

Corso

# Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

01 - Criteri generali di impostazione della carpenteria in  
presenza di azioni orizzontali (vento, sisma)

11 ottobre 2017

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 **innanzitutto** 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 13<sup>th</sup> 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

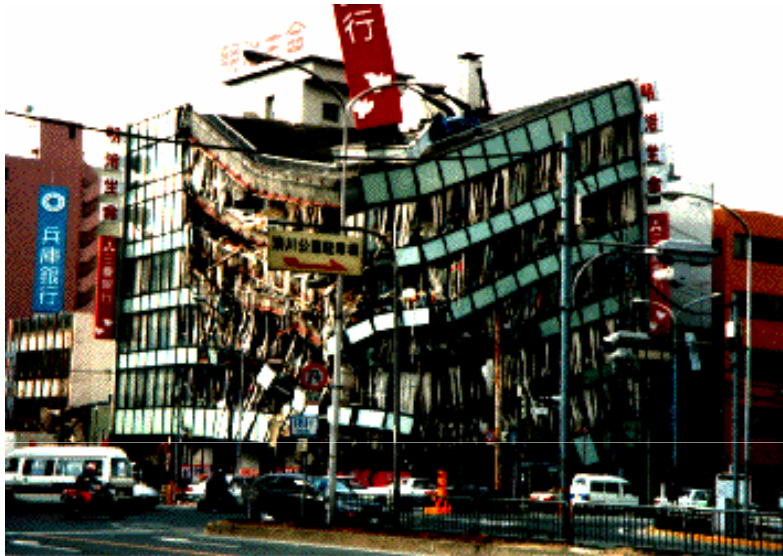
## Simmetria

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 ridistribuzione delle azioni tra i diversi elementi strutturali ed 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

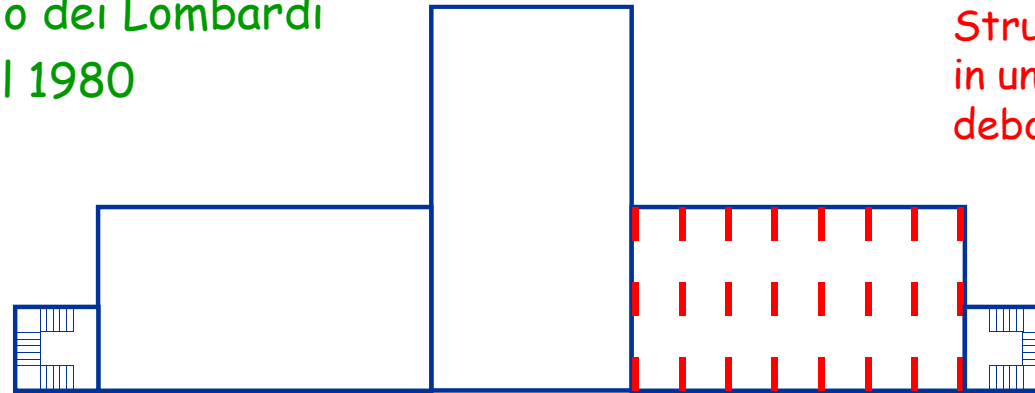
Forti differenze di rigidezza possono rendere  
rilevanti aspetti in genere trascurabili

# Principi base della progettazione strutturale

## Resistenza e rigidezza bi-direzionale

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

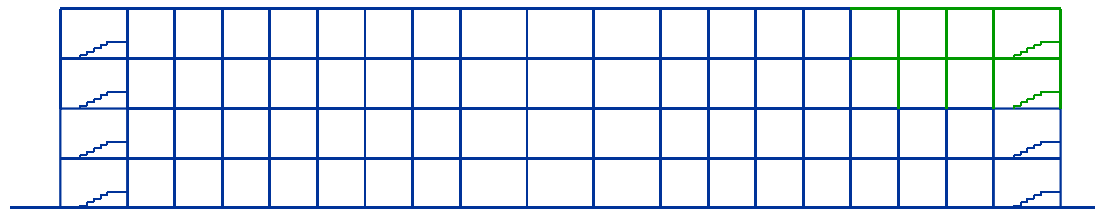
PIANTA



Struttura rigida  
in una direzione,  
debole nell'altra

Corpo scala non  
conteggiato nel  
calcolo

PROSPETTO



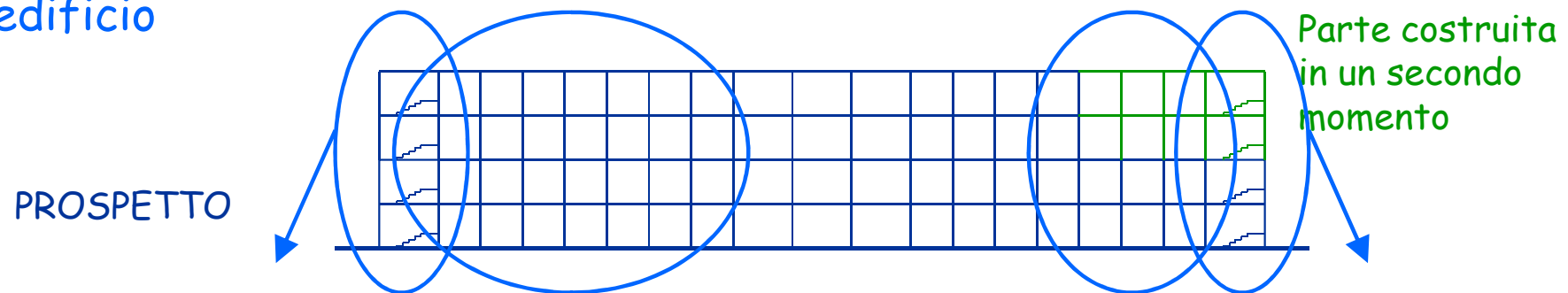
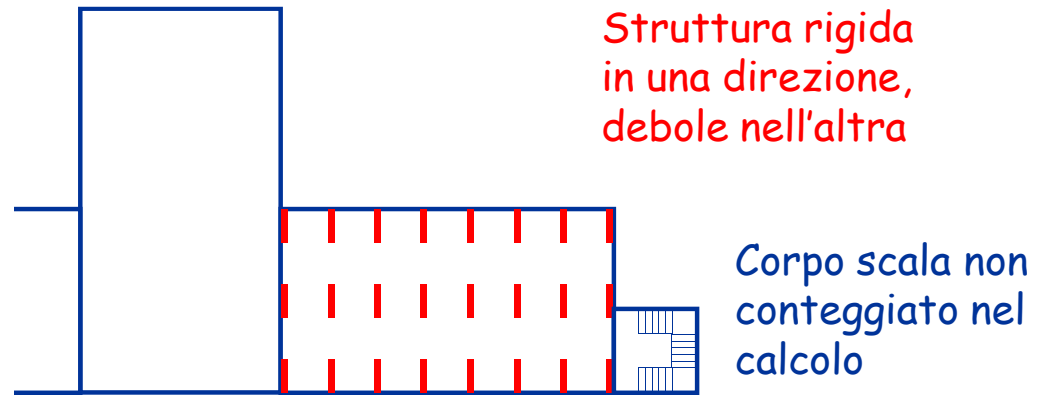
Parte costruita  
in un secondo  
momento

# 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

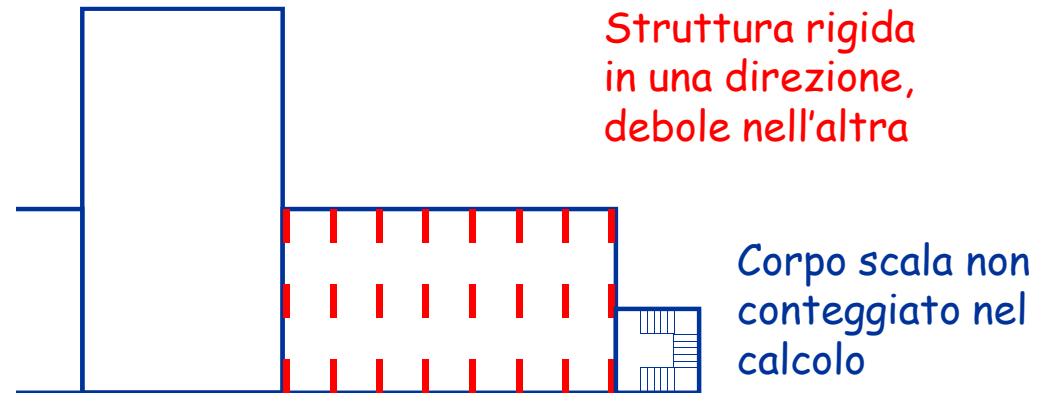


# Principi base della progettazione strutturale

## 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)

In caso di sisma il progetto deve rendere ottimale **anche** 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)

In caso di sisma il progetto deve rendere ottimale anche 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)

In caso di sisma il progetto deve rendere ottimale anche 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)

In caso di sisma il progetto deve rendere ottimale anche 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