

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Progetto di edifici antisismici in c.a.

6 - Impostazione della struttura

Spoletto
11-13 novembre 2010
Aurelio Gheresi

Progettazione strutturale

Processo progettuale

1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione
2. Impostazione della carpenteria dell'edificio
3. Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima della struttura
4. Analisi strutturale dettagliata e verifica del comportamento della struttura
5. Definizione delle armature ed elaborati grafici

rapido cenno

Principi base della progettazione strutturale

Principi base della progettazione strutturale

Regolarità

Condiziona:

- La qualità del comportamento strutturale
- La capacità di prevedere il comportamento della struttura
- Il costo necessario per rendere la struttura idonea a sopportare le azioni e ad essere adatta all'uso per il quale è prevista

Si veda l'articolo "La regolarità strutturale nella progettazione di edifici in zona sismica"

Principi base della progettazione strutturale

Semplicità strutturale

Uniformità Simmetria Iperstaticità

Resistenza e rigidezza bi-direzionale

Resistenza e rigidezza torsionale

Resistenza e rigidezza dell'impalcato

Adeguate fondazione

Principi base della progettazione strutturale

Semplicità strutturale

=

Esistenza di chiari e diretti percorsi di
trasmissione delle forze verticali e sismiche

La modellazione, l'analisi, il dimensionamento,
la definizione dei dettagli, la costruzione
sono soggetti a minori incertezze

La previsione del comportamento
della struttura è più affidabile

Principi base della progettazione strutturale

Uniformità

=

Omogenea distribuzione degli elementi strutturali

Consente una trasmissione diretta
delle forze di inerzia
generate dalla massa distribuita dell'edificio

Evita concentrazioni di tensione
o elevate richieste di duttilità locale,
che possono causare
un collasso strutturale prematuro

Principi base della progettazione strutturale

Simmetria

Se la configurazione dell'edificio è simmetrica o quasi simmetrica, una disposizione simmetrica degli elementi resistenti evita rotazioni in pianta, aiutando il raggiungimento dell'uniformità

Anche in assenza di simmetria, si possono disporre gli elementi strutturali in maniera bilanciata, in modo da limitare la rotazione in pianta

Principi base della progettazione strutturale

Uniformità e Simmetria



1995 – Kobe

Mancanza di regolarità
planimetrica e di
regolarità altimetrica



Stati Uniti

Concentrazione del
danno su pochi
elementi strutturali

Principi base della progettazione strutturale

Iperstaticità

L'impiego di tipologie strutturali fortemente iperstatiche, come i telai, consente una più diffusa dissipazione di energia all'interno della struttura

Principi base della progettazione strutturale

Iperstaticità



1994 - Northridge



1999 - Turchia

Mancanza di iperstaticità



La crisi dei pochi elementi
resistenti porta
rapidamente al collasso

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza bi-direzionale

Il moto sismico ha sempre
due componenti orizzontali

La struttura dell'edificio deve essere in grado
di resistere ad azioni orizzontali
agenti in qualsiasi direzione

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza bi-direzionale



1908 – Messina

Mancanza di collegamento
tra pareti ortogonali



Le pareti ortogonali al
sisma si ribaltano

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza torsionale
=

Adeguate rigidezza e resistenza
agli elementi strutturali più eccentrici

Serve per limitare gli effetti dei moti torsionali
che tendono a sollecitare in modo
non uniforme i differenti elementi strutturali

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza dell'impalcato

=

Esistenza di una soletta di adeguato spessore,
continua e senza forti riduzioni in pianta

Serve per garantire la trasmissione delle azioni
inerziali dalle masse agli elementi resistenti

Consente di limitare il numero di modi
da prendere in considerazione per valutare
la risposta dinamica della struttura

Principi base della progettazione strutturale

Adeguate fondazione

=

Elementi di fondazione ben collegati tra loro
e dotati di adeguata rigidezza

Serve per evitare cedimenti differenziali
(verticali e orizzontali) del piede dei pilastri

Assicura che l'intero edificio sia soggetto
ad una uniforme eccitazione sismica

scorrere
rapidamente

Impostazione della carpenteria

Impostazione della carpenteria

Definizione dell'orditura dei solai e della posizione di travi e pilastri (pensando anche alla fondazione)

La struttura deve essere in grado di portare

- i carichi verticali
- le azioni orizzontali equivalenti al sisma

Obiettivi generali

Rendere la struttura il più regolare possibile

Valutare la possibilità di dividere il fabbricato 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

Edifici con pareti o nuclei in c.a.

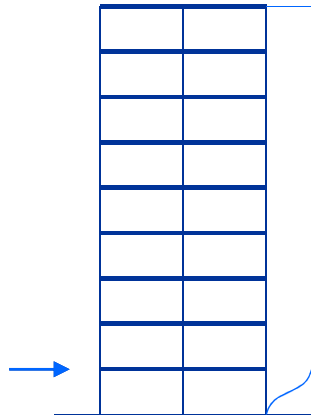
Compito dei diversi elementi:

- 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

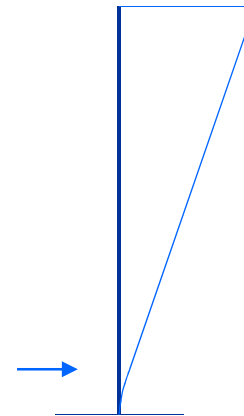
Comportamento a mensola e comportamento a telaio



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

Può essere utile scindere il problema in due fasi:

1. Impostare la carpenteria pensando innanzi tutto ai soli carichi verticali
tenendo però presenti i criteri derivanti dalla contemporanea presenza di azioni orizzontali
2. Rivedere la carpenteria per renderla più idonea a sopportare azioni orizzontali

Edifici a struttura intelaiata

Nell'impostazione per carichi verticali:

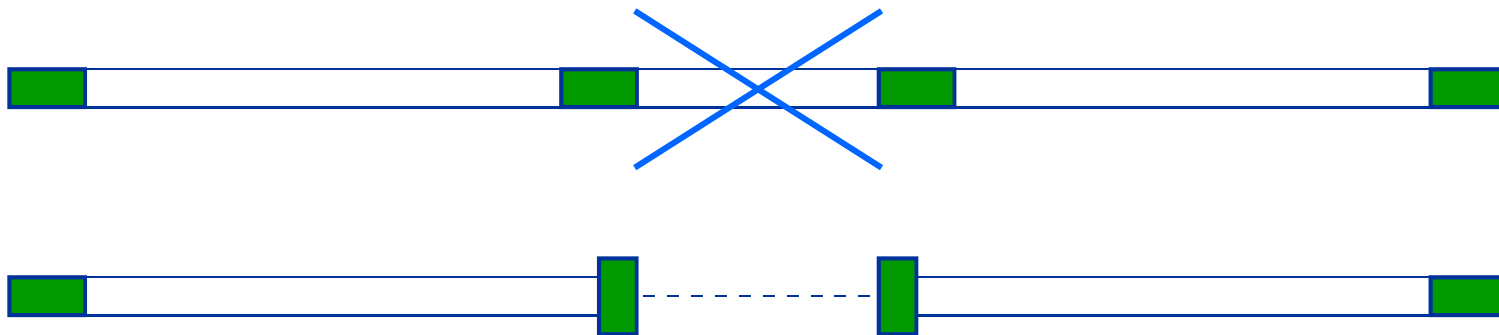
- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma

Elemento	Per soli carichi verticali	In zona sismica
Solaio	7.00 m	6.00 m
Sbalzo	2.50 m	2.00 m
Trave emergente che porta rilevanti carichi verticali	6.00 m	5.50 m
Trave a spessore che porta rilevanti carichi verticali	5.00 m	4.50 m

Edifici a struttura intelaiata

Nell'impostazione per carichi verticali:

- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma
- Evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni



Edifici a struttura intelaiata

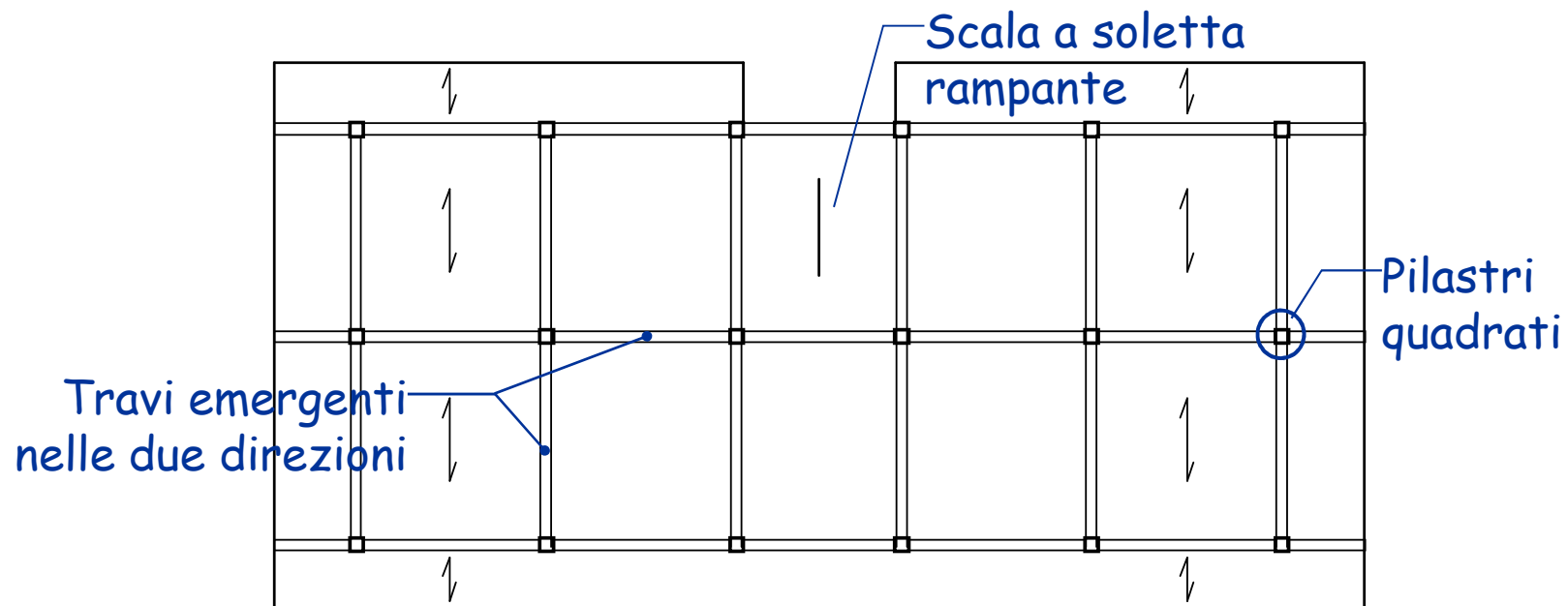
Nell'impostazione per carichi verticali:

- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma
- Evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni
- Evitare 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

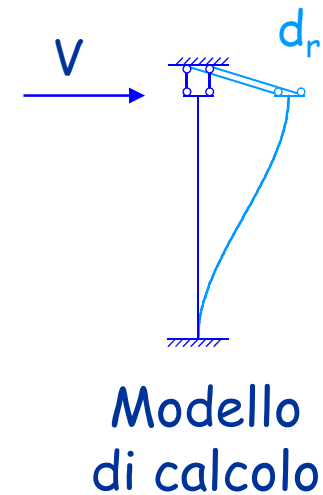
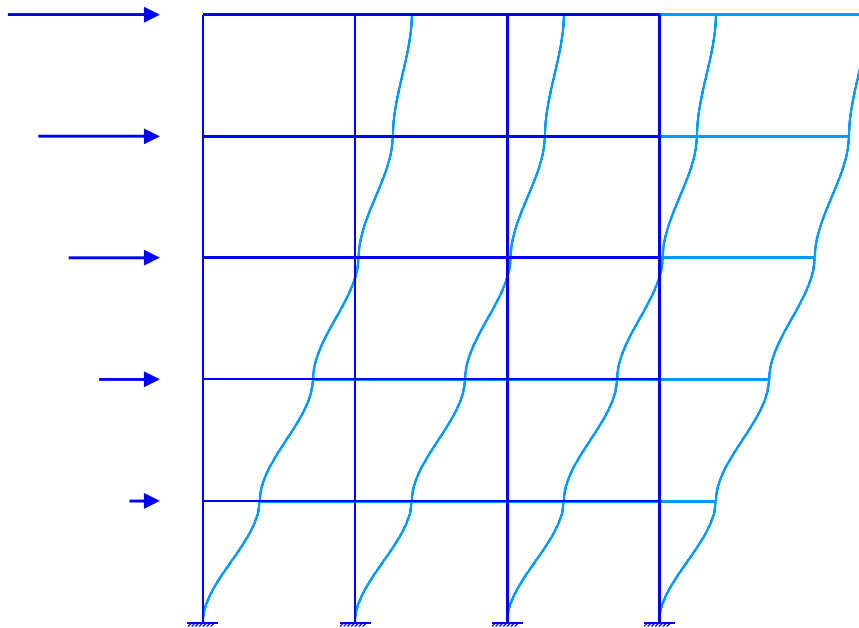
In realtà si hanno spesso travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari

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

In che modo si può stimare la rigidezza?

Rigidezza

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



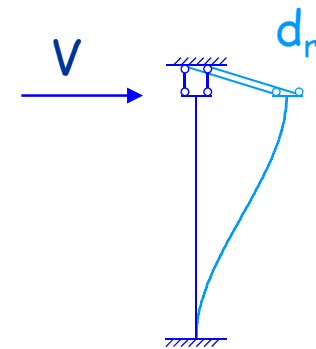
Rigidezza

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

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

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

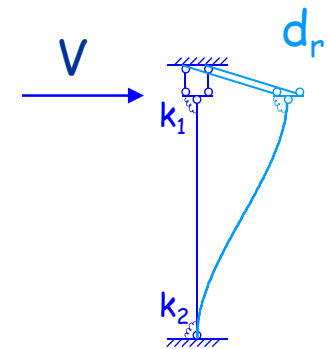
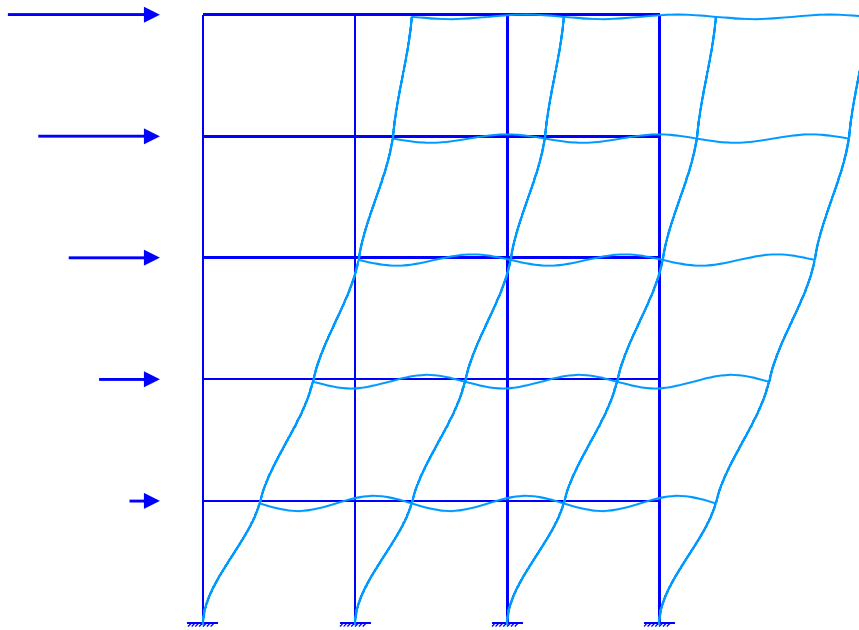
La rigidezza è proporzionale al momento d'inerzia della sezione



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

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

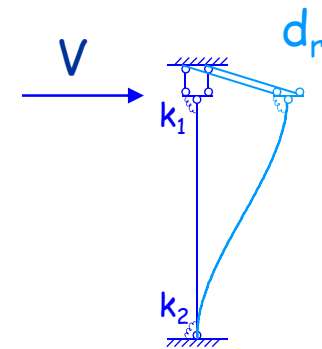
ma poiché la trave serve da vincolo anche al pilastro di sopra, prendo la metà

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

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

pongo

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



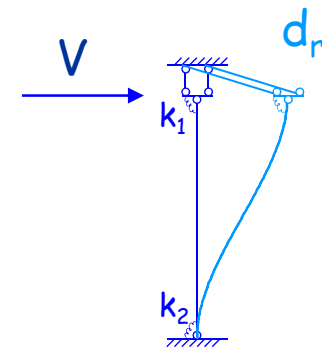
Modello
di calcolo

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

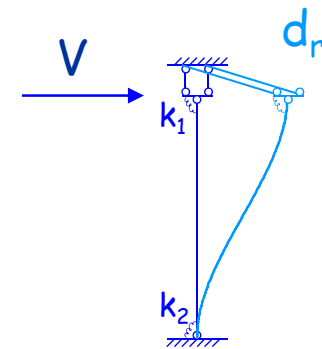
Rigidezza

- 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

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

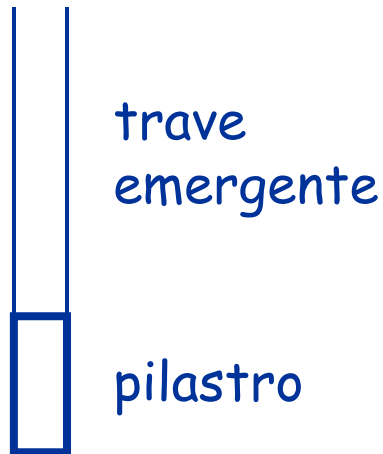
$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{E I_p / L_p}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,inf} / L_t} \right)}$$



Modello
di calcolo

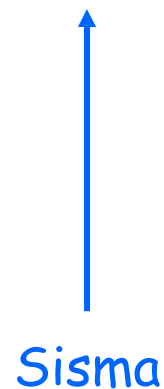
Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



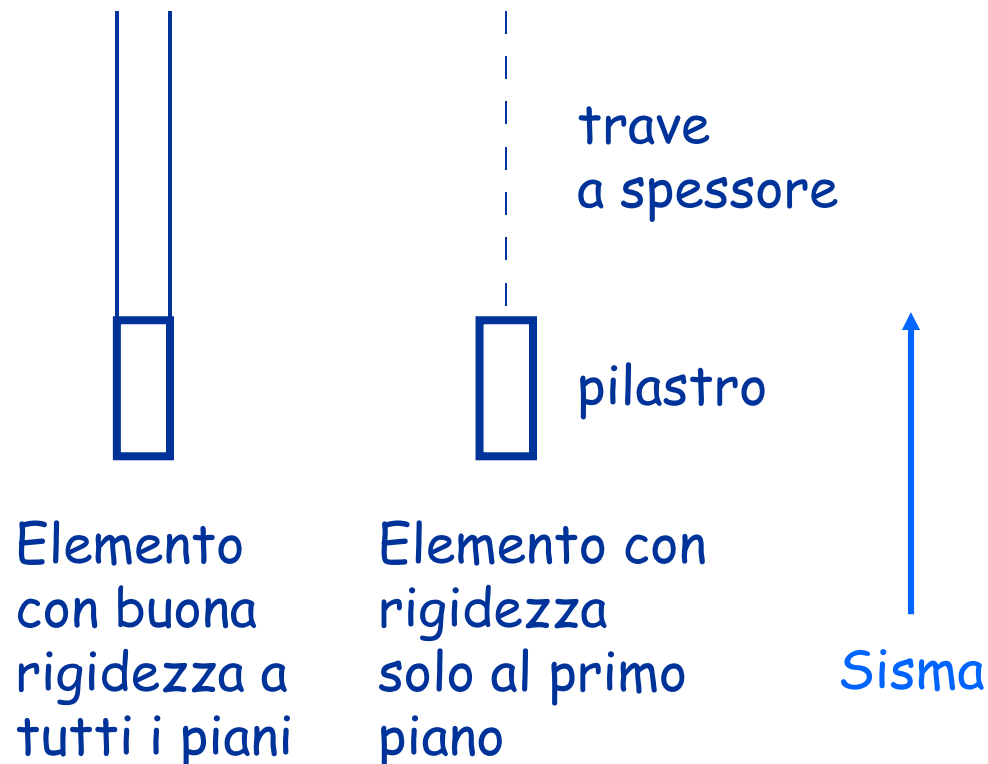
Elemento
con buona
rigidezza a
tutti i piani

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



Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



Un pilastro rigido
accoppiato
ad una trave a spessore
fornisce un contributo
basso a tutti i piani,
tranne che al primo

Elementi resistenti alle azioni orizzontali

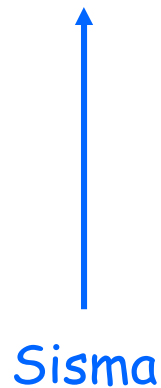
In realtà si hanno travi sia emergenti che a spessore
e pilastri rettangolari



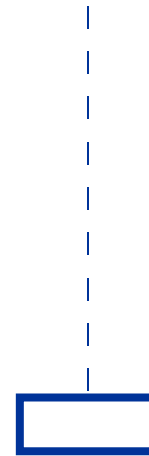
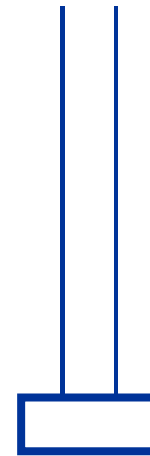
Elemento
con buona
rigidezza a
tutti i piani



Elemento con
rigidezza
solo al primo
piano



Sisma



I pilastri con inerzia
minima danno contributo
in prima approssimazione
trascurabile

Elementi resistenti alle azioni orizzontali

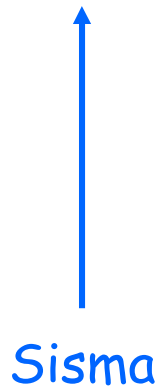
In realtà si hanno travi sia emergenti che a spessore
e pilastri rettangolari



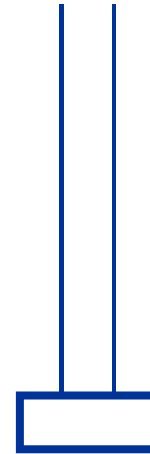
Elemento
con buona
rigidezza a
tutti i piani



Elemento con
rigidezza
solo al primo
piano



Sisma



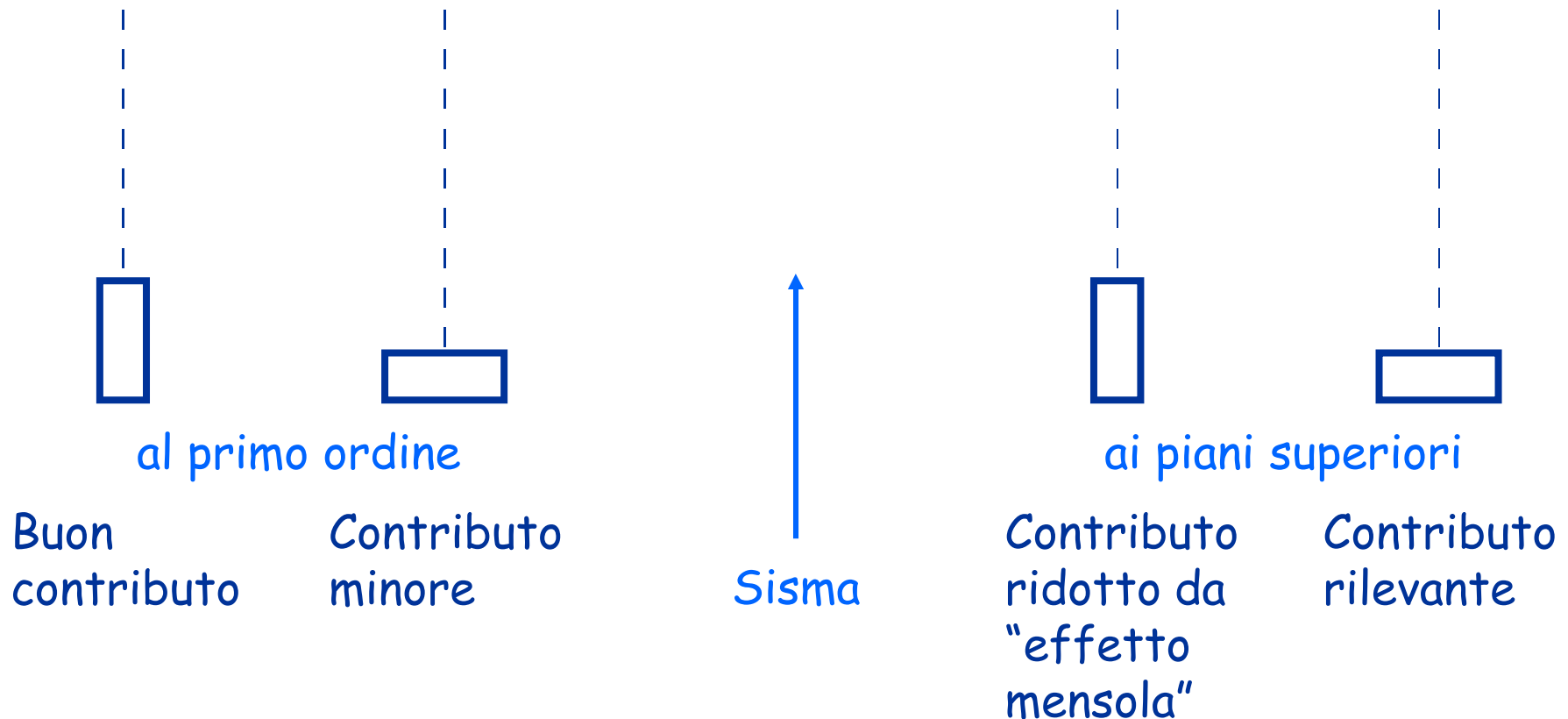
Elemento con
rigidezza
limitata a
tutti i piani



Elemento con
rigidezza
trascurabile
a tutti i piani

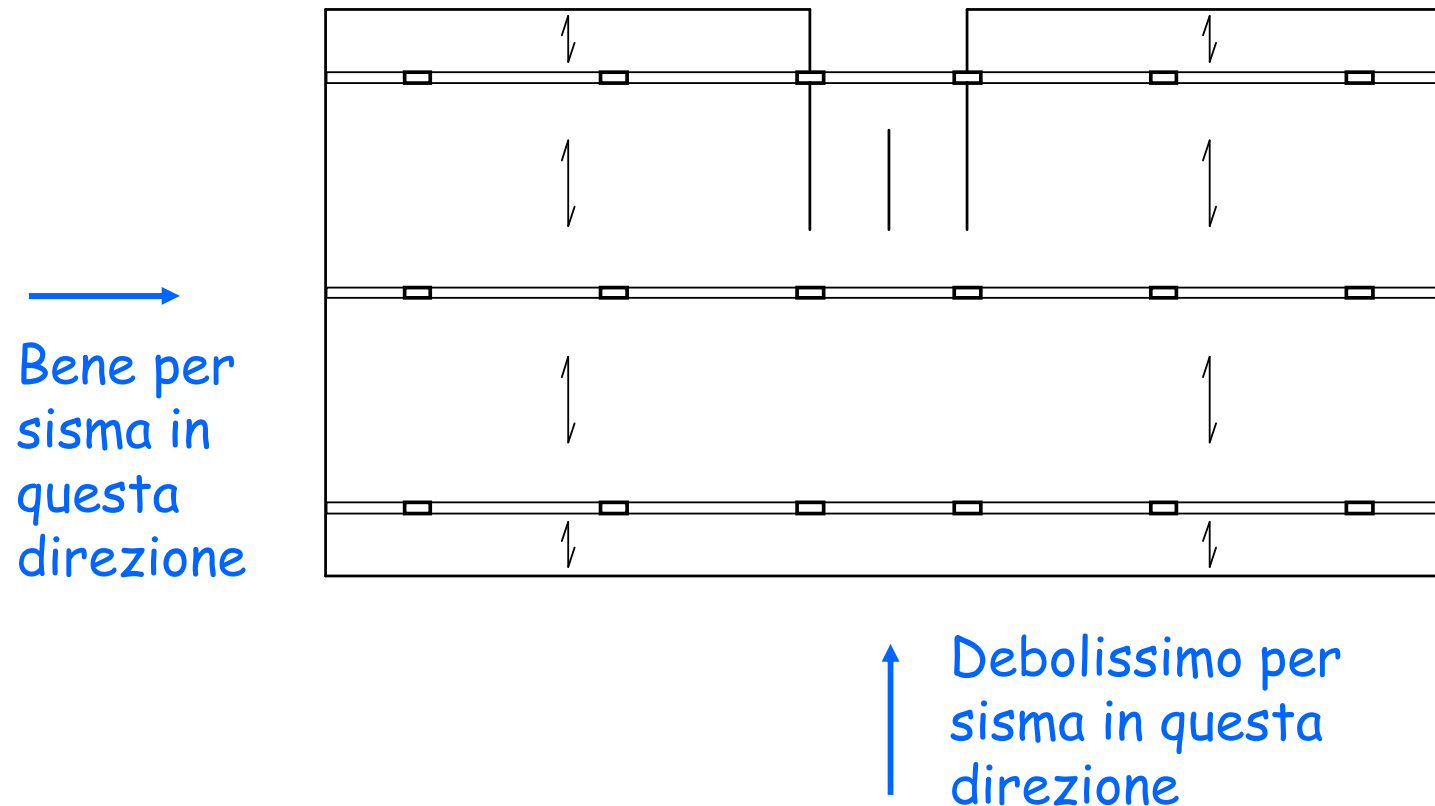
Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



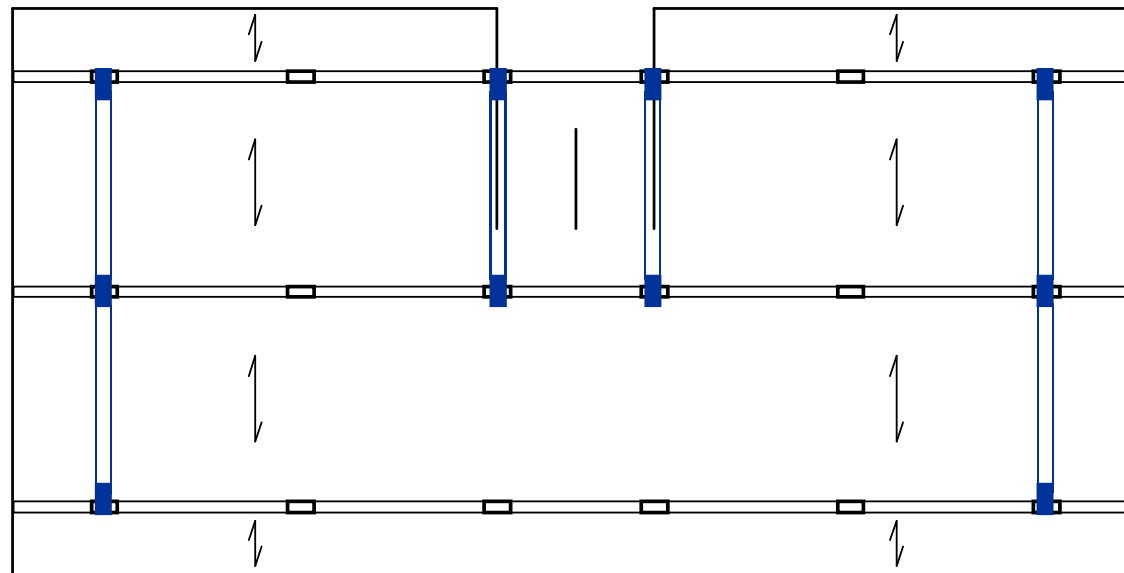
Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Al limite, per soli carichi verticali:



Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:

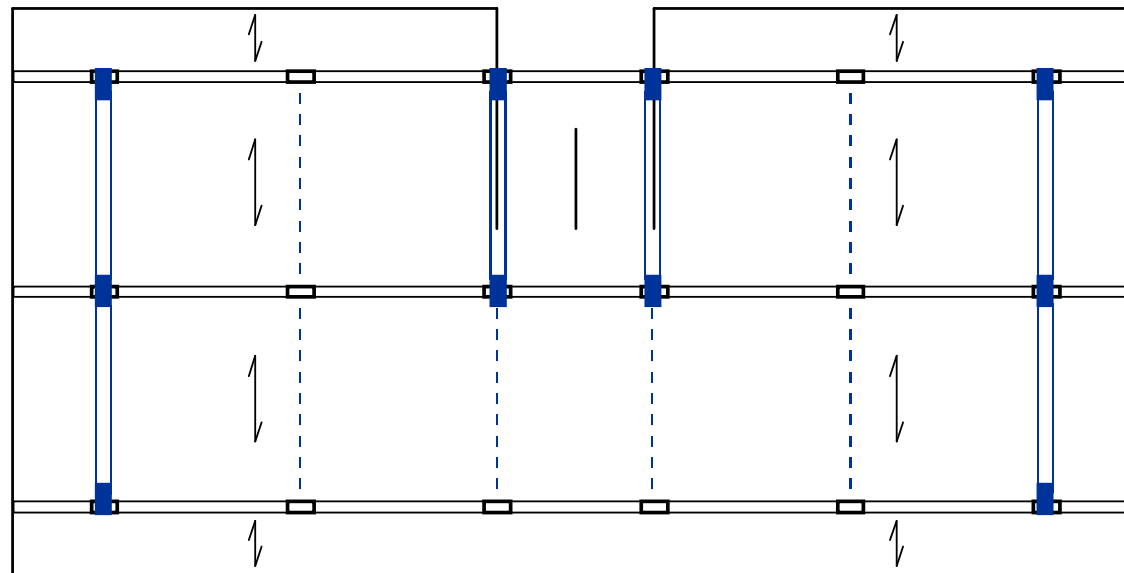


Girare un certo numero
di pilastri

Aggiungere travi emergenti
per renderli efficaci

Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



Si potranno poi aggiungere altre travi, a spessore, che sono però irrilevanti ai fini sismici

scorrere
rapidamente

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:

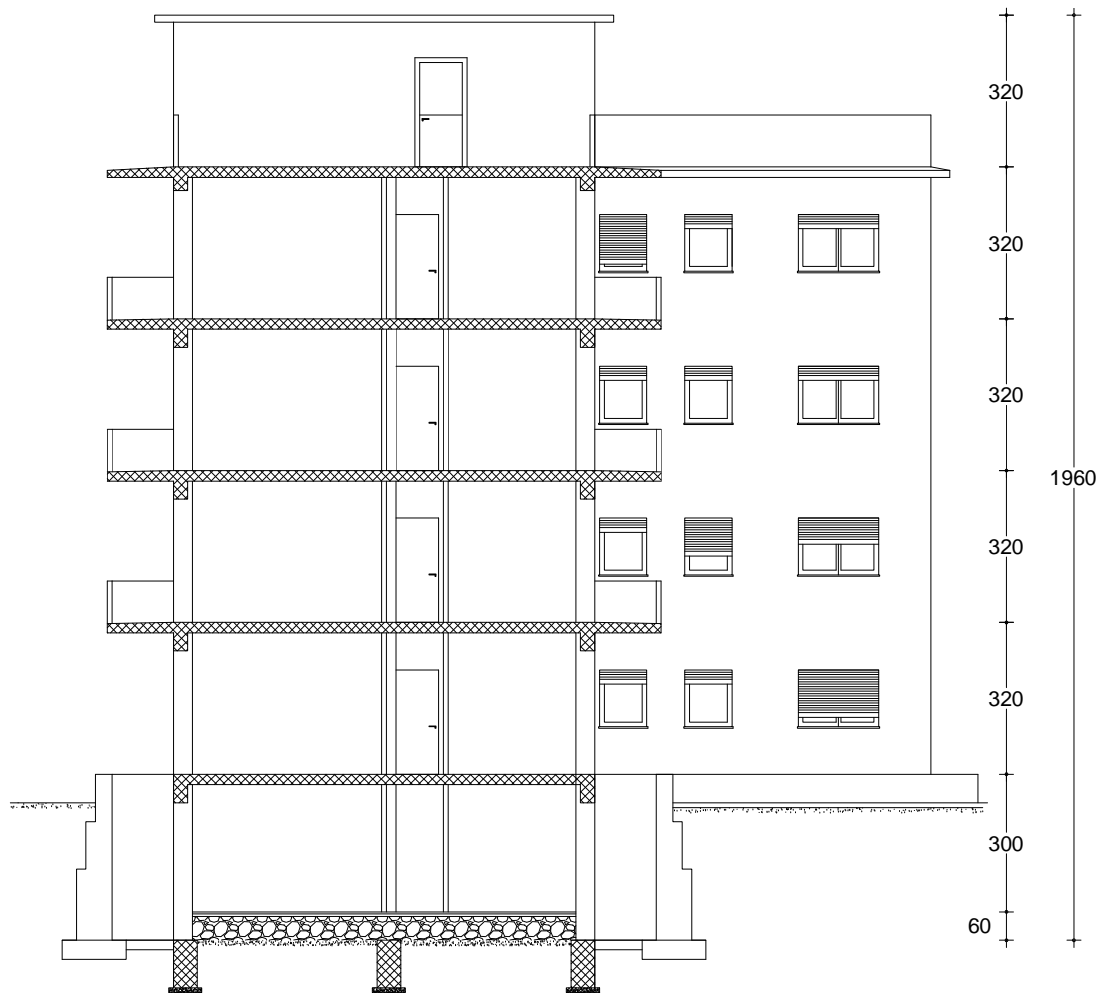
reticolo di travi rovesce

Materiali:

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

acciaio B450C

Edificio analizzato

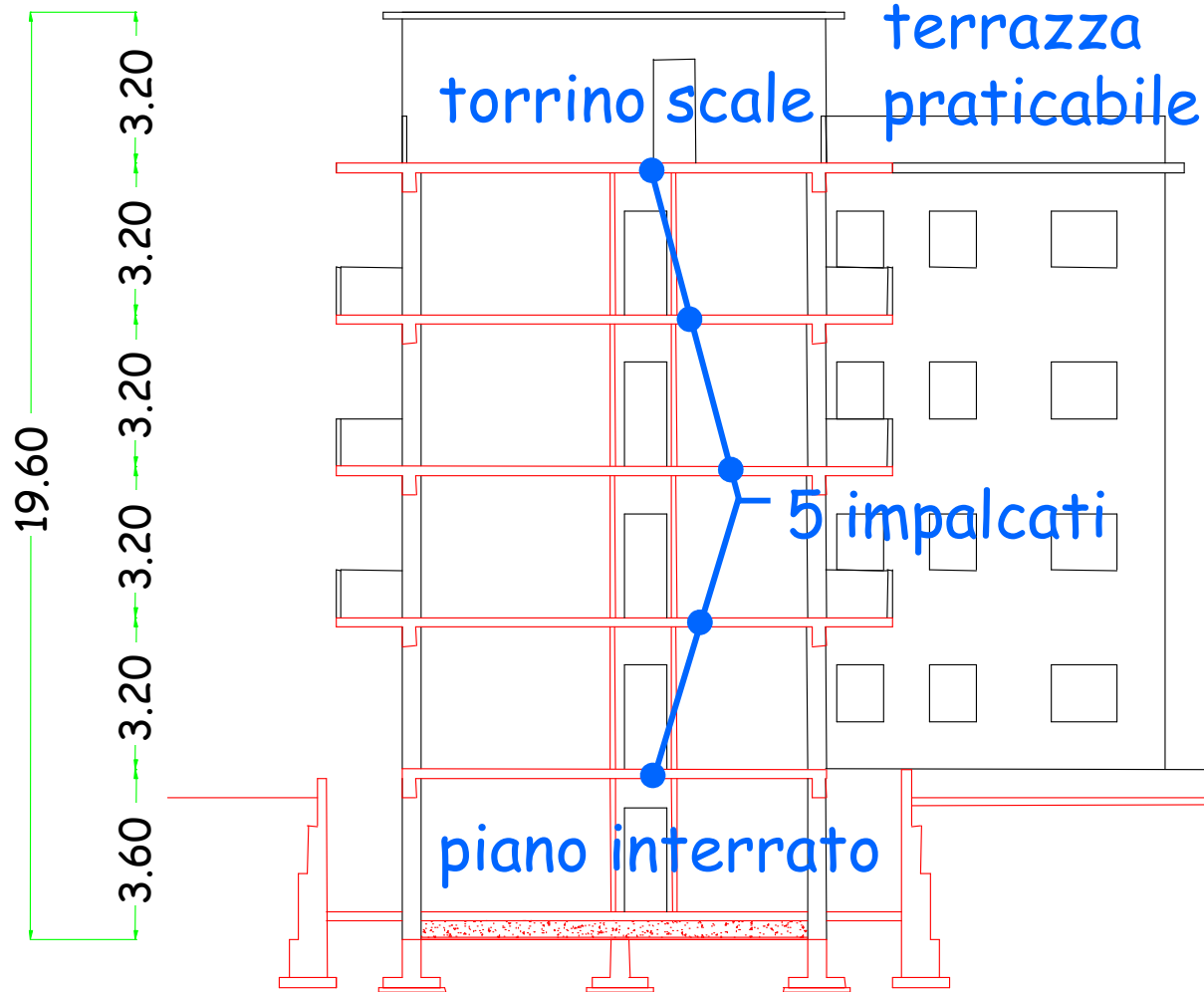


Sezione

Edificio analizzato

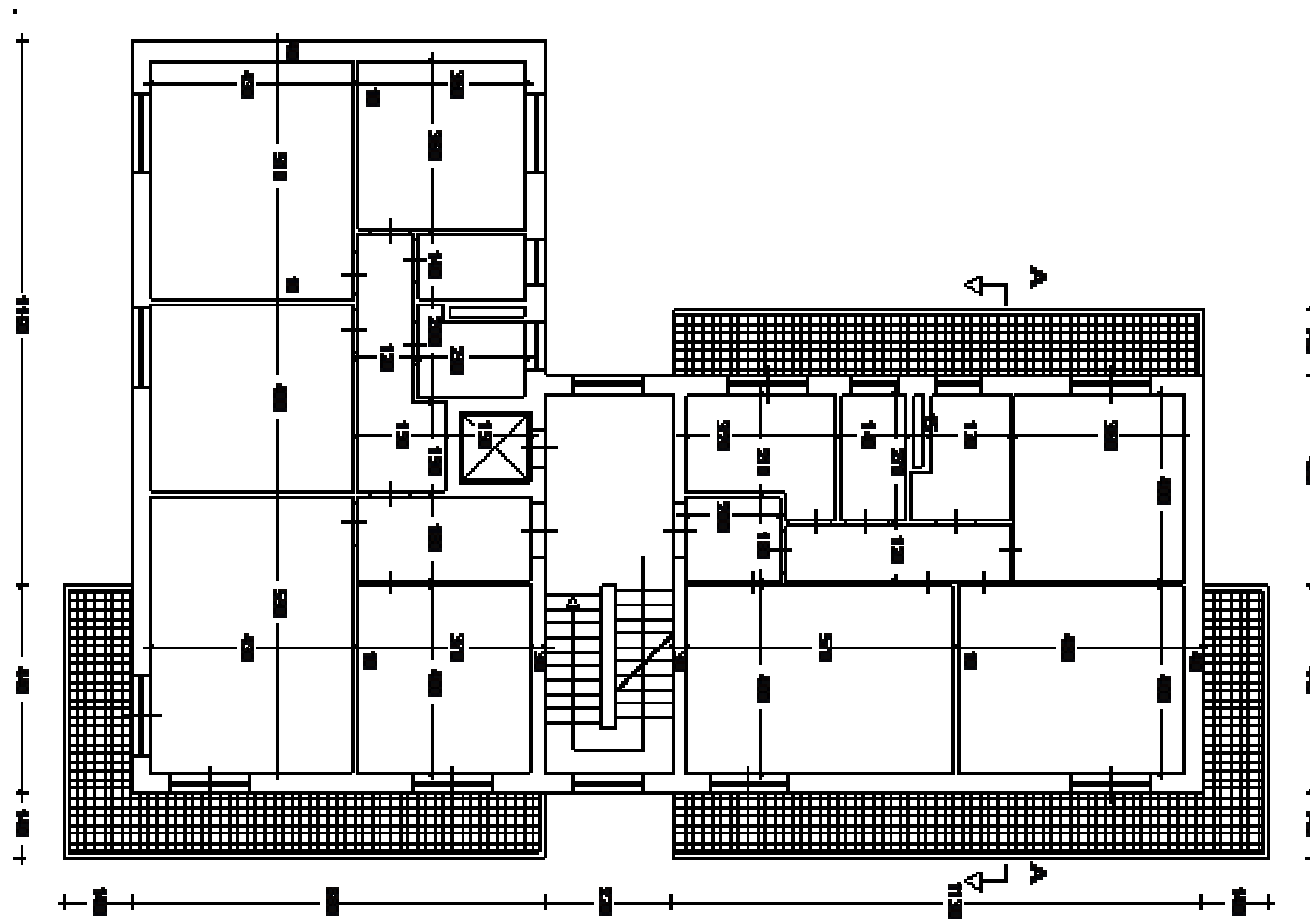
Sismicità media
= zona 2

Terreno
costituito da
sabbie e ghiaie
mediamente
addensate



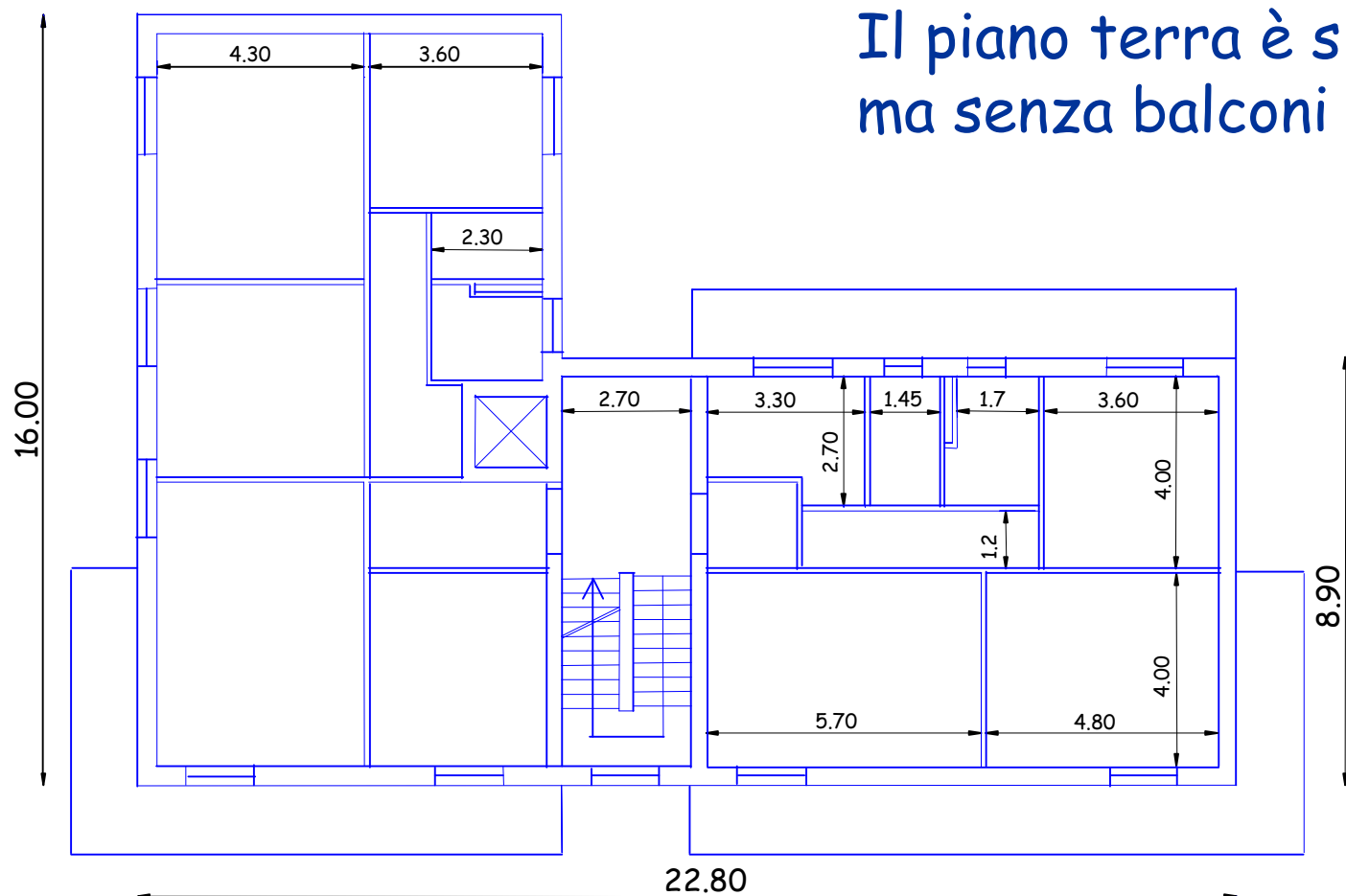
Sezione

Piano tipo



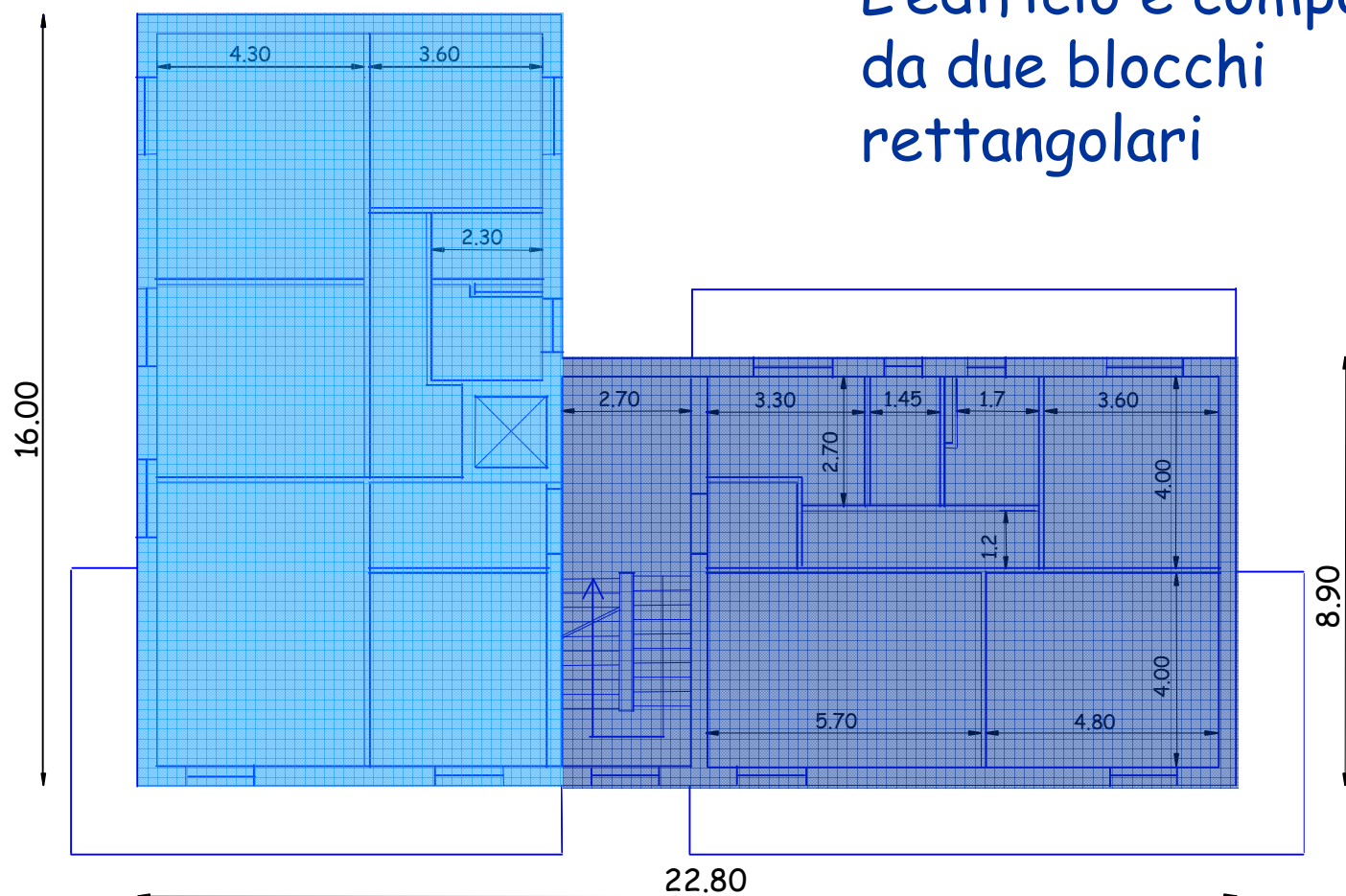
Piano tipo

Il piano terra è simile,
ma senza balconi



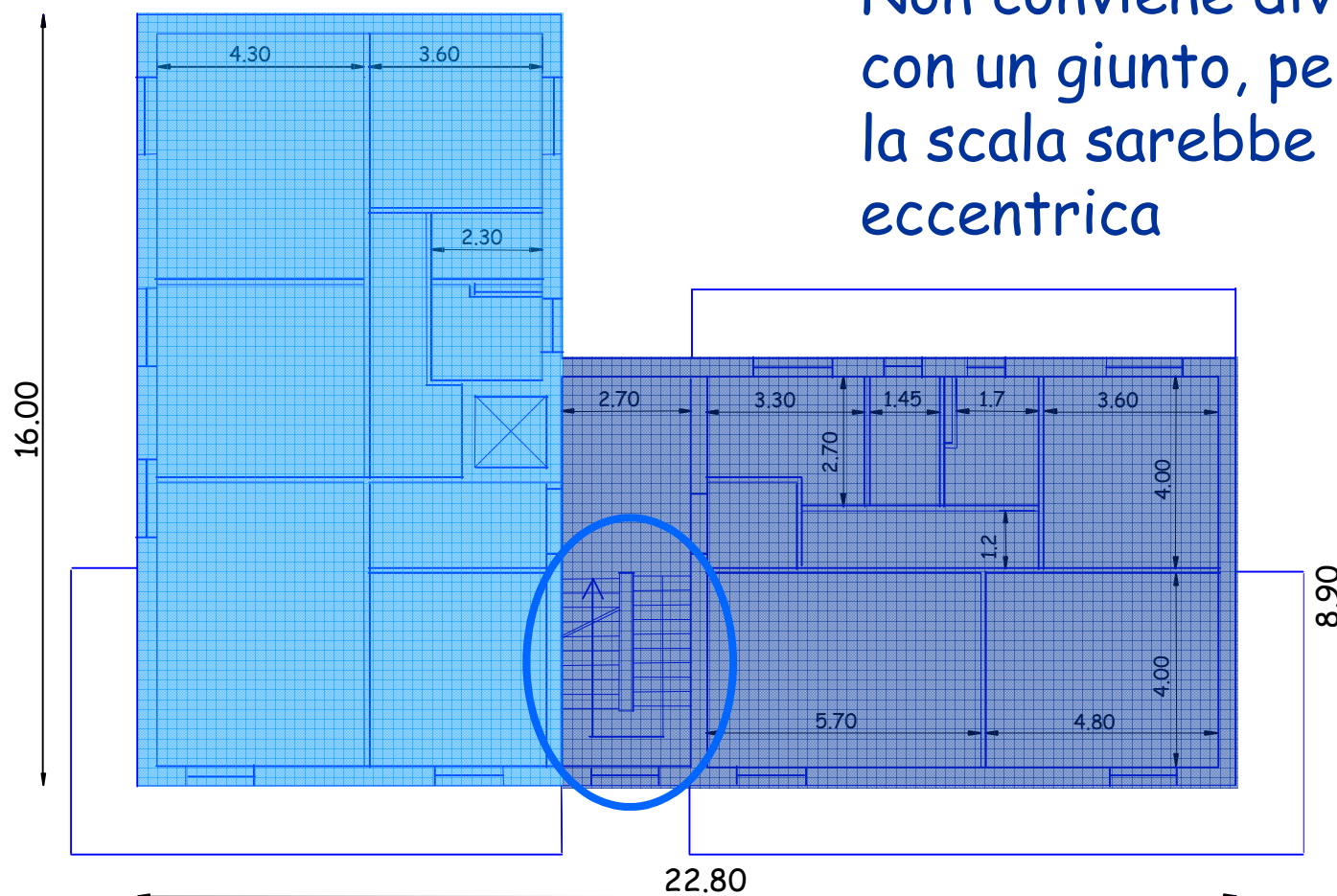
Piano tipo

L'edificio è composto da due blocchi rettangolari



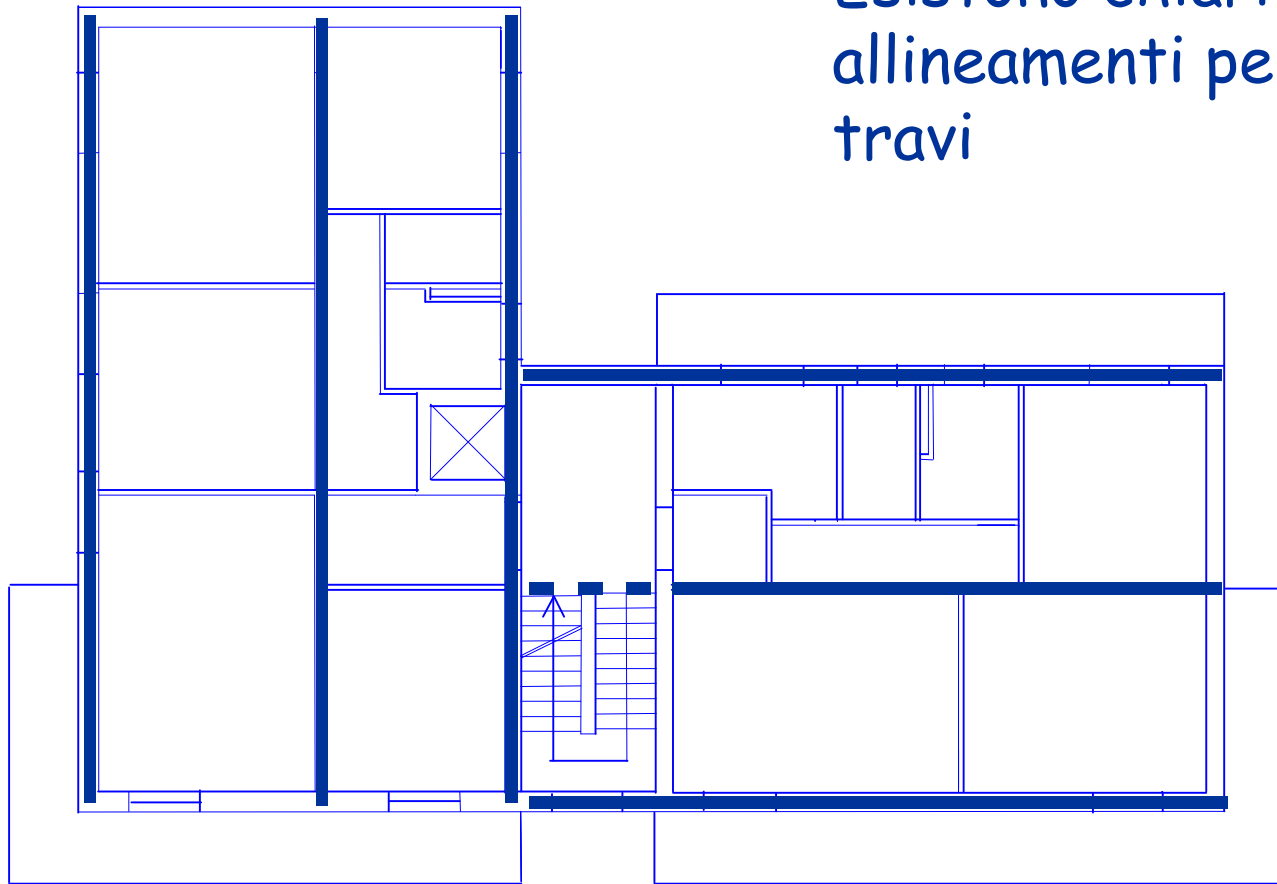
Piano tipo

Non conviene dividerli
con un giunto, perché
la scala sarebbe
eccentrica

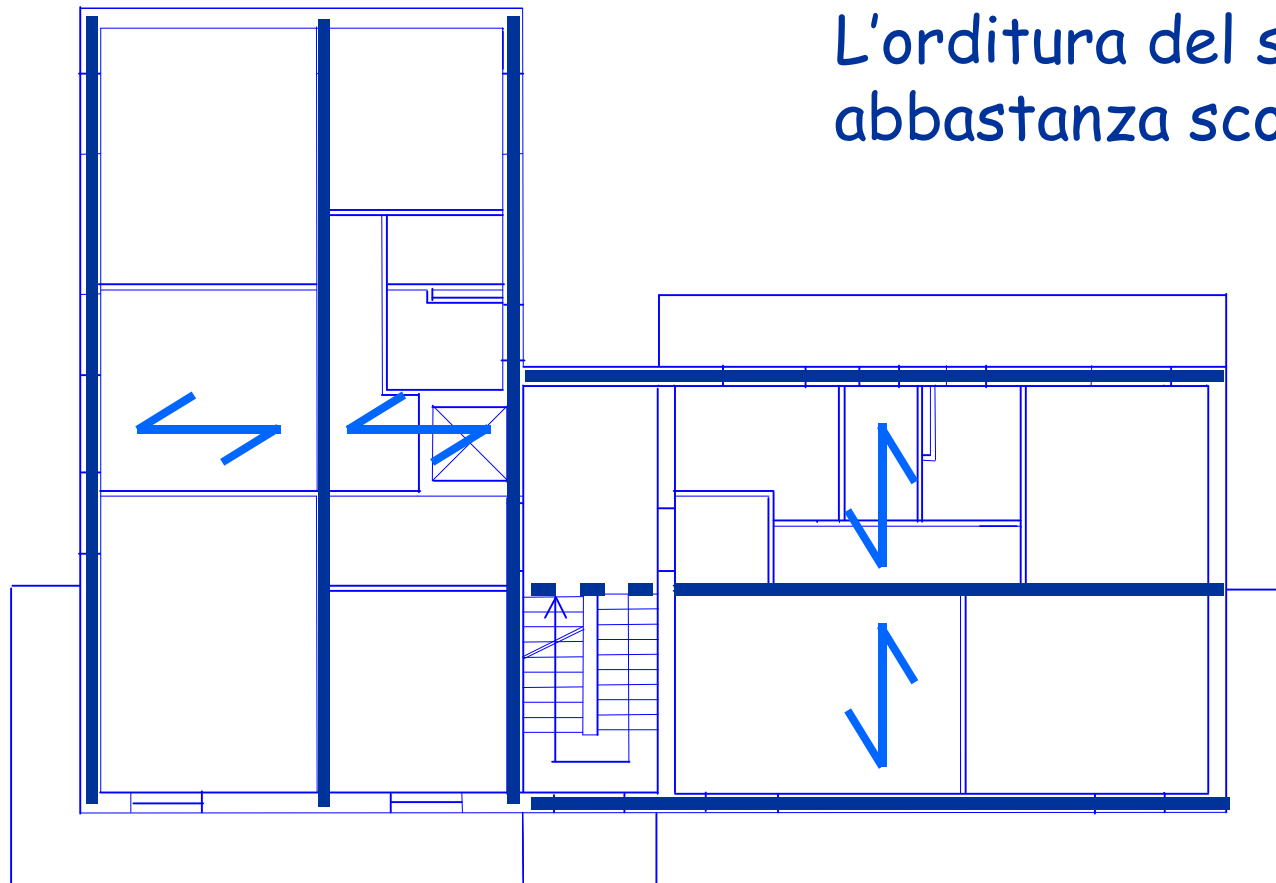


Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

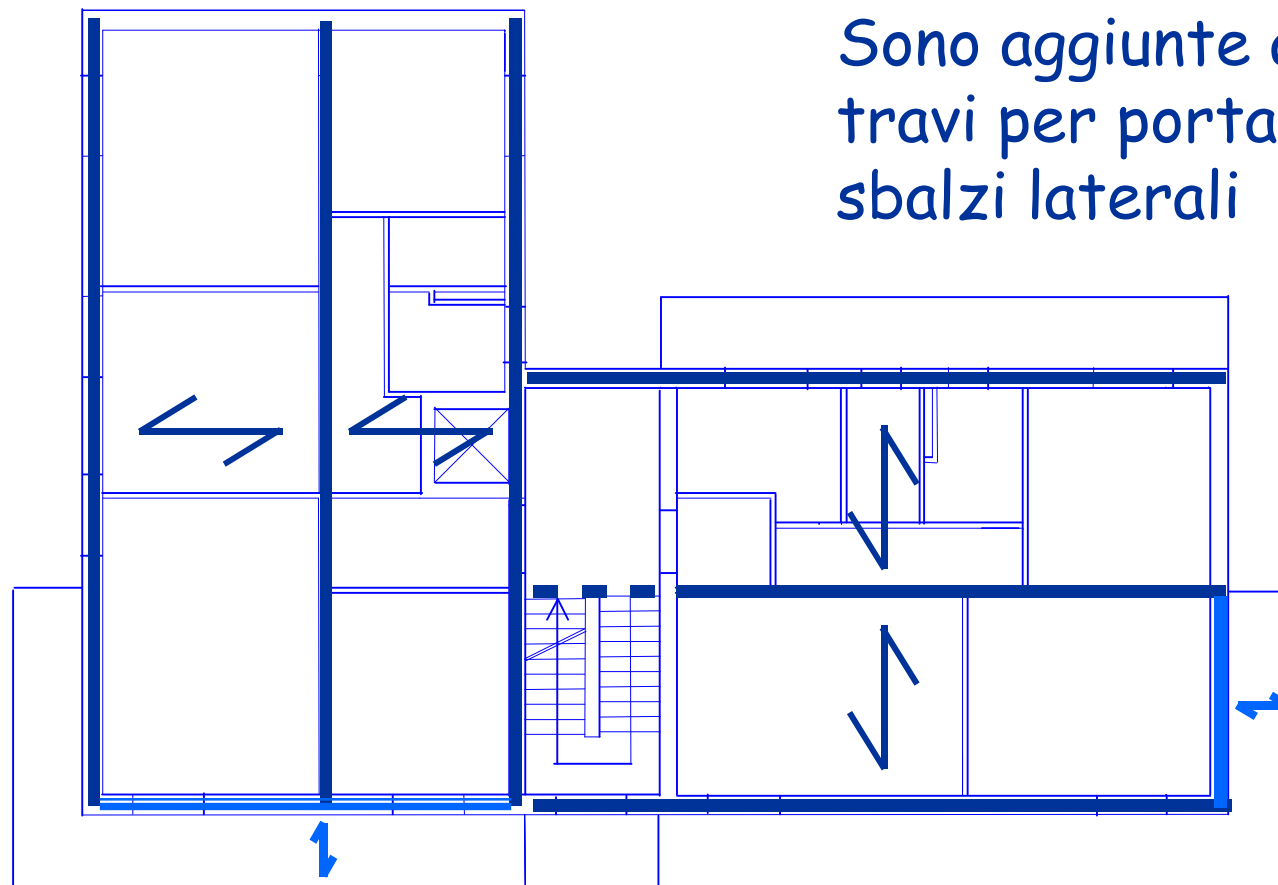
Esistono chiari
allineamenti per le
travi



Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

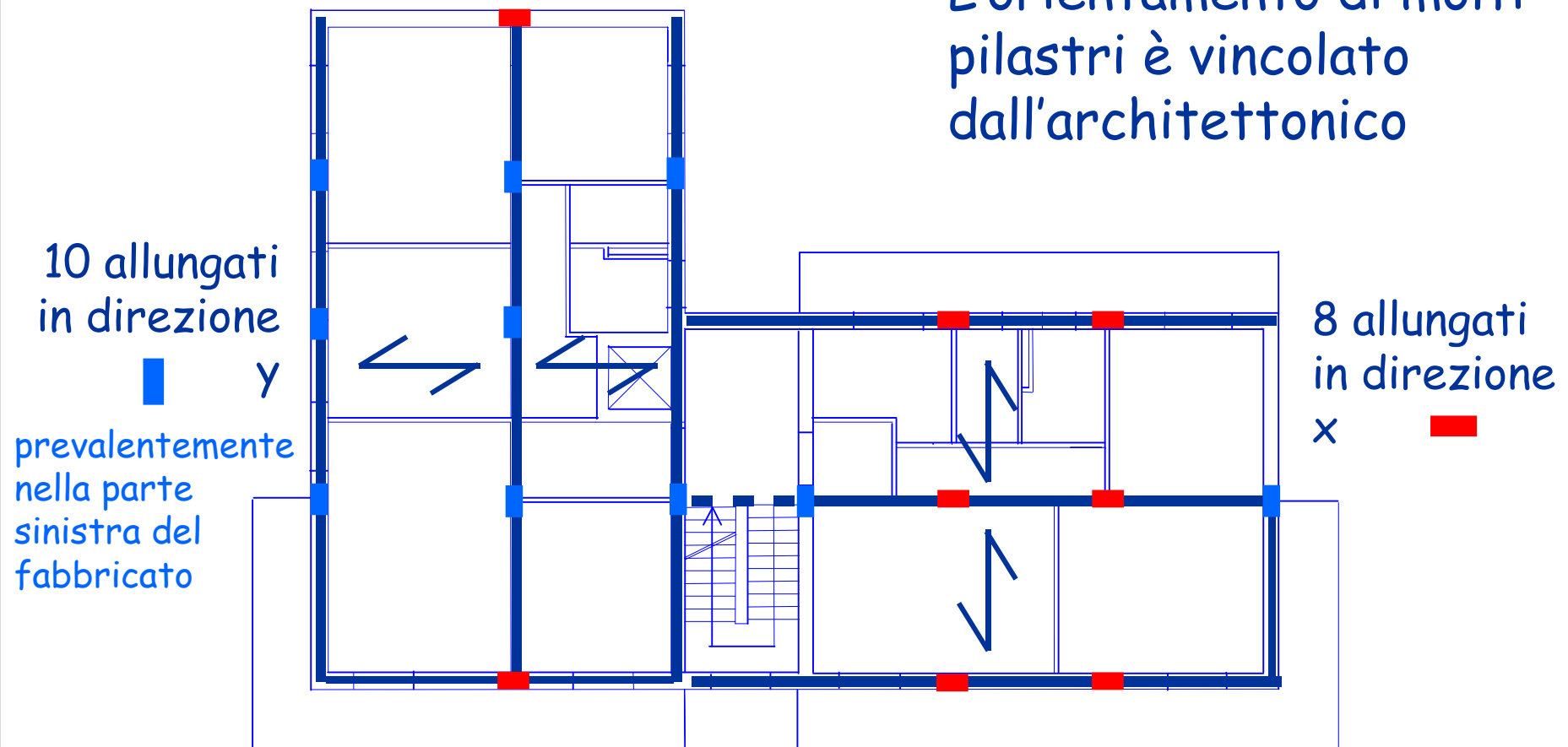


Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali



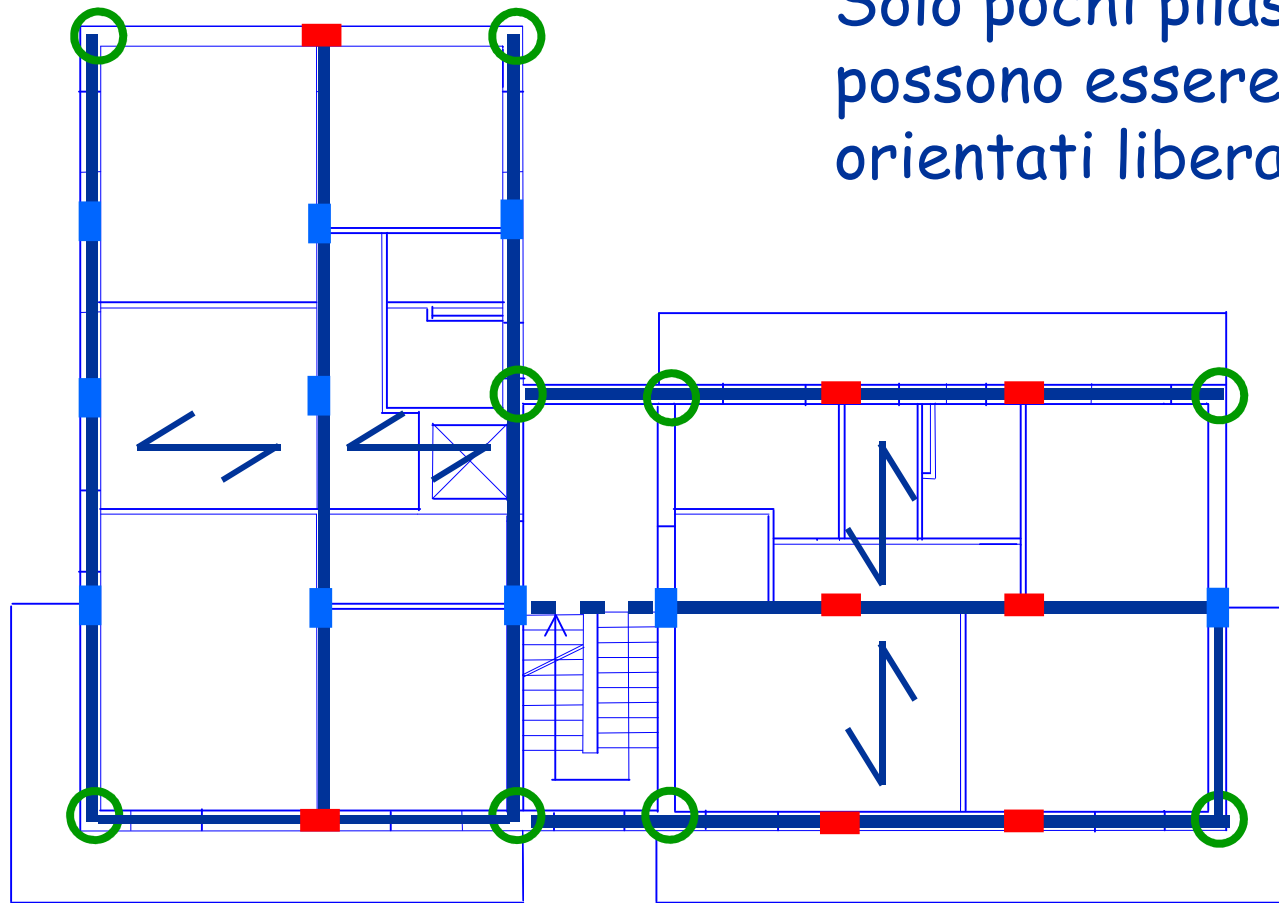
Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

L'orientamento di molti pilastri è vincolato dall'architettonico



Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Solo pochi pilastri (9)
possono essere
orientati liberamente

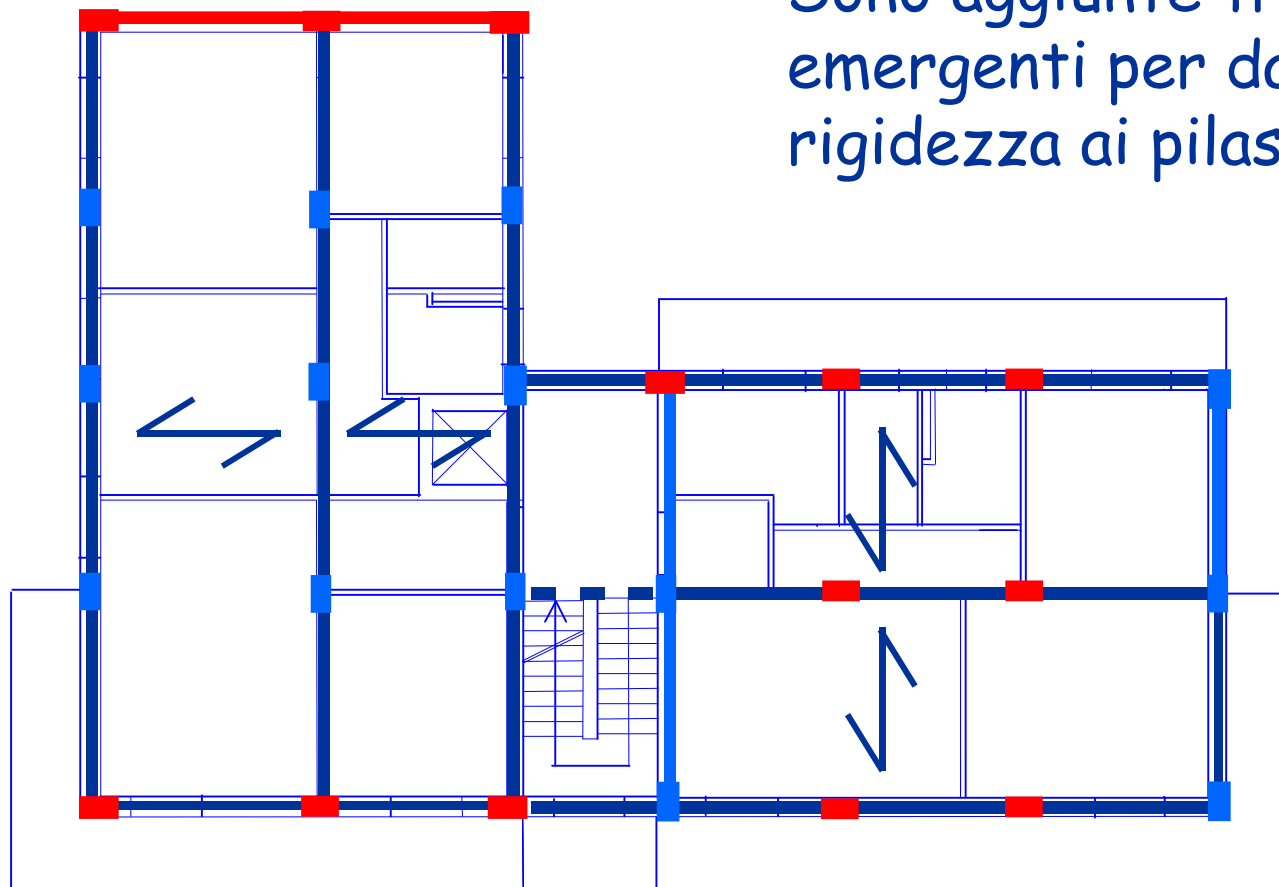


Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



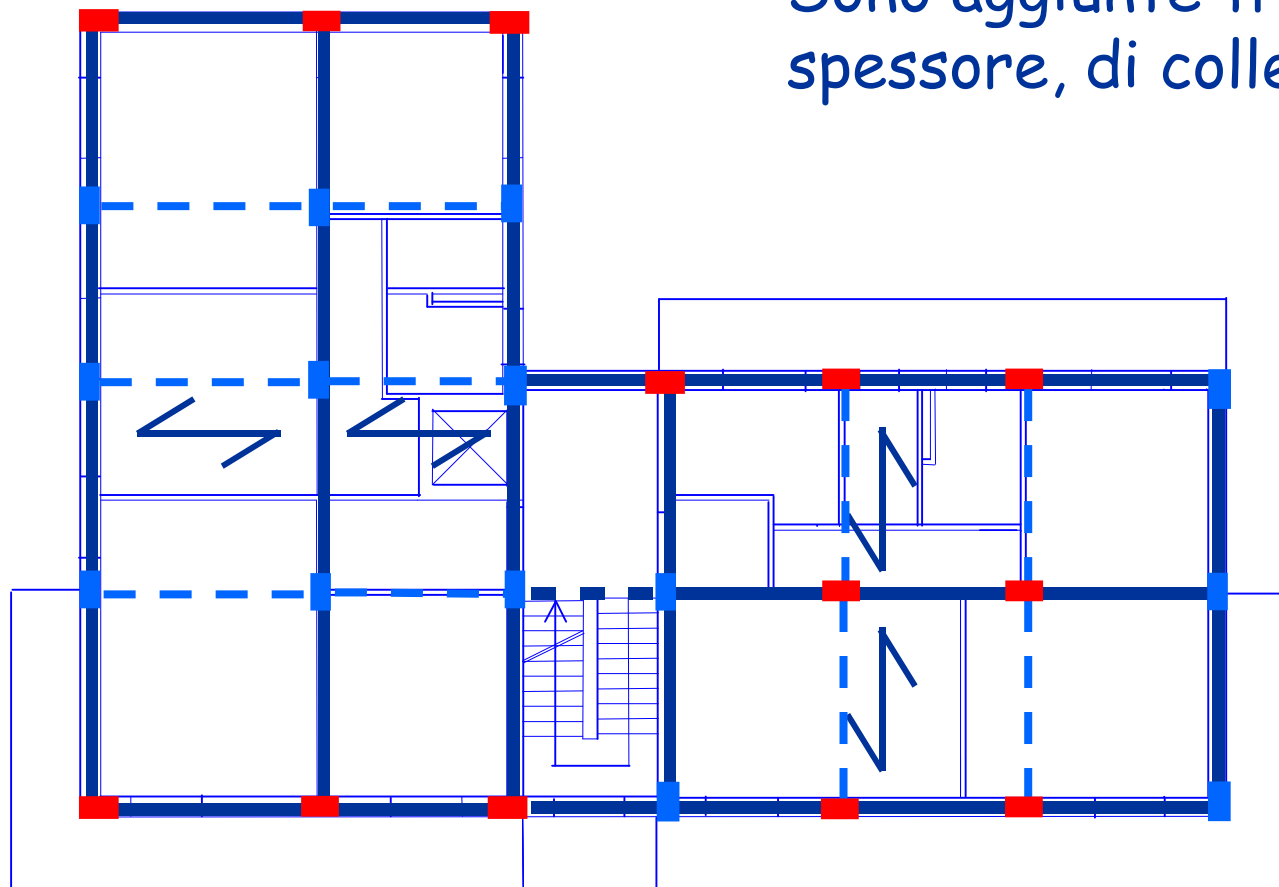
Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Sono aggiunte travi
emergenti per dare
rigidezza ai pilastri

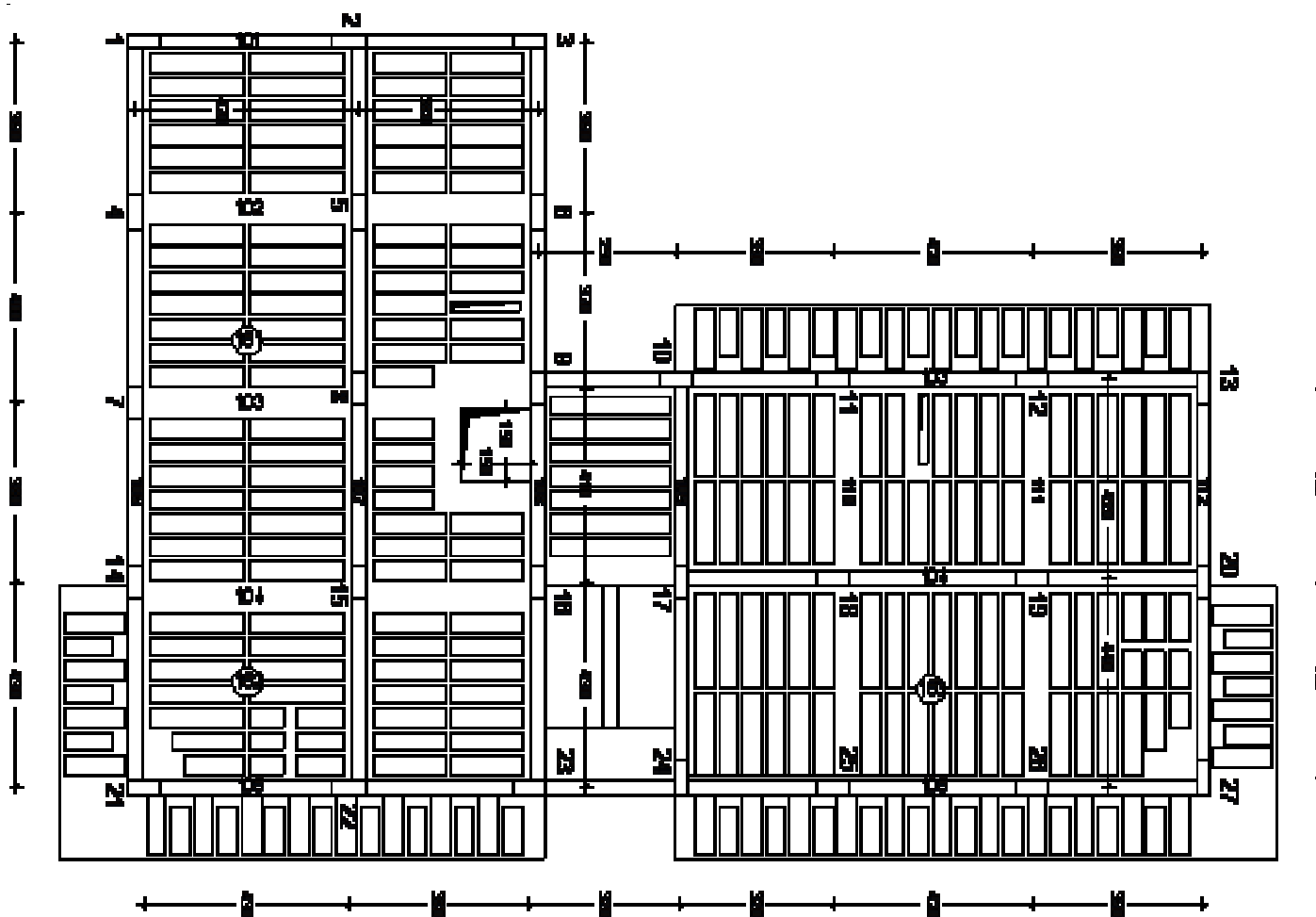


Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Sono aggiunte travi a
spessore, di collegamento



Carpenteria del piano tipo



Se l'edificio avesse solo travi a spessore

- I ragionamenti fatti non cambiano
- L'organizzazione della carpenteria può essere la stessa
- Lo spessore del solaio e le dimensioni degli elementi strutturali devono variare

Carpenteria edificio con travi a spessore

