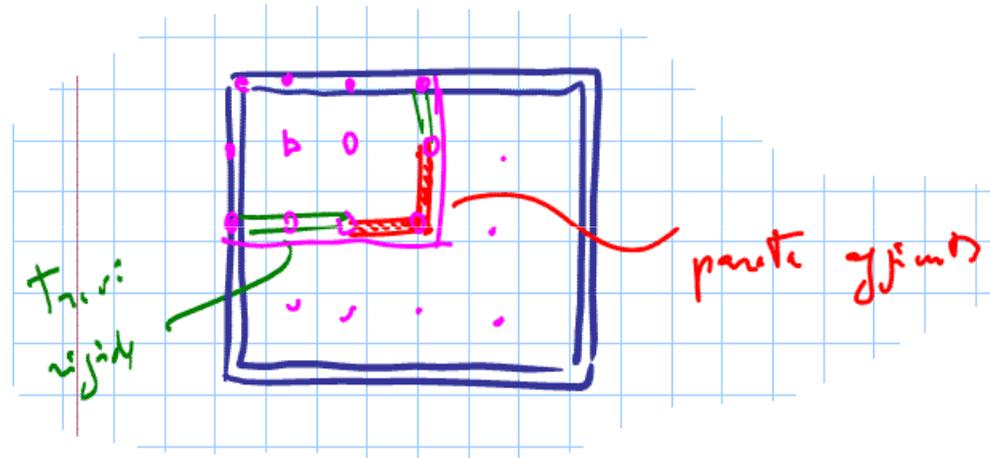
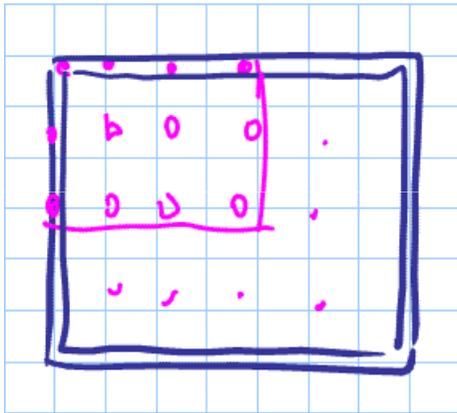
- Con l'edificio in posizione simmetrica



- Problemi:
  - Maggiori sollecitazioni nell'implacato
  - Rischio di cedimenti differenziali (maggiori al centro) da evitare con fondazioni rigide

# Edifici con base molto più estesa

- Con l'edificio in posizione non simmetrica

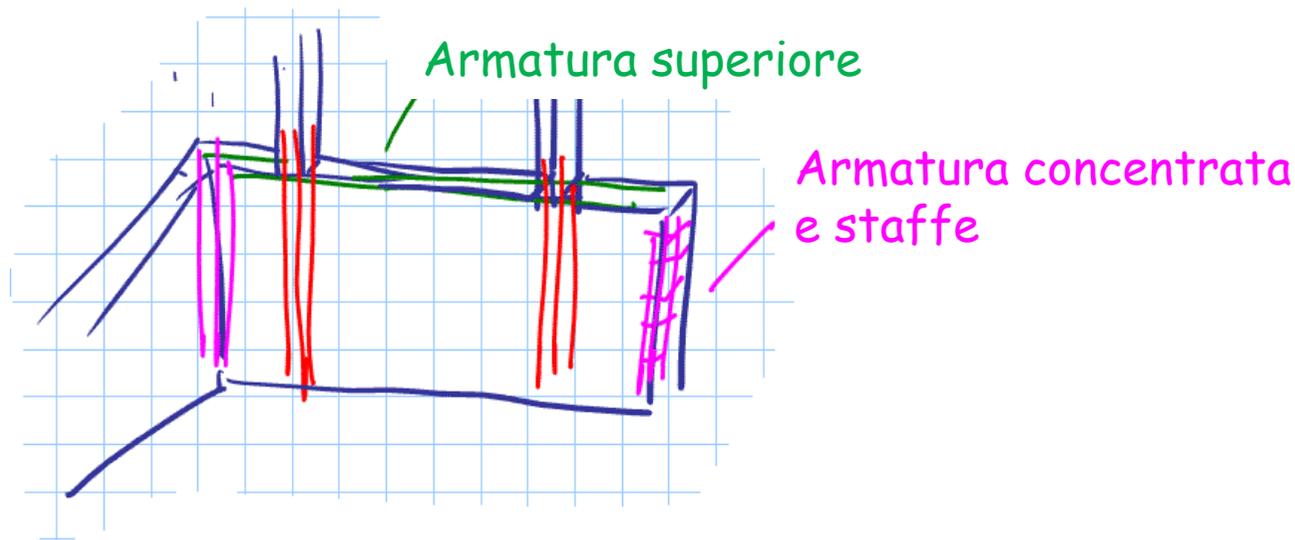


Possibile soluzione

- Ulteriori problemi:
  - Dissimmetria → rischio di rotazione del primo impalcato

# Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
  - Il calcolo con  $q=1.5$  (ma anche con  $q=1$ ) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
  - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
  - Per la flessione:
    - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro



# Calcolo e armature pareti

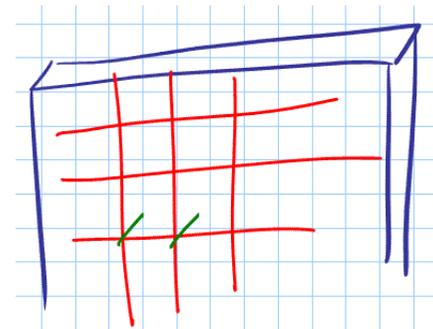
- Le pareti sono sovrabbondanti
  - Il calcolo con  $q=1.5$  (ma anche con  $q=1$ ) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
  - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
  - Per la flessione:
    - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
    - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)



- Portare l'armatura di attesa fino al piede della parete
- Staffarla bene

# Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
  - Il calcolo con  $q=1.5$  (ma anche con  $q=1$ ) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
  - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
  - Per la flessione:
    - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
    - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)
  - Per il taglio:
    - Mettere armature diffuse (orizzontali e verticali) almeno pari allo 0.2% (per  $b_w=30$  cm,  $6$  cm<sup>2</sup>/m)



Collegamenti  
trasversali  
9/m<sup>2</sup>

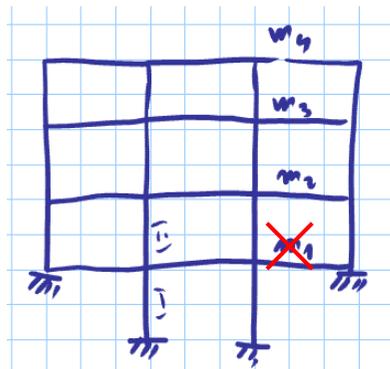


# Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
  - Il calcolo con  $q=1.5$  (ma anche con  $q=1$ ) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
  - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
  - Per la flessione:
    - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
    - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)
  - Per il taglio:
    - Mettere armature diffuse (orizzontali e verticali) almeno pari allo 0.2% (per  $b_w=30$  cm,  $6$  cm<sup>2</sup>/m)
  - Per lo scorrimento:
    - Attenzione se lo sforzo normale è basso Se occorre, mettere barre inclinate

# Calcolo e armatura telaio sovrastante

- Come se avesse un piano in meno, cioè come se partisse dal II ordine
- La previsione delle sollecitazioni (per relazione secondo capitolo 10) può essere fatta con un piano in meno
  - Nella ripartizione del taglio tra i pilastri occorre tenere conto della differenza di rigidezza dovuta al diverso grado di vincolo al piede del II ordine

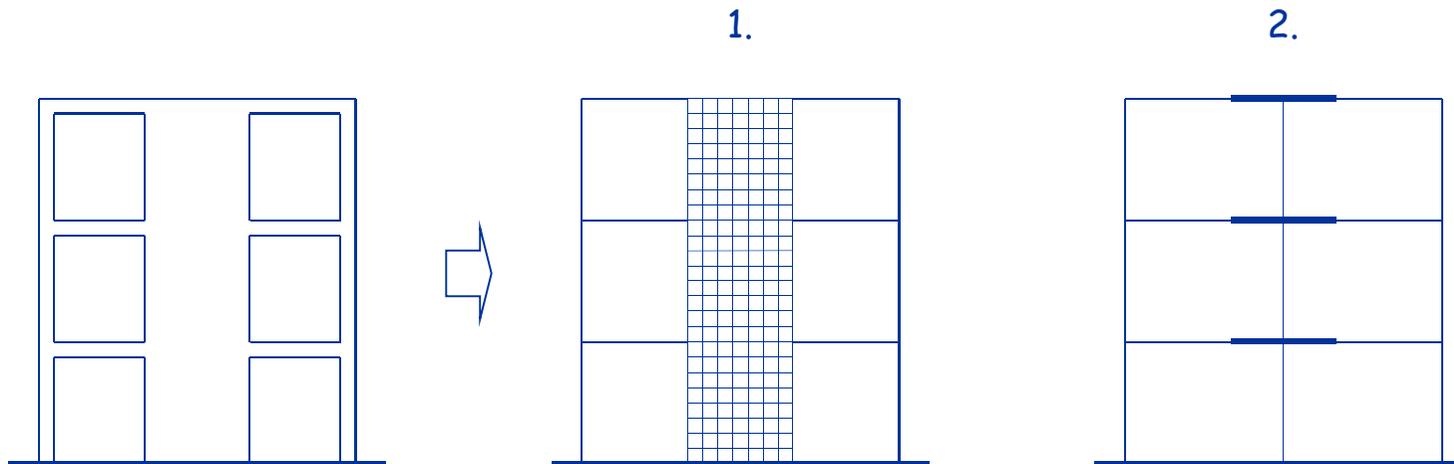


# Modellazione delle pareti

# Modellazione di pareti in c.a.

Possibili modellazioni:

1. Discretizzazione della parete con elementi finiti
2. Uso di elementi monodimensionali con tratti rigidi



# Modellazione di pareti in c.a. con elementi finiti

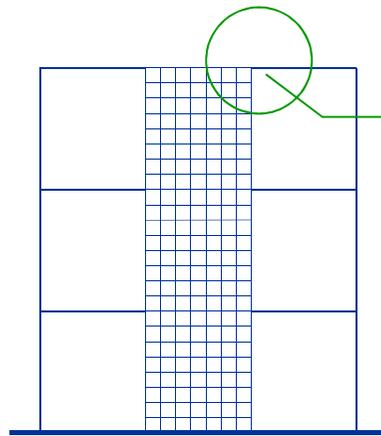
- Per cogliere il comportamento nel piano:  
elementi membranali (lastra)
- Se fa parte di un sistema spaziale e si vuol cogliere  
il comportamento fuori piano:  
elementi flessionali (piastra)

Cosa fa il vostro programma?

# Modellazione di pareti in c.a. con elementi finiti

Problemi:

Drilling - i punti nodali non sono vincolati alla rotazione



La trave è come  
incernierata all'estremo

I programmi usano vari artifici  
per eliminare il problema

Ma quanta approssimazione c'è?

# Modellazione di pareti in c.a. con elementi finiti

Problemi:

- Il modello a elementi finiti fornisce uno stato tensionale
- La normativa fornisce prescrizioni in termini di caratteristiche di sollecitazione ( $M$ ,  $V$ )

Calcolando la risultante delle tensioni  
si può risalire a  $M$  e  $V$

Ma quanta approssimazione c'è?

## Modellazione di pareti in c.a. aste con tratti rigidi

- Per cogliere il comportamento nel piano, il modello fornisce valori accettabili (purché si consideri la deformabilità a taglio dell'asta)
- Si possono usare
  - Tratti infinitamente rigidi
  - Tratti con rigidezza finita ma molto grande
- Fuori piano, la parete potrebbe comportarsi come un'asta qualsiasi, senza tratti rigidi

# Modellazione di pareti in c.a. aste con tratti rigidi

Problemi:

- La presenza di elementi con rigidità molto diversa può dar luogo a problemi numerici (ad esempio, squilibri nei nodi)

Il programma segnala questi problemi?

Se vi sono squilibri, quanto sono rilevanti?

# Modellazione di pareti in c.a. aste con tratti rigidi

Problemi:

- Come si modella la struttura se sulla parete concorrono due distinti telai ortogonali?



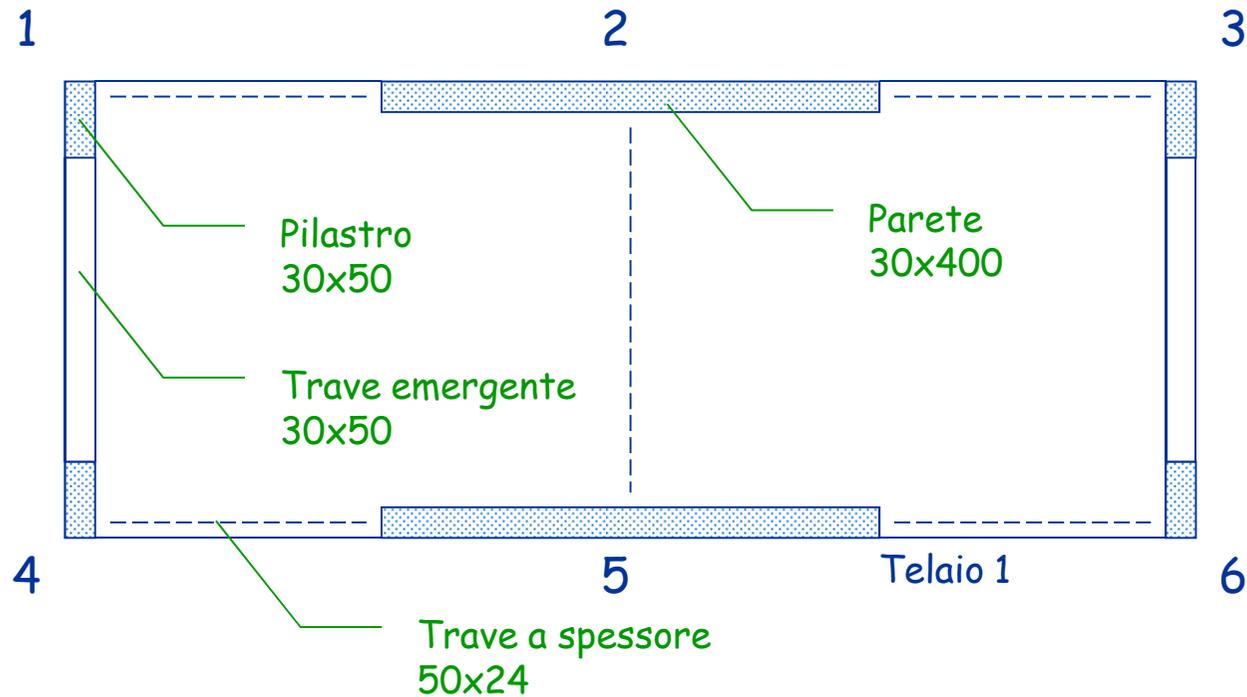
Un tratto rigido con buona rigidità torsionale?

oppure pilastri fittizi agli estremi?

# Modellazione con tratti rigidi

## Un esempio "artigianale"

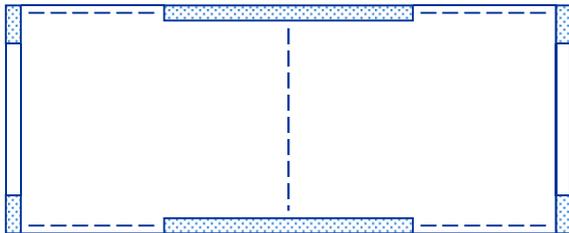
- 5 piani - incastro al piede



# Modellazione con tratti rigidi

## Un esempio "artigianale"

### 1. Asta con tratti infinitamente rigidi

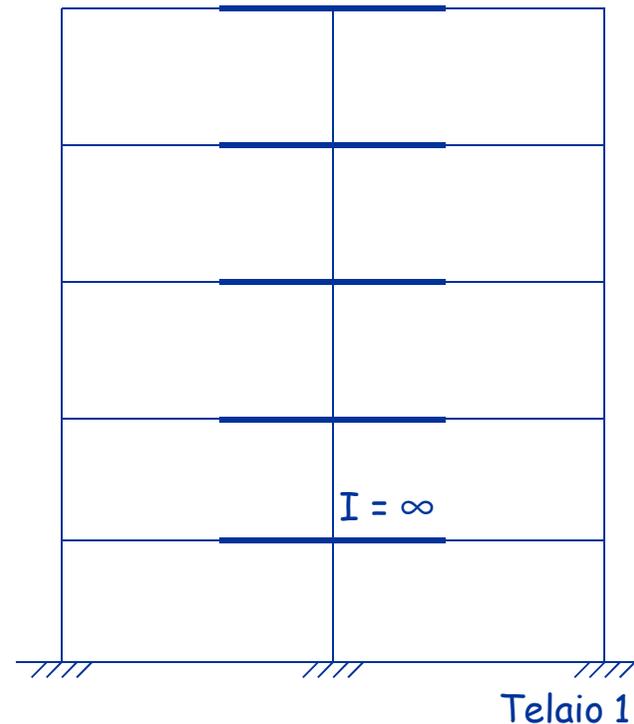


Analisi modale:

Modo 3, traslazione  $x$

$T = 0.2016 \text{ s}$

$M^* = 70.03\%$



# Modellazione con tratti rigidi

## Un esempio "artigianale"

### 1. Asta con tratti infinitamente rigidi

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Analisi statica

pilastro piano		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)
4	5	7.53	-5.67	4.12	5.91
4	4	3.99	-4.55	2.67	12.94
4	3	4.13	-4.44	2.68	19.35
4	2	2.92	-3.73	2.08	24.76
4	1	0.88	-1.88	0.76	28.18
5	5	42.31	-91.29	41.75	0.00
5	4	-42.44	-313.36	84.66	0.00
5	3	-268.58	-635.43	114.64	0.00
5	2	-597.63	-1032.32	135.84	0.00
5	1	-1008.41	-1542.90	148.47	0.00

SQUILIBRIO NEI NODI

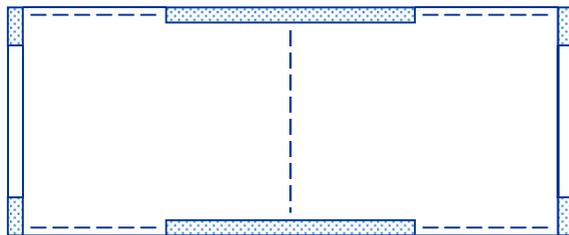
pilastro	piano	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
4	1	----	-2.80	-3.27
5	1	----	----	-20.62
6	1	----	2.80	-3.27
4	2	----	-4.42	-5.16
5	2	----	----	-32.57
6	2	----	4.42	-5.16

Piccoli squilibri  
(poco rilevanti)

# Modellazione con tratti rigidi

## Un esempio "artigianale"

### 2. Asta con tratti molto rigidi (ma non infinitamente)



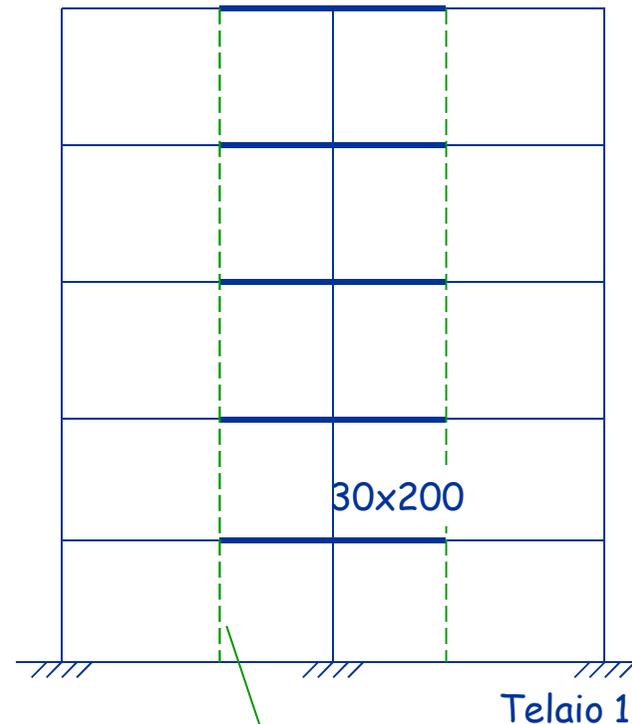
Analisi modale:

Modo 3, traslazione  $x$

$T = 0.2019 \text{ s}$

$M^* = 70.02\%$

Quasi identici a  $I = \infty$



Pilastro fittizio,  
usato solo per  
generare lo schema

# Modellazione con tratti rigidi

## Un esempio "artigianale"

### 2. Asta con tratti molto rigidi (ma non infinitamente)

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Analisi statica

pilastro piano		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)
4	5	7.47	-5.62	4.09	5.85
4	4	3.95	-4.51	2.65	12.79
4	3	4.09	-4.41	2.66	19.12
4	2	2.89	-3.71	2.06	24.46
4	1	0.86	-1.87	0.76	27.83
5	5	41.81	-92.00	41.81	0.00
5	4	-43.82	-314.89	84.71	0.00
5	3	-270.74	-637.74	114.69	0.00
5	2	-600.48	-1035.29	135.88	0.00
5	1	-1011.74	-1546.28	148.48	0.00

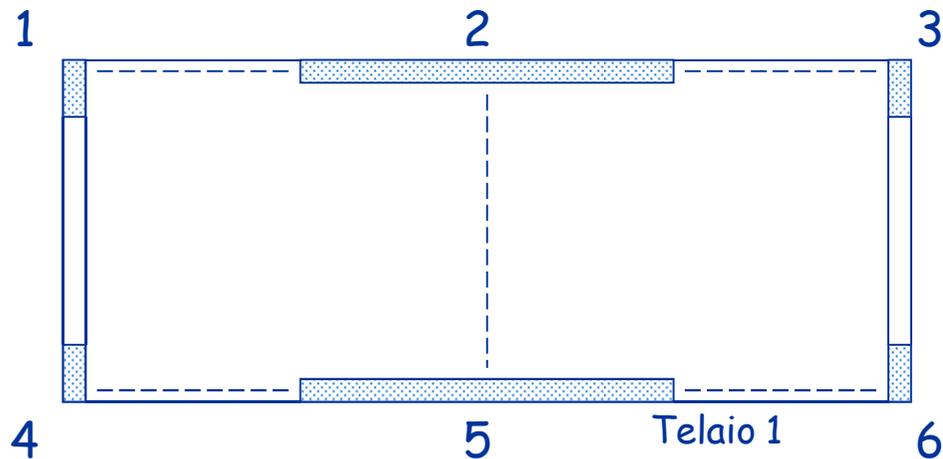
Era -1542.90

Piccole differenze rispetto a  $I = \infty$

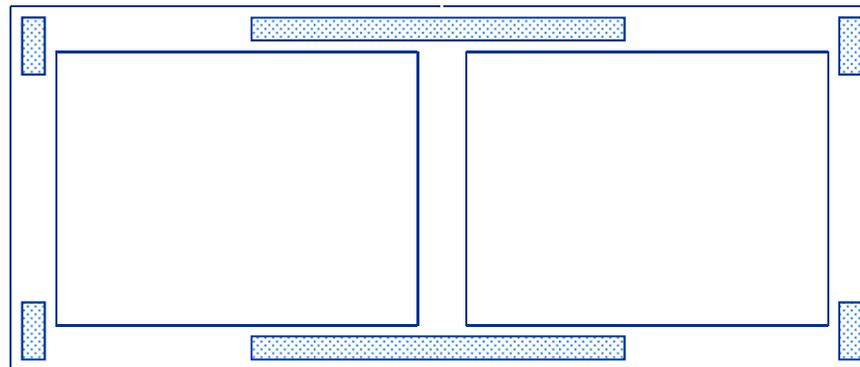
ma ora lo squilibrio non c'è

# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

- Stessa struttura, con fondazione



carpenteria

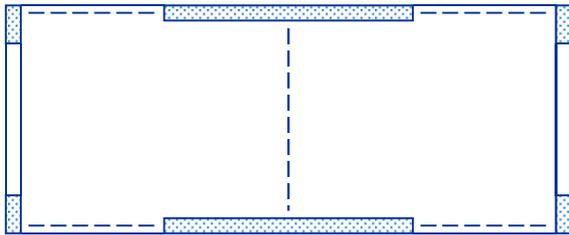


fondazione

# Modellazione con tratti rigidi

## In presenza di fondazione

### 1. Asta con tratti infinitamente rigidi

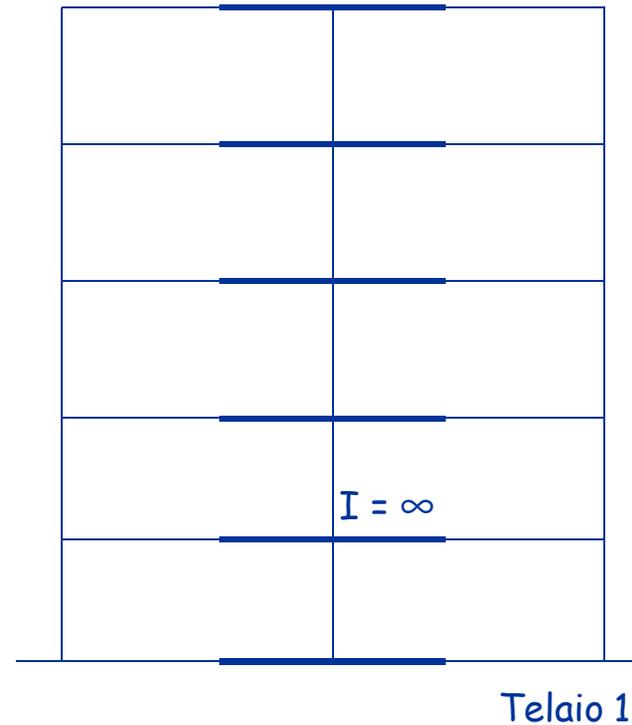


Analisi modale:

Modo 2, traslazione  $x$

$T = 0.2790$  s

$M^* = 77.32\%$



# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

## 1. Asta con tratti infinitamente rigidi

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Analisi statica

pilastro piano		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)
4	5	9.42	-7.08	5.16	7.40
4	4	5.07	-5.68	3.36	16.25
4	3	5.55	-5.93	3.59	24.53
4	2	4.09	-4.27	2.61	31.92
4	1	3.95	-7.79	3.26	37.87
5	5	52.96	-74.02	39.68	0.00
5	4	-12.54	-279.02	83.28	0.00
5	3	-221.17	-582.22	112.83	0.00
5	2	-530.59	-961.87	134.78	0.00
5	1	-920.56	-1437.07	143.48	0.00

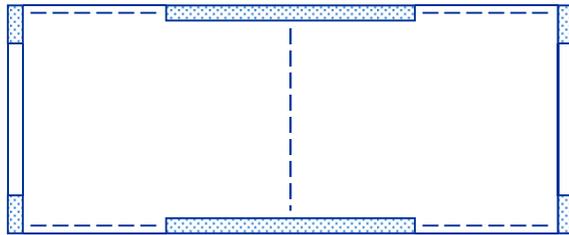
SQUILIBRIO NEI NODI

pilastro	piano	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
4	1	----	-4.82	-5.64
5	1	----	----	-35.52
6	1	----	4.82	-5.64
4	2	----	-6.04	-7.05
5	2	----	----	-44.50
6	2	----	6.04	-7.05
6	2	----	4.42	-5.16

Piccoli squilibri  
(poco rilevanti)

# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

## 2. Asta con tratti rigidi (ma non infinitamente)



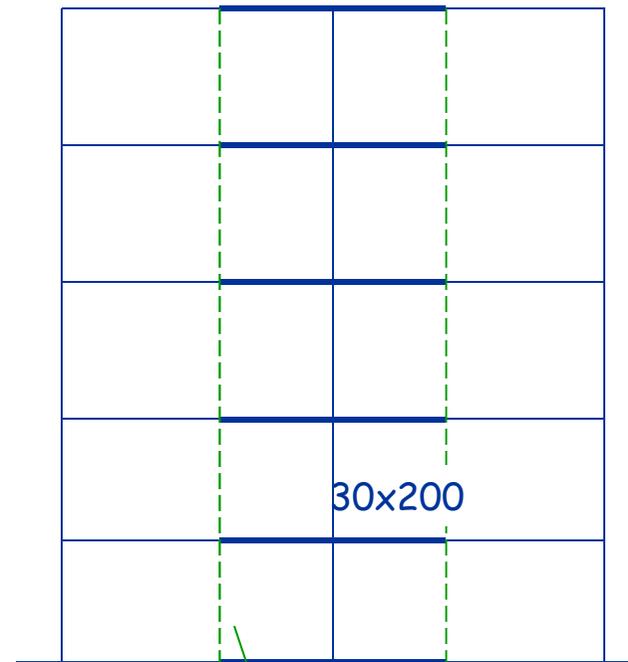
Analisi modale:

Modo 2, traslazione  $x$

$T = 0.3243 \text{ s}$

$M^* = 79.56\%$

Differenze non trascurabili



Telaio 1

Pilastro fittizio,  
usato solo per  
generare lo schema

# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

## 2. Asta con tratti rigidi (ma non infinitamente)

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Analisi statica

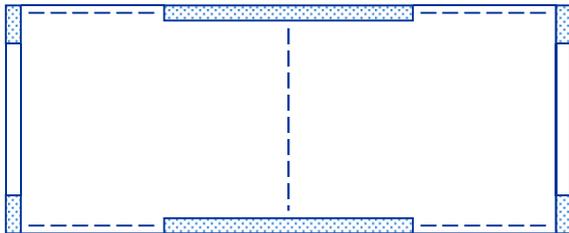
pilastro piano		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)
4	5	12.33	-9.24	6.74	9.65
4	4	6.73	-7.45	4.43	21.22
4	3	7.65	-7.99	4.89	32.31
4	2	6.19	-6.07	3.83	42.73
4	1	7.07	-12.21	5.35	52.22
5	5	68.94	-47.93	36.52	0.00
5	4	32.42	-227.23	81.14	0.00
5	3	-149.91	-502.63	110.22	0.00
5	2	-429.87	-853.35	132.34	0.00
5	1	-787.63	-1289.09	139.29	0.00
		Era -1437.07			

Differenze sensibili rispetto a  $I = \infty$

ma ora lo squilibrio non c'è

# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

## 3. Asta con tratti più rigidi



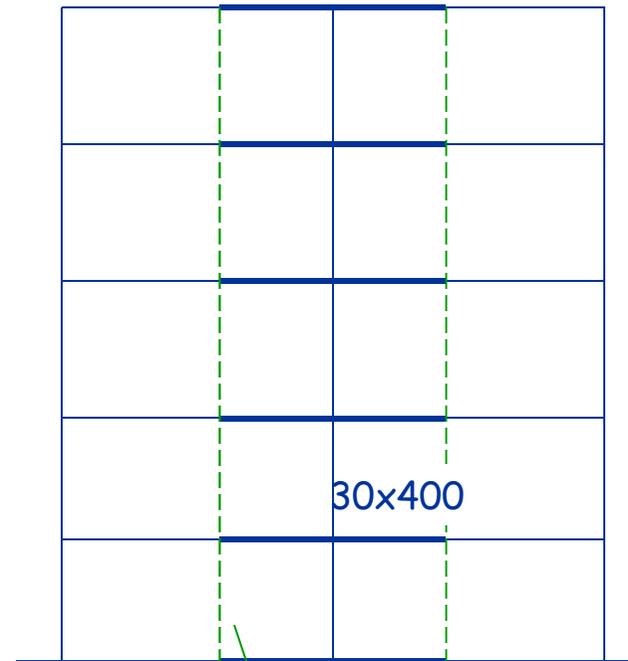
Analisi modale:

Modo 2, traslazione  $x$

$T = 0.2858 \text{ s}$

$M^* = 77.34\%$

Le differenze ora sono  
molto minori



Telaio 1

Pilastro fittizio,  
usato solo per  
generare lo schema

# Modellazione con tratti rigidi In presenza di fondazione

## 3. Asta con tratti più rigidi

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Analisi statica

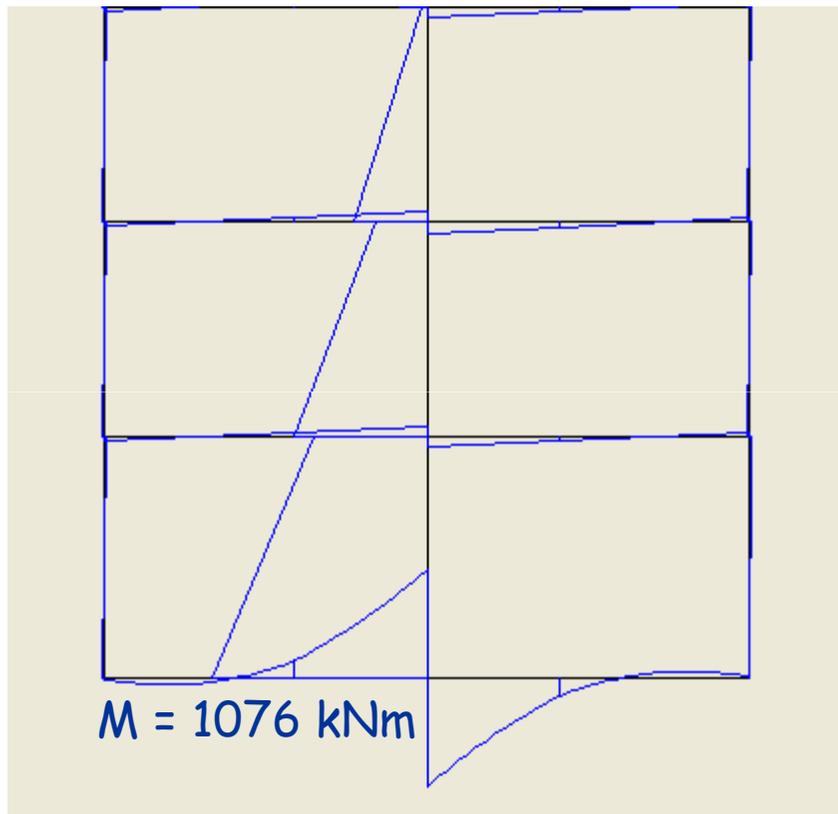
pilastro piano		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)
4	5	9.84	-7.39	5.38	7.72
4	4	5.31	-5.94	3.51	16.96
4	3	5.85	-6.22	3.77	25.64
4	2	4.39	-4.53	2.79	33.46
4	1	4.40	-8.41	3.56	39.92
5	5	55.24	-70.31	39.23	0.00
5	4	-6.13	-271.64	82.97	0.00
5	3	-211.00	-570.86	112.46	0.00
5	2	-516.21	-946.38	134.43	0.00
5	1	-901.58	-1415.96	142.88	0.00

Era -1437.07

Differenze modeste rispetto a  $I = \infty$

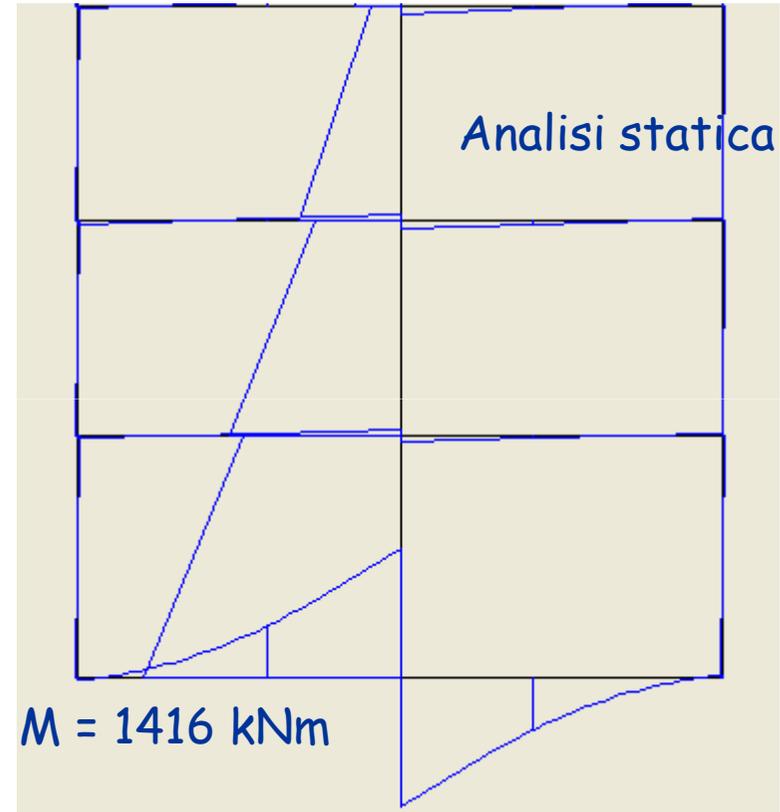
e lo squilibrio non c'è

# Influenza della rigidezza della trave di fondazione



Trave fond. bassa

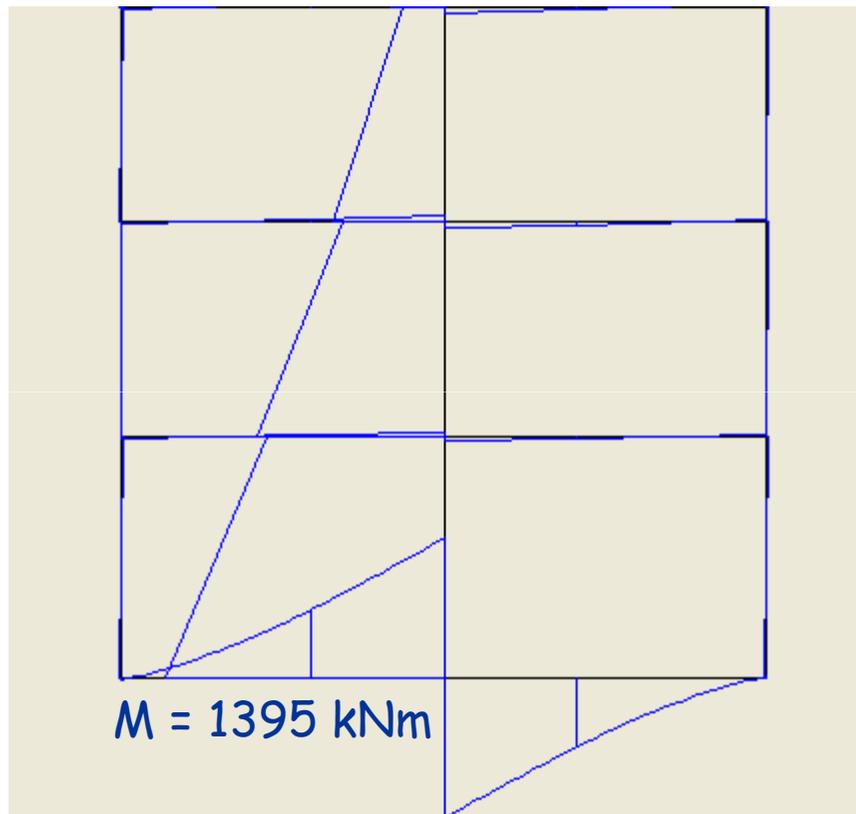
$T = 0.3908 \text{ s}$



Caso base

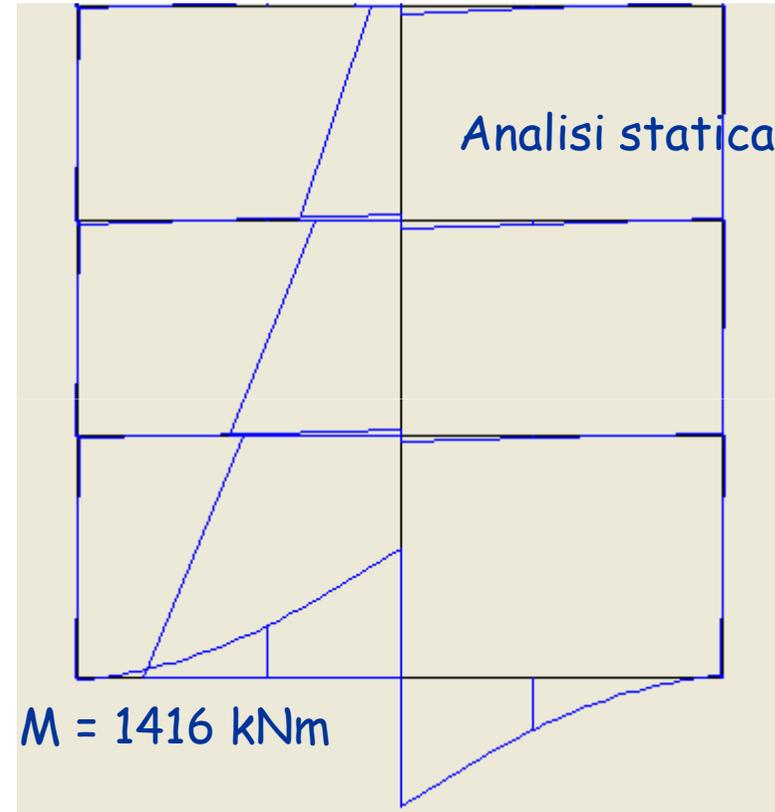
$T = 0.2858 \text{ s}$

# Influenza della rigidezza del terreno



Terreno deformabile

$T = 1.4973 \text{ s}$



Caso base

$T = 0.2858 \text{ s}$

# Confronto taglio pilastri/pareti

incastro

ordine	% pil	% par
5	16.4	83.6
4	5.9	94.1
3	4.4	95.6
2	2.9	97.1
1	1.0	99.0

fondazione  
(caso base)

ordine	% pil	% par
5	21.5	78.5
4	7.8	92.2
3	6.3	93.7
2	4.0	96.0
1	4.7	95.3

fondazione  
(terreno soffice)

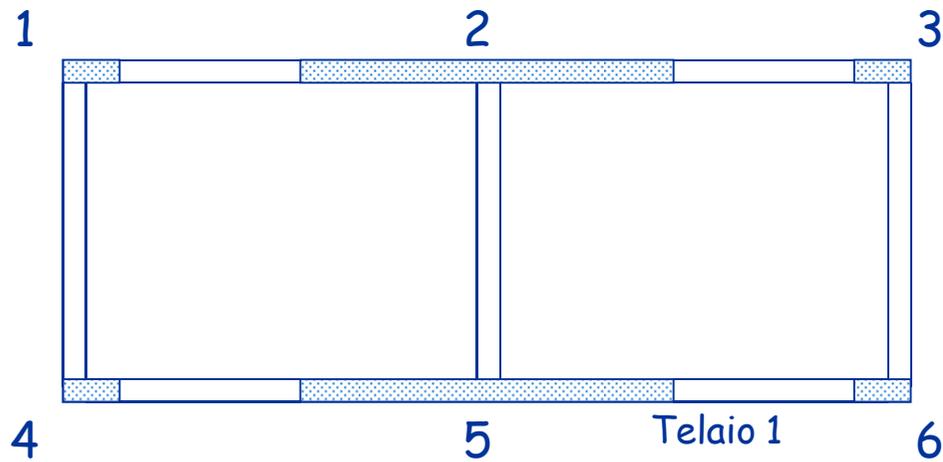
ordine	% pil	% par
5	22.3	77.7
4	8.1	91.9
3	6.6	93.4
2	4.1	95.9
1	5.5	94.5

fondazione  
(bassa)

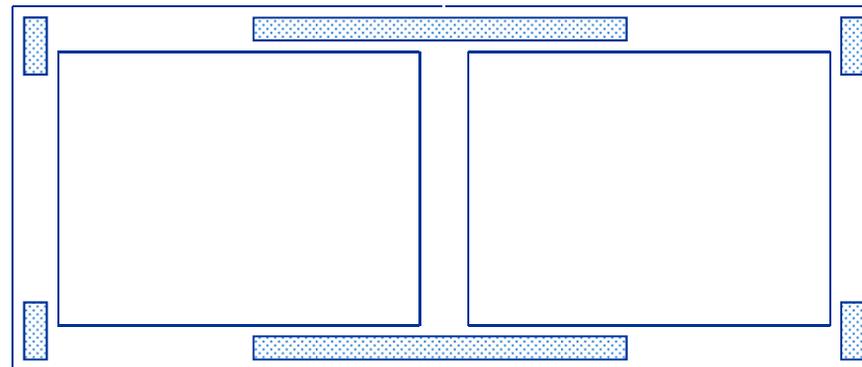
ordine	% pil	% par
5	37.2	62.8
4	13.9	86.1
3	11.3	88.7
2	10.0	90.0
1	5.2	94.8

# Confronto

- Stessa struttura, con pilastri e travi rigide



carpenteria



fondazione

# Confronto taglio pilastri/pareti

incastro

ordine	% pil	% par
5	32.2	67.8
4	13.8	86.2
3	10.8	89.2
2	7.8	92.2
1	2.8	97.2

fondazione  
(caso base)

ordine	% pil	% par
5	41.8	58.2
4	18.4	81.6
3	15.6	84.4
2	12.7	87.3
1	12.0	88.0

fondazione  
(terreno soffice)

ordine	% pil	% par
5	42.6	57.4
4	18.8	81.2
3	16.0	84.0
2	13.0	87.0
1	13.1	86.9

fondazione  
(bassa)

ordine	% pil	% par
5	48.2	51.8
4	21.7	78.3
3	18.0	82.0
2	19.9	80.1
1	-0.4	100.4