

Incontro di aggiornamento

**Edifici antisismici in calcestruzzo armato**  
**Aspetti strutturali e geotecnici secondo le NTC08**

1 - Esame visivo della struttura

Orizzonte Hotel, Acireale  
16-17 dicembre 2010

Aurelio Ghersi

Esame visivo della carpenteria  
e giudizio qualitativo

# Carpenteria e fondazione

- Esaminare l'orditura dei solai, la posizione di travi e pilastri (ed anche la fondazione)
- La struttura deve essere idonea a portare
  - i carichi verticali
  - le azioni orizzontali equivalenti al sisma
- La fondazione deve essere idonea a evitare
  - cedimenti verticali
  - spostamenti relativi del piede dei pilastri

# Obiettivi generali

La struttura dovrebbe essere il più regolare possibile

In particolare, la struttura deve essere regolare sia in pianta che in altezza

La normativa fornisce indicazioni, che però non sempre sono significative

I problemi legati alla regolarità sono tanti

Occorrerebbe individuare prima i problemi e poi, in base a questi, definire la regolarità

# Regolarità in pianta

- configurazione compatta e approssimativamente simmetrica
- rapporto tra i lati di un rettangolo in cui è inscritta la pianta inferiore a 4
- rientri o sporgenze non superiori al 25% della dimensione della pianta nella stessa direzione
- impalcati infinitamente rigidi nel loro piano

Criteri poco significativi e quasi non utilizzati

# Regolarità in altezza

I sistemi resistenti verticali si estendono per tutta l'altezza dell'edificio

Massa e rigidezza non variano bruscamente da un piano all'altro

Il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza di calcolo non varia molto da un piano all'altro

Principi generali = prestazione richiesta

# Regolarità in altezza

Andando dal basso verso l'alto:

- le variazioni di massa sono, al massimo, il 25%
- la rigidezza non si riduce più del 30% e non aumenta più del 10%
- il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza di calcolo varia di  $\pm 20\%$

Regole applicative = prescrizioni (obbligatorie?)

# Regolarità in altezza

Si noti inoltre che:

- il controllo delle masse può essere effettuato *a priori*, all'inizio del calcolo
- il controllo sulla rigidezza e sulla resistenza può essere effettuato solo *a posteriori*, dopo aver effettuato il calcolo e la disposizione delle armature

# Obiettivi generali

La struttura dovrebbe essere il più regolare possibile

Esaminare se è stata divisa in blocchi staticamente separati da giunti

Prestare molta attenzione alla scala

La soluzione con travi a ginocchio introduce elementi molto rigidi con conseguente:

- concentrazione delle sollecitazioni e riduzione della duttilità globale
- possibilità di introdurre una forte asimmetria nella distribuzione di rigidezze

Anche la soletta rampante può dare problemi

# Edifici con pareti o nuclei in c.a.

Compito dei diversi elementi:

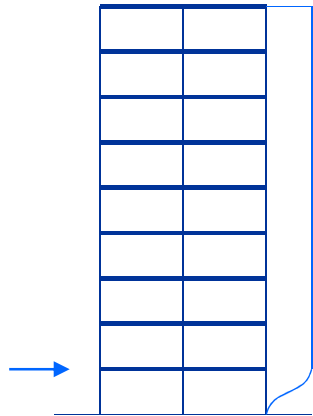
- Le pareti portano l'azione sismica
- Pilastri e travi portano i carichi verticali

Impostazione  
separata,  
più semplice

Ma, attenzione:

Ai piani superiori l'azione sismica è portata dai telai, più che dalle pareti

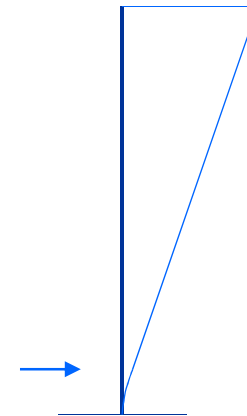
# Comportamento a mensola e comportamento a telaio



Telaio (con travi rigide)

Forze applicate ai piani inferiori  
provocano grossi spostamenti ...

... ma gli spostamenti non  
aumentano ai piani superiori



Mensole (pareti, oppure  
telaio con travi a spessore)

Forze applicate ai piani inferiori  
provocano piccoli spostamenti ...

... ma gli spostamenti aumentano  
di molto ai piani superiori

# Edifici con pareti o nuclei in c.a.

Compito dei diversi elementi:

- Le pareti portano l'azione sismica
  - Pilastri e travi portano i carichi verticali
- Impostazione separata,  
più semplice

Ma, attenzione:

Ai piani superiori l'azione sismica è portata dai telai, più che dalle pareti

Le fondazioni richiedono uno studio particolare  
(e costi maggiori)

# Edifici a struttura intelaiata

Travi e pilastri portano sia carichi verticali che azioni orizzontali

Esaminare separatamente:

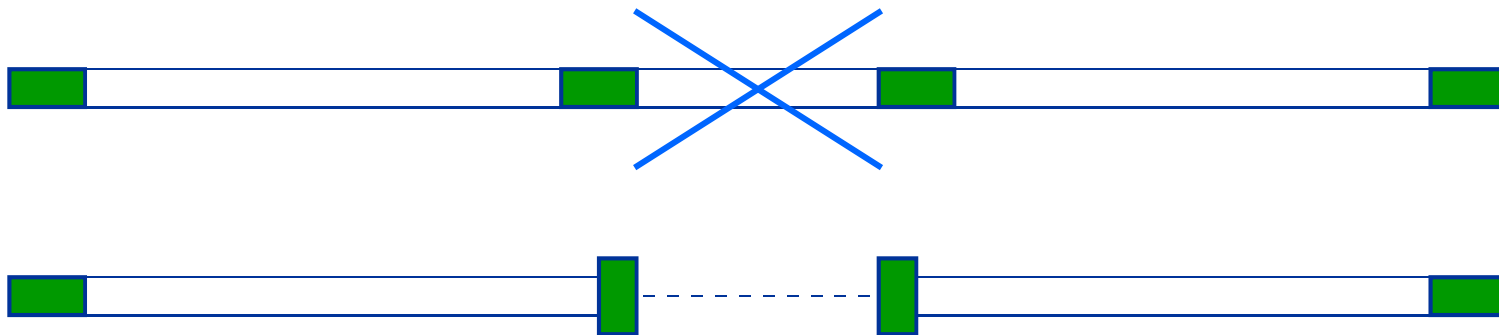
1. La carpenteria per quanto riguarda il modo in cui porta i carichi verticali
2. La carpenteria per quanto riguarda il suo comportamento nei confronti di azioni orizzontali

# Edifici a struttura intelaiata

Stare attenti a:

- Luci di sbalzi, solai e travi molto forti e non uniformi

In particolare, sono da evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni



# Edifici a struttura intelaiata

Stare attenti a:

- Luci di sbalzi, solai e travi molto forti e non uniformi

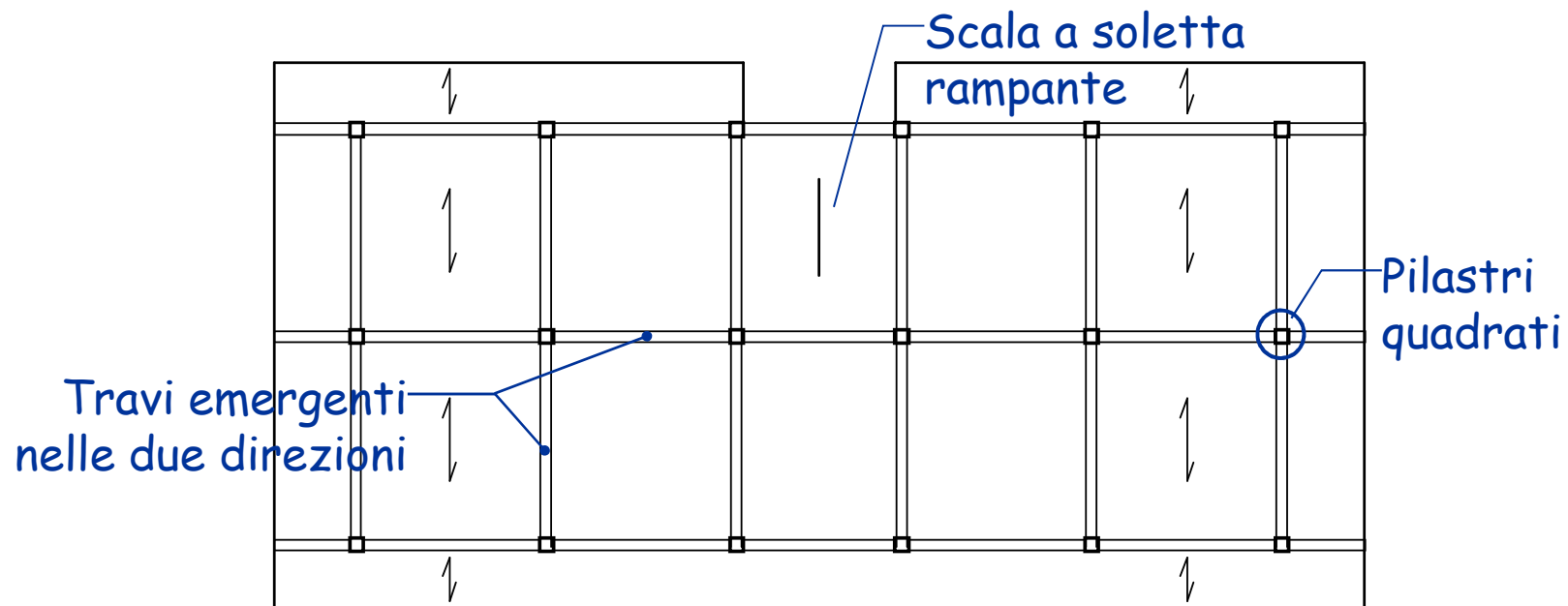
In particolare, sono da evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni

- Forti disuniformità di carico verticale sui pilastri (carichi maggiori richiedono sezioni maggiori, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni)

# Edifici a struttura intelaiata

Nell'impostazione per azioni orizzontali:

- Garantire un irrigidimento uniforme nelle due direzioni, con elementi ben distribuiti in pianta



# Elementi resistenti alle azioni orizzontali

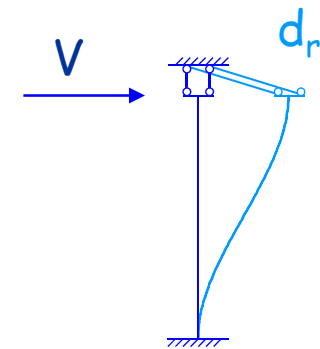
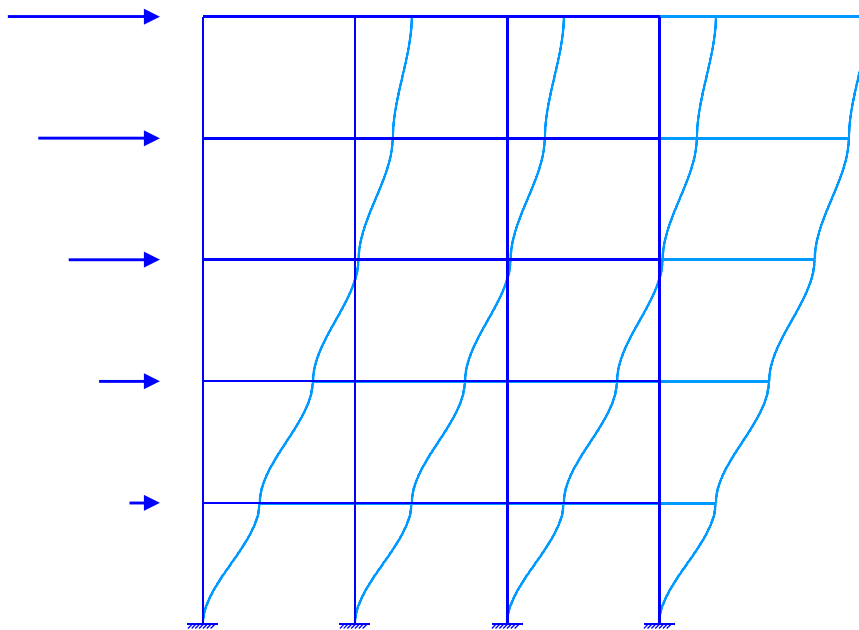
In realtà si hanno spesso travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari

I singoli elementi assorbono un'aliquota dell'azione sismica minore o maggiore in proporzione alla loro rigidità

In che modo si può stimare la rigidità?

# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- Se le travi sono infinitamente rigide



Modello  
di calcolo

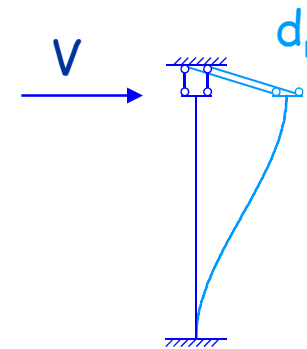
# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- Se le travi sono infinitamente rigide

$$d_r = \frac{V L_p^3}{12 E I_p}$$

$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3}$$

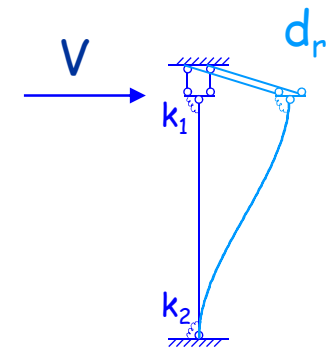
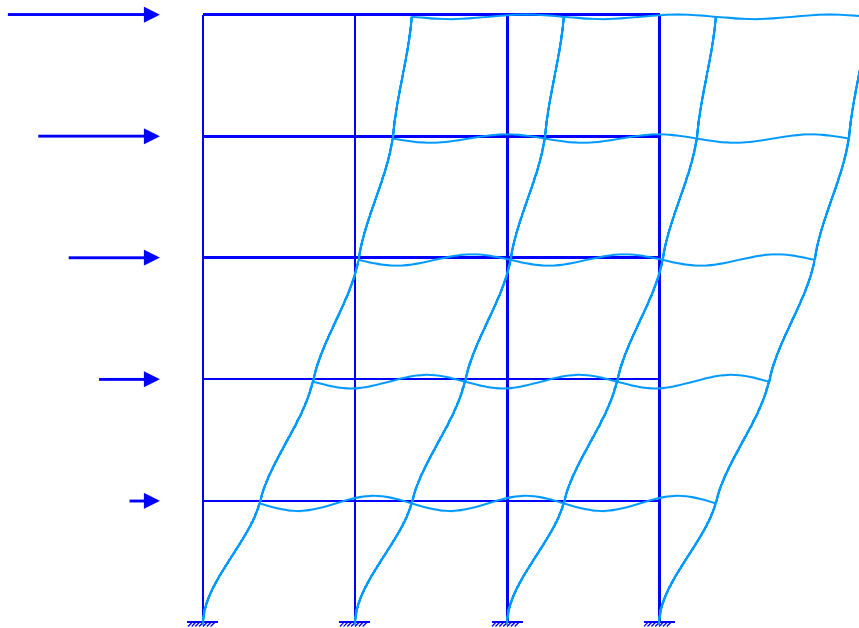
La rigidezza è proporzionale al momento d'inerzia della sezione



Modello di calcolo

# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- In realtà le travi sono deformabili



Modello  
di calcolo

# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- In realtà le travi sono deformabili

$$k_1 = \frac{12 E I_{t,\text{sup}}}{L_t}$$

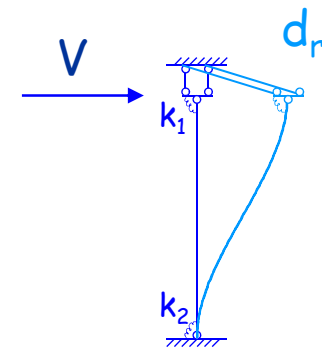
ma poiché la trave serve da vincolo anche al pilastro di sopra, prendo la metà

$$k_1 = \frac{6 E I_{t,\text{sup}}}{L_t}$$

$$k_2 = \frac{6 E I_{t,\text{inf}}}{L_t}$$

pongo

$$r_1 = \frac{E I_p}{L_p k_1} \quad r_2 = \frac{E I_p}{L_p k_2}$$



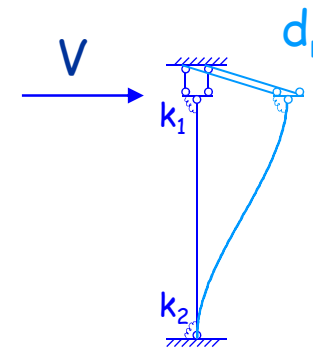
Modello di calcolo

# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- In realtà le travi sono deformabili

$$d_r = \frac{V L_p^3}{12 E I_p} \left[ 1 + 3 \frac{r_1 + r_2 + 4 r_1 r_2}{1 + r_1 + r_2} \right]$$
$$\cong \frac{V L_p^3}{12 E I_p} [1 + 3 (r_1 + r_2)]$$

Lo spostamento dipende anche dalla rigidezza delle travi



Modello di calcolo

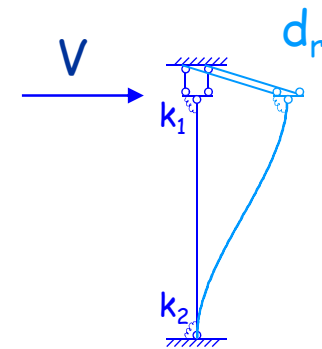
# Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio  $V$  e spostamento relativo  $d_r$
- In realtà le travi sono deformabili

Spostamento e rigidezze si possono esprimere direttamente con

$$d_r \cong \frac{V L_p^3}{12 E I_p} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,inf} / L_t} \right) \right]$$

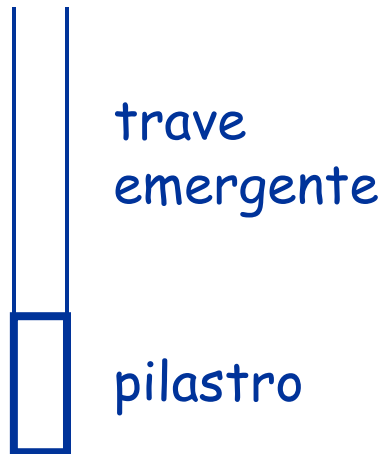
$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,inf} / L_t} \right)}$$



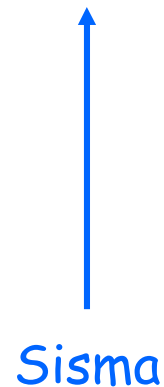
Modello di calcolo

# Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



Elemento  
con buona  
rigidezza a  
tutti i piani



La resistenza all'azione sismica è affidata ai pilastri allungati nella direzione del sisma ed accoppiati a travi emergenti

# Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



# Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

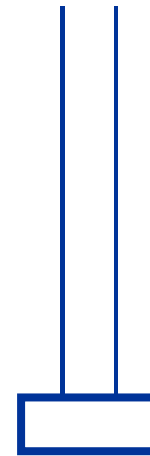
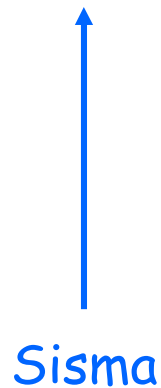
In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



Elemento  
con buona  
rigidezza a  
tutti i piani



Elemento con  
rigidezza  
solo al primo  
piano



I pilastri con inerzia  
minima danno contributo  
in prima approssimazione  
trascurabile



# Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

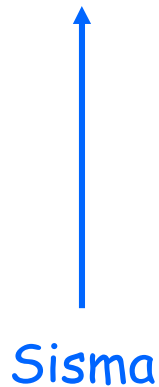
In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



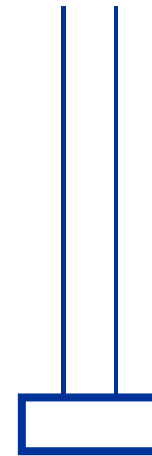
Elemento  
con buona  
rigidezza a  
tutti i piani



Elemento con  
rigidezza  
solo al primo  
piano



Sisma



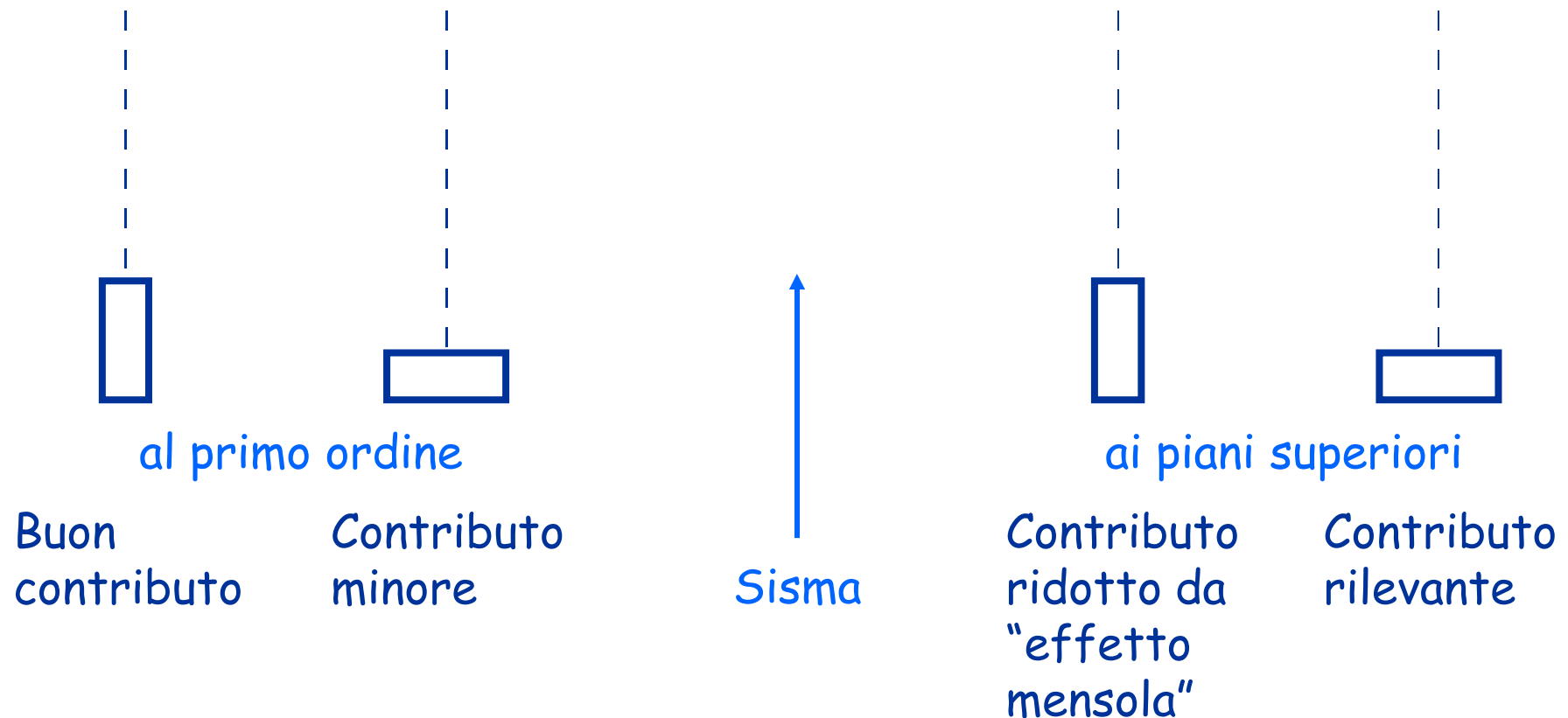
Elemento con  
rigidezza  
limitata a  
tutti i piani



Elemento con  
rigidezza  
trascurabile  
a tutti i piani

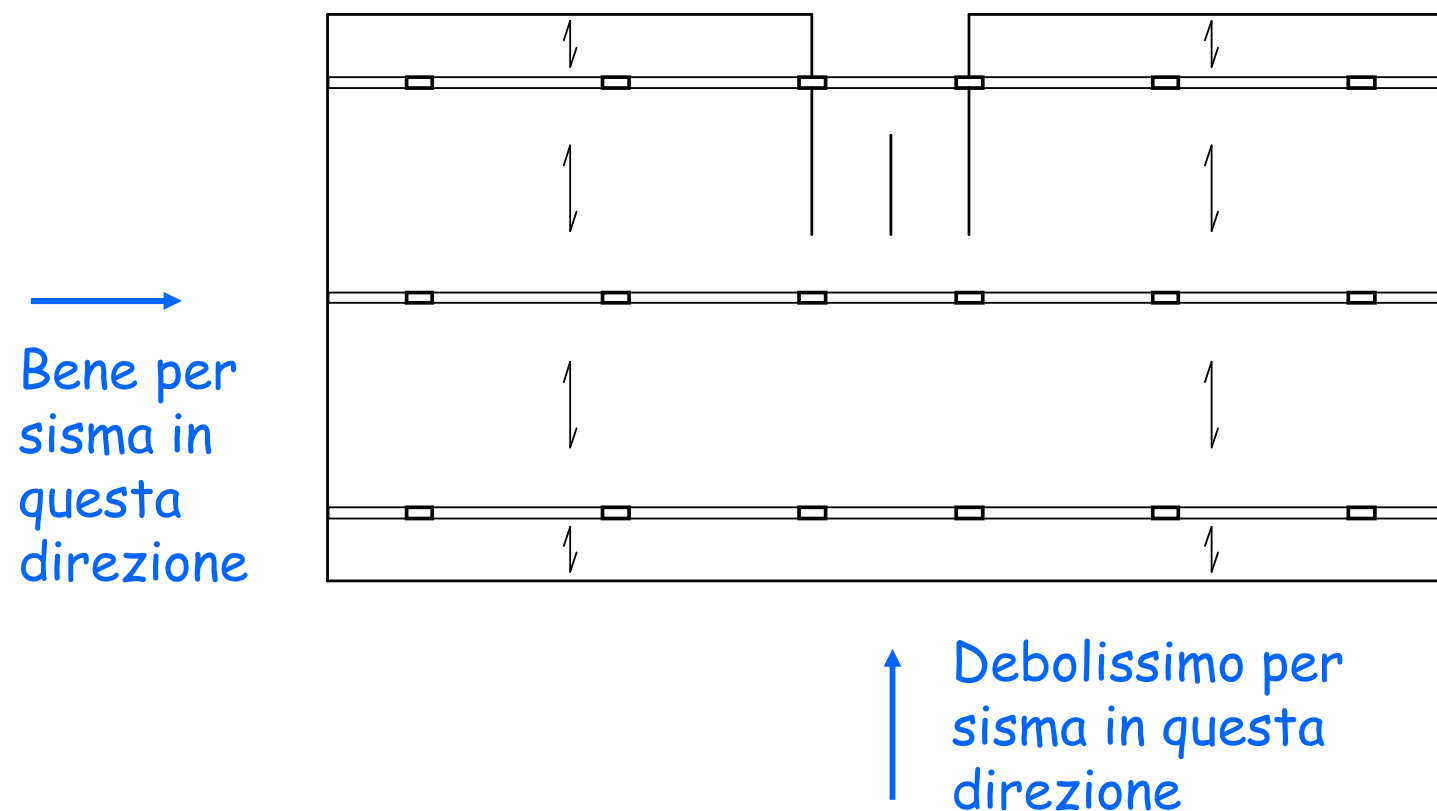
# Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

Se tutte le travi sono a spessore, il comportamento  
dei pilastri è un po' diverso



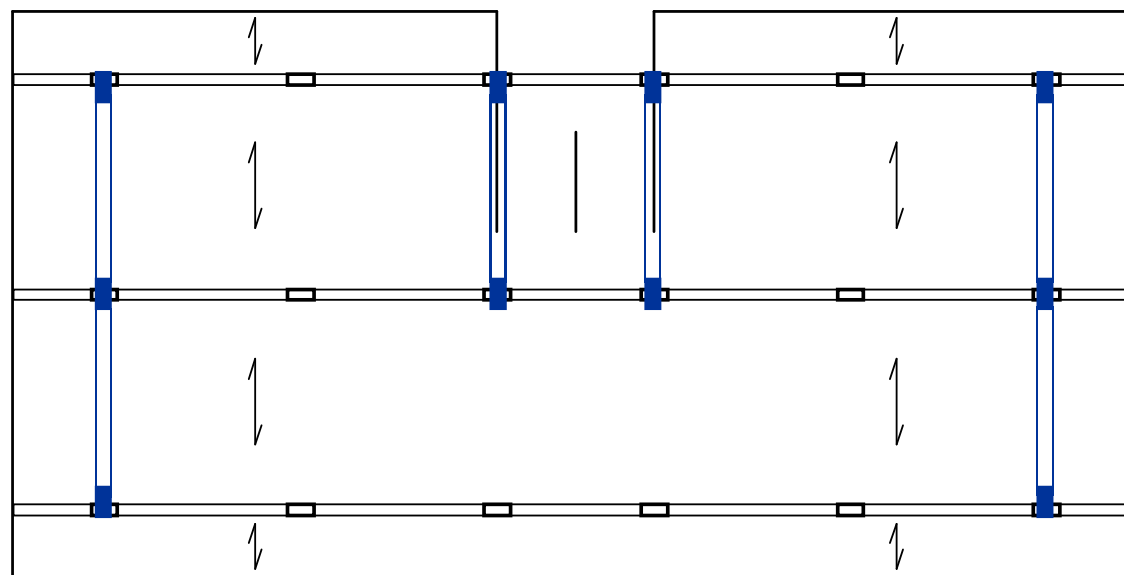
# Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Carpenteria pensata per soli carichi verticali:



# Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:

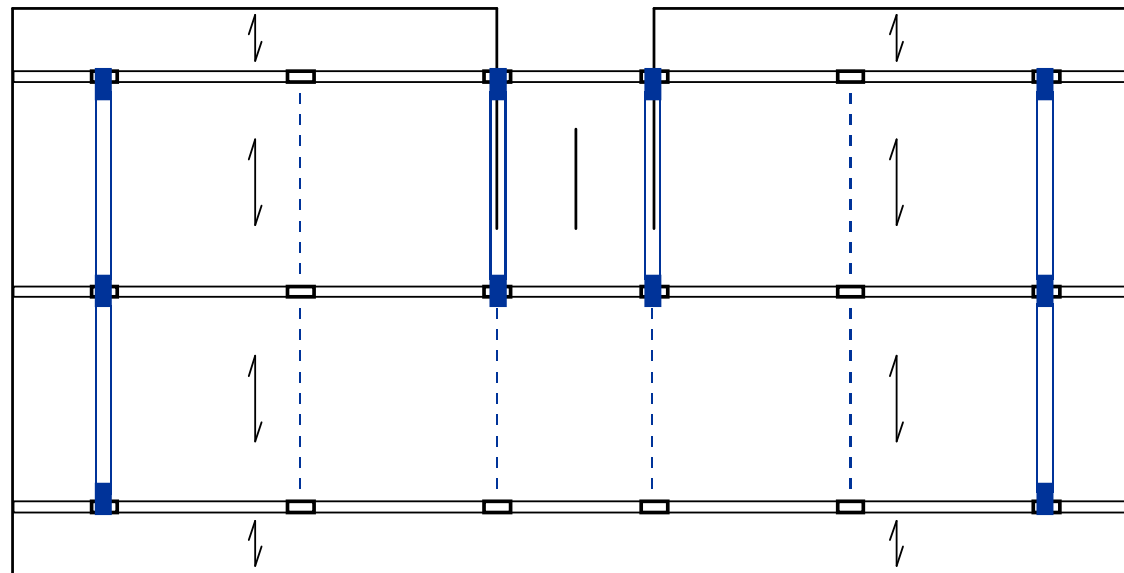


Sono stati girati un  
certo numero di pilastri

Sono state aggiunte travi  
emergenti per renderli efficaci

# Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



Sono state aggiungere anche altre travi, a spessore, che sono però irrilevanti ai fini sismici

Esempio

# Edificio analizzato

## Tipologia:

edificio adibito a civile abitazione, a 5 piani

## Classe dell'edificio:

classe II (costruzione con normale affollamento, senza contenuti pericolosi e funzioni sociali essenziali)

## Ubicazione:

zona sismica 2 ( $a_g = 0.25 g$ )

## Categoria di suolo:

categoria C (sabbie e ghiaie mediamente addensate)

# Edificio analizzato

Struttura portante principale:

con struttura intelaiata in cemento armato

Solai:

in latero-cemento, gettati in opera

Scale:

a soletta rampante (tipologia "alla Giliberti")

Fondazioni:

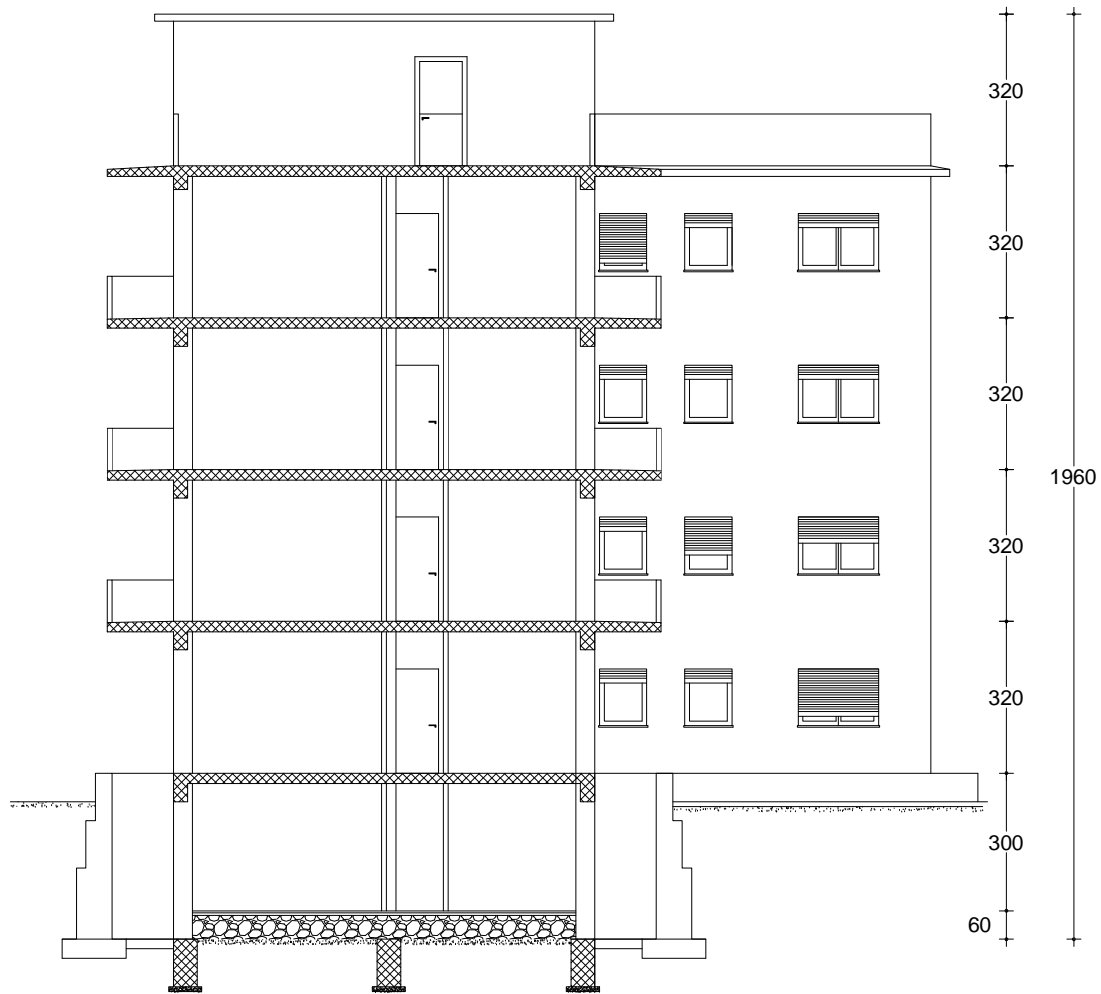
reticolo di travi rovesce

Materiali:

calcestruzzo C25/30 ( $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ ,  $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$ )

acciaio B450C

# Edificio analizzato

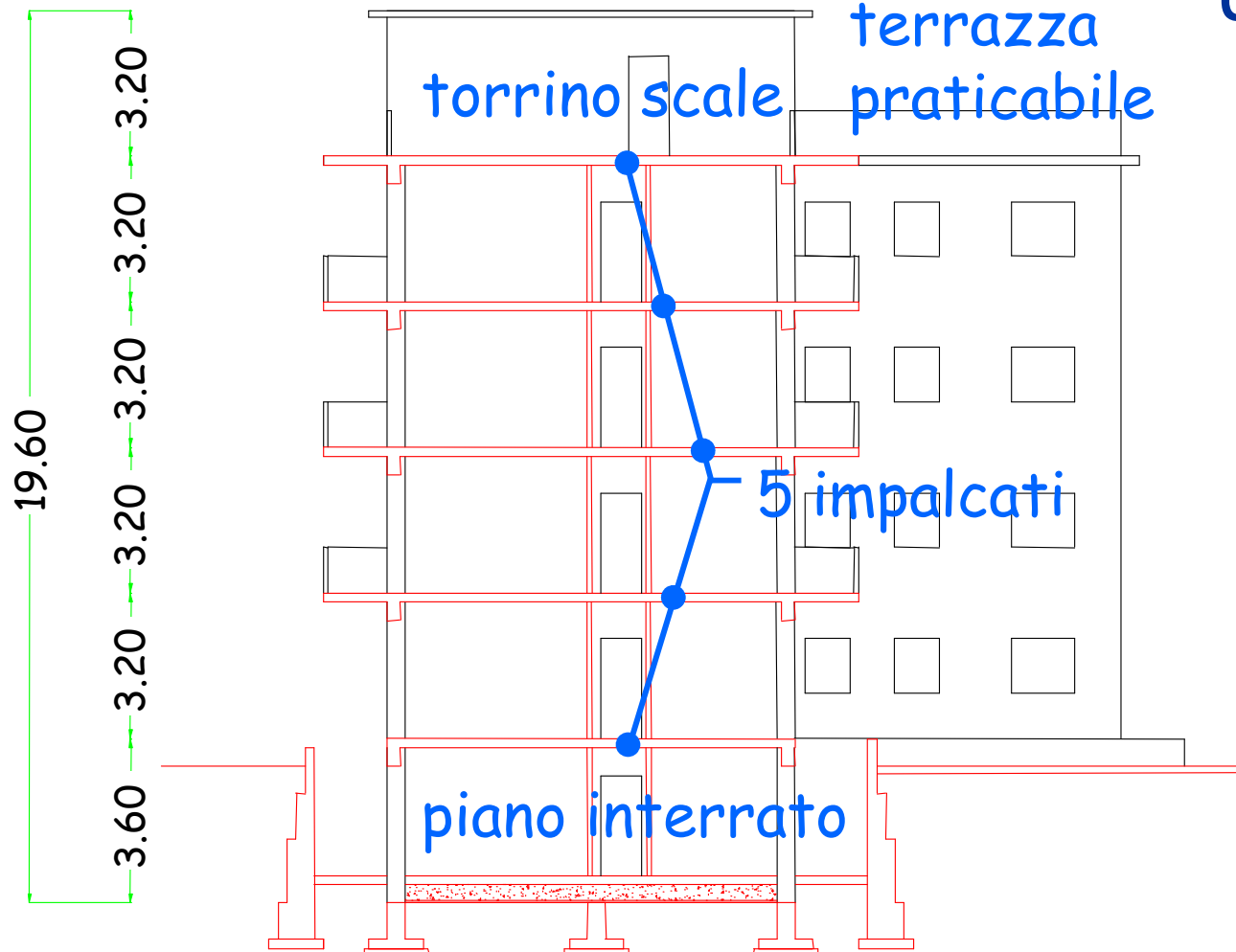


Sezione

# Edificio analizzato

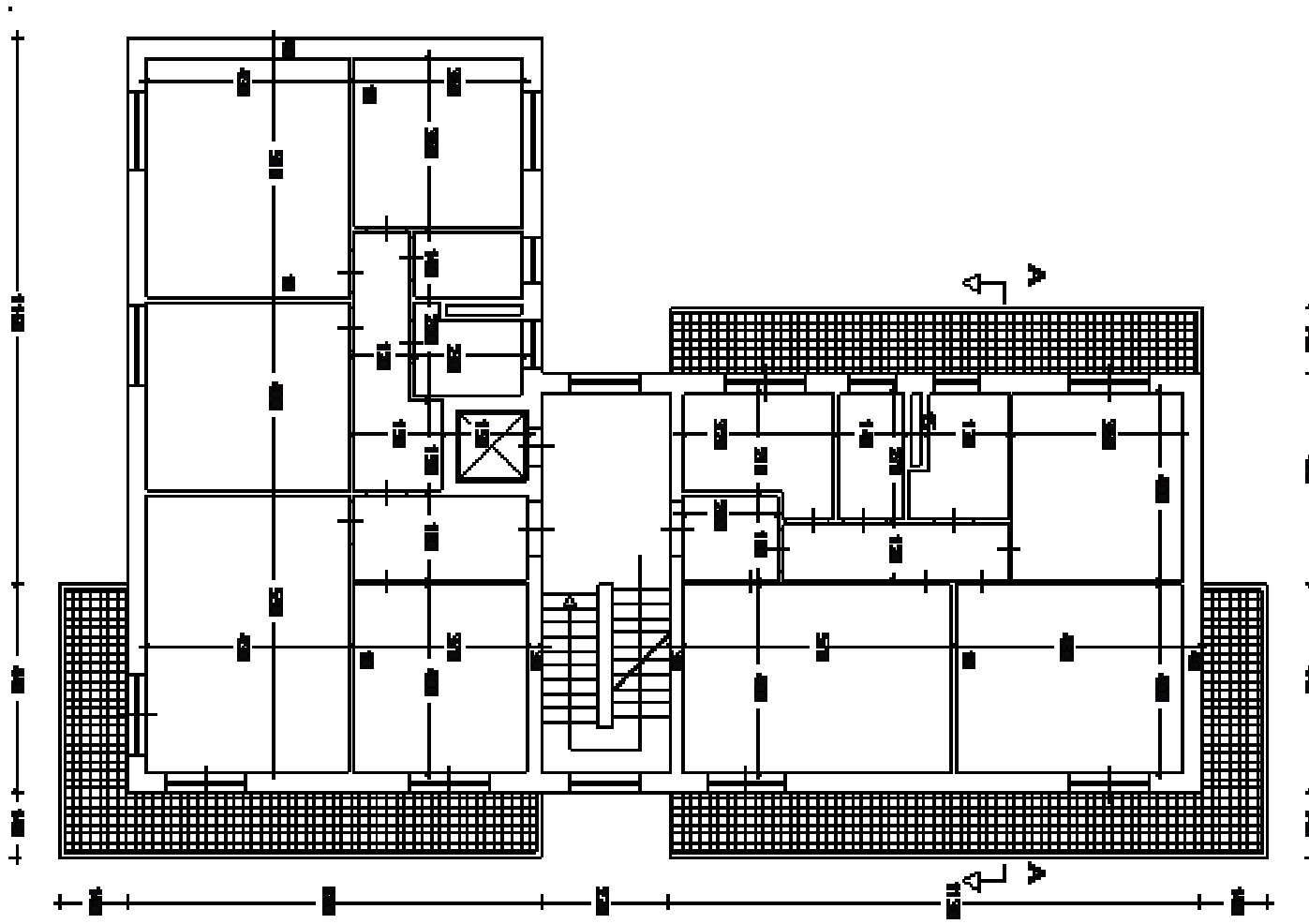
Sismicità media  
= zona 2

Terreno  
costituito da  
sabbie e ghiaie  
mediamente  
addensate

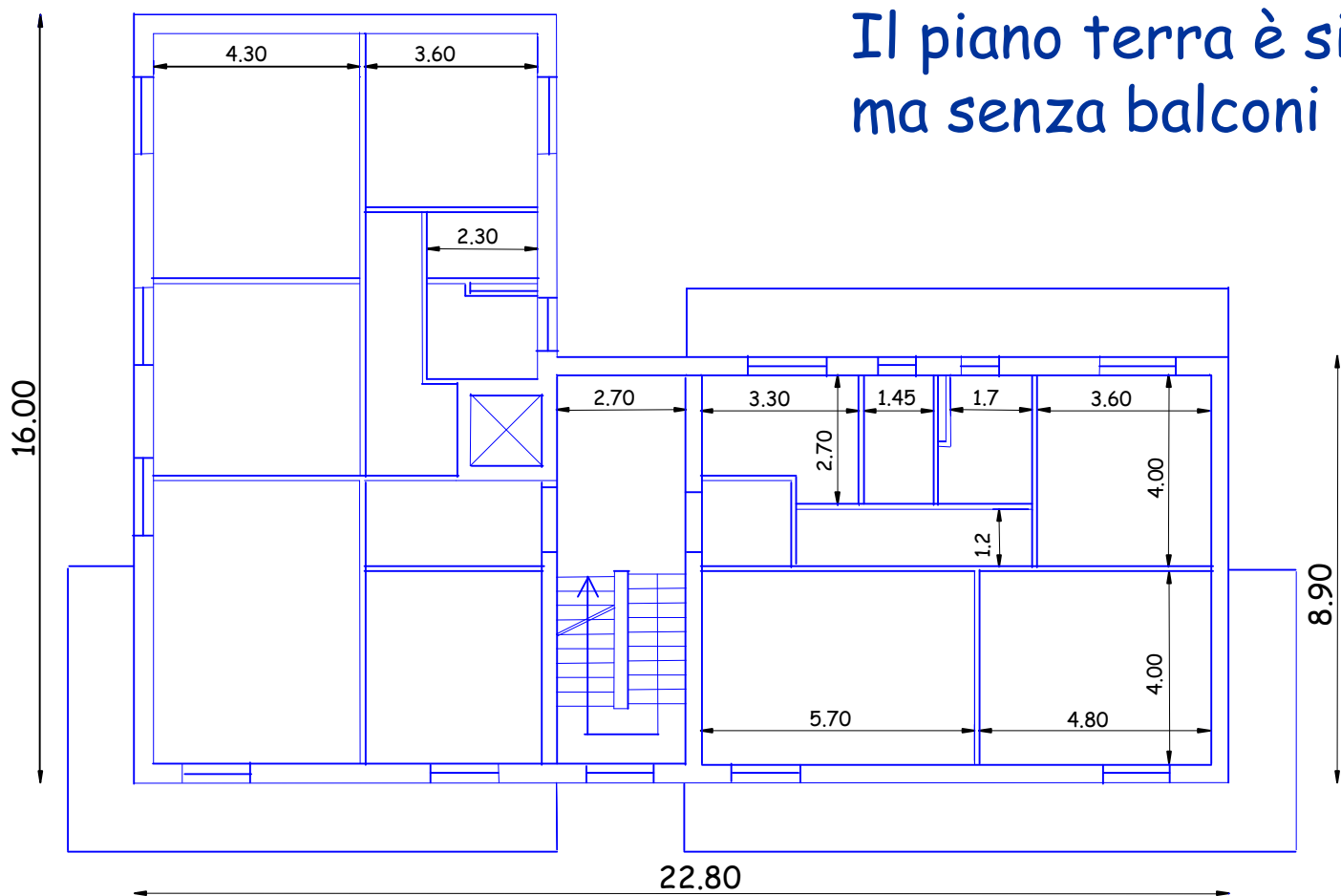


Sezione

# Piano tipo



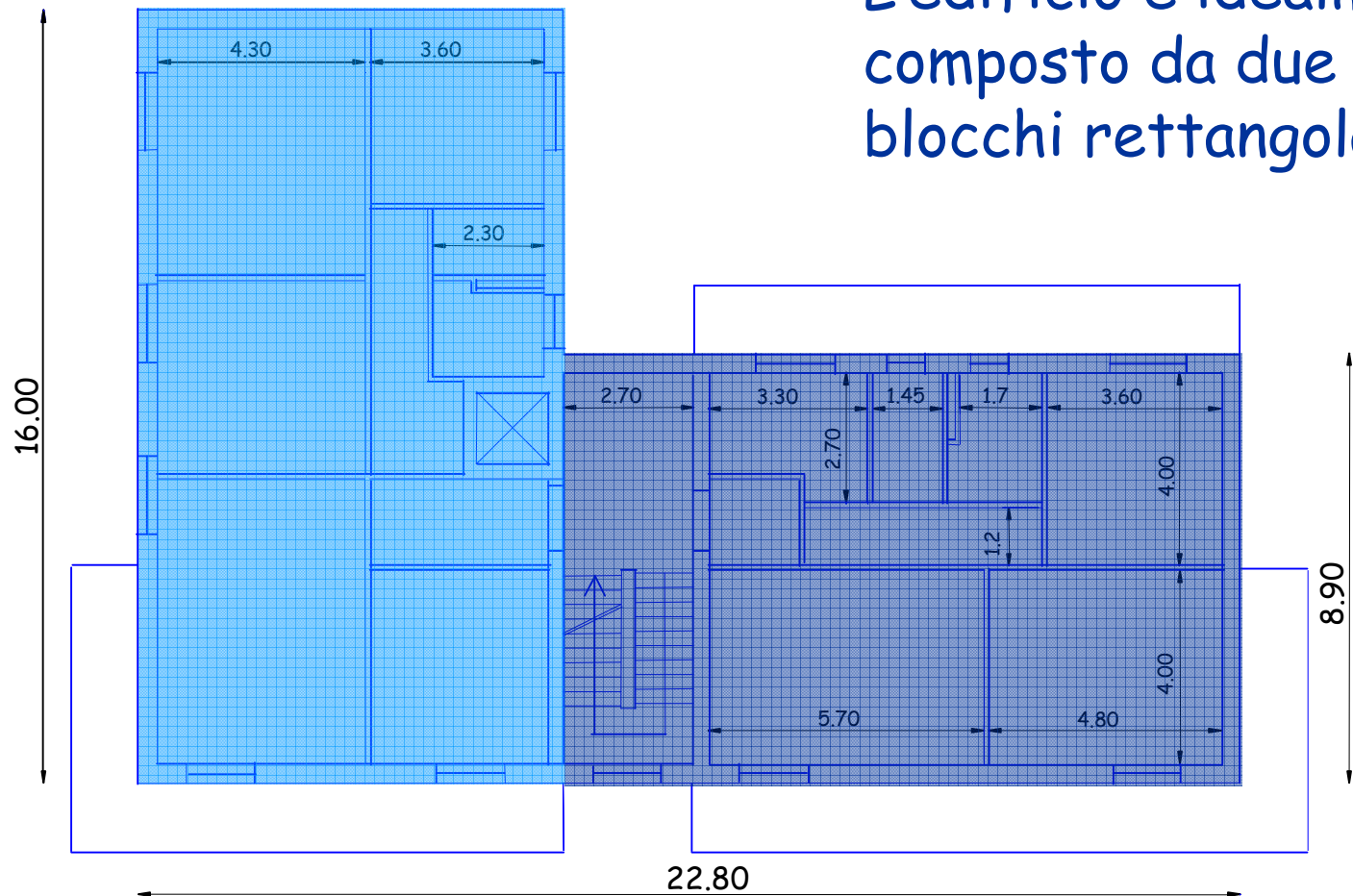
# Piano tipo



Il piano terra è simile,  
ma senza balconi

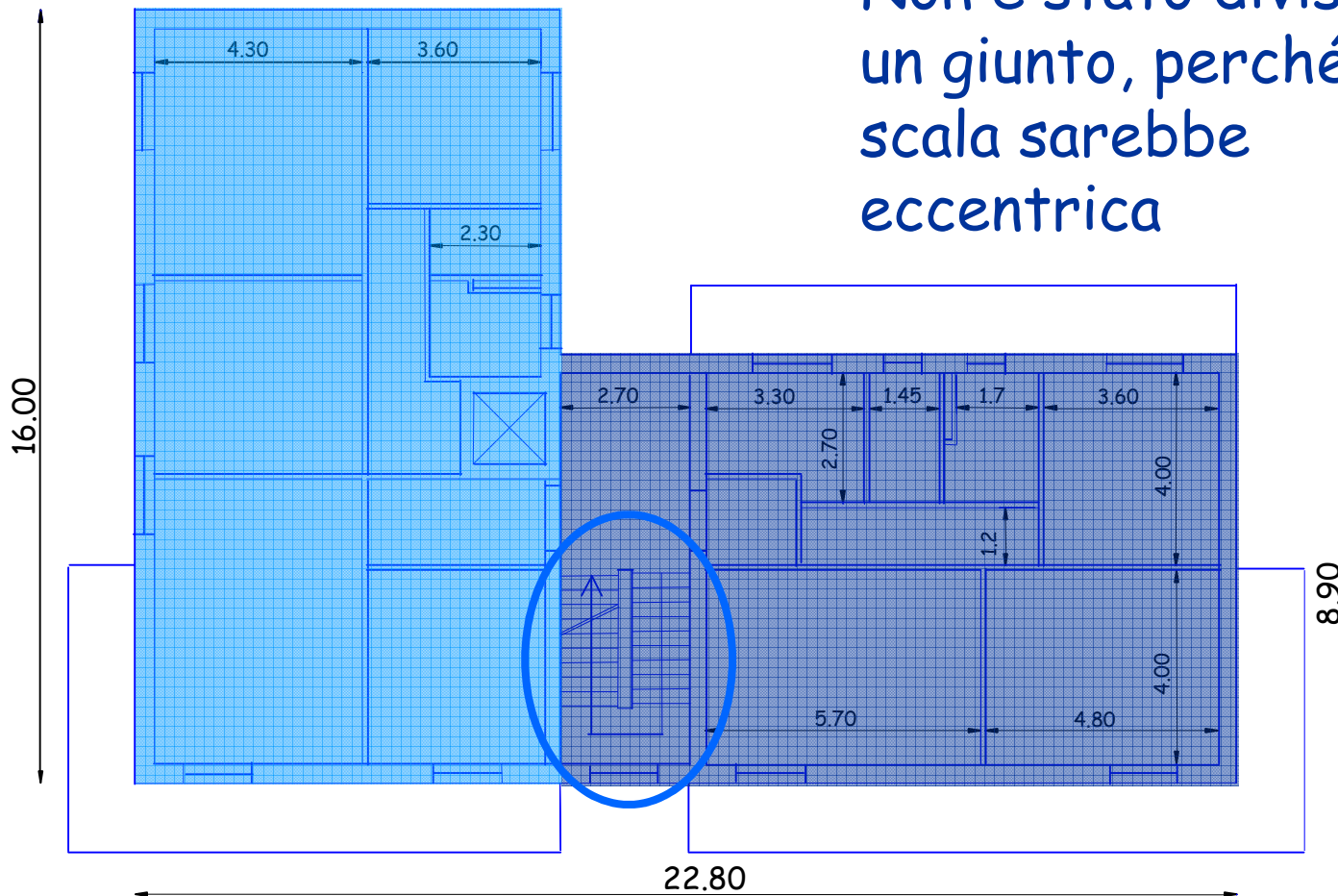
# Piano tipo

L'edificio è idealmente  
composto da due  
blocchi rettangolari

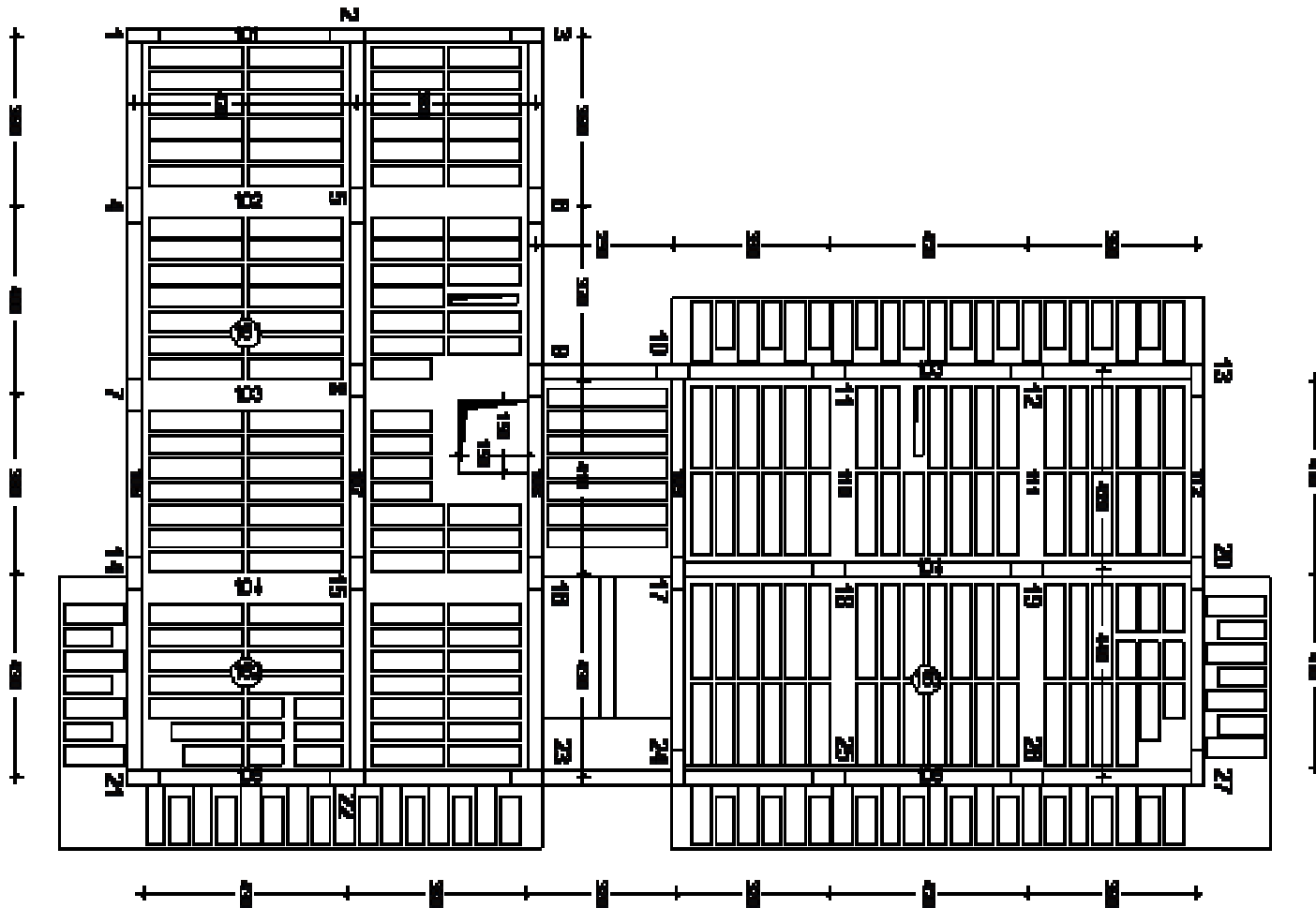


# Piano tipo

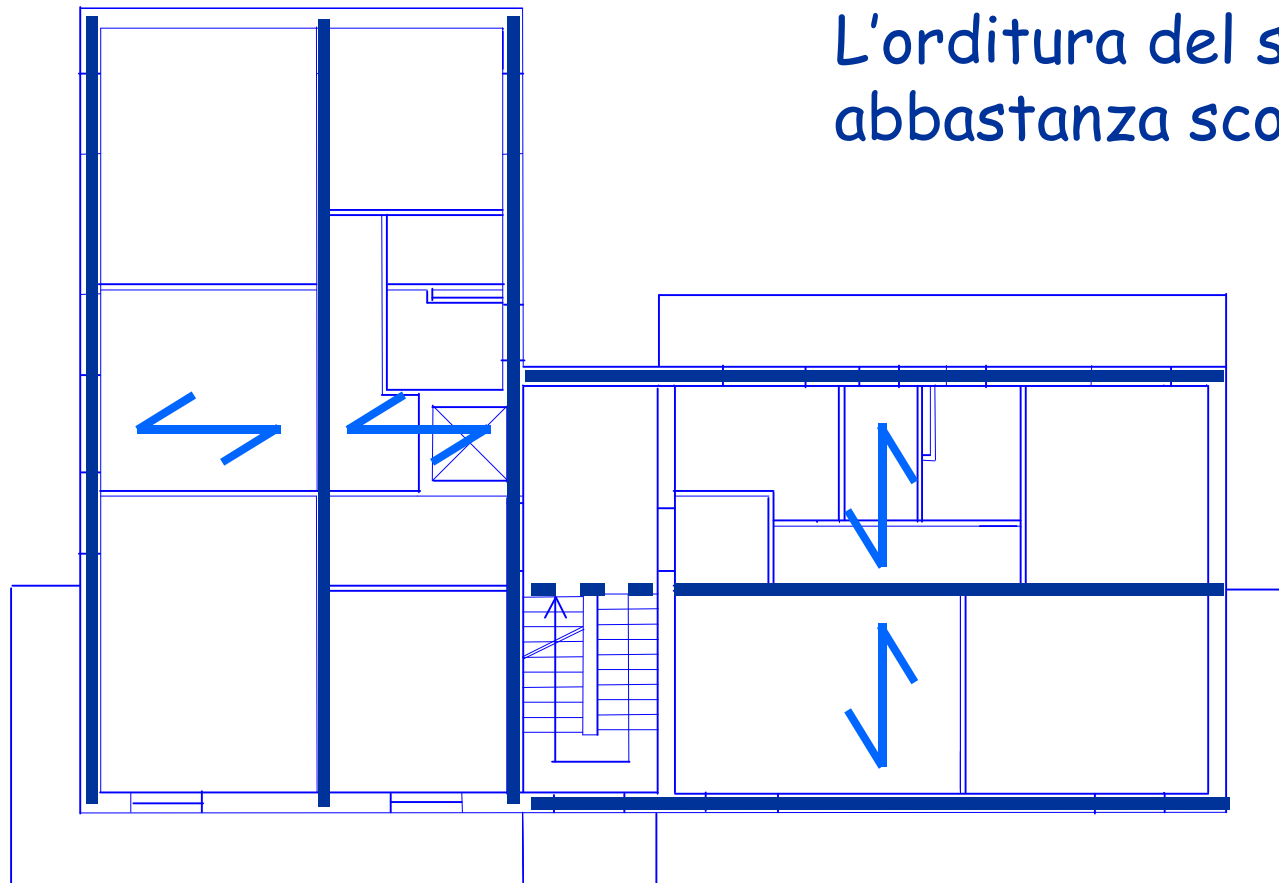
Non è stato diviso con un giunto, perché la scala sarebbe eccentrica



# Carpenteria del piano tipo

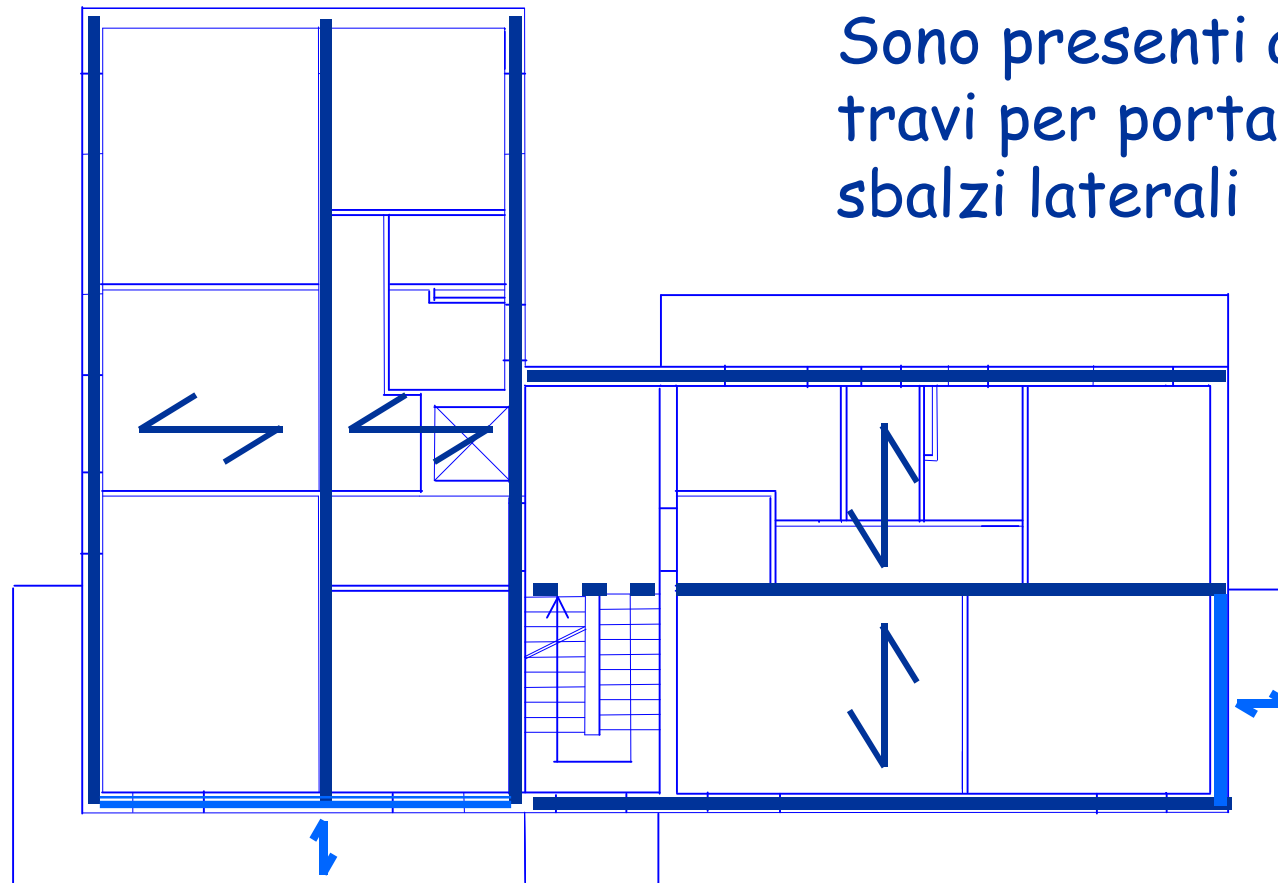


# Esame della carpenteria per quanto riguarda i carichi verticali



L'orditura del solaio è  
abbastanza scontata

# Esame della carpenteria per quanto riguarda i carichi verticali



Sono presenti alcune  
travi per portare gli  
sbalzi laterali

# Esame della carpenteria per quanto riguarda le azioni orizzontali



# Controllo qualitativo delle dimensioni

- Solaio: spessore 22 cm
  - luce massima circa 5.00 m
  - struttura con numerose travi emergenti
  - non ci sono travi a spessore lunghe e molto caricate



lo spessore va bene

- Se tutte le travi fossero a spessore
  - portare lo spessore almeno a 28 cm

# Controllo qualitativo delle dimensioni

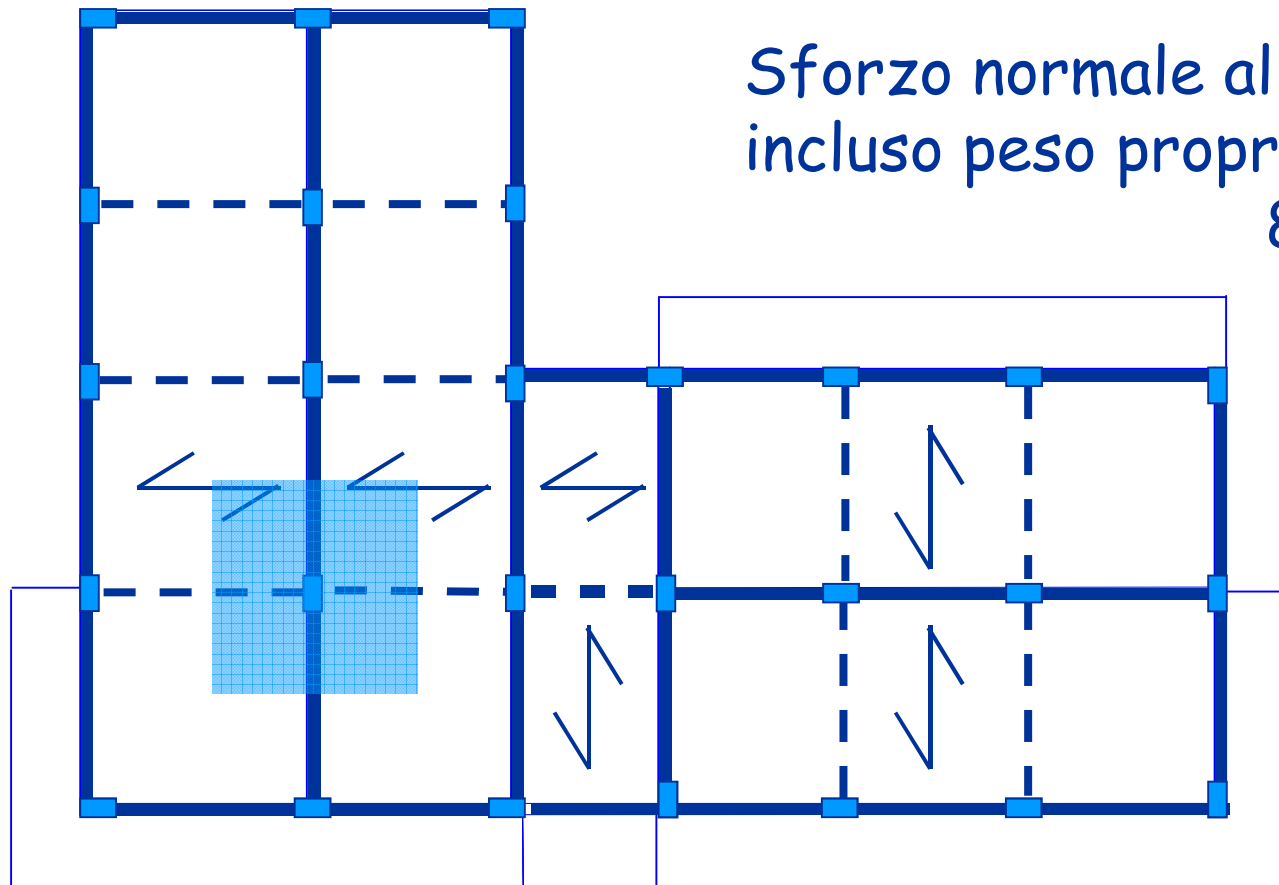
- Pilastri: tutti 30x70 (a tutti i piani)
  - che sforzo normale portano?

Nell'esempio

Pilastro interno, porta  
8 m di trave  
21 m<sup>2</sup> di solaio

Carico al piano: 150 kN

Sforzo normale al piede,  
incluso peso proprio:  
830 kN



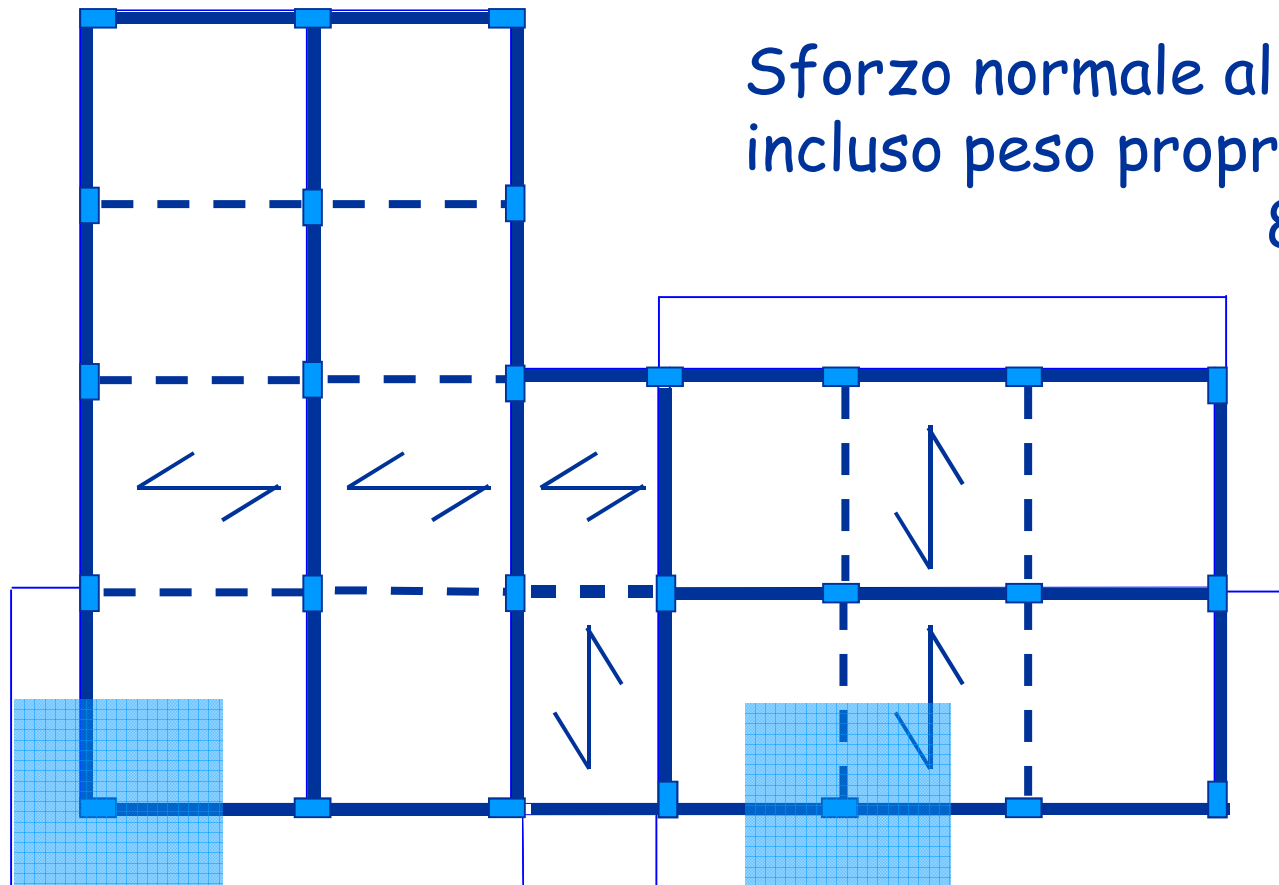
Nell'esempio

Pilastro laterale con sbalzo  
pilastro d'angolo con sbalzi

Più o meno lo stesso

Sforzo normale al piede,  
incluso peso proprio:

830 kN



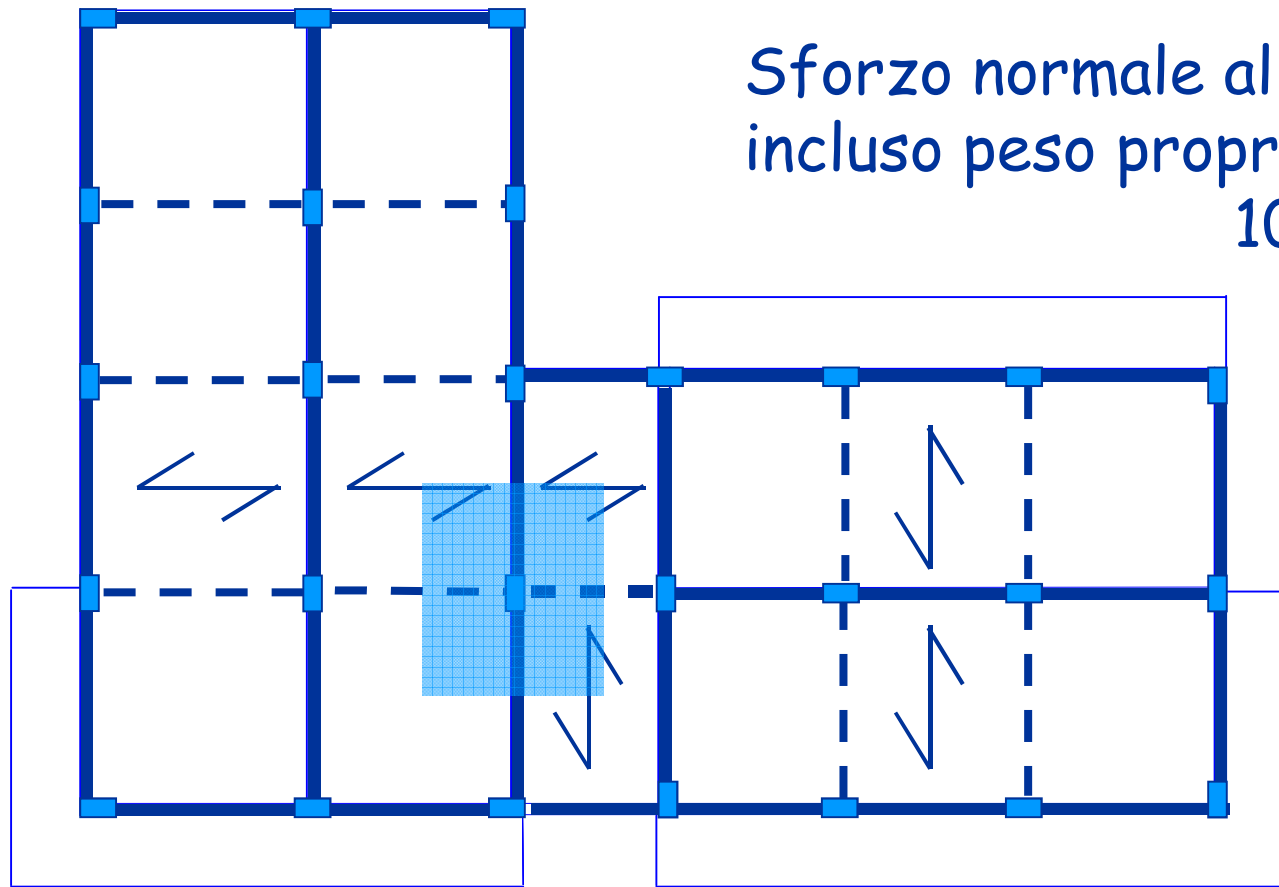
Nell'esempio

Pilastro interno in  
corrispondenza della scala

Di più, a causa del torrino

Sforzo normale al piede,  
incluso peso proprio:

1050 kN

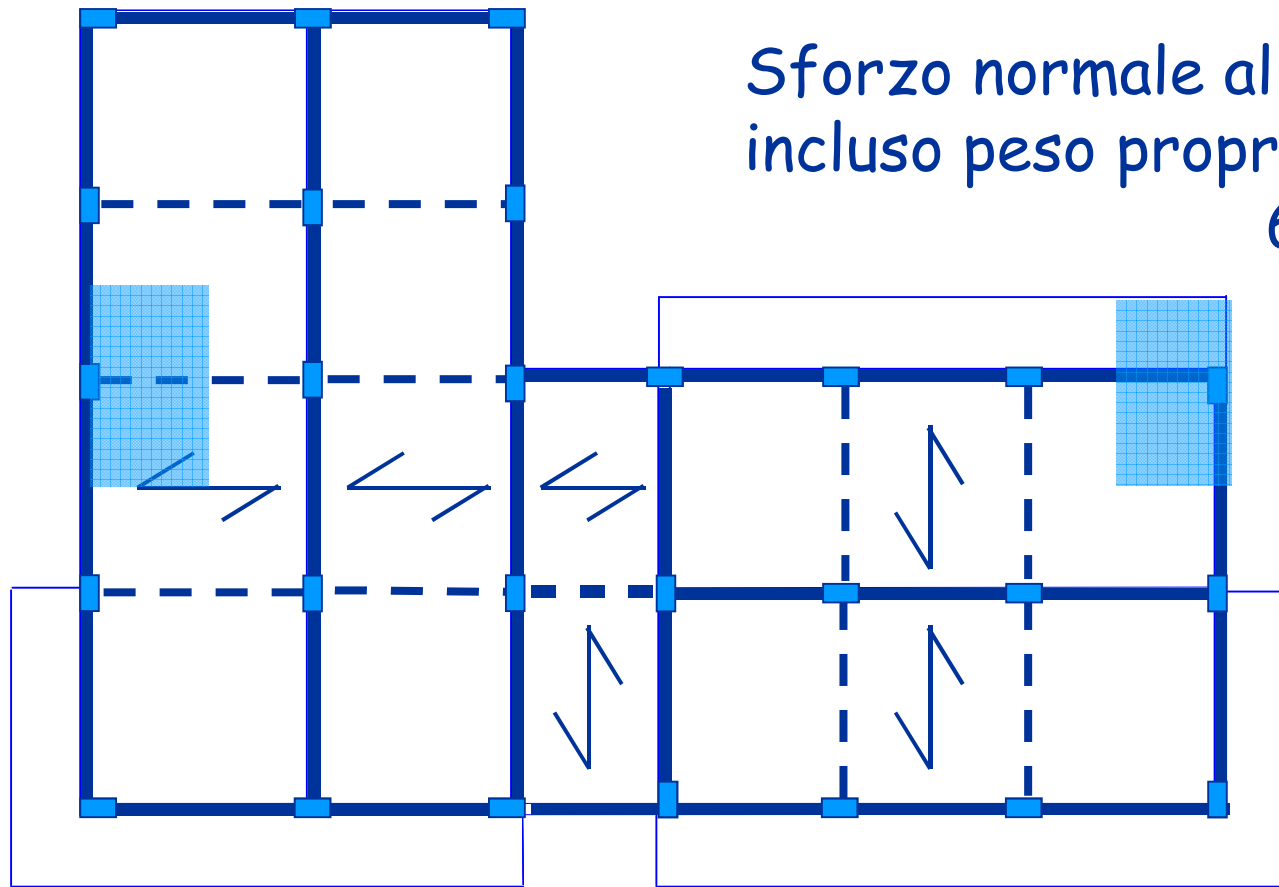


Nell'esempio

Pilastro laterale privo di sbalzo o d'angolo con uno sbalzo

Carico al piano minore

Sforzo normale al piede,  
incluso peso proprio:  
600 kN

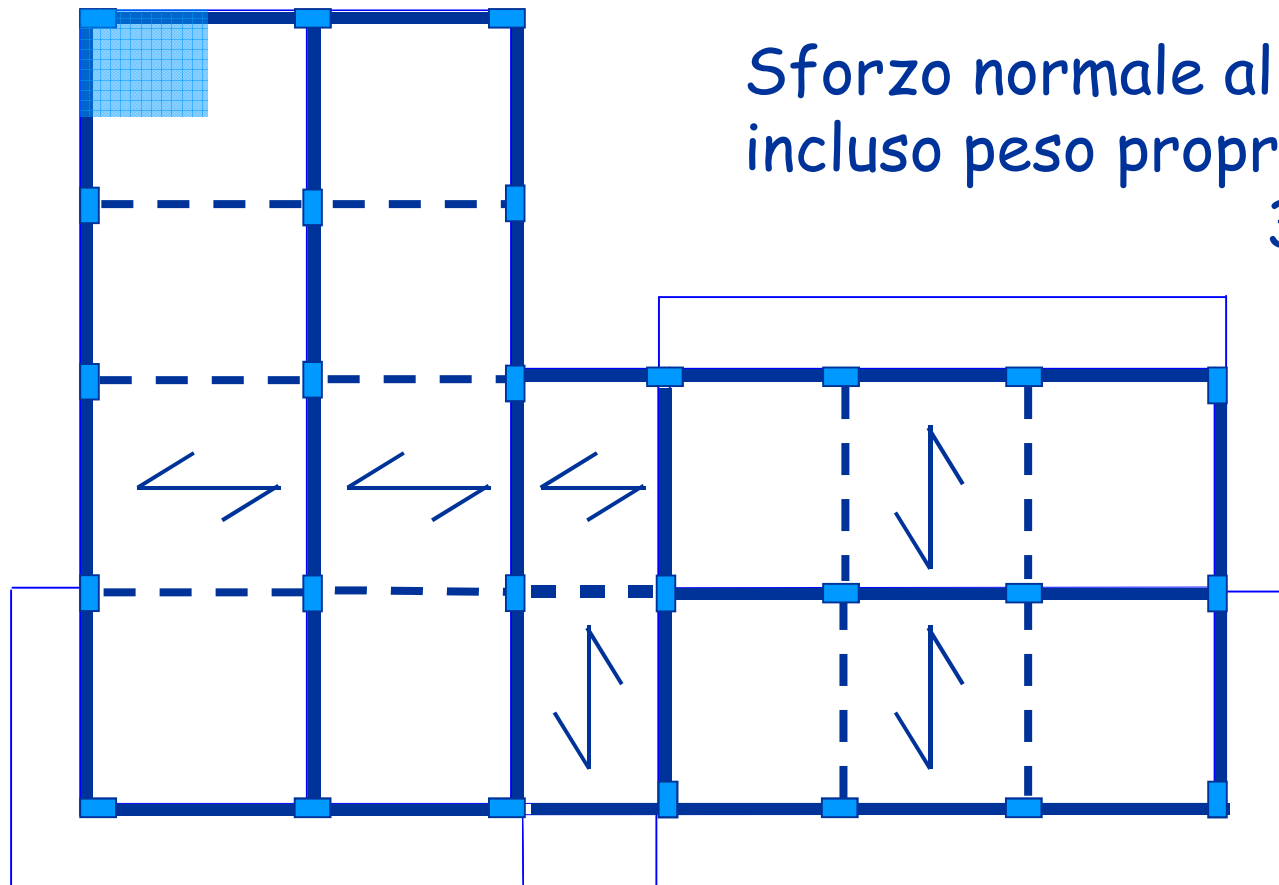


Nell'esempio

Pilastro d'angolo  
privo di sbalzo

Carico al piano ancora  
minore

Sforzo normale al piede,  
incluso peso proprio:  
380 kN



# Pilastri

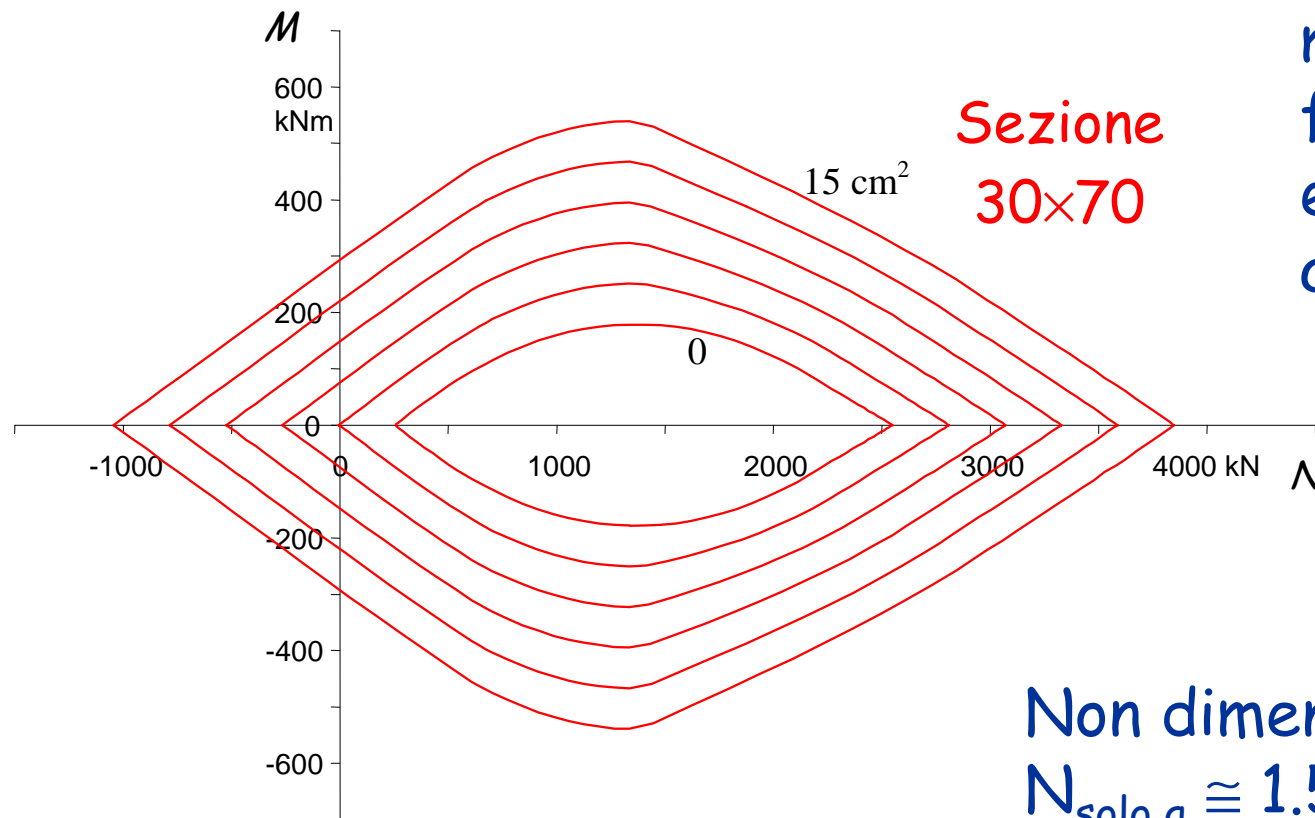
Tipo di pilastro	$N_{Ed}$ (SLU con F)	$N_{Ed} / A_c$
Pilastri più caricati (20)	830 - 1050 kN	4.0 - 5.0 MPa
Pilastri perimetrali senza sbalzo (5)	600 kN	2.9 MPa
Pilastri d'angolo senza sbalzo (2)	380 kN	1.8 MPa

La tensione media vale, al massimo, circa  $0.35 f_{cd}$

# Controllo qualitativo delle dimensioni

- Pilastri: tutti 30x70 (a tutti i piani)
  - sforzo normale al piede che va da 380 kN a 1050 kN
  - tensione media pari al massimo a circa  $0.35 f_{cd}$   
va bene ?

# Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

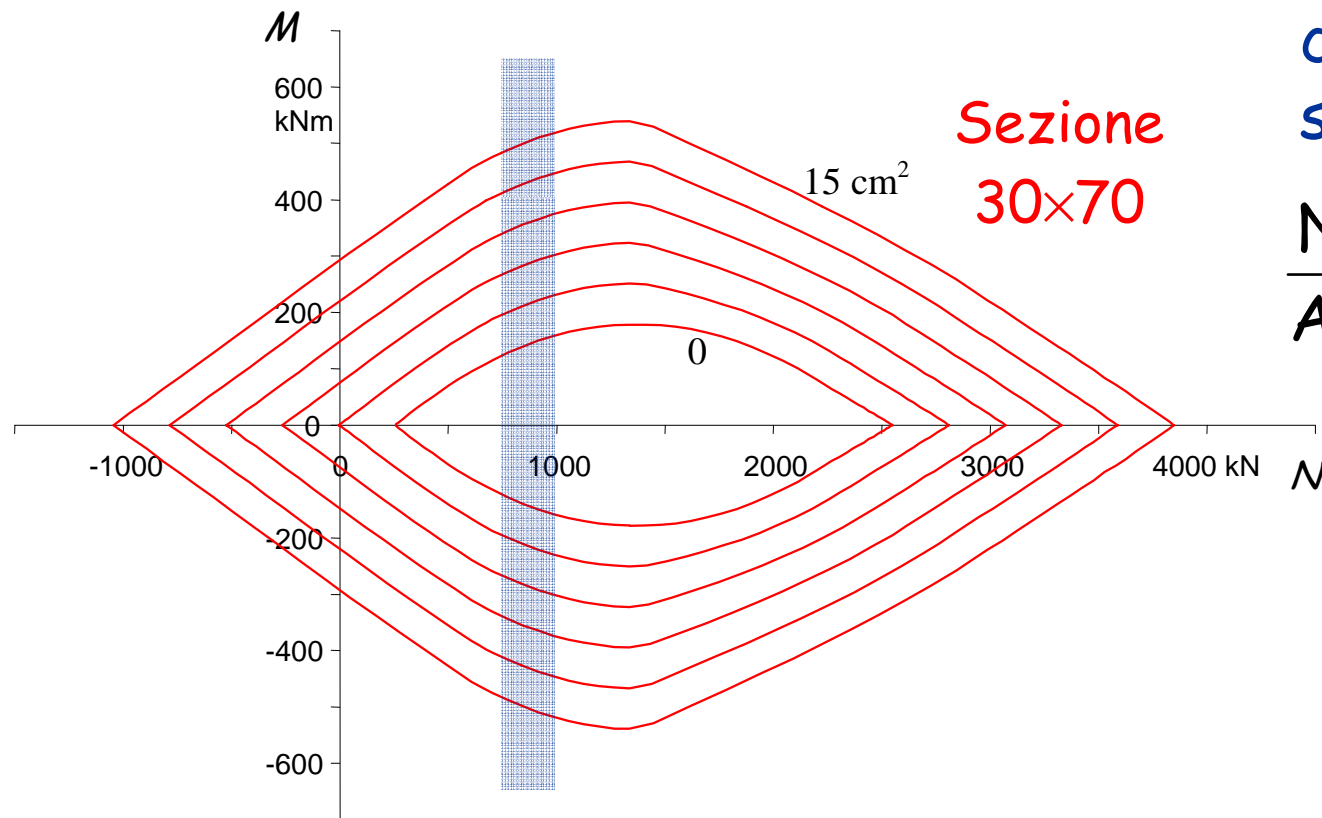


Il massimo  
momento  
flettente può  
essere portato  
quando:

$$\frac{N}{A_c} \cong 0.5 f_{cd}$$

Non dimenticare che  
 $N_{\text{solo } q} \cong 1.5 N_{q+\text{sisma}}$

# Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri



Sezione  
30×70

È opportuno  
che nella  
sezione sia:

$$\frac{N}{A_c} \leq 0.3 \div 0.4 f_{cd}$$

# Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

1. Dimensionare la sezione del primo ordine  
in modo che la tensione media  $N/A_c$  non superi:

 in presenza di sisma

$0.3-0.4 f_{cd}$  se si prevedono momenti flettenti  
non troppo elevati (zona 2, suolo B  
C E, q non troppo basso)

meno di  $0.3 f_{cd}$  se si prevedono momenti flettenti  
più elevati

# Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

2. Usare per i diversi pilastri del primo ordine un numero basso di tipi di sezione (max 2 o 3) ed evitare eccessive differenze di momento d'inerzia

Quindi cercare di mantenere - più o meno - la stessa altezza delle sezioni e variare la base

# Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

3. Ridurre gradualmente la sezione andando verso l'alto

Limitare le variazioni di sezione, che sono sempre possibile causa di errori costruttivi

Evitare forti riduzioni di tutti i pilastri ad uno stesso piano

Mantenere una dimensione adeguata, non troppo piccola, anche ai piani superiori

# Controllo qualitativo delle dimensioni

- Pilastri: tutti 30x70 (a tutti i piani)
  - sforzo normale al piede che va da 380 kN a 1050 kN
  - tensione media pari al massimo a circa  $0.35 f_{cd}$
  - è usata un'unica sezione



va bene

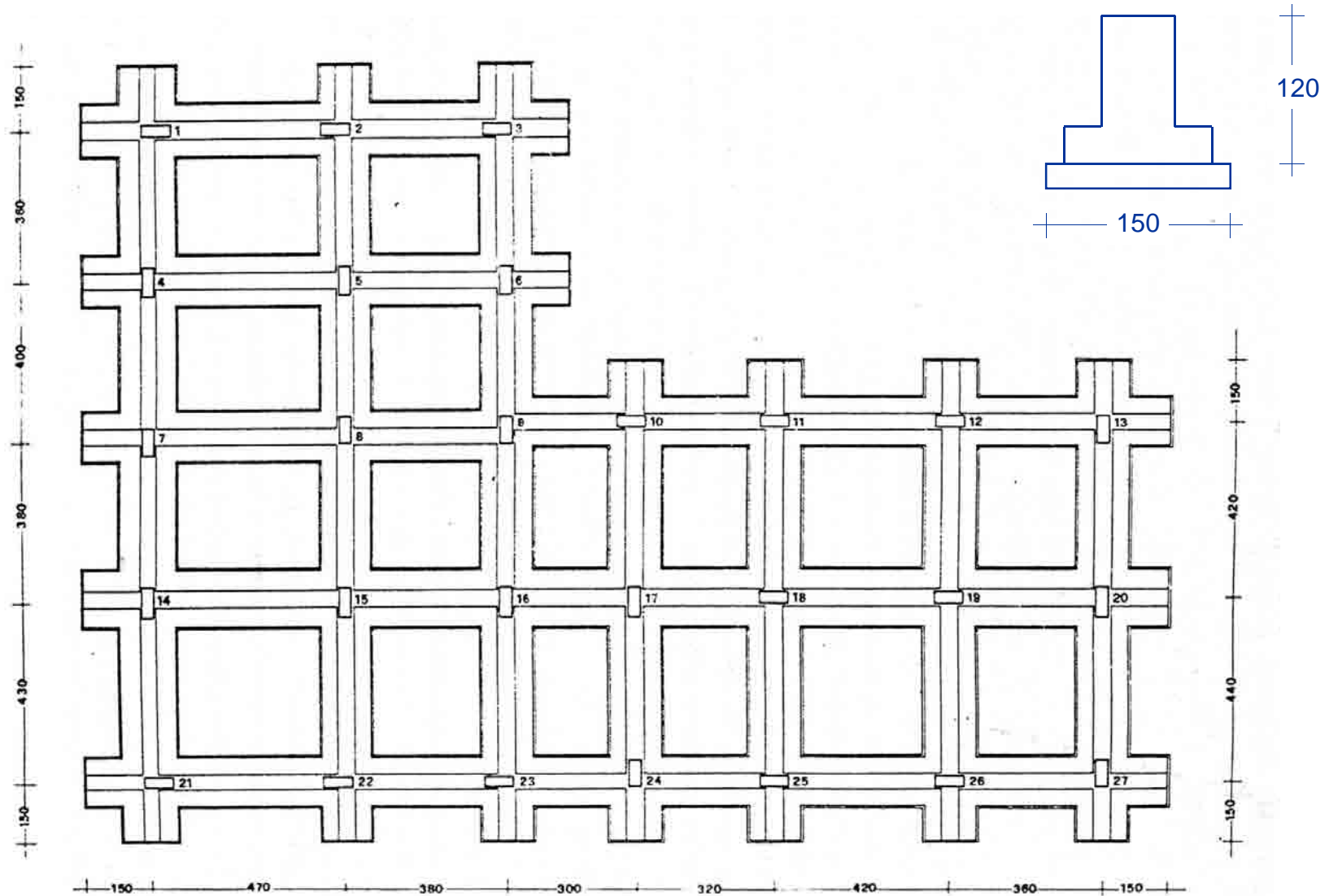
# Controllo qualitativo delle dimensioni

- Travi emergenti:  
30x60 ai quattro impalcati inferiori  
30x50 al quinto impalcato
  - le travi sono poco più piccole dei pilastri
  - variazione minima tra i diversi piani



la sezione andrebbe controllata  
ma a occhio sembra poter andare bene

# Pianta delle fondazioni



# Giudizio qualitativo

- La struttura sembra sostanzialmente regolare
  - luci modeste e non molto diverse tra loro
  - pianta e carpenteria sostanzialmente uguali a tutti i piani
  - sezioni accettabili
  - rigidità uniforme nelle due direzioni
  - pilastri perimetrali che danno una buona rigidità torsionale
  - forse è debole il lato destro

# Giudizio qualitativo

... segue

- La fondazione appare adeguata
  - buona rigidezza
  - buon collegamento tra i pilastri
- L'impalcato è compatto (anche togliendo scala e ascensore)

