

Corso

# Dinamica delle strutture e progetto di costruzioni in zona sismica - mod. B

Catania

marzo-maggio 2018

02 - Processo progettuale e principi base della progettazione

Aurelio Gheresi

# 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”

# 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"

# 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

# 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

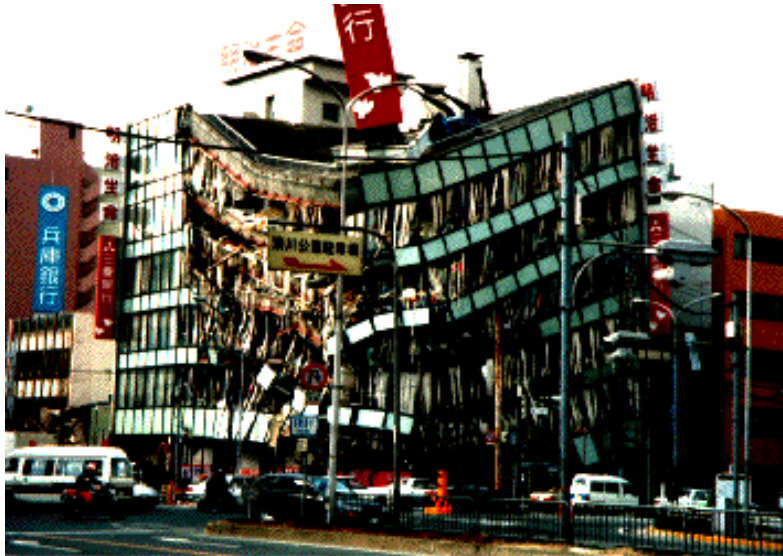
## Simmetria

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

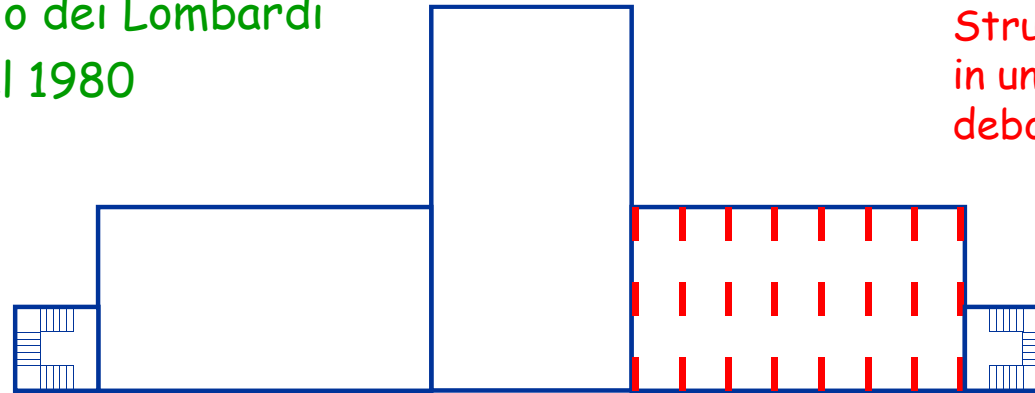
Forti differenze di rigidezza possono rendere  
rilevanti aspetti in genere trascurabili

# Principi base della progettazione strutturale

## Resistenza e rigidezza bi-direzionale

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

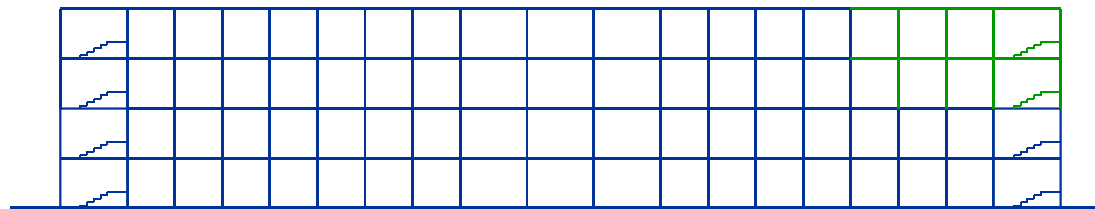
PIANTA



Struttura rigida  
in una direzione,  
debole nell'altra

Corpo scala non  
conteggiato nel  
calcolo

PROSPETTO



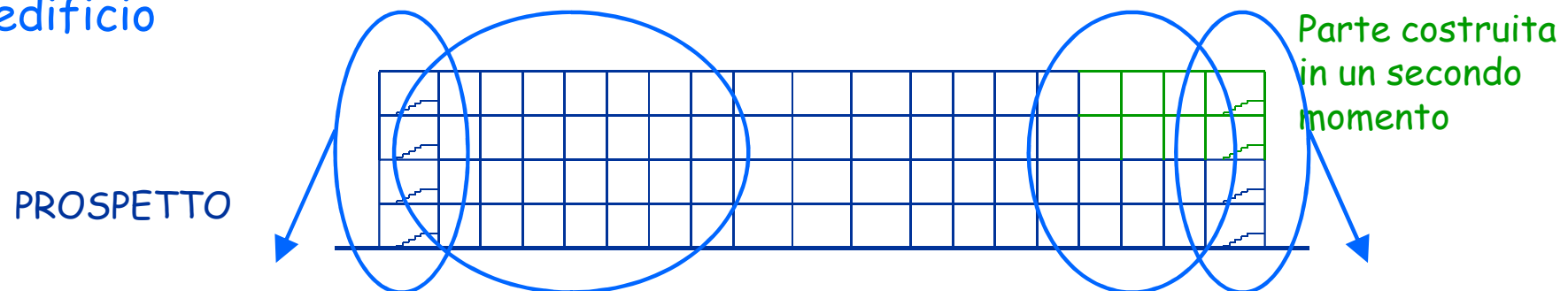
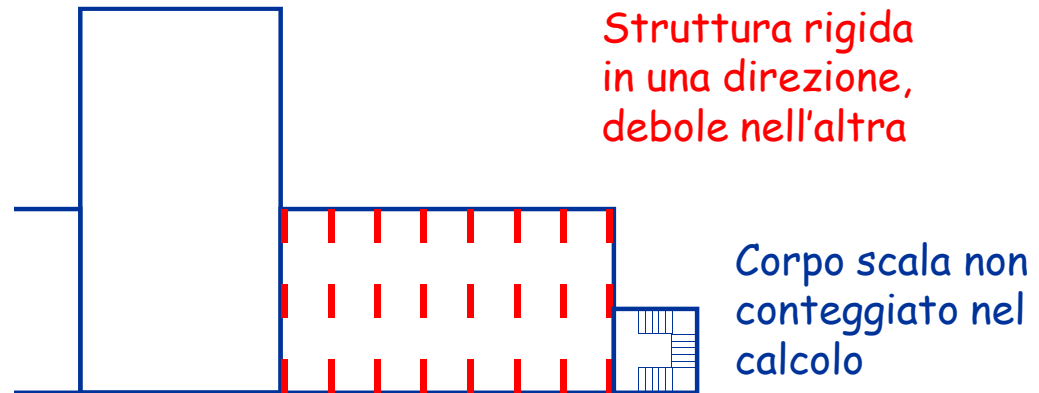
Parte costruita  
in un secondo  
momento

# 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

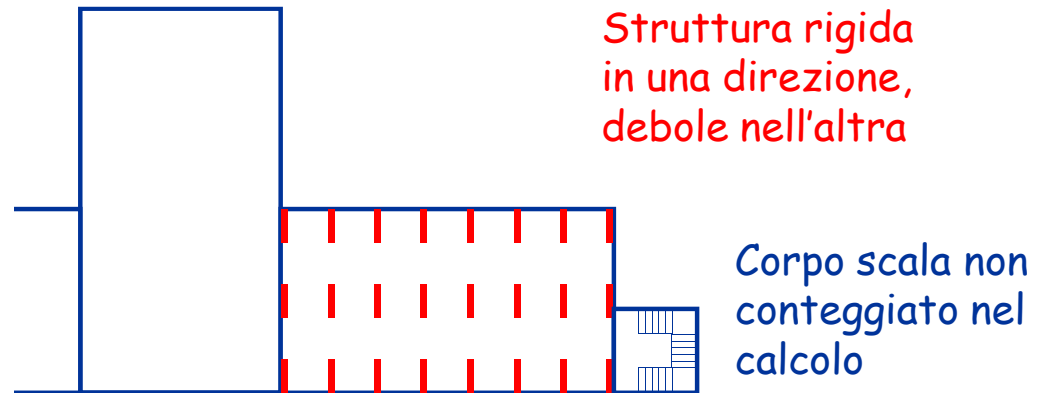


# Principi base della progettazione strutturale

## 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

# Regolarità dell'edificio

## nella normativa italiana ed europea

La normativa italiana ed europea affronta il problema (molto importante) della regolarità in maniera poco soddisfacente

- Le problematiche nelle quali entra in gioco la regolarità sono numerose e andrebbero distinte in maniera chiara
- Le definizioni di "regolarità" dovrebbero essere messe chiaramente in relazione con la problematica relativa
- Sarebbe opportuno usare sempre criteri di controllo **a posteriori**, basati sulla risposta sismica della struttura e non su definizioni approssimate **a priori**

# Regolarità dell'edificio

## nella normativa italiana ed europea

Secondo l'attuale normativa:

- La mancanza di **regolarità in altezza** riduce il fattore di comportamento  $q$  mediante il coefficiente  $K_R$
- La mancanza di **regolarità in pianta** riduce il fattore di comportamento  $q$  riducendo la sovrarresistenza, cioè il rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$

La regolarità è vista solo in funzione del valore da assegnare al fattore di comportamento  $q$

L'attuale normativa non cita altri problemi (che però sembrano intravedersi nelle definizioni che dà)

# Regolarità in altezza

## Norme Tecniche per le Costruzioni

- Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio
- Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione
- Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi

Regole applicative = consigli autorevoli  
ma non prescrizioni obbligatorie

# Regolarità in altezza

## Norme Tecniche per le Costruzioni

In particolare:

- le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%
- la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%
- il rapporto tra la capacità e la domanda calcolato per un generico orizzontamento non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente

Regole applicative = consigli autorevoli  
ma non prescrizioni obbligatorie

# Regolarità in altezza

## Norme Tecniche per le Costruzioni

In particolare:

- le variazioni di altezza non superiori all'altro
- la rigidezza sovrastante rispetto a quello del 10%
- il rapporto tra i momenti di inerzia un generico piano e quello adiacente più vicino del 30% calcolato per l'orizzonte di riferimento

Si noti che per l'Eurocodice tutte queste sono regole applicative, non principi. Inoltre le indicazioni di dettaglio sono differenti rispetto a quelle delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Regole applicative = consigli autorevoli  
ma non prescrizioni obbligatorie



# Regolarità in pianta

## Norme Tecniche per le Costruzioni

- La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso
- Il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta di ogni orizzontamento è inferiore a 4
- Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali

Regole applicative = consigli (autorevoli ???)  
ma non prescrizioni obbligatorie

# Regolarità in pianta

## Norme Tecniche per le Costruzioni

- La distribuzione di masse e rigidezze è

appro  
direz  
ossia

Anche in questo caso per  
l'Eurocodice tutte queste sono  
regole applicative, non principi  
Inoltre le indicazioni di dettaglio  
sono in parte differenti  
rispetto a quelle delle Norme  
Tecniche per le Costruzioni

due  
mpatta,  
nverso  
tto alla  
proprio  
gidezza

- Il rap  
pianta

- Ciasc  
piano  
degli

Regole applicative = consigli (autorevoli ???)  
ma non prescrizioni obbligatorie

# Regolarità e fattore di comportamento $q$

Cosa influenza realmente la duttilità della struttura e quindi il fattore di comportamento da utilizzare?

- Carenza di duttilità locale

Le prescrizioni di normativa su staffe e armatura longitudinale dovrebbero garantire una buona duttilità locale

La presenza di sforzo normale di compressione molto alto può ridurre la duttilità locale

Nel caso di aste molto corte è difficile rispettare la gerarchia taglio-flessione

# Regolarità e fattore di comportamento $q$

Cosa influenza realmente la duttilità della struttura e quindi il fattore di comportamento da utilizzare?

- Precoce plasticizzazione di alcune sezioni

Il calcolo dovrebbe garantire adeguata resistenza a tutte le sezioni

Aste molto rigide (ad esempio aste molto corte) hanno una sovreresistenza minore delle altre aste. Si potrebbe arrivare al collasso con la formazione di poche cerniere plastiche

Anche la rotazione planimetrica, nel caso di strutture non bilanciate, può portare ad una plasticizzazione precoce delle aste perimetrali

# Regolarità e fattore di comportamento $q$

Cosa influenza realmente la duttilità della struttura e quindi il fattore di comportamento da utilizzare?

- Influenza delle tamponature

Potrebbero essere inserite nel modello di calcolo (ma in genere non lo sono)

L'azione concentrata all'estremo di un pilastro può portare a rottura a taglio o plasticizzazione precoce

La distribuzione delle tamponature lungo l'altezza può portare ad un meccanismo di piano

La distribuzione delle tamponature in pianta può portare a rotazioni dell'impalcato e plasticizzazione precoce delle aste di estremità

# Regolarità e impalcato

- Che senso hanno i riferimenti della normativa a
  - pianta compatta
  - rigidezza dell'orizzontamento ?
- Questi aspetti potrebbero essere rilevanti ai fini della rigidezza e della resistenza dell'impalcato  
Ma:
  - l'ipotesi di impalcato rigido è comoda, ma non indispensabile
  - La verifica di resistenza dell'impalcato in molti casi è facilmente rispettata, ma ovunque vi sia dubbio deve essere esplicitamente verificata