

Corsi di aggiornamento

Progettazione in zona sismica

**Procedure semplificate e calcoli manuali
per il controllo dell'ordine di grandezza
dei risultati ottenuti dal programma di calcolo**

01 - Criteri generali di impostazione della carpenteria e di
dimensionamento degli elementi strutturali

Vasto

30 settembre - 1 ottobre 2016

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

Processo progettuale

- Parallelamente allo svolgimento delle fasi elencate occorre preparare la relazione di calcolo generale, ai sensi del capitolo 10 delle NTC (e delle varie indicazioni regionali che a questo fanno riferimento) con un giudizio motivato di accettabilità dei risultati

“Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l'attendibilità.

Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, ad esempio, in fase di primo proporzionamento della struttura”

NTC08, punto 10.2

Aspetti da non dimenticare (1)

La vera fase progettuale riguarda:

- l'impostazione della carpenteria
- il dimensionamento degli elementi strutturali

Da queste scelte iniziali dipende:

- il comportamento della struttura durante il sisma
 - se la struttura è stata concepita male, il calcolo potrà attenuarne i difetti, ma non riuscirà a trasformarla in una buona struttura
- il costo della struttura
 - se la struttura è stata concepita male, il costo sarà sicuramente maggiore

Aspetti da non dimenticare (2)

Il progetto deve rendere ottimale il comportamento elastico di una struttura (quello che si ha per terremoto non molto forte)

- Il comportamento elastico della struttura dipende sostanzialmente dalla sua **regolarità**
- Il termine "regolarità" sintetizza tutta una serie di aspetti diversi, che possono essere indicati come "principi base della progettazione strutturale"

Principi base della progettazione strutturale

Regolarità

È un obiettivo fondamentale della progettazione ...
... ma cosa vuol dire regolarità?

Concetto generale, di portata molto vasta,
facilmente intuibile ma difficile da definire

In realtà esistono molte problematiche,
completamente diverse, che rientrano
nel concetto di regolarità

Ad esempio: scelta del tipo di analisi (statica o modale);
scelta del fattore di comportamento

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

Principi base della progettazione strutturale

Regolarità

Condiziona:

- La qualità
Si vedano in particolare gli articoli:
A. Gheresi
- La capacità
La regolarità strutturale nella progettazione di edifici in
strutturale zona sismica
Atti del convegno tecnico-scientifico "Problemi attuali di
Ingegneria Strutturale", dal volume omonimo, CUEN,
Napoli, 2000
- Il costo
A. Gheresi
idoneo
General considerations on structural regularity
all'uso
Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake
Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-7, 2004

Principi base della progettazione strutturale

Per valutare il comportamento sismico di un edificio occorre:

- Definire un modello geometrico e meccanico dell'edificio, includendo se necessario gli elementi non strutturali e tenendo conto del complesso terreno-fondazione
- Valutare la risposta sismica in campo elastico
- Valutare la risposta sismica oltre i limiti elastici

Se l'edificio è regolare è possibile usare modelli e tipi di analisi standard

Principi base della progettazione strutturale

I cosiddetti
“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

consentono di usare modelli e tipi di analisi standard

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

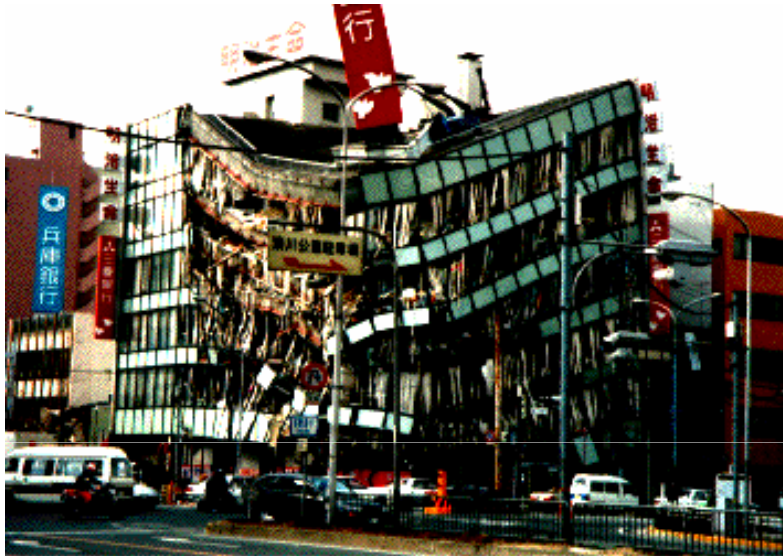
Simmetria

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

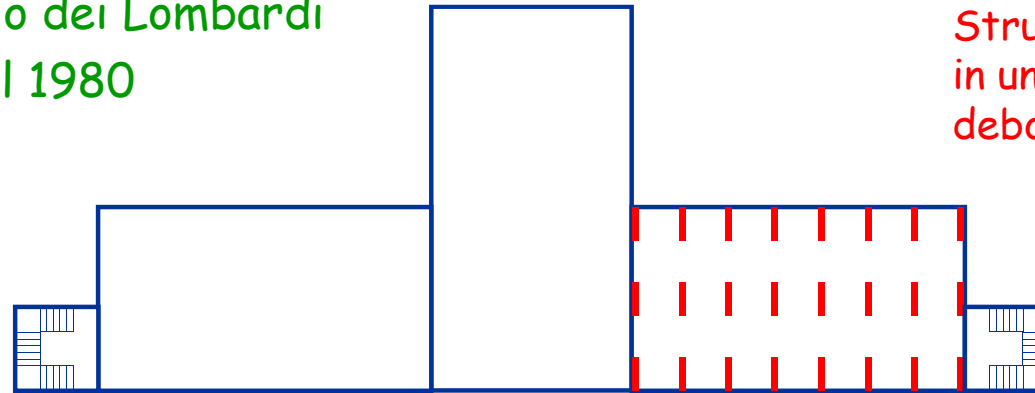
Forti differenze di rigidezza possono rendere
rilevanti aspetti in genere trascurabili

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza bi-direzionale

Ospedale di S. Angelo dei Lombardi
Crollato col sisma del 1980

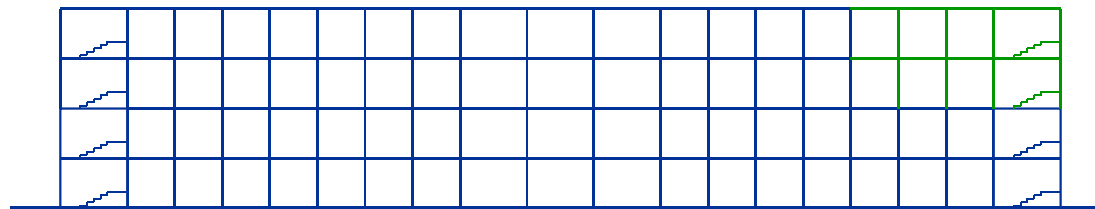
PIANTA



Struttura rigida
in una direzione,
debole nell'altra

Corpo scala non
conteggiato nel
calcolo

PROSPETTO



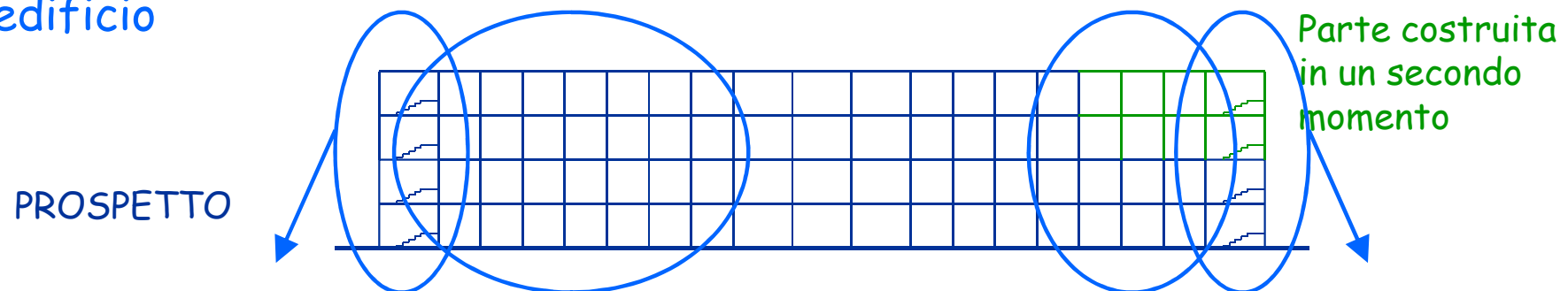
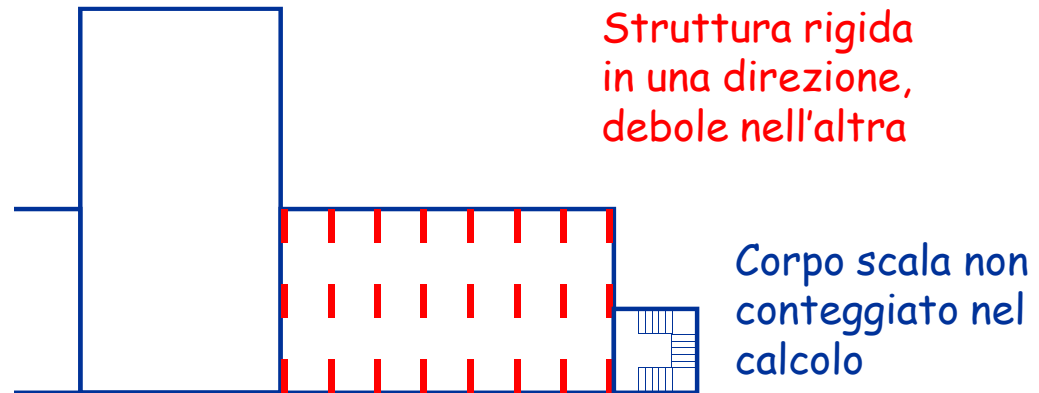
Parte costruita
in un secondo
momento

Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza bi-direzionale

La zona scala, non conteggiata nel calcolo, era più rigida (in dir. x) della struttura e quindi ha subito sollecitazioni molto forti ed ha innescato il crollo

Nel crollo, la scala ha trascinato verso il basso tutto l'edificio

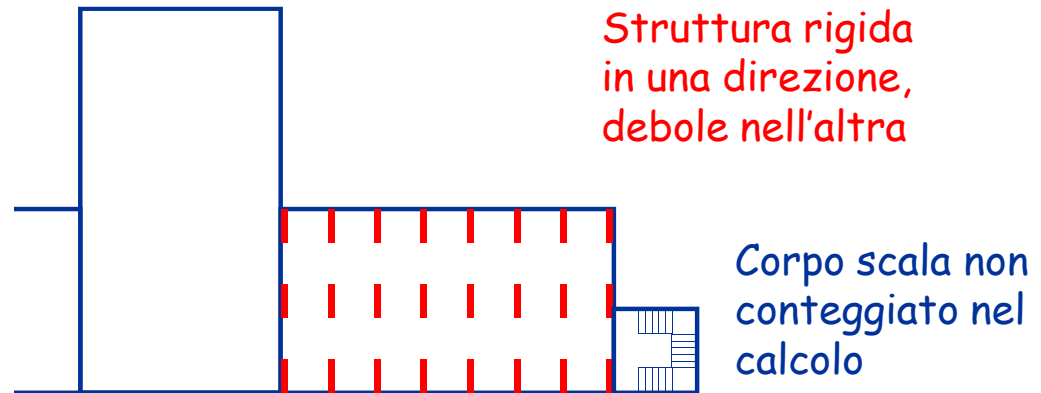


Principi base della progettazione strutturale

Resistenza e rigidezza bi-direzionale

La zona scala, non conteggiata nel calcolo, era più rigida (in dir. x) della struttura e quindi ha subito sollecitazioni molto forti ed ha innescato il crollo

Nel crollo, la scala ha trascinato verso il basso tutto l'edificio



danneggiato, ma in piedi

Parte costruita in un secondo momento

PROSPETTO



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

Aspetti da non dimenticare (3)

Il progetto deve rendere ottimale il comportamento di una struttura oltre il limite elastico (quello che si avrà per terremoto di forte intensità)

- Il comportamento ultimo di una struttura dipende da come essa progressivamente si danneggia andando verso il collasso:
 - occorre evitare rotture fragili (come quelle a taglio)
gerarchia delle resistenze taglio-flessione
 - occorre limitare il danneggiamento dei pilastri, rispetto a quello delle travi
gerarchia delle resistenze pilastri-travi
 - occorre garantire buona duttilità agli elementi strutturali che si danneggiano a flessione

Aspetti da non dimenticare (3)

Il progetto deve rendere ottimale il comportamento di una struttura oltre il limite elastico (quello che si avrà per terremoto di forte intensità)

- Gerarchia delle resistenze taglio-flessione
 - si può garantire con una adeguata armatura trasversale (staffe)
 - è fondamentale, in fase di impostazione della carpenteria, evitare di avere travi o pilastri particolarmente più corti rispetto agli altri

Aspetti da non dimenticare (3)

Il progetto deve rendere ottimale il comportamento di una struttura oltre il limite elastico (quello che si avrà per terremoto di forte intensità)

- Gerarchia delle resistenze pilastri-travi
 - si può garantire con una adeguata armatura longitudinale
 - è fondamentale, in fase di impostazione della carpenteria, assegnare ai pilastri dimensioni (sezioni trasversali) non più piccole di quelle delle travi

Aspetti da non dimenticare (3)

Il progetto deve rendere ottimale il comportamento di una struttura oltre il limite elastico (quello che si avrà per terremoto di forte intensità)

- Duttilità degli elementi strutturali che si danneggiano a flessione
 - si può garantire con una adeguata armatura longitudinale e trasversale
 - è fondamentale, in fase di impostazione della carpenteria, assegnare ai pilastri sezioni trasversali che li facciano lavorare a tensioni medie non eccessive

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

In particolare:

- 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 rigidità

Obiettivi generali

Rendere la struttura il più regolare possibile

In particolare:

- Valutare la possibilità di dividere il fabbricato in blocchi staticamente separati da giunti
- Prestare molta attenzione alla scala

La soluzione con soletta rampante "tradizionale" richiede "solo" una trave a livello intermedio:

- in realtà la soletta crea un collegamento tra i due impalcati adiacenti
- nel passato questo effetto non era colto solo perché la soletta rampante non era inserita nel modello

Obiettivi generali

Rendere la struttura il più regolare possibile

In particolare:

- Valutare la possibilità di dividere il fabbricato in blocchi staticamente separati da giunti
- Prestare molta attenzione alla scala
 - È indispensabile trovare soluzioni alternative, come la scala "alla Giliberti":
 - la trave che sostiene la scala in corrispondenza del pianerottolo di riposo è a livello di piano
 - ciascuna rampa è indipendente dall'altra e appesa o poggiata alla trave innanzi citata
 - potrebbe essere realizzata interamente in acciaio

Impostazione della carpenteria

Distinzione base tra:

- Edifici con pareti o nuclei in c.a.
 - separazione ideale tra elementi strutturali che portano i carichi verticali ed elementi che portano l'azione sismica
- Edifici a struttura intelaiata
 - Gli elementi strutturali (travi e pilastri) portano contemporaneamente carichi verticali ed azione sismica

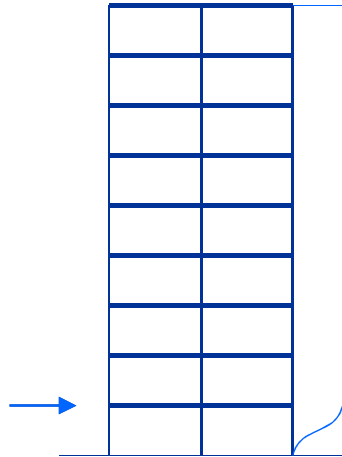
Edifici con pareti o nuclei in c.a.

- 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

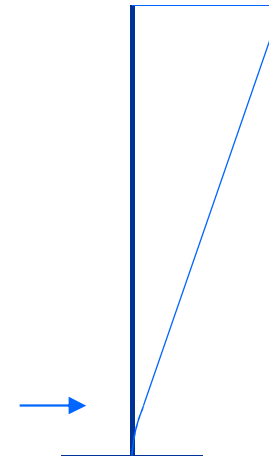
Comportamento a mensola e comportamento a telaio



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:

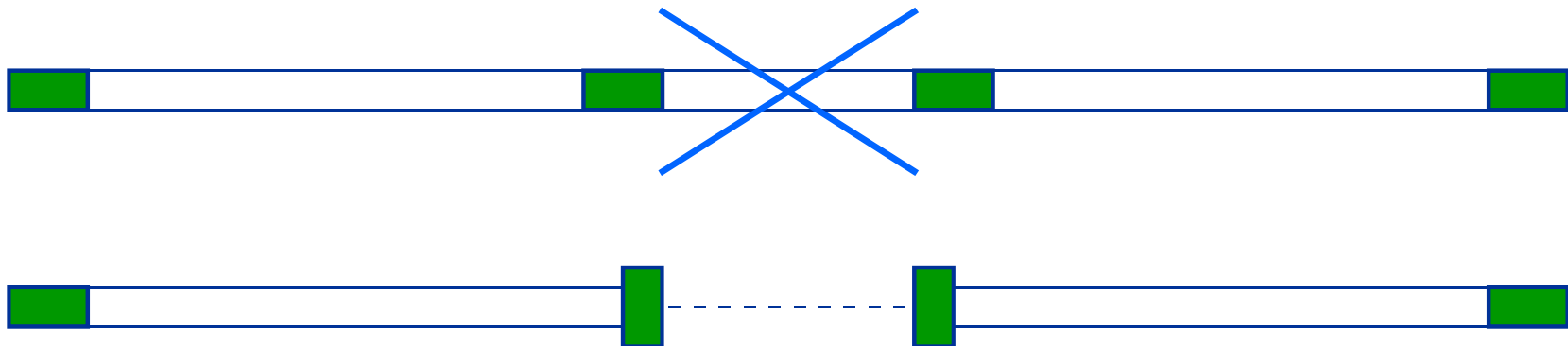
- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma

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:

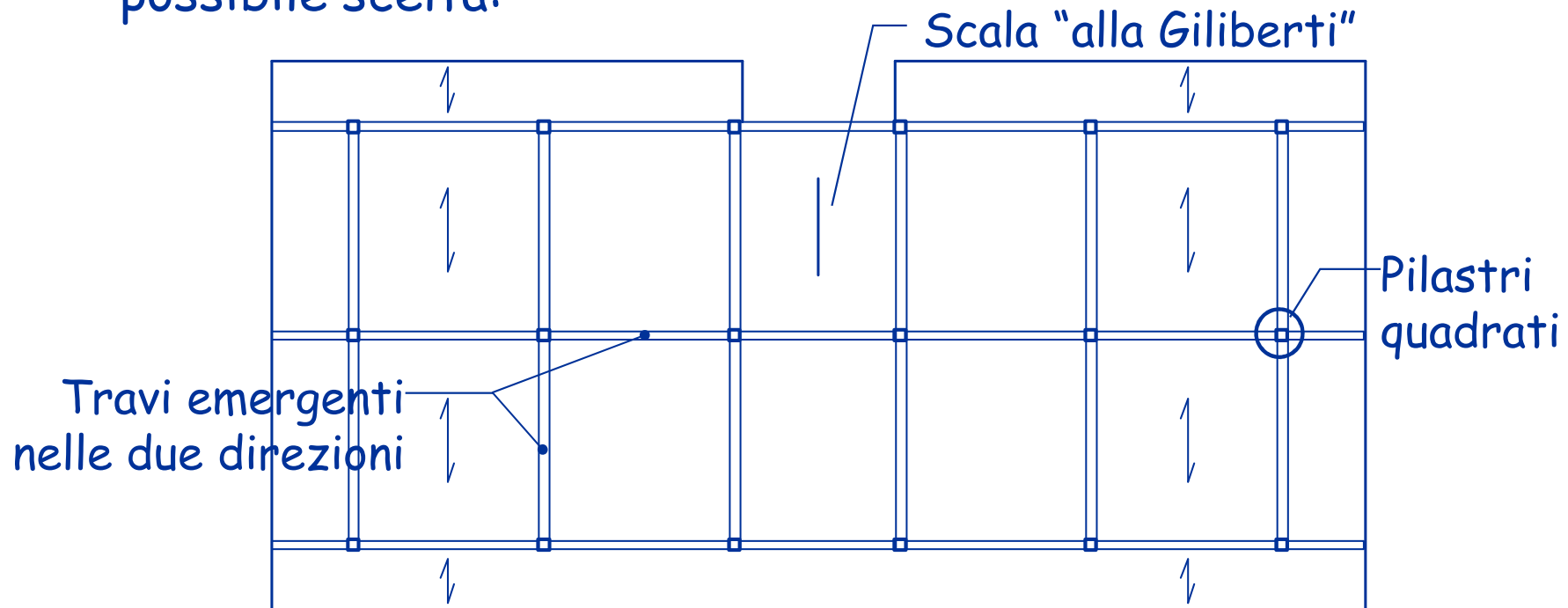
- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma
- Evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni
- Evitare forti disuniformità di carico verticale sui pilastri
(carichi maggiori 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

possibile scelta:



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

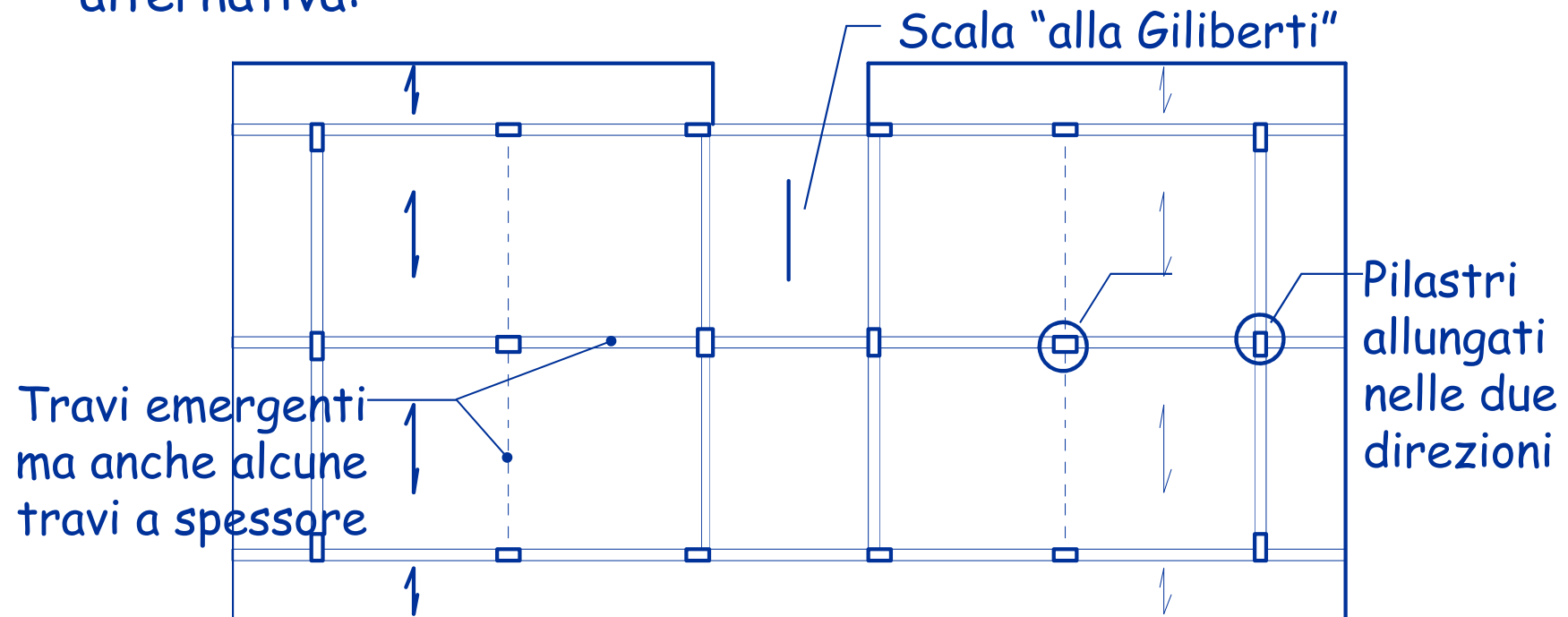
- Una valutazione più accurata della rigidezza di ciascun elemento può essere fatta solo dopo aver definito le sezioni di travi e pilastri
- Per il momento si possono fare solo valutazioni qualitative

Edifici a struttura intelaiata

Nell'impostazione per azioni orizzontali:

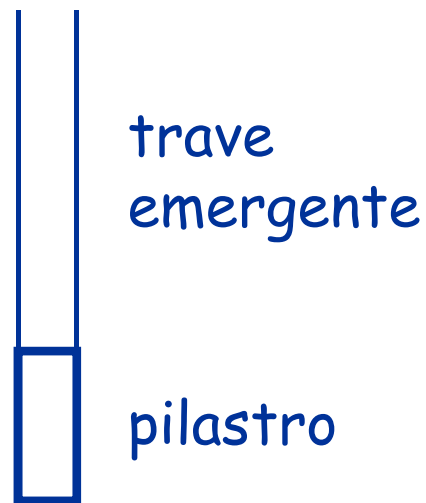
- Garantire un irrigidimento uniforme nelle due direzioni, con elementi ben distribuiti in pianta

alternativa:

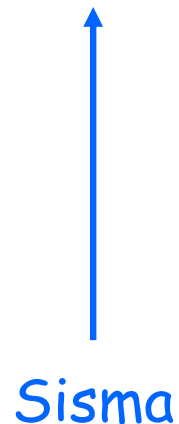


Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



Elementi resistenti alle azioni orizzontali

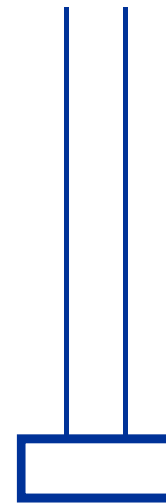
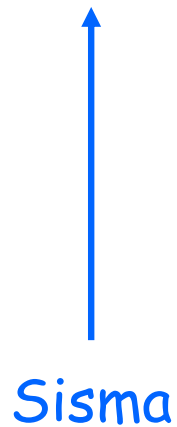
In realtà si hanno travi sia emergenti che a spessore
e pilastri rettangolari



Elemento
con buona
rigidezza a
tutti i piani



Elemento con
rigidezza
solo al primo
piano



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



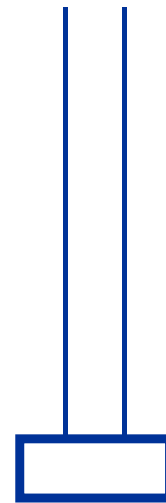
Elemento
con buona
rigidezza a
tutti i piani



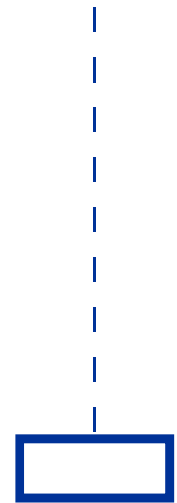
Elemento con
rigidezza
solo al primo
piano



Sisma



Elemento con
rigidezza
limitata a
tutti i piani



Elemento con
rigidezza
trascurabile
a tutti i piani

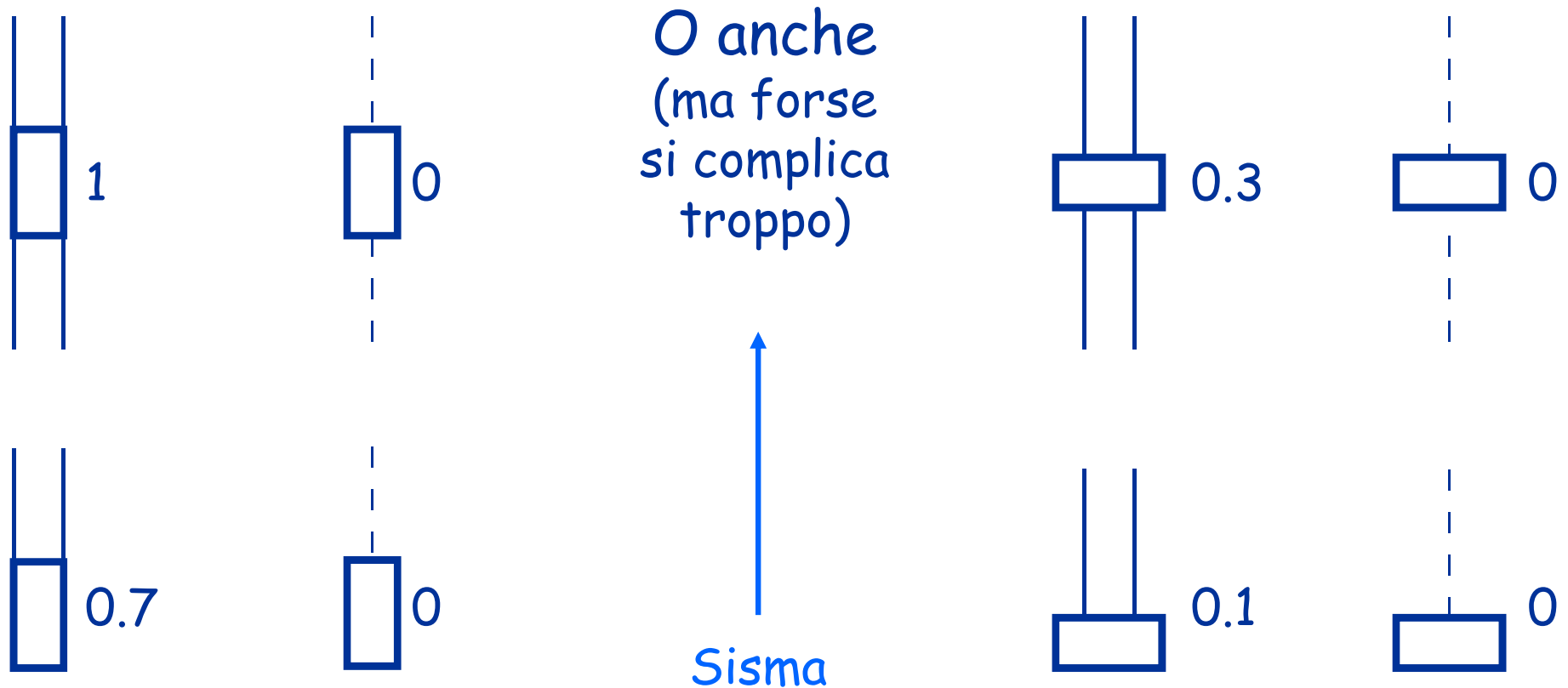
Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



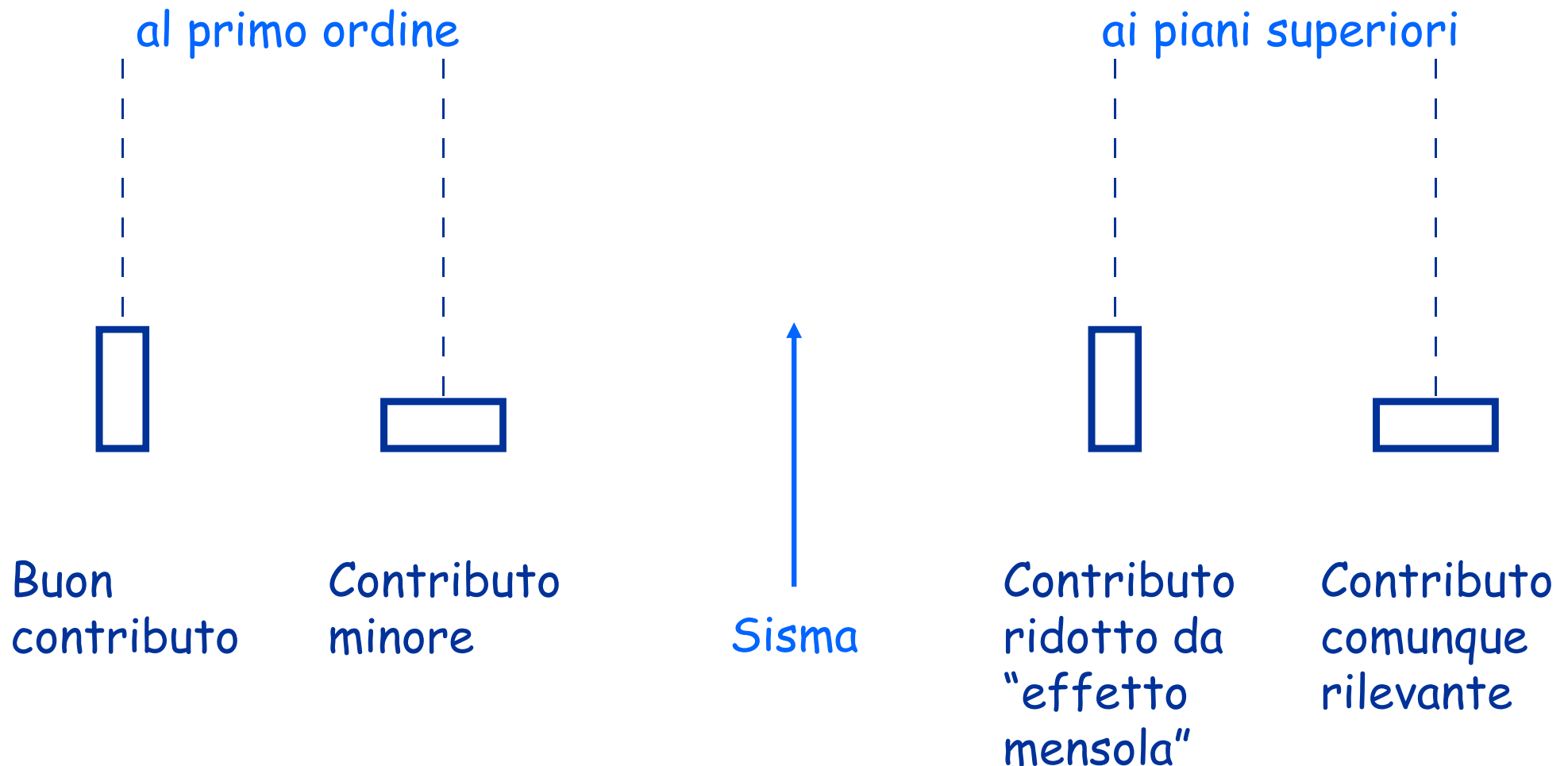
Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



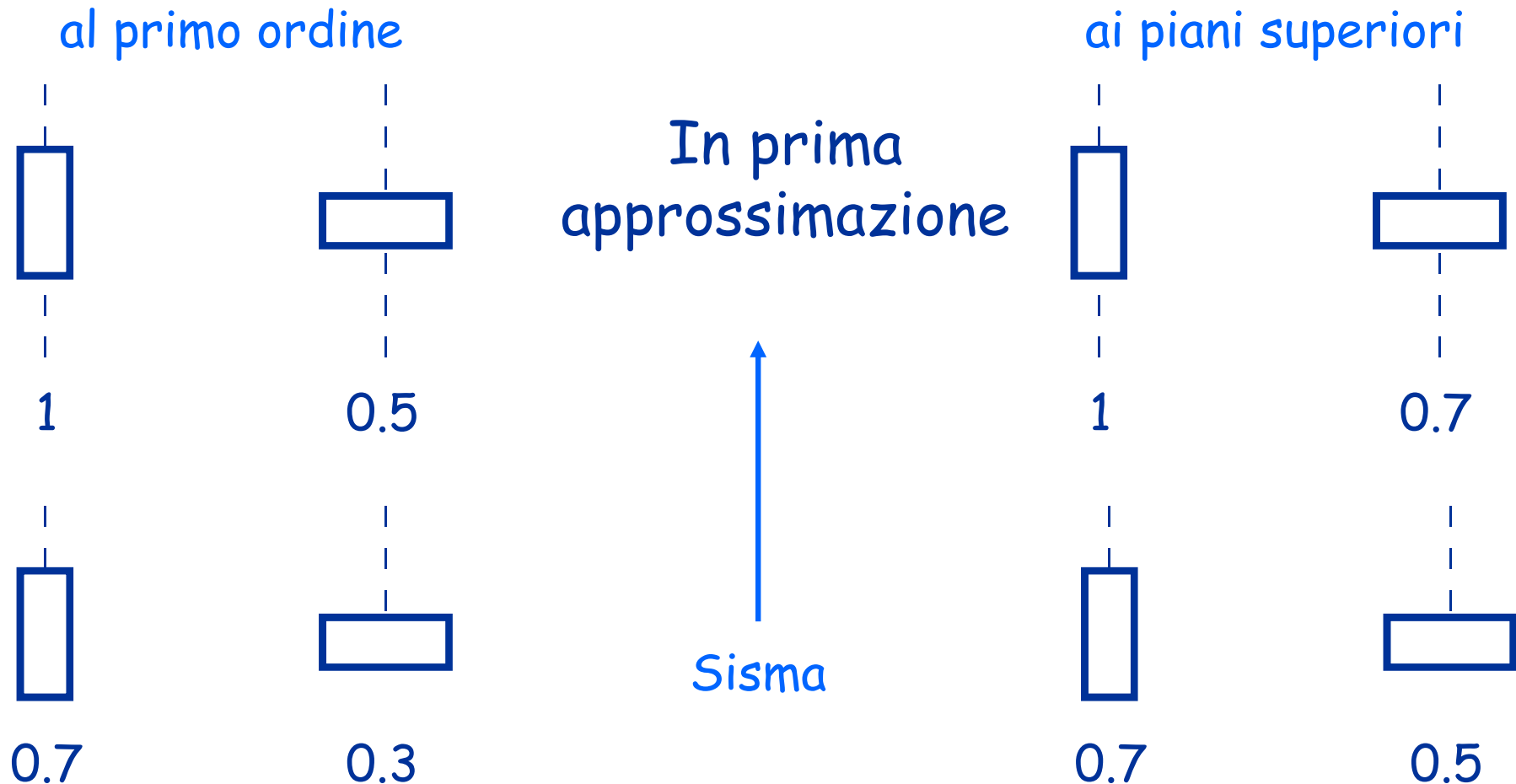
Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



Elementi resistenti alle azioni orizzontali

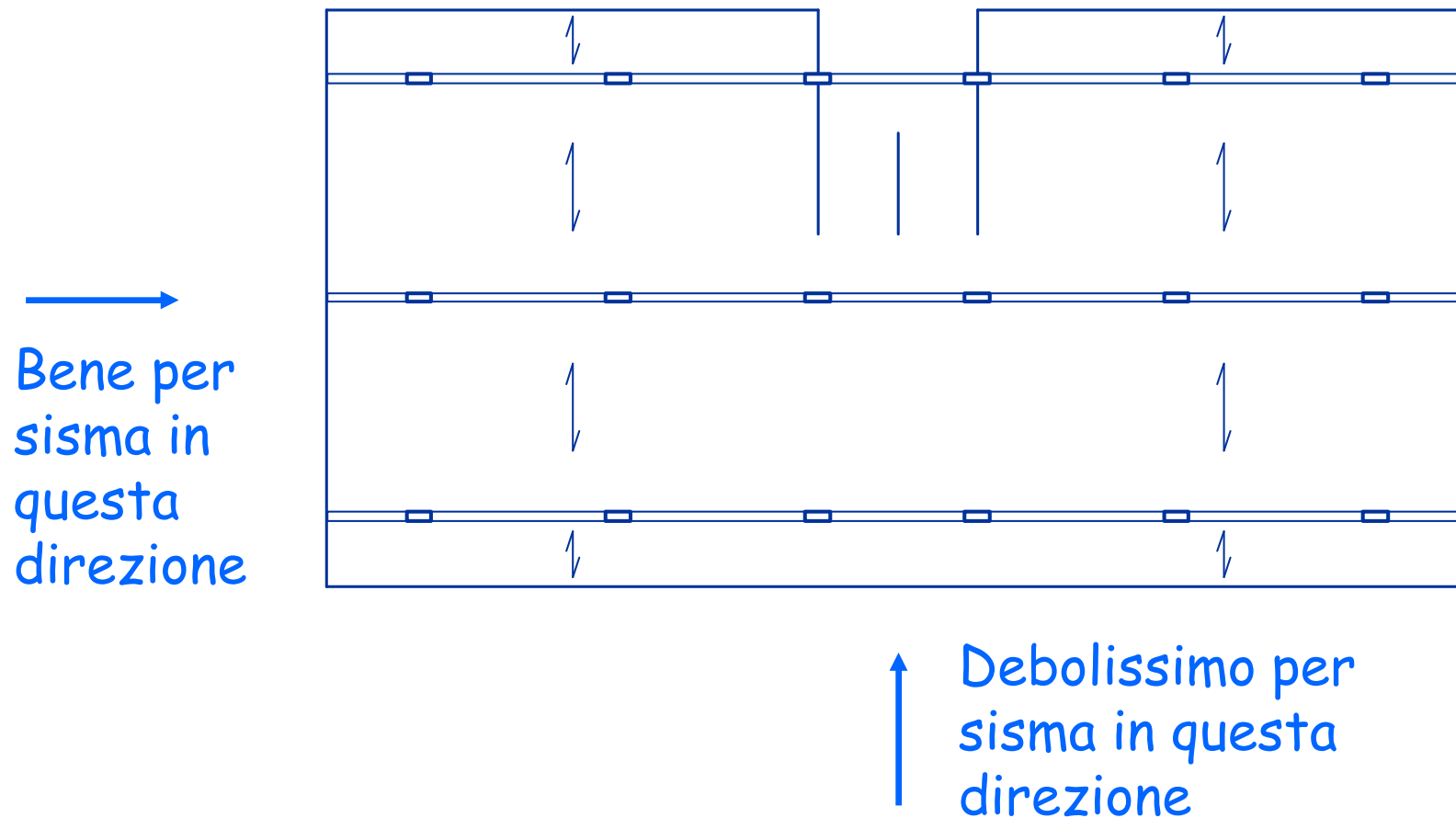
Se tutte le travi sono a spessore, il comportamento
dei pilastri è un po' diverso



Carpenteria:

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

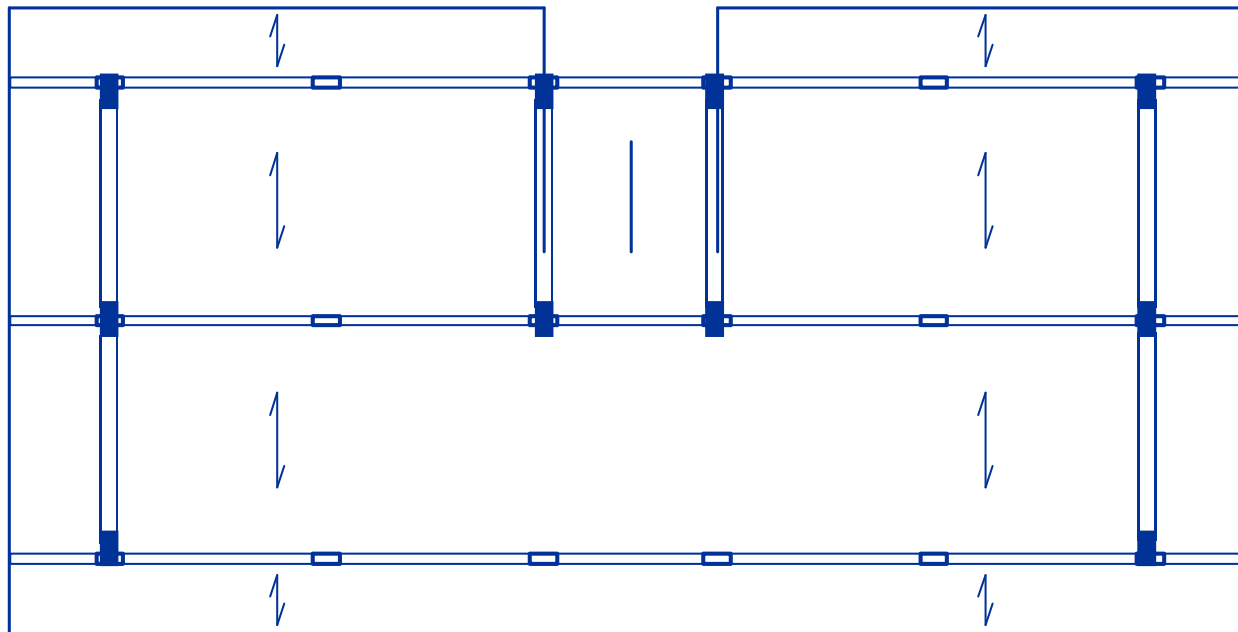
Al limite, per soli carichi verticali:



Carpenteria:

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



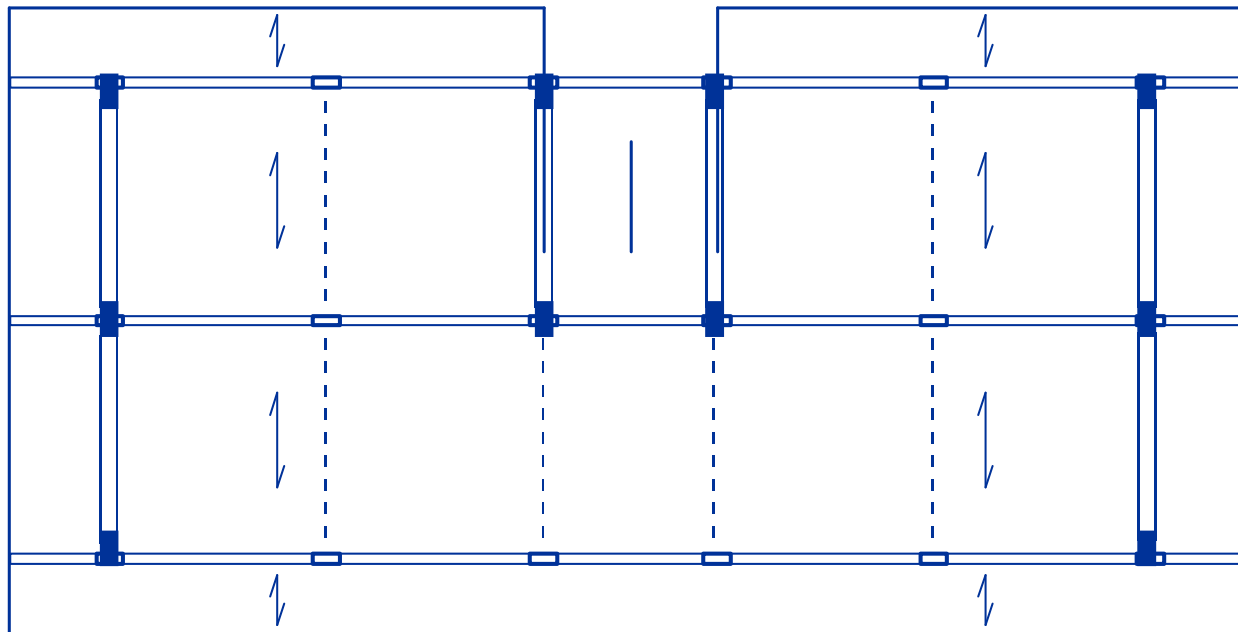
Girare un certo numero
di pilastri

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

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 con $a_g = 0.25 g$

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:

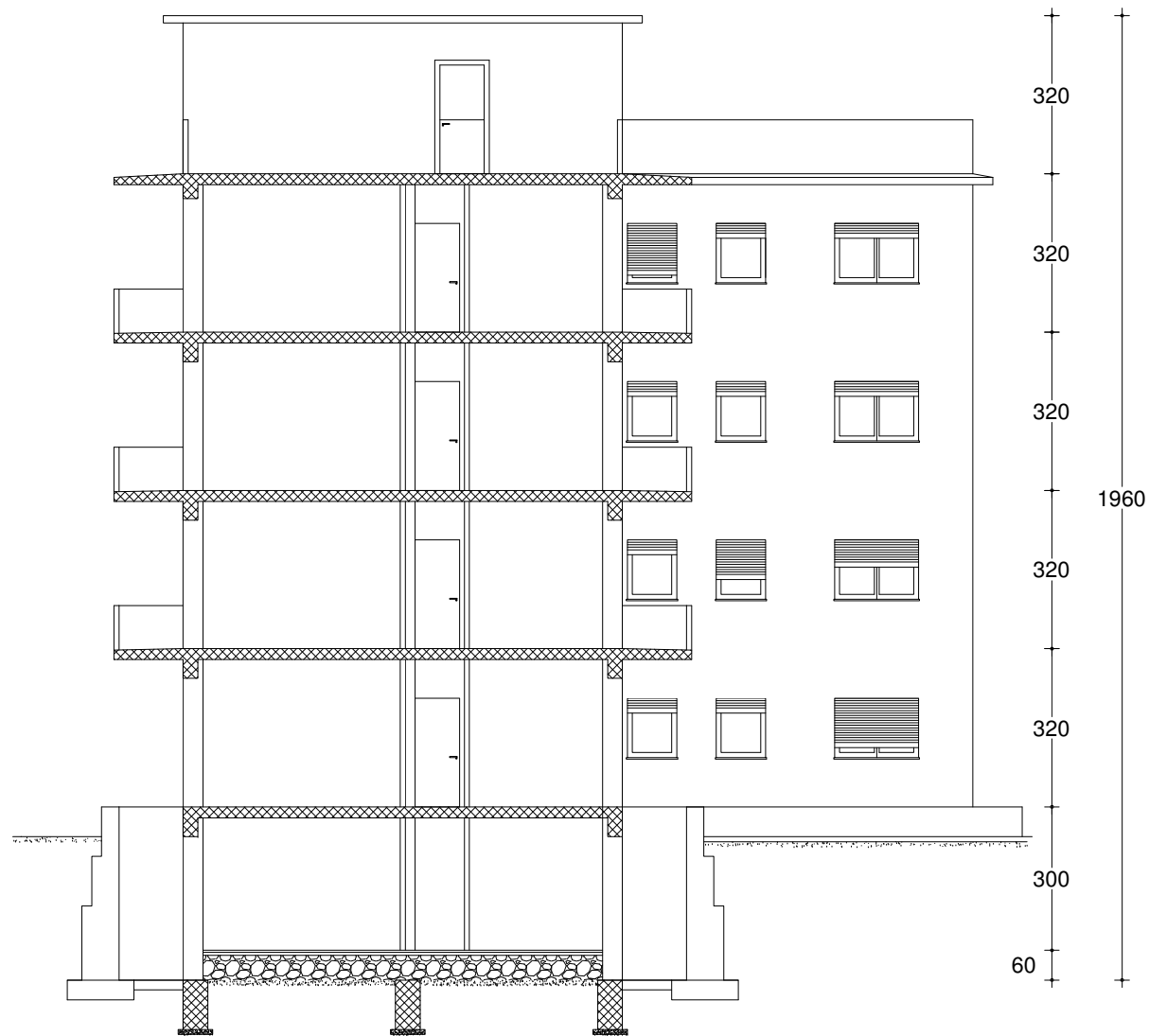
reticolo di travi rovesce

Materiali:

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

acciaio B450C

Edificio analizzato

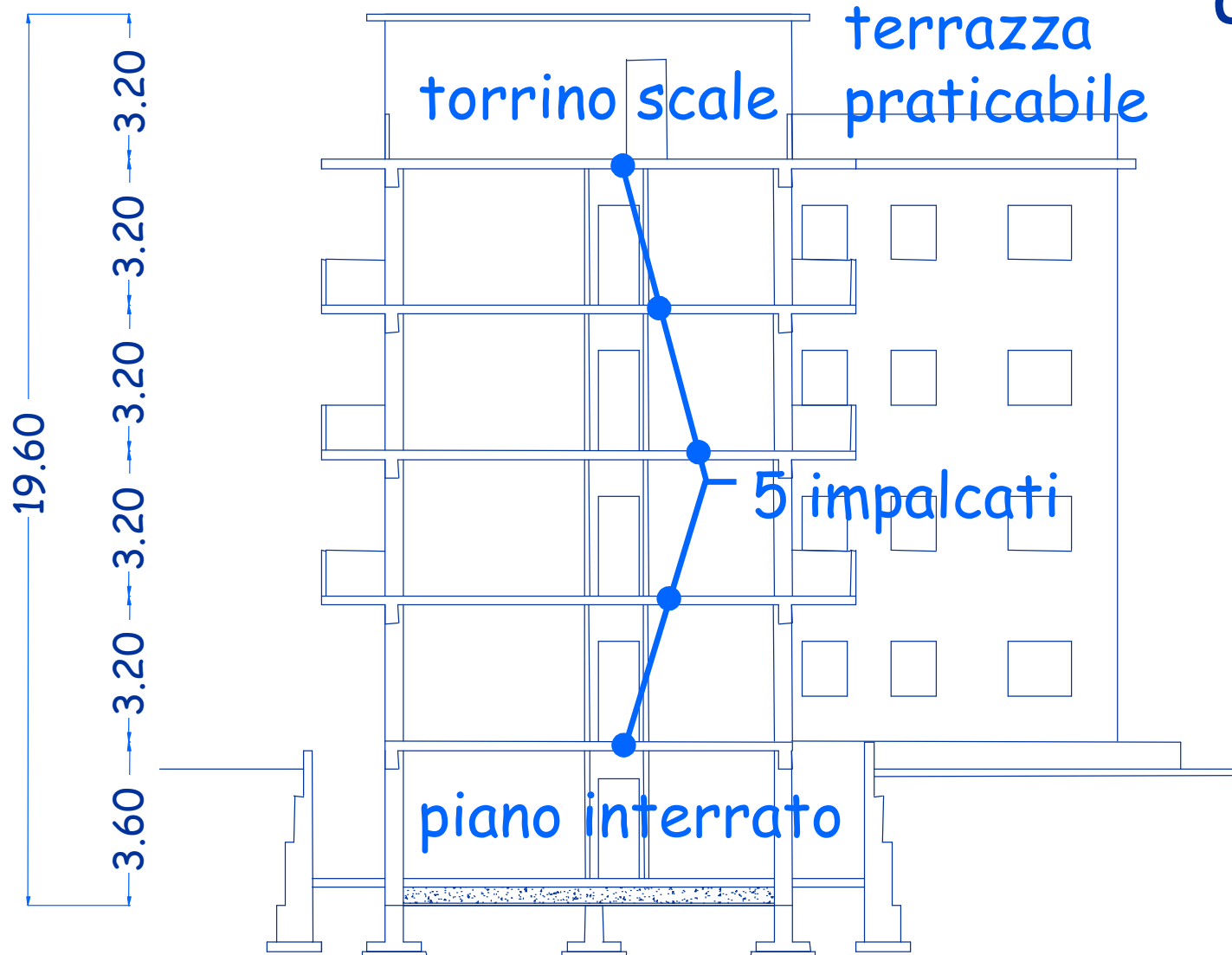


Sezione

Edificio analizzato

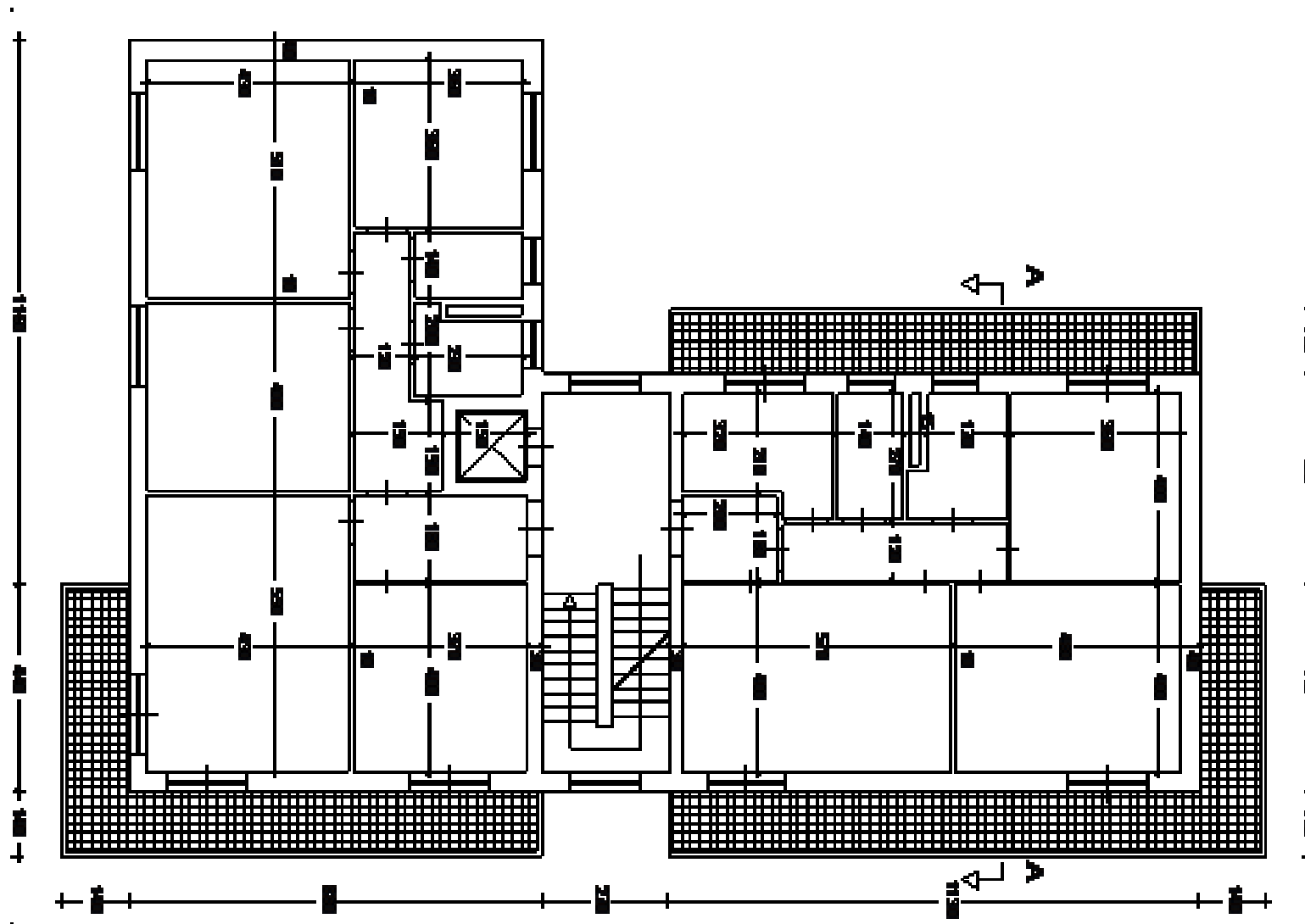
Sismicità media
= ex zona 2

Terreno
costituito da
sabbie e ghiaie
mediamente
addensate



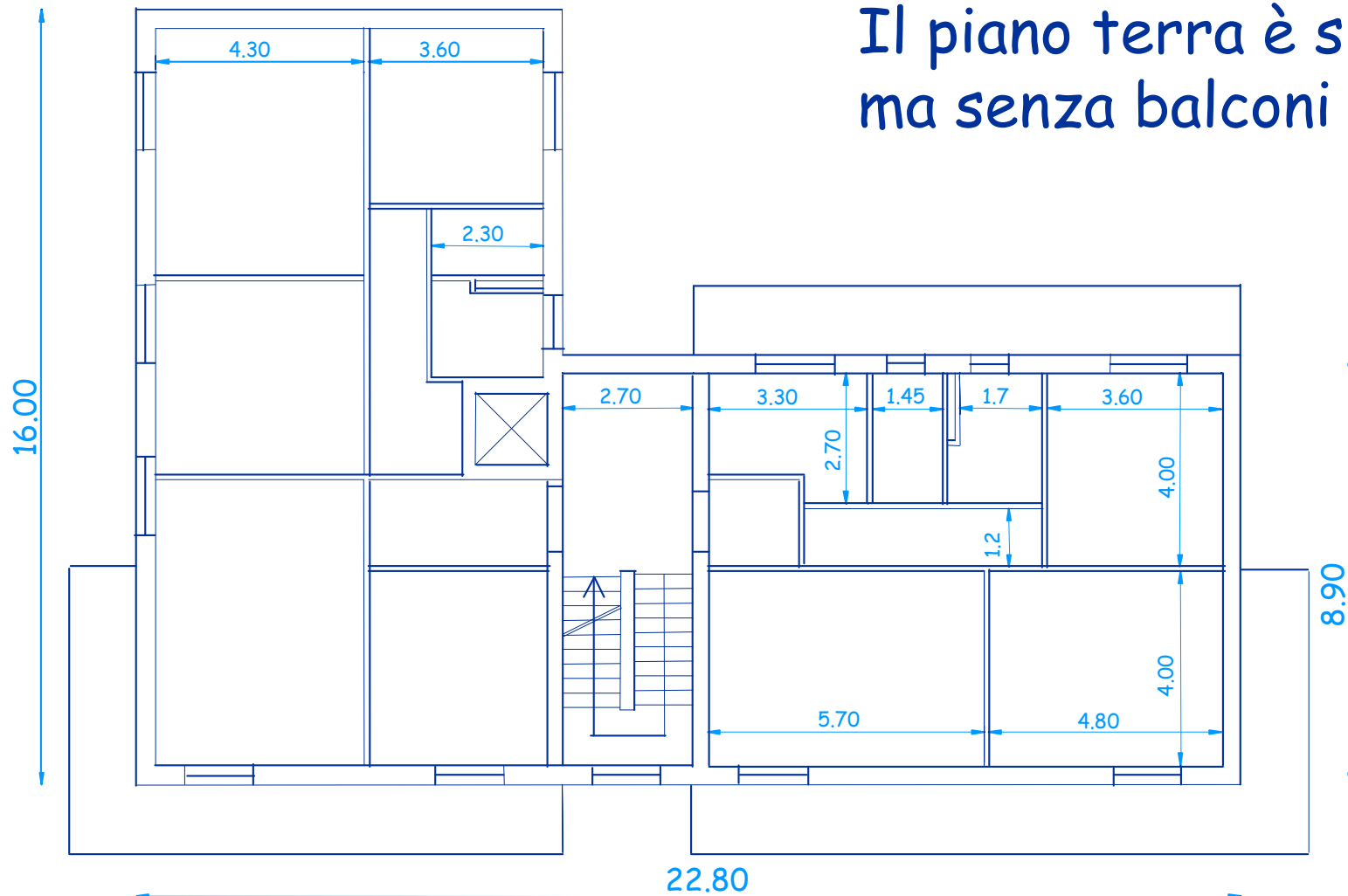
Sezione

Piano tipo



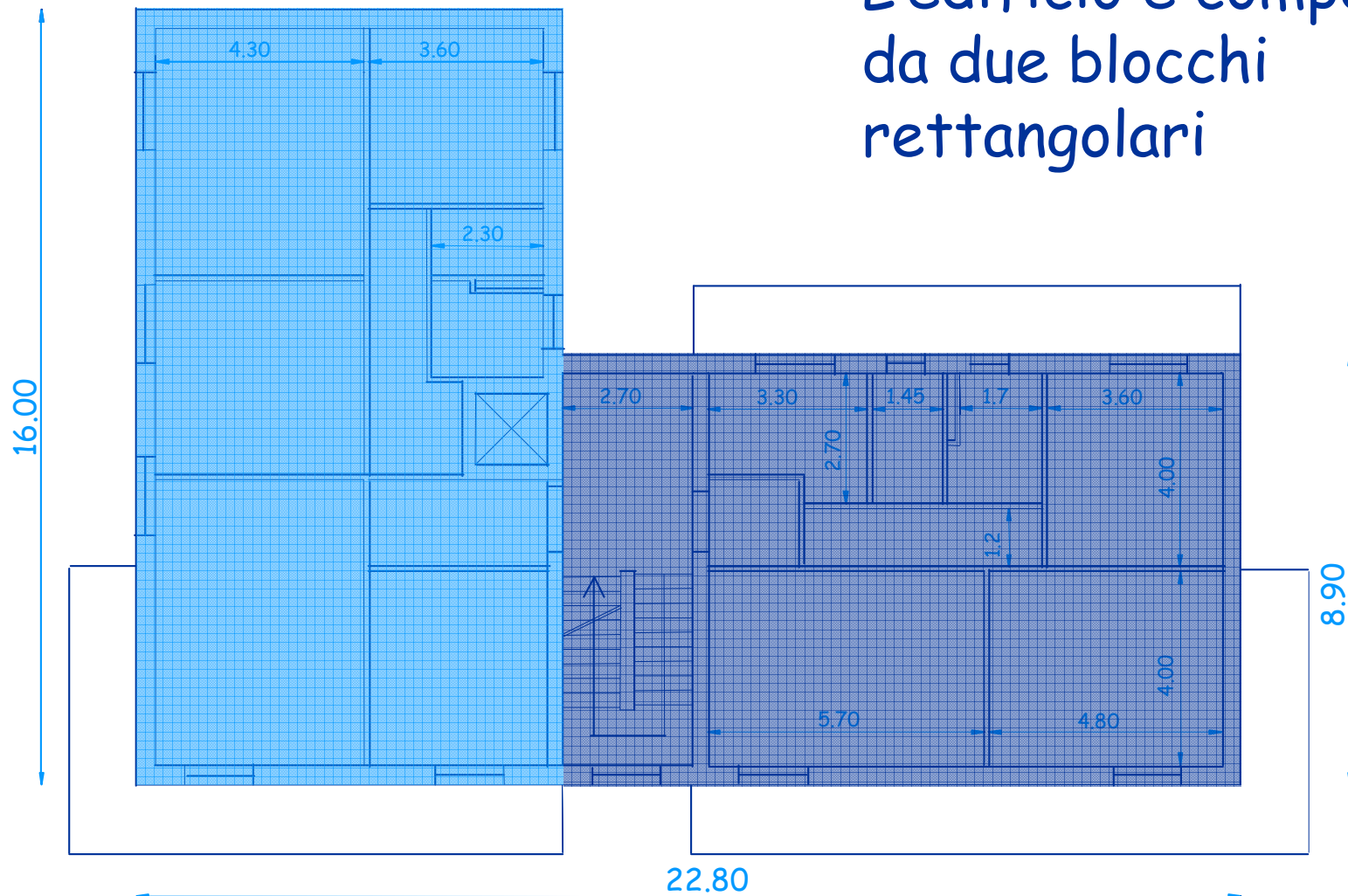
Piano tipo

Il piano terra è simile,
ma senza balconi



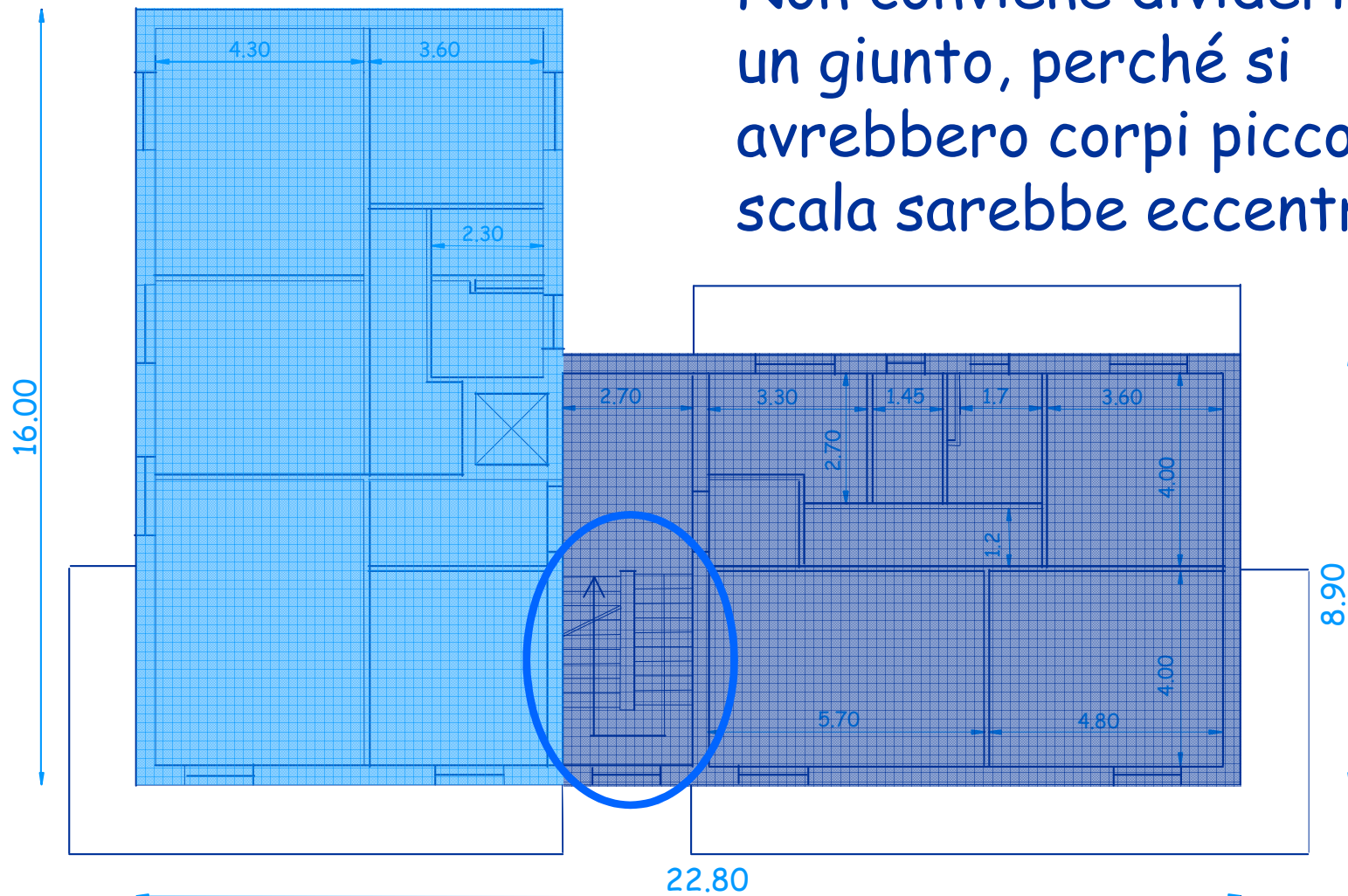
Piano tipo

L'edificio è composto da due blocchi rettangolari



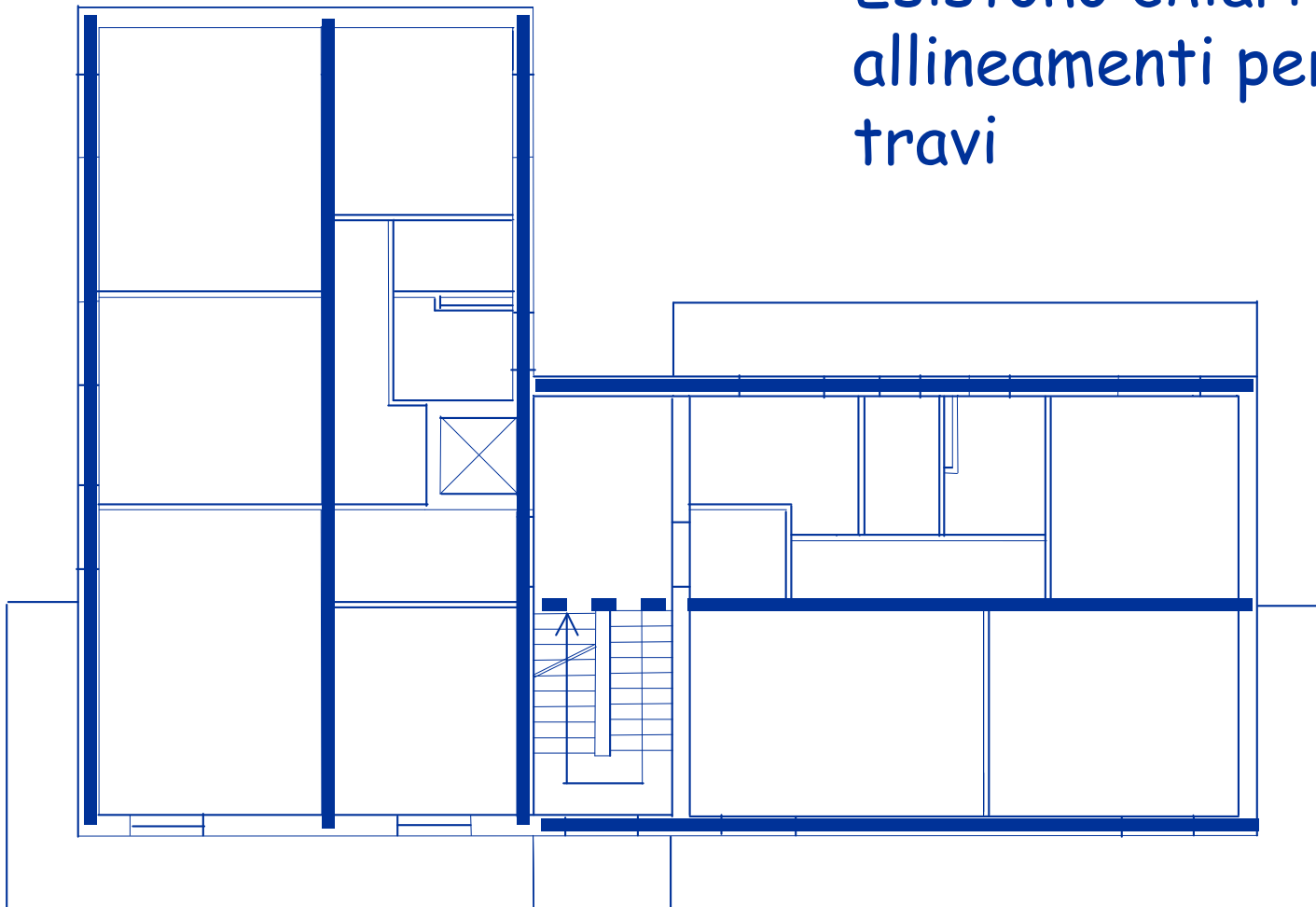
Piano tipo

Non conviene dividerli con un giunto, perché si avrebbero corpi piccoli e la scala sarebbe eccentrica

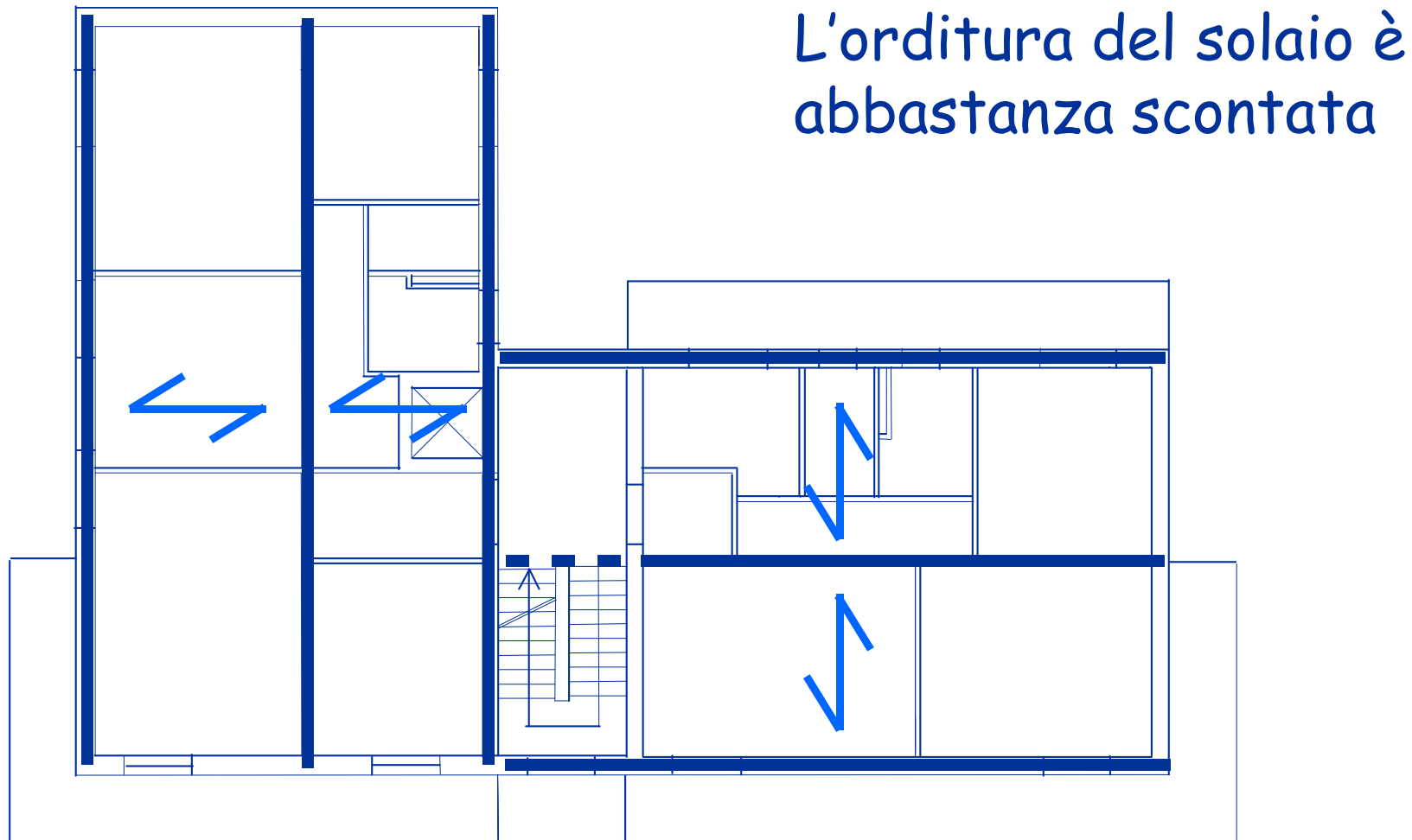


Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

Esistono chiari
allineamenti per le
travi

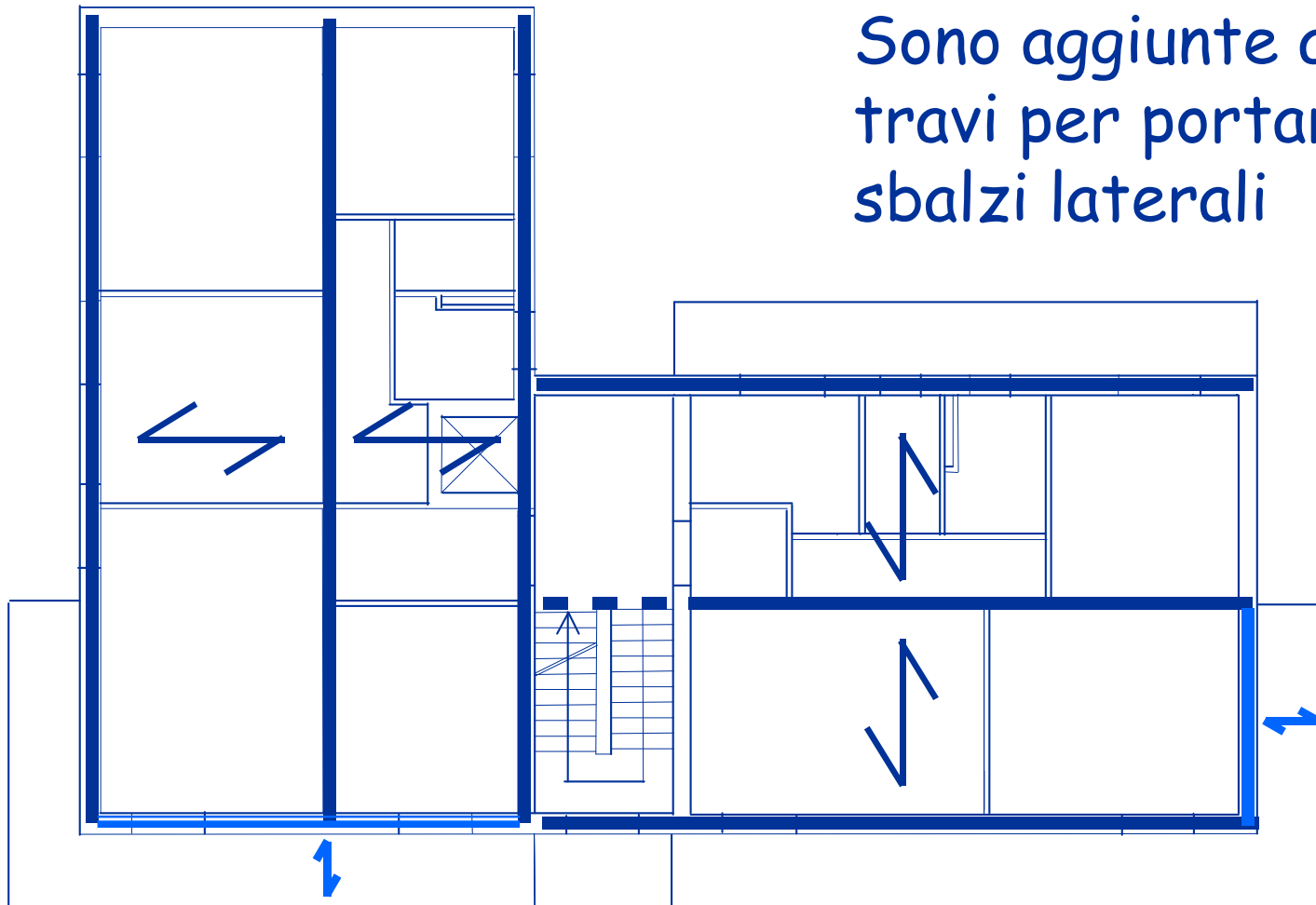


Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

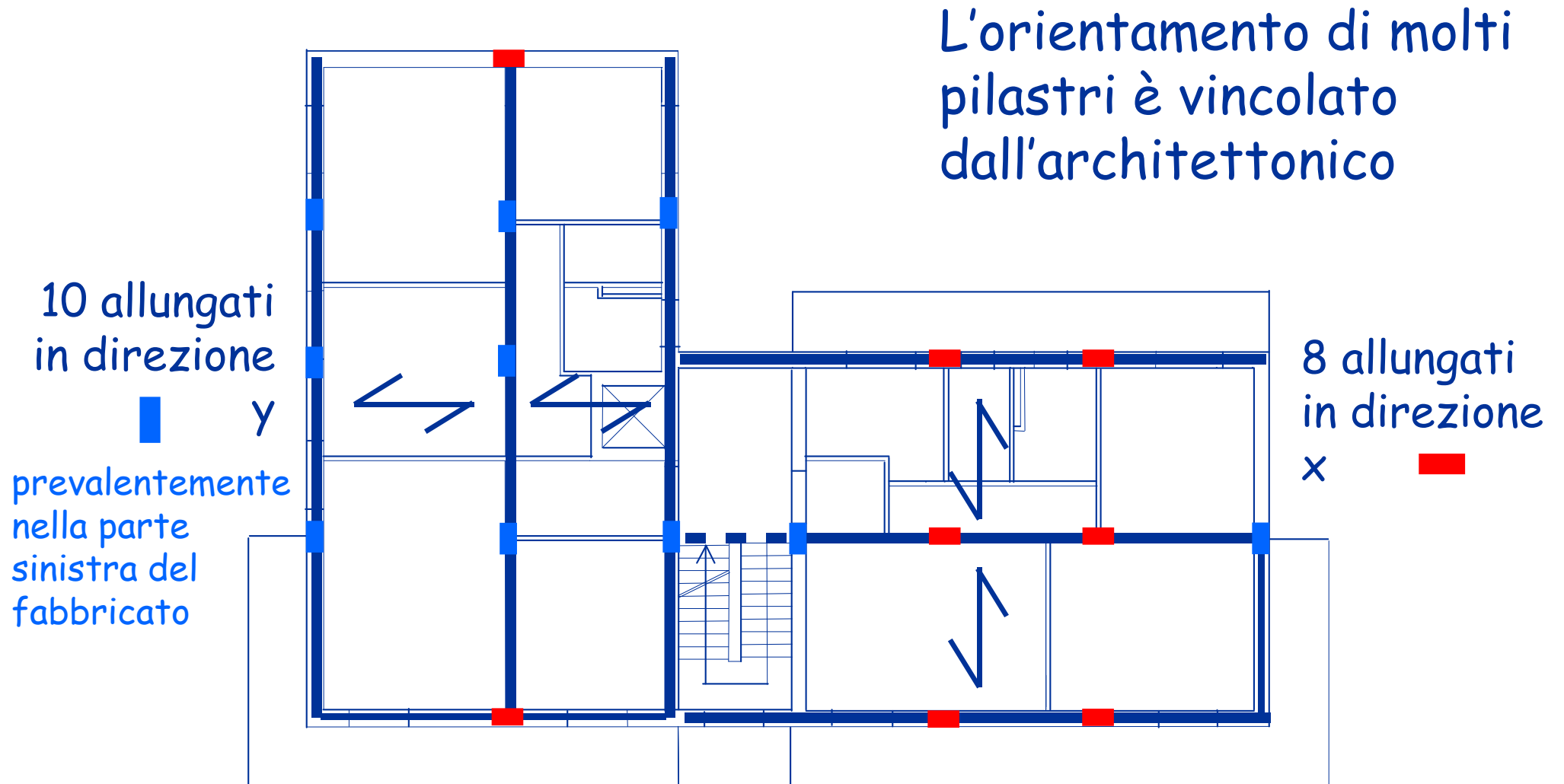


Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali

Sono aggiunte alcune travi per portare gli sbalzi laterali

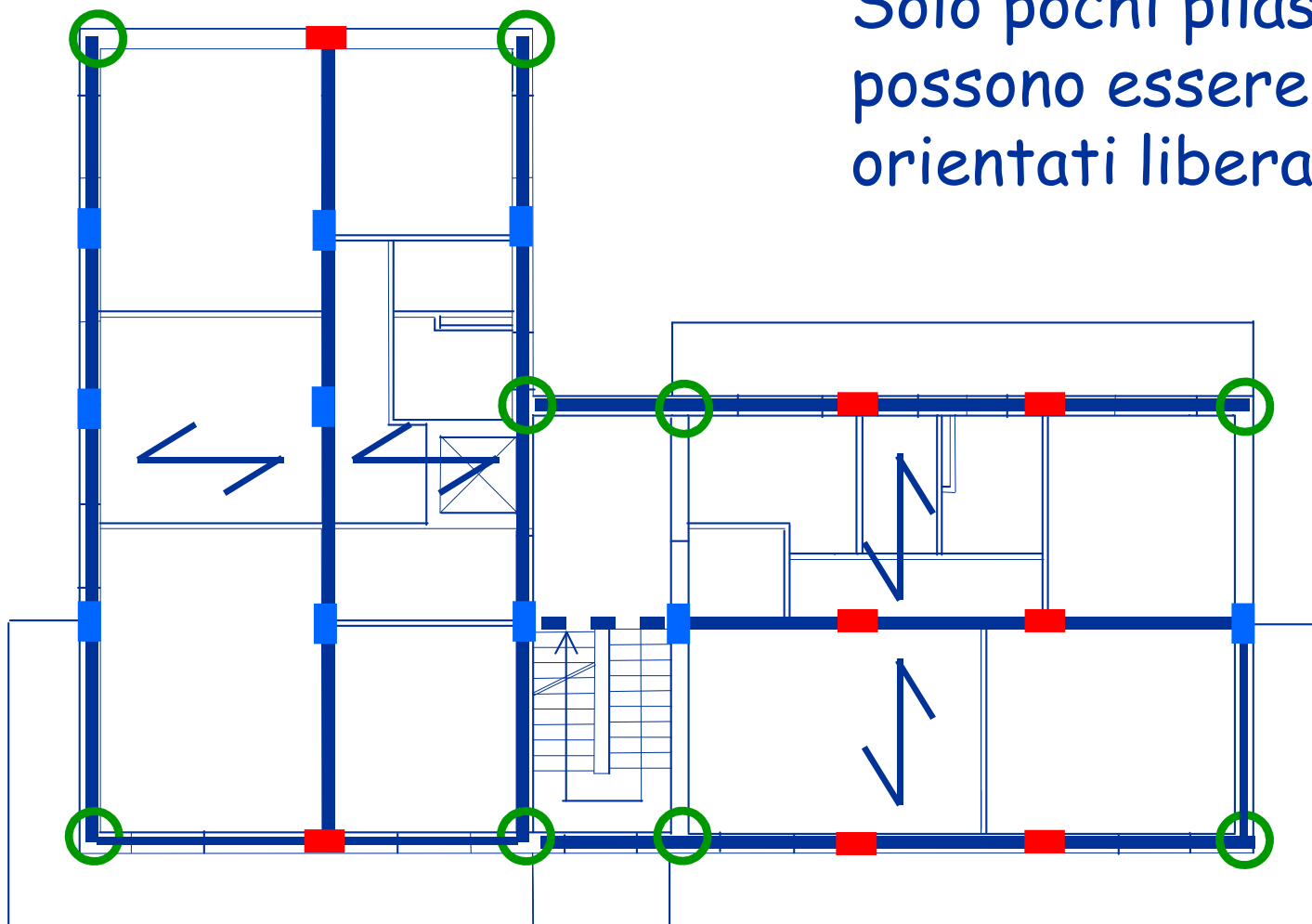


Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



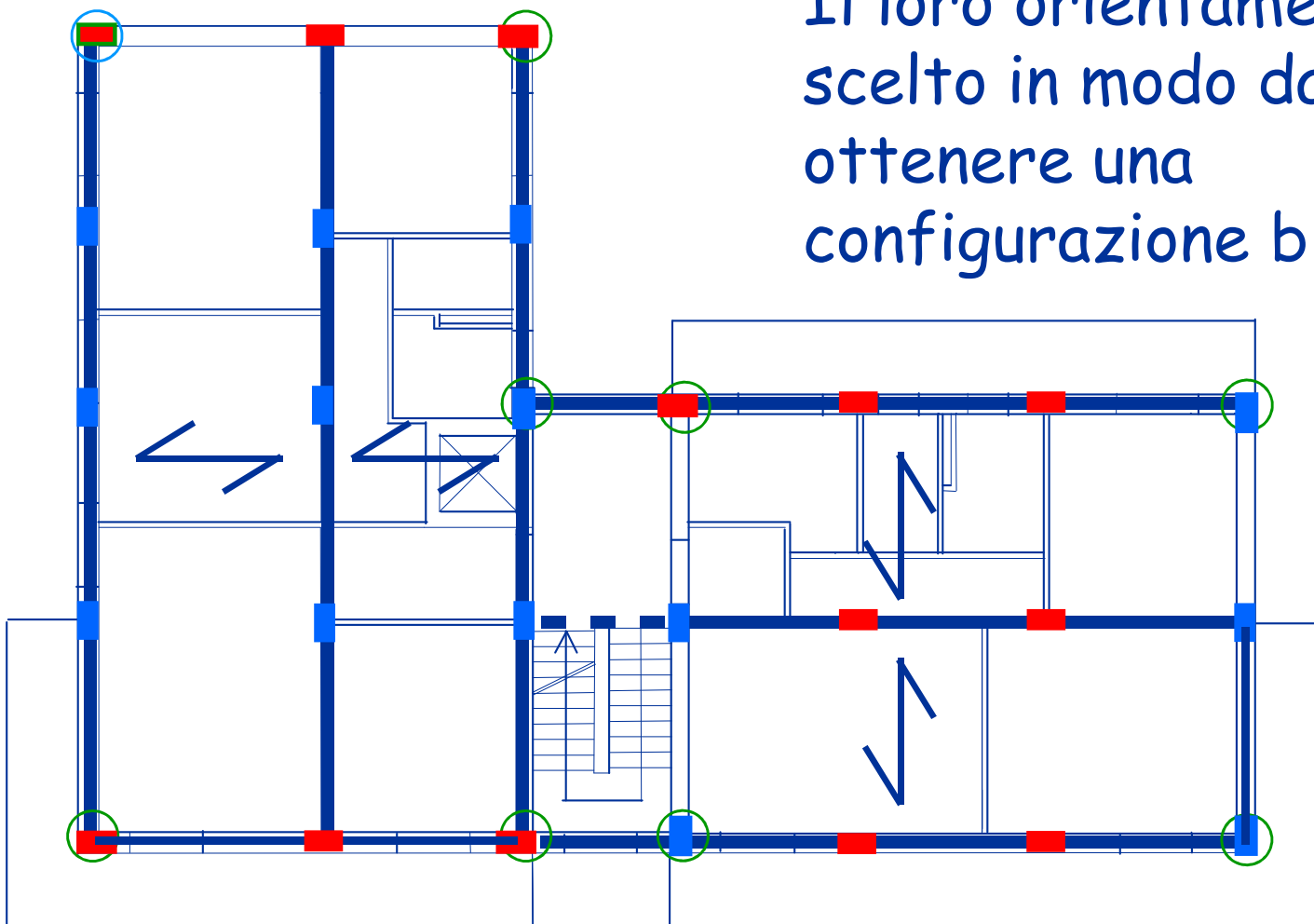
Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Solo pochi pilastri (9)
possono essere
orientati liberamente



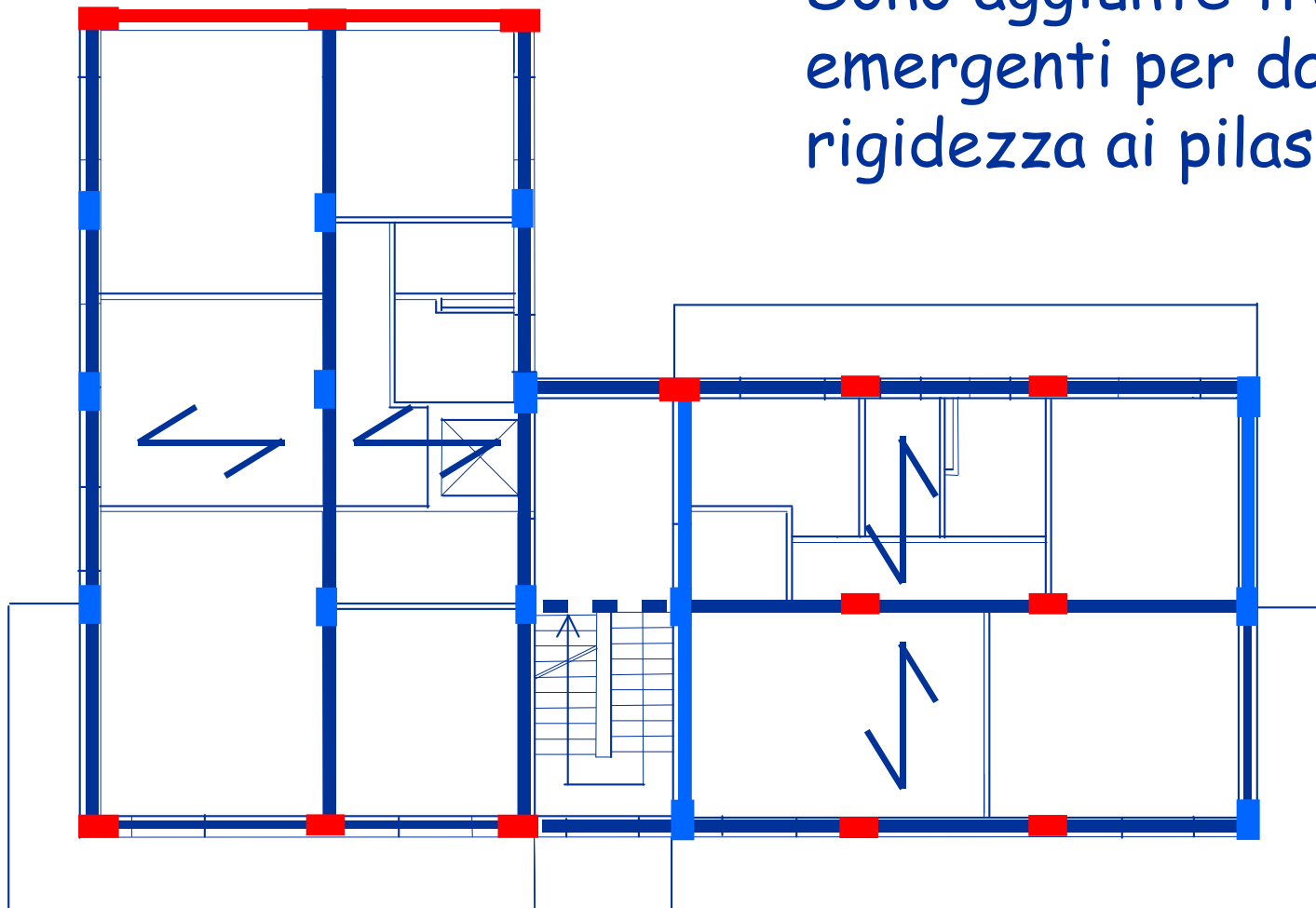
Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Il loro orientamento è
scelto in modo da
ottenere una
configurazione bilanciata



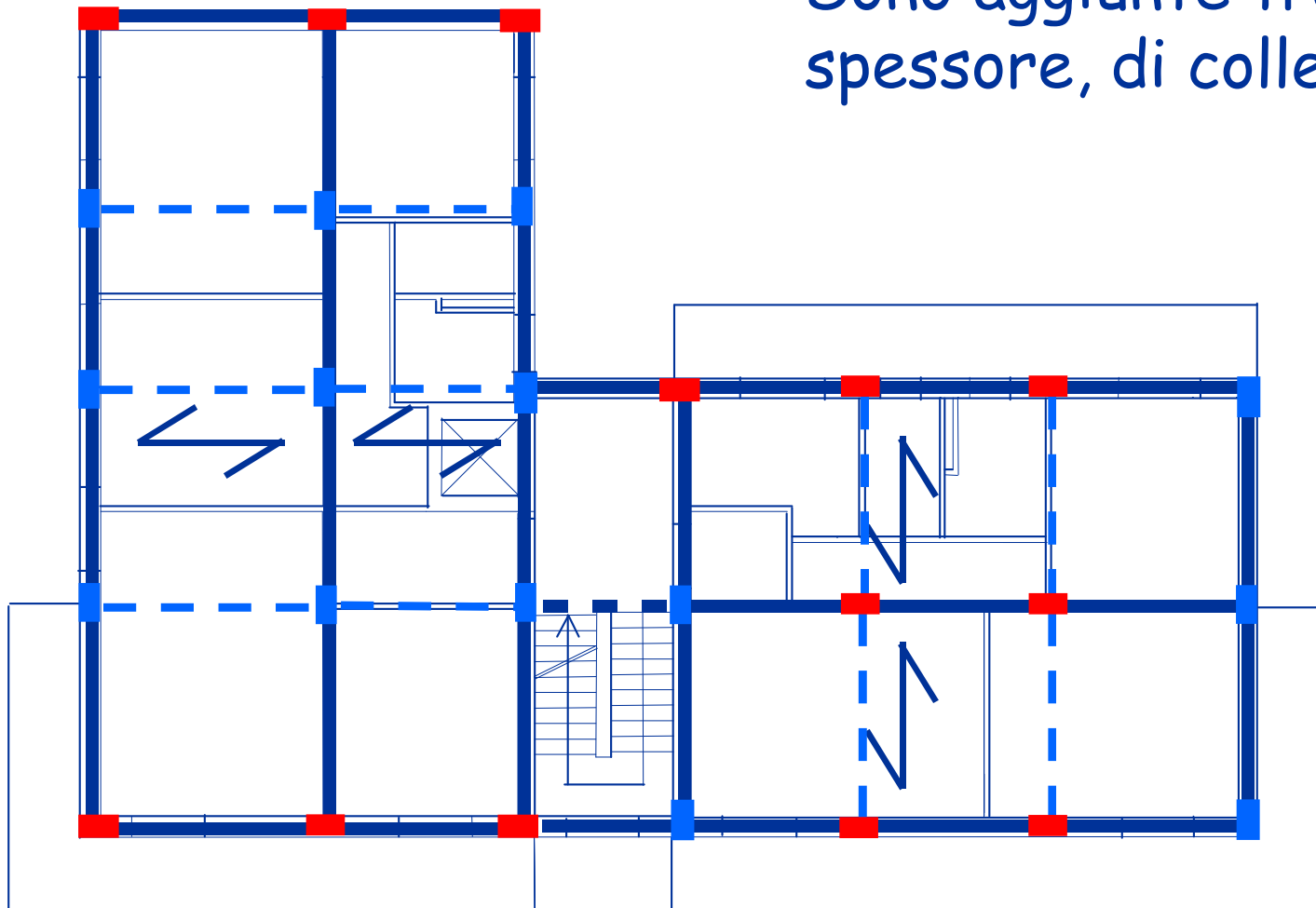
Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Sono aggiunte travi
emergenti per dare
rigidezza ai pilastri



Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

Sono aggiunte travi a
spessore, di collegamento



Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

tot. 13

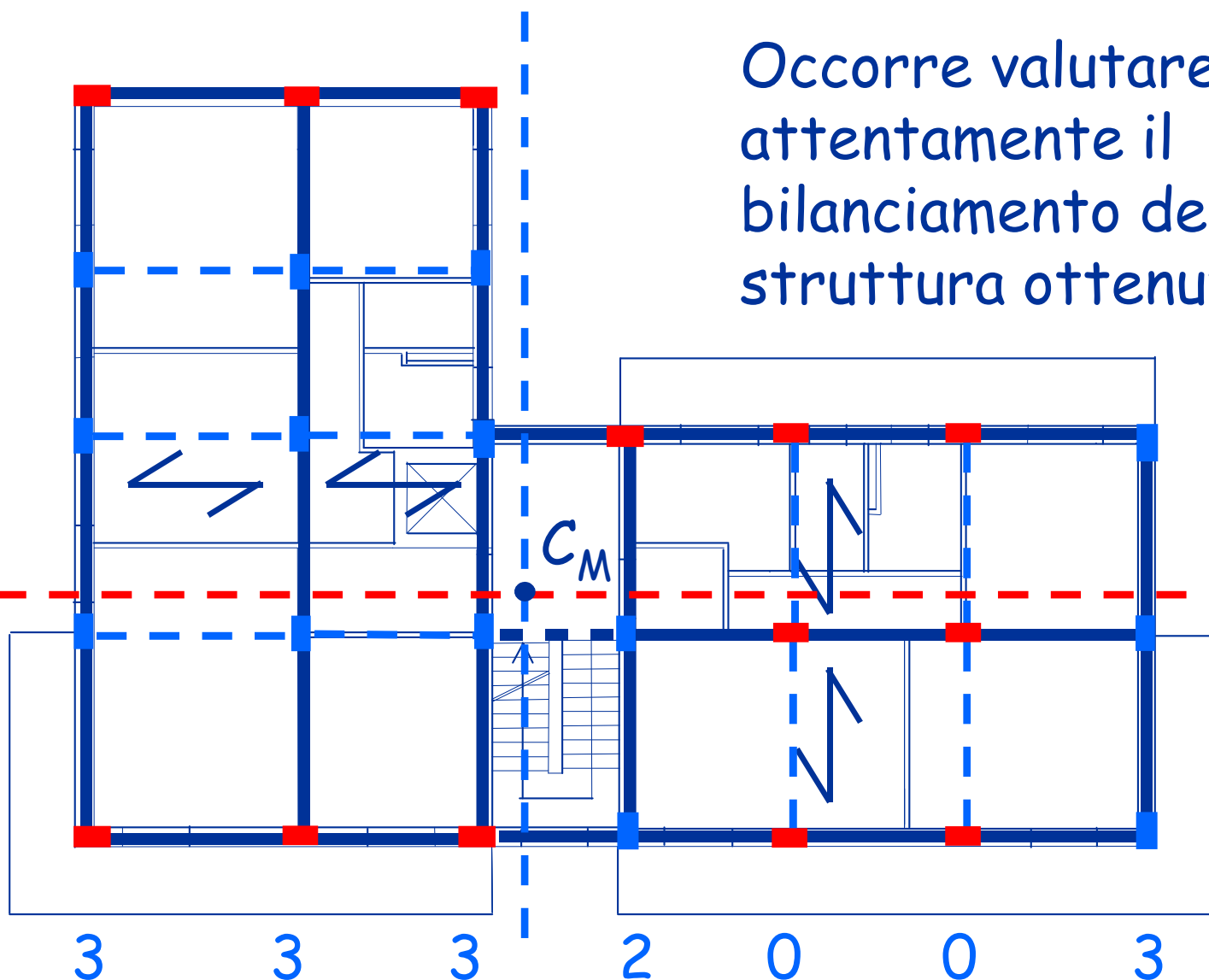
3

0

3

2

5



Occorre valutare attentamente il bilanciamento della struttura ottenuta

Il lato destro è meno rigido?



È bene irrigidirlo (o indebolire l'altro lato)

tot. 14

Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

tot. 12.9

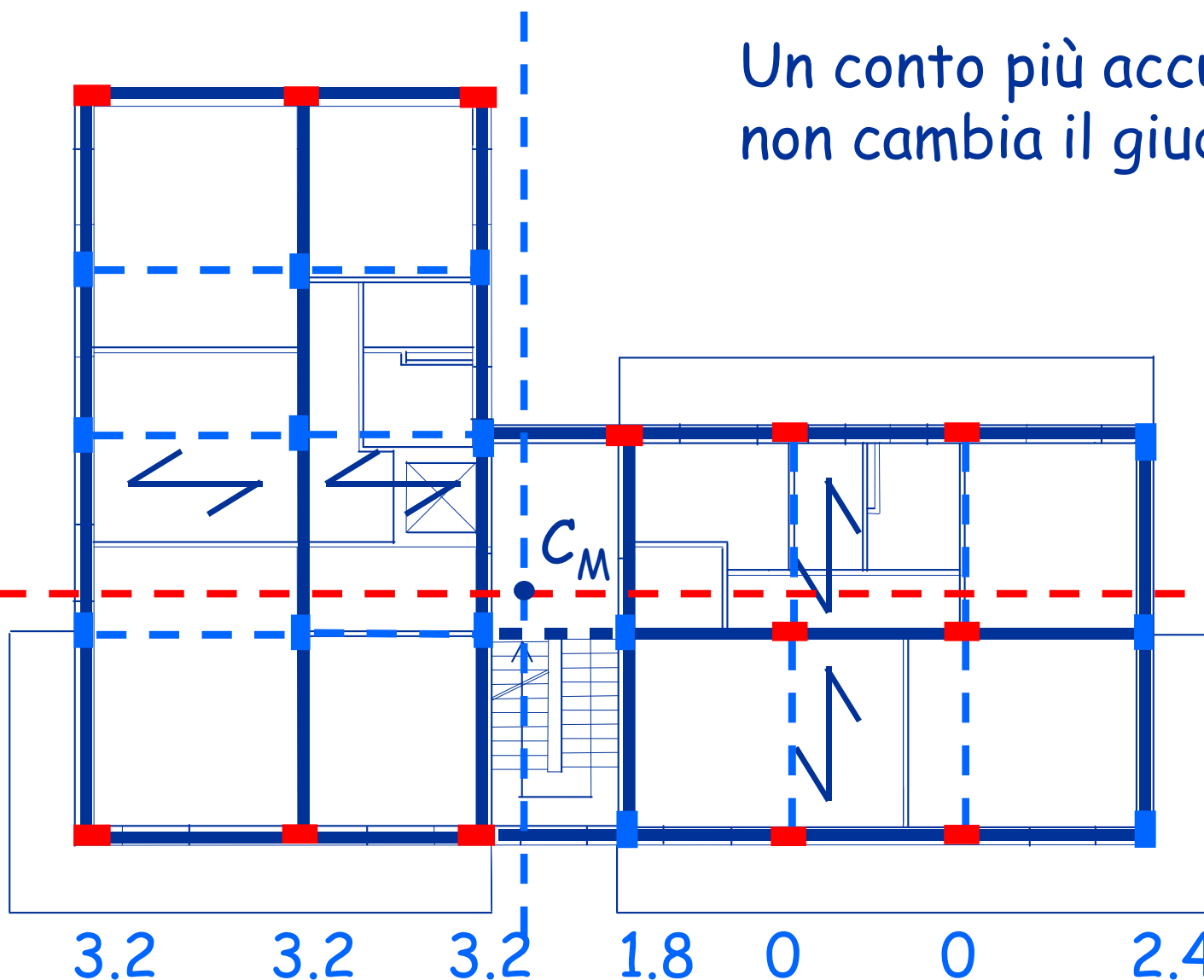
2.4

0

3.2

2.2

5.1



Un conto più accurato
non cambia il giudizio

Il lato
destro è
meno
rigido?



È bene
irrigidirlo
(o indebolire
l'altro lato)

tot. 13.8

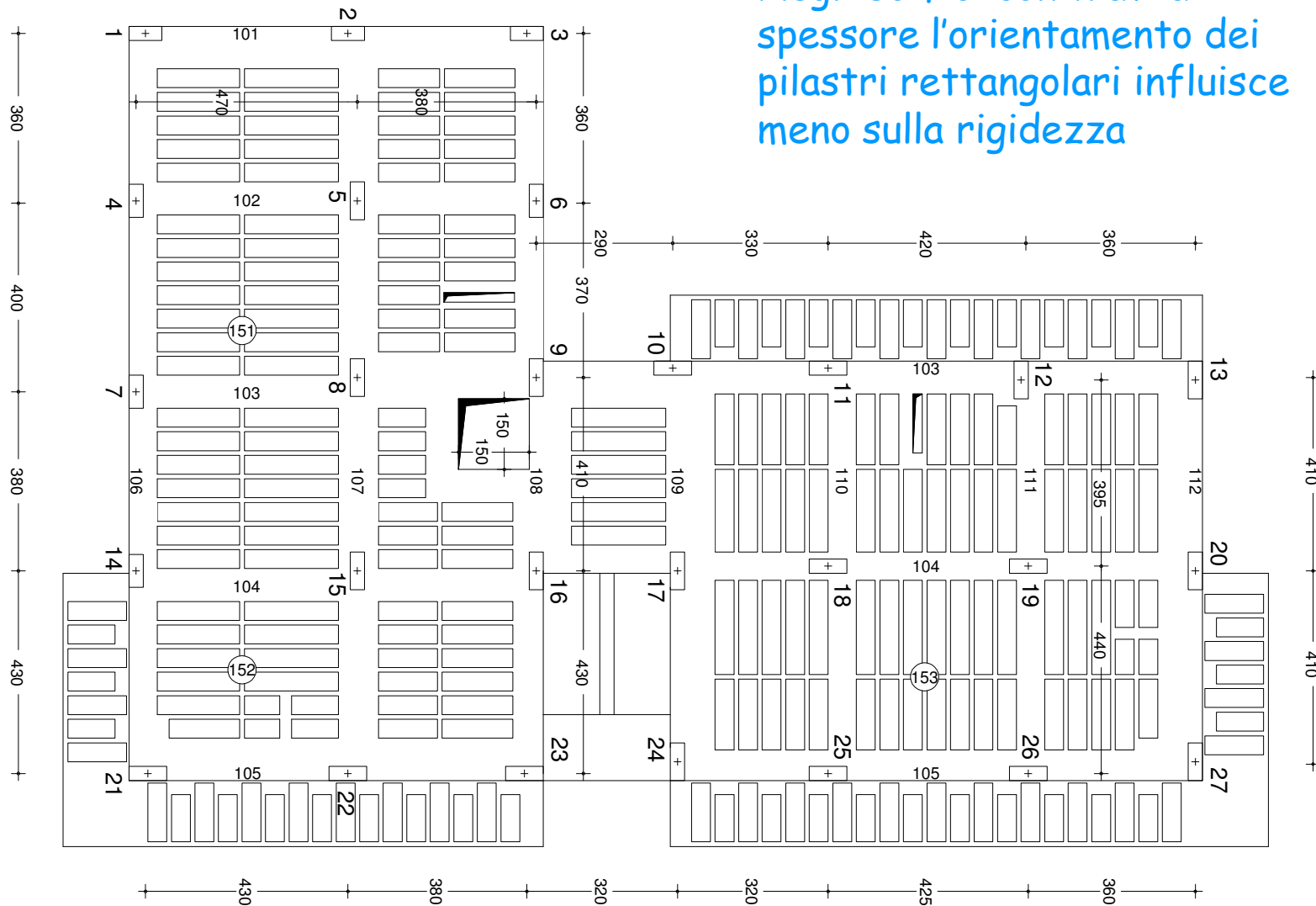
This architectural floor plan depicts a large hall with a complex arrangement of rooms and corridors. The plan is oriented with a north arrow pointing towards the top right. The layout includes several large rectangular rooms, some of which are subdivided into smaller sections. Corridors of varying widths connect these rooms, providing access throughout the hall. The plan is labeled with numbers 1 through 27, indicating specific rooms or areas. The overall design suggests a functional space for a large number of people, with clear circulation paths and designated areas for different activities.

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

Negli edifici con travi a spessore l'orientamento dei pilastri rettangolari influisce meno sulla rigidezza



Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali

tot. 20.2

2.4

1.7

5.1

5.1

5.9

Occorre valutare attentamente il bilanciamento della struttura ottenuta

La rigidità dei telai esterni è minore

Quindi rigidità torsionale più bassa

Piano tipo

4

4

4

2.2

1.7

1.9

2.4

tot. 20.2

