

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale sulla base delle  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**Progetto e verifica di edifici antisismici in c.a.**

6 - Impostazione della struttura

Spoletto  
10-12 dicembre 2009  
Aurelio Ghersi

**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

Mancanza di iperstaticità



1999 – Turchia

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 rigidità

## Edifici con pareti o nuclei in c.a.

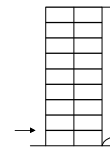
Compito dei diversi elementi:

- 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:

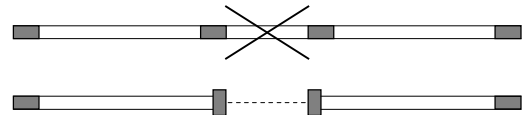
- Adottare per le luci di sbalzi, solai e travi limiti massimi leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma

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

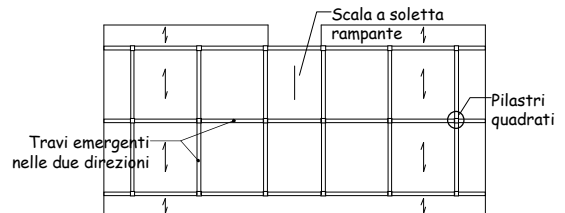
Nell'impostazione per carichi verticali:

- 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:

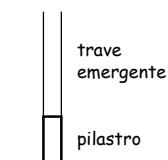
- Garantire un irrigidimento uniforme nelle due direzioni, con elementi ben distribuiti in pianta



**importante**

## Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



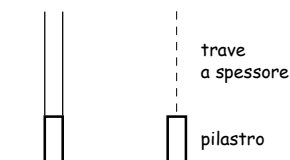
Elemento con buona rigidezza a tutti i piani

Sisma

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



Elemento con buona rigidezza a tutti i piani

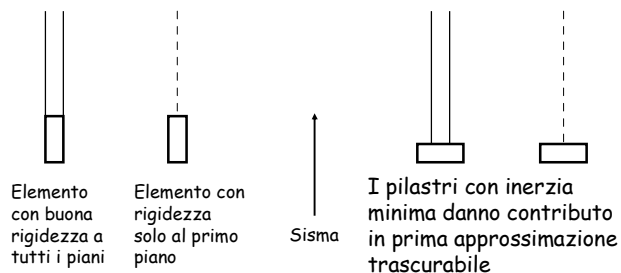
Elemento con rigidezza solo al primo piano

Sisma

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

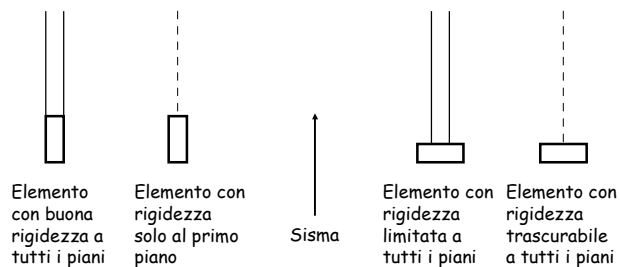
## Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



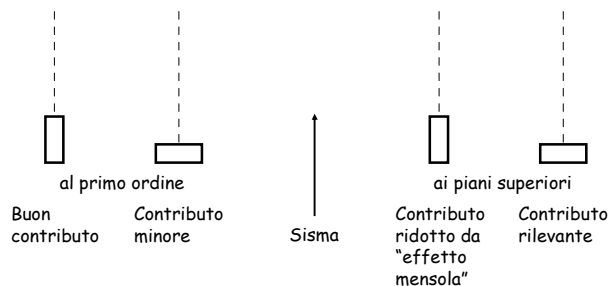
## Elementi resistenti alle azioni orizzontali

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



## Elementi resistenti alle azioni orizzontali

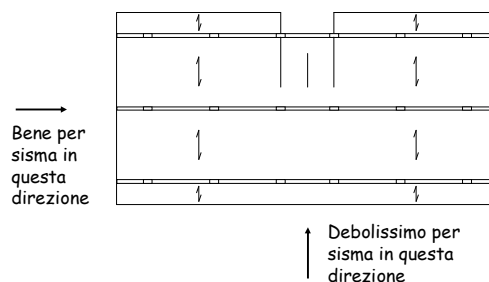
Se tutte le travi sono a spessore, il comportamento  
dei pilastri è un po' diverso



## Carpenteria:

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

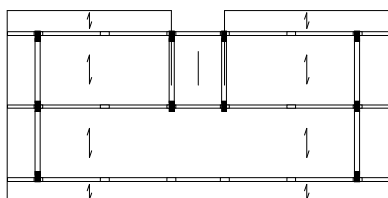
Al limite, per soli carichi verticali:



## Carpenteria:

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



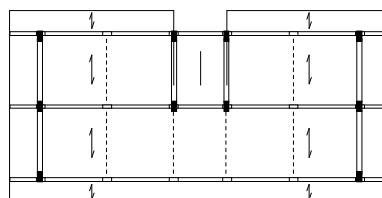
Girare un certo numero  
di pilastri

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

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)

- 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

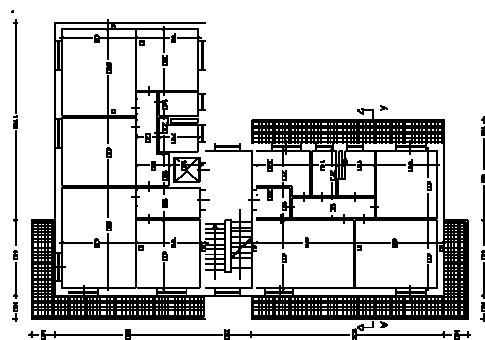
The elevation drawing shows a multi-story building facade. On the left, there are four floors above ground level, each with a balcony or overhang. The right side of the building has a taller section with windows. A vertical dimension line on the far right indicates heights from the ground level (marked with a dashed line). The dimensions are: 3.00m for the top-most section, followed by three sections of 3.00m each, then a larger section of 19.00m, another 3.00m section, and finally a base section of 3.00m. The total height from the ground level to the top of the main structure is 36.00m.

Sezione

Sismicità media  
= zona 2

Terreno  
costituito da  
sabbie e ghiaie  
mediamente  
addensate

## Piano tipo

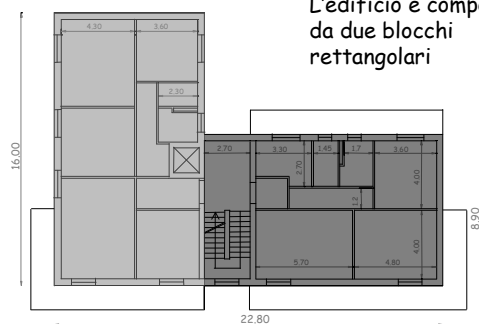


### Piano tipo



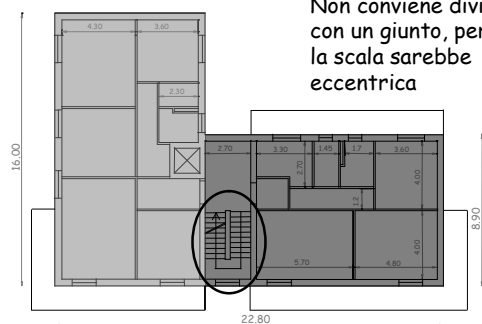
Il piano terra è simile, ma senza balconi

### Piano tipo



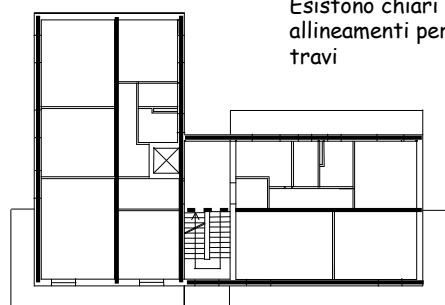
L'edificio è composto da due blocchi rettangolari

### Piano tipo



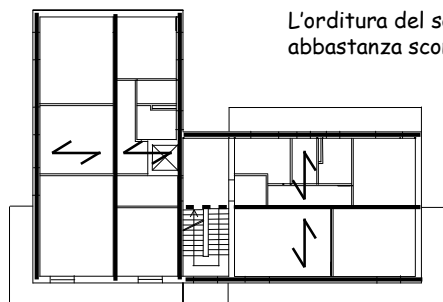
Non conviene dividerli con un giunto, perché la scala sarebbe eccentrica

### Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali



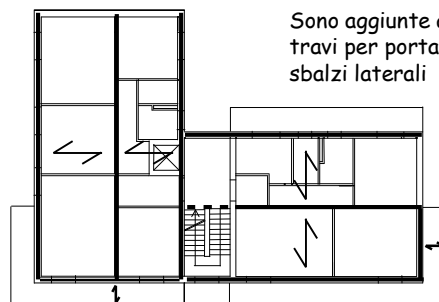
Esistono chiari allineamenti per le travi

### Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali



L'orditura del solaio è abbastanza scontata

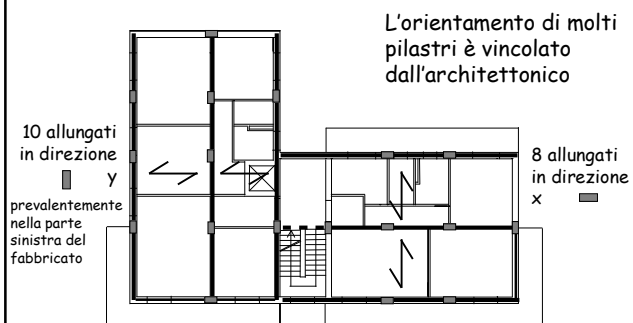
### Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali



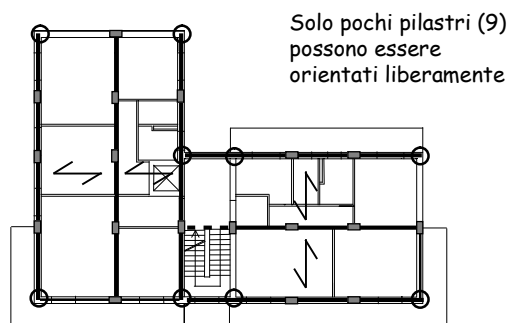
Sono aggiunte alcune travi per portare gli sbalzi laterali



### Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



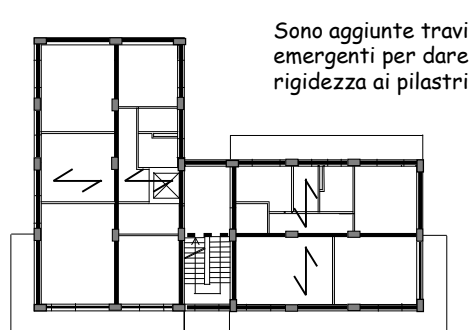
### Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



### Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



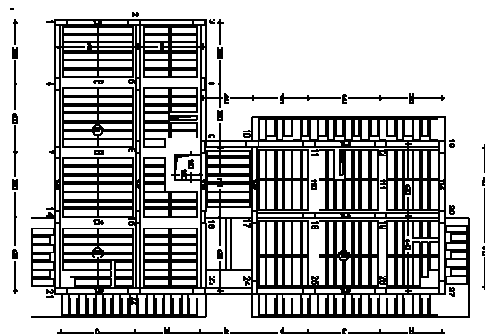
### Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



### Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



### Carpenteria del piano tipo



## Carpenteria edificio con travi a spessore

