# PROGETTO DI EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO

## Ascoli Piceno, 17-18 maggio 2019

## 03 – Progettazione strutturale: obiettivi e processo progettuale

**Docente del corso**

**AURELIO GHERSI**

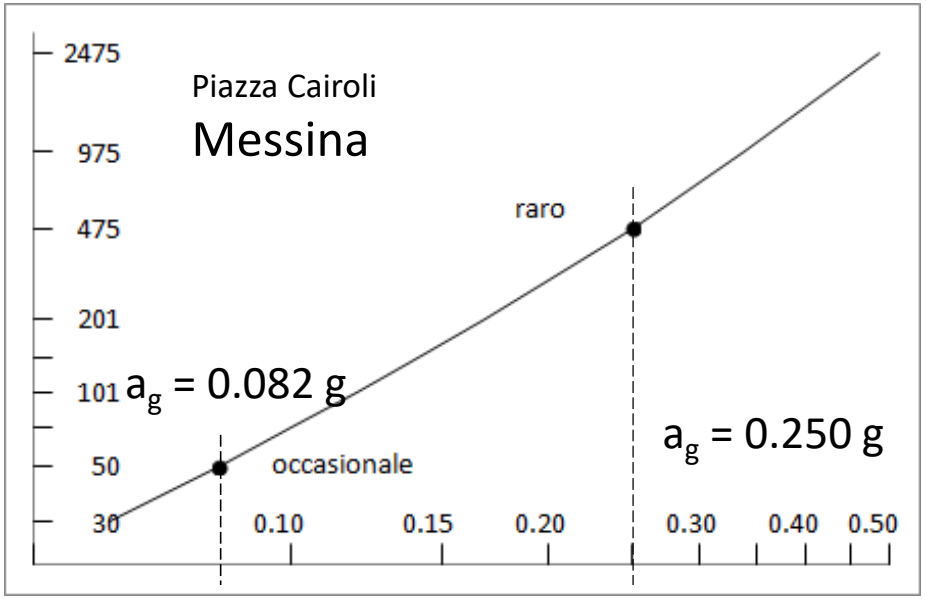
Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI ASCOLI PICENO

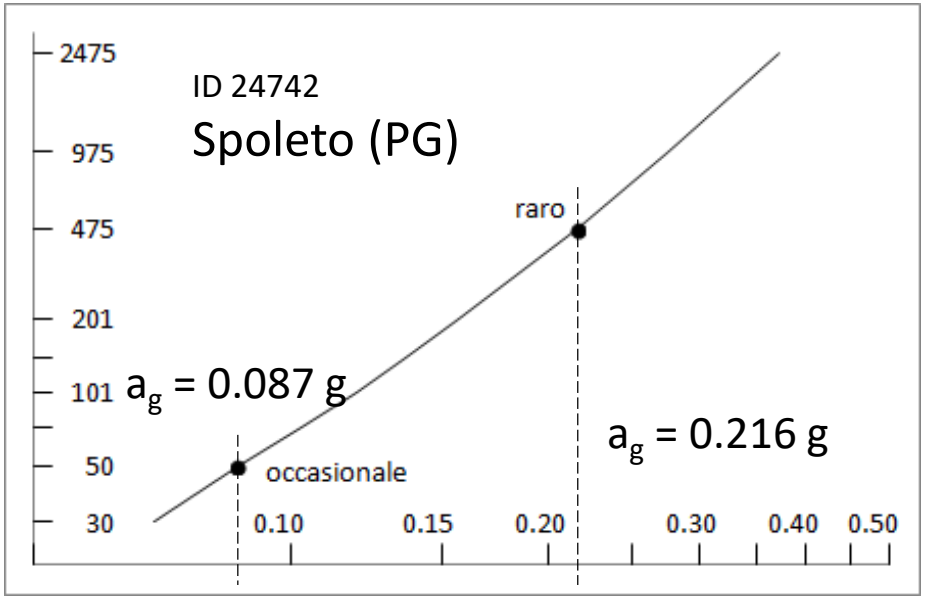
# Obiettivi
# della progettazione strutturale

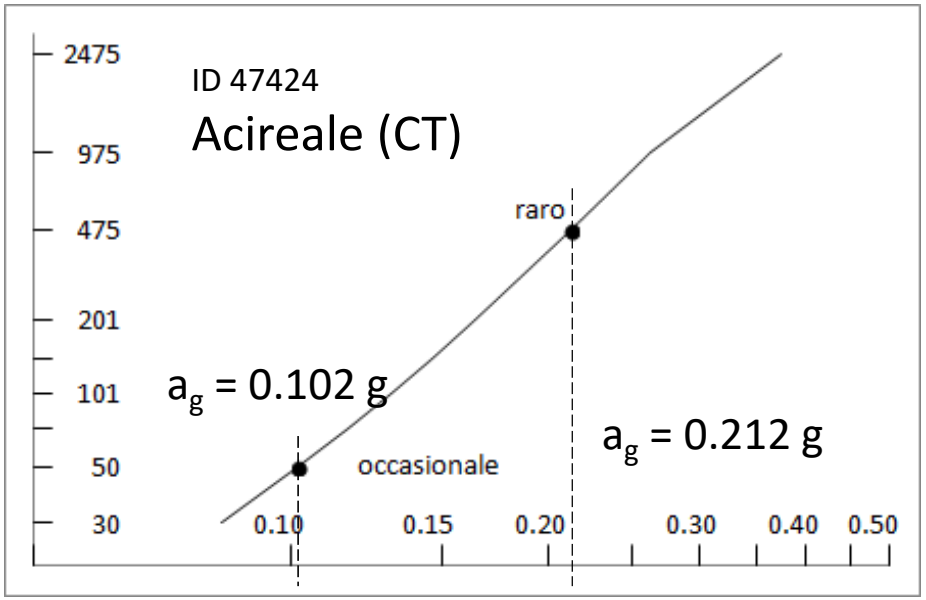
- **Per ogni sito è possibile individuare l'intensità (accelerazione di picco PGA) dei terremoti previsti, in funzione del periodo di ritorno**
  - **A periodi di ritorno più brevi corrispondono accelerazioni minori, a periodi di ritorno più lunghi corrispondono accelerazioni maggiori**

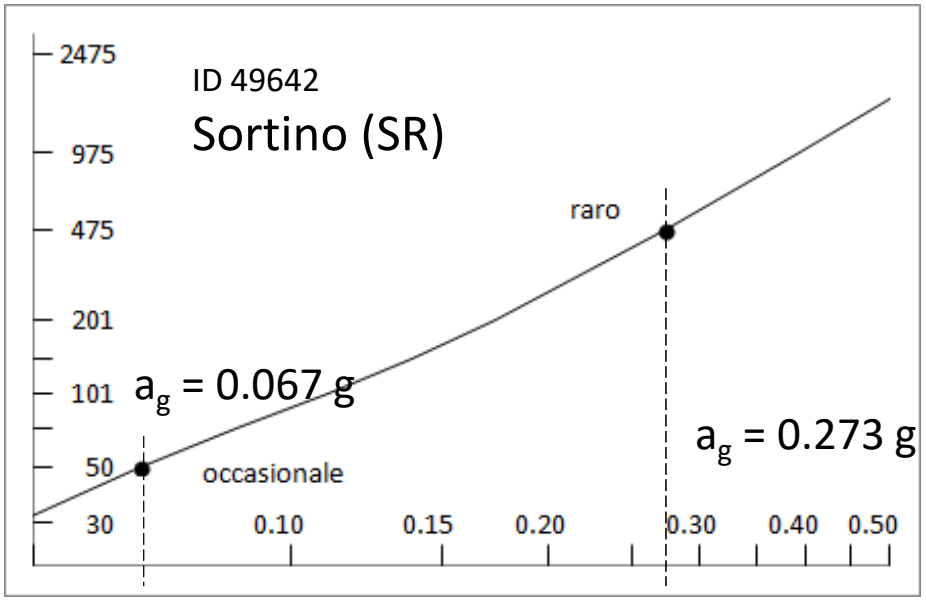
  - Ad esempio:

| Periodo di ritorno | Terremoto | PGA (ad Ascoli Piceno) |
|---|---|---|
| 30 | frequente | 0.057 g |
| 50 | occasionale | 0.072 g |
| 475 | raro | 0.179 g |
| 975 | estremamente raro | 0.231 g |


Piazza Cairoli
Messina
2475
975
475
201
101
50
30
raro
occasionale
$a_g$ = 0.082 g
$a_g$ = 0.250 g
0.10
0.15
0.20
0.30
0.40
0.50


ID 24742
Spoleto (PG)
2475
975
475
201
101
50
30
raro
occasionale
$a_g$ = 0.087 g
$a_g$ = 0.216 g
0.10
0.15
0.20
0.30
0.40
0.50


ID 47424
Acireale (CT)
2475
975
475
201
101
50
30
raro
occasionale
$a_g$ = 0.102 g
$a_g$ = 0.212 g
0.10
0.15
0.20
0.30
0.40
0.50


ID 49642
Sortino (SR)
2475
975
475
201
101
50
30
raro
occasionale
$a_g$ = 0.067 g
$a_g$ = 0.273 g
0.10
0.15
0.20
0.30
0.40
0.50

- **Nel progettare una struttura in zona sismica occorre garantirle opportune prestazioni in funzione del periodo di ritorno del terremoto**
  - **Si parla di "stato limite da rispettare" per quell'evento sismico**

| Terremoto | Prestazione richiesta | SL |
|---|---|---|
| frequente | mantenere l'operatività | SLO |
| occasionale | consentire un rapido ripristino dell'operatività | SLD |
| raro | evitare perdite di vite umane | SLV |
| estremamente raro | evitare il crollo | SLC |

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### Stati Limite di Esercizio

Stato Limite di Operatività – SLO

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti talmente modesti da non creare interruzioni d'uso significative

Stato Limite di Danno – SLD

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti modesti, tali da non compromettere significativamente resistenza e rigidezza. L'opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature

NTC, punto 3.2.1

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### Stati Limite Ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita – SLV

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni significativi agli elementi strutturali con perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.

Stato Limite di prevenzione del Collasso – SLC

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni molto gravi agli elementi strutturali. Esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso.

NTC, punto 3.2.1

- **In particolare, l'approccio tradizionale usato per la maggior parte degli edifici richiede di garantire:**
  - Una adeguata **rigidezza**, per limitare il danno non strutturale
    Verifica allo SLD = controllo degli spostamenti
  - Una adeguata **resistenza**, per sopportare forze opportunamente ridotte rispetto a quelle reali (mediante un fattore di struttura q)
    Verifica allo SLV = controllo delle caratteristiche di sollecitazione
  - Una adeguata **duttilità**, per garantire di superare le accelerazioni realmente indotte dal sisma
    Implicita nella verifica allo SLV

- **Note:**
  - **Approccio tradizionale**
    Verifica o progetto basato sul metodo delle forze, cioè applicando alla struttura forze (accelerazioni) ridotte mediante il fattore di struttura q
  - **Maggior parte degli edifici**
    Solo in alcuni casi si richiedono verifiche allo SLO oppure allo SLC

- **I livelli di prestazione sono associati a periodi di ritorno (e livelli dell'intensità sismica) legati alla cosiddetta Vita di riferimento $V_R$ della struttura**

- La vita di riferimento è definita dalla normativa (Norme Tecniche per le costruzioni) e dipende da:
  - Vita nominale $V_N$
  - Classe d'uso

NTC, punto 2.4.1

- **I livelli di prestazione sono legati alla Vita di riferimento $V_R$ della struttura, che dipende da:**
  - **Vita nominale $V_N$**
  - **Classe d'uso**

- **Vita nominale:**
  numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

| | TIPI DI COSTRUZIONE | Vita nominale $V_N$ |
|---|---|---|
| 1 | Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva | $\leq$ 10 anni |
| 2 | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | $\geq$ 50 anni |
| 3 | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica | $\geq$ 100 anni |

- **I livelli di prestazione sono legati alla Vita di riferimento $V_R$ della struttura, che dipende da:**
  - **Vita nominale $V_N$**
  - **Classe d'uso**

- **Classe d'uso:**
  è legata alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche

| TIPI DI COSTRUZIONE | Classe d'uso |
|---|---|
| Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli | I |
| Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali | II |
| Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi | III |
| Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità | IV |

- **I livelli di prestazione sono legati alla Vita di riferimento $V_R$ della struttura, che dipende da:**
  - **Vita nominale $V_N$**
  - **Classe d'uso**

$$V_R = V_N \times C_U \quad \geq 35 \text{ anni}$$

Il coefficiente d'uso $C_U$ dipende dalla classe d'uso

| Classe d'uso | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| $C_U$ | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

Ad esempio: per un edificio per abitazione di nuova realizzazione (opera ordinaria, normale affollamento) si ha $V_R$ = 50 anni

- I **livelli di intensità sismica** sono anch'essi legati alla **Vita di riferimento $V_R$** della struttura

| Livello | Probabilità di superamento | Periodo di ritorno * |
|---|---|---|
| Frequente | 81% in $V_R$ anni | 30 anni |
| Occasionale | 63% in $V_R$ anni | 50 anni |
| Raro | 10% in $V_R$ anni | 475 anni |
| Estremamente raro | 5% in $V_R$ anni | 975 anni |

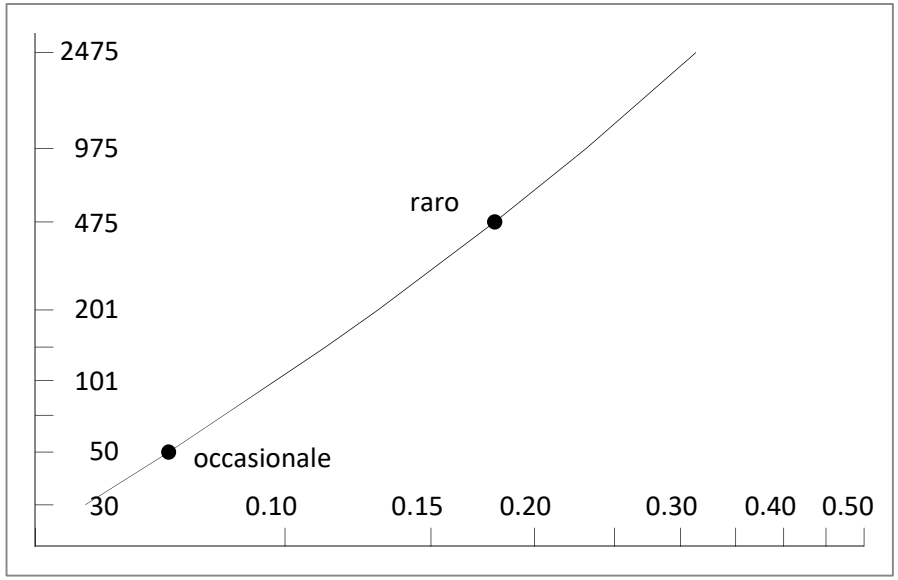
* Per $V_R$ = 50 anni

NTC, punto 3.2.1

**Il rapporto tra le accelerazioni relative a SLV e SLD:**

- **in una impostazione tradizionale (usata da EC8) è costante e pari a 2.5**
- **nell'impostazione della normativa italiana, varia da sito a sito**

- **È opportuno conoscere quale sia il rapporto tra le accelerazioni per SLV e SLD nel proprio sito**

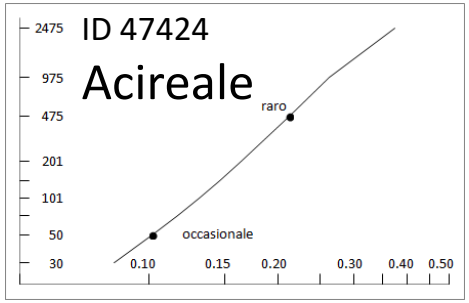


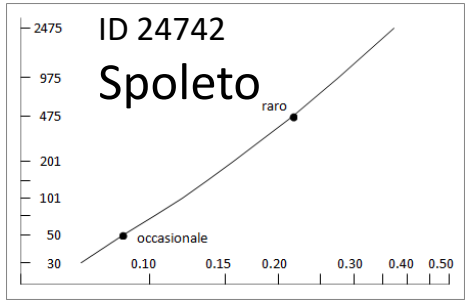

esempio

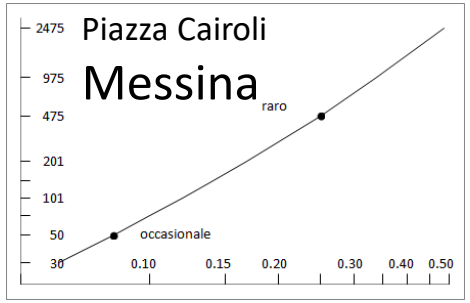
| | **Ascoli Piceno** |
|---|---|
| PGA - SLV | 0.179 g |
| PGA - SLD | 0.072 g |
| rapporto | 2.49 |

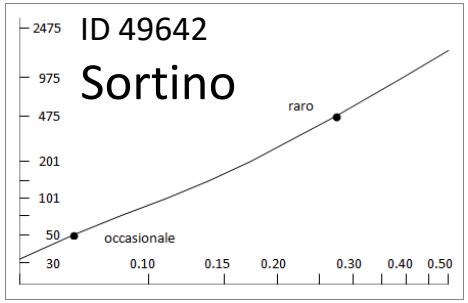
FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

## PGA su roccia – altri esempi




| | Acireale | Spoleto | Messina | Sortino |
|---|---|---|---|---|
| PGA - SLV | 0.212 g | 0.216 g | 0.250 g | 0.273 g |
| PGA - SLD | 0.102 g | 0.087 g | 0.082 g | 0.067 g |
| rapporto | 2.08 | 2.49 | 3.05 | 4.10 |

Nota: valori calcolati per $V_R$ = 50 anni

# 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

- **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"**

NTC, punto 10.2

**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"

**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
    **duttilità locale**

**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

**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

**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

# PROCESSO PROGETTUALE

## 1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione

# 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

# 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

**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**

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

**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**

**Adeguata fondazione**

consentono di usare modelli e tipi di analisi standard

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

**Semplicità strutturale**

**=**

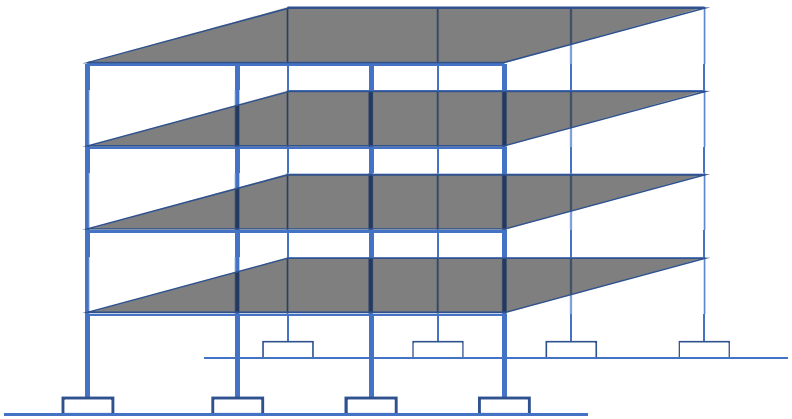
**Esistenza di chiari e diretti percorsi di trasmissione delle forze verticali e sismiche**

**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**

# Semplicità strutturale

Esempio (per carichi verticali)



Il solaio scarica sulle travi

Ciascuna trave scarica su due pilastri

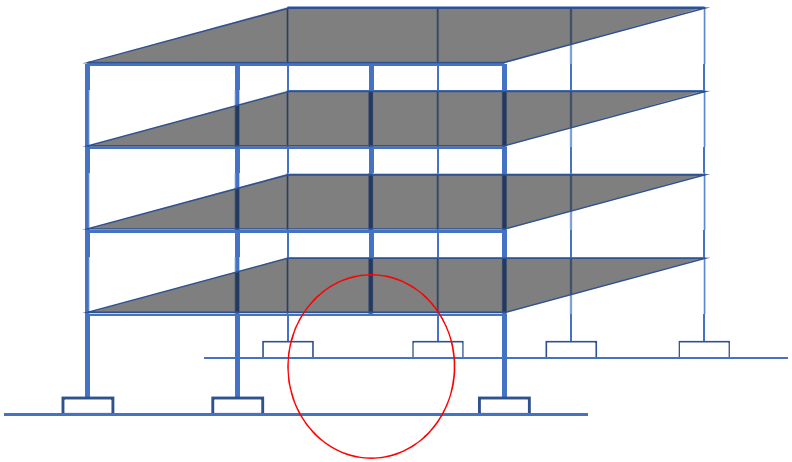
I pilastri scaricano sul plinto

Il plinto scarica sul terreno

Semplice

# Semplicità strutturale

Esempio (per carichi verticali)



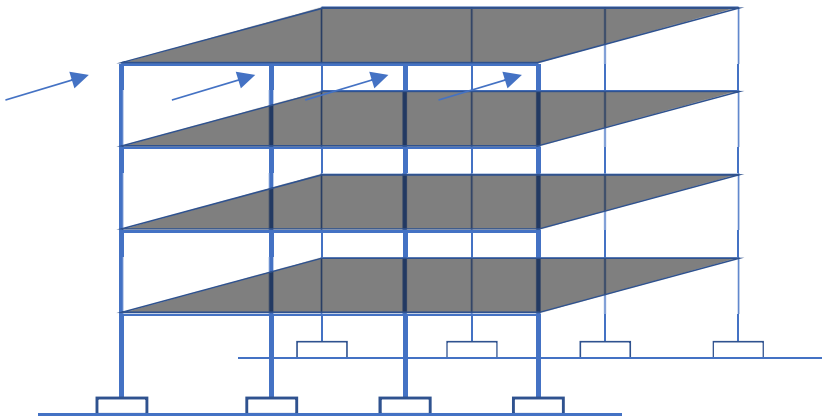
Se manca un pilastro:

Il flusso dei carichi cambia e diventa molto più contorto (il pilastro scarica su una trave che scarica su un altro pilastro)

Non semplice

# Semplicità strutturale

Esempio (per forze orizzontali)



Occorre che sia chiaro il flusso di questi carichi orizzontali e quindi da quali elementi verticali (pilastri) sono portati poi in fondazione

Se è chiaro: semplice

# Uniformità

# =

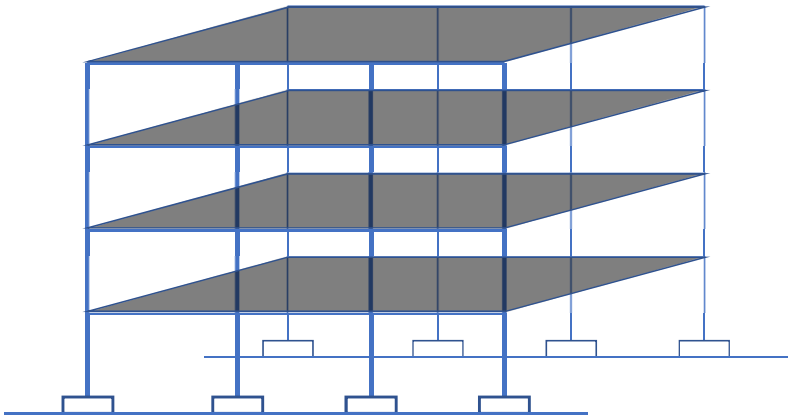
# Omogenea distribuzione degli elementi strutturali

**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**

# Uniformità

Esempio (per carichi verticali)

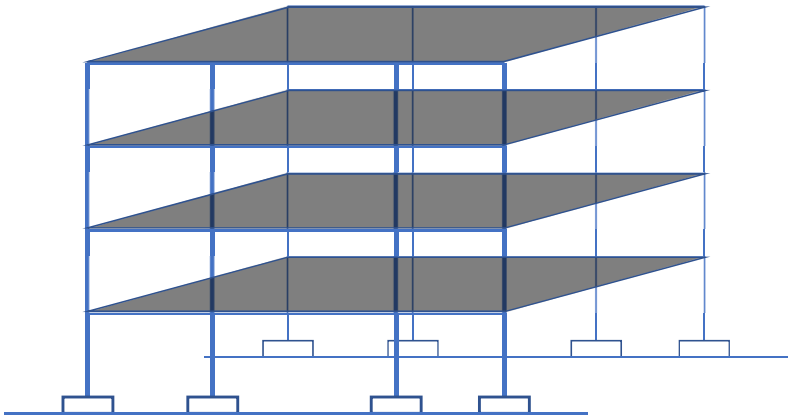


Se le luci delle campate di trave sono simili tra loro (ed i carichi portati pure) i momenti flettenti saranno molto simili nelle diverse campate

Uniforme

# Uniformità

Esempio (per carichi verticali)

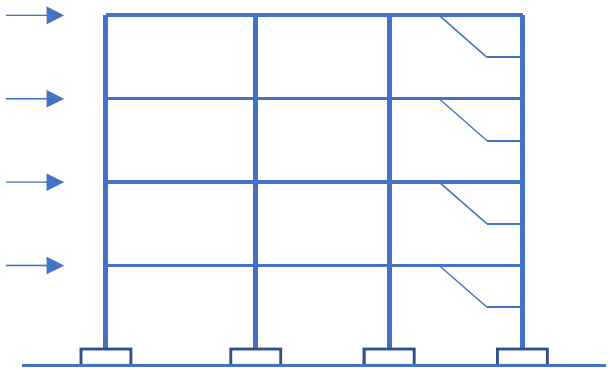


Se le luci delle campate di trave sono molto diverse tra loro i momenti flettenti saranno molto differenti nelle diverse campate

Non uniforme

# Uniformità

Esempio (per forze orizzontali)



In presenza di travi a ginocchio la metà di un pilastro è impedita di spostarsi

La rigidezza della restante metà è molto più grande di quella degli altri pilastri

Non uniforme

# 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**

Va bene

# Simmetria

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

Va bene

**In mancanza di questo bilanciamento:**

- Le sollecitazioni e gli spostamenti delle parti estreme sono molto maggiori rispetto a quello dei punti centrali
- Nei pilastri nasce una pressoflessione deviata molto rilevante

Non va bene

# 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**

# Iperstaticità

1994 – Northridge

1999 – Turchia

Mancanza di iperstaticità ⇨ La crisi dei pochi elementi resistenti porta rapidamente al collasso

# 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**

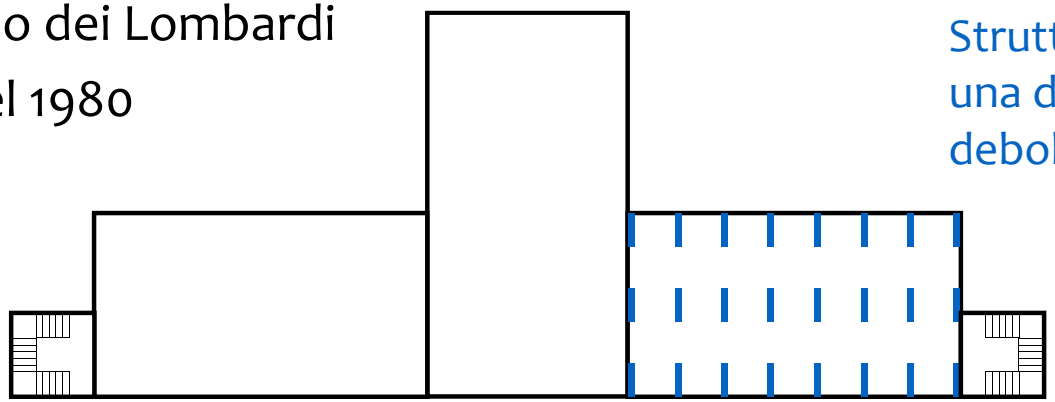
**Forti differenze di rigidezza possono rendere rilevanti aspetti in genere trascurabili**

# Resistenza e rigidezza bi-direzionale

Ospedale di S. Angelo dei Lombardi

Crollato col sisma del 1980

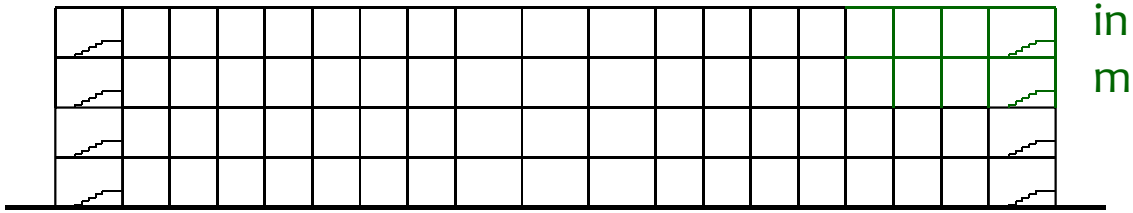
PIANTA



Struttura rigida in una direzione, debole nell'altra

Corpo scala non conteggiato nel calcolo

PROSPETTO

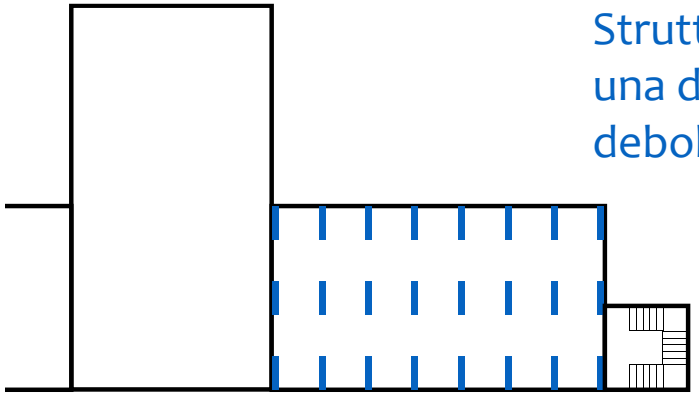


Parte costruita in un secondo momento

# 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

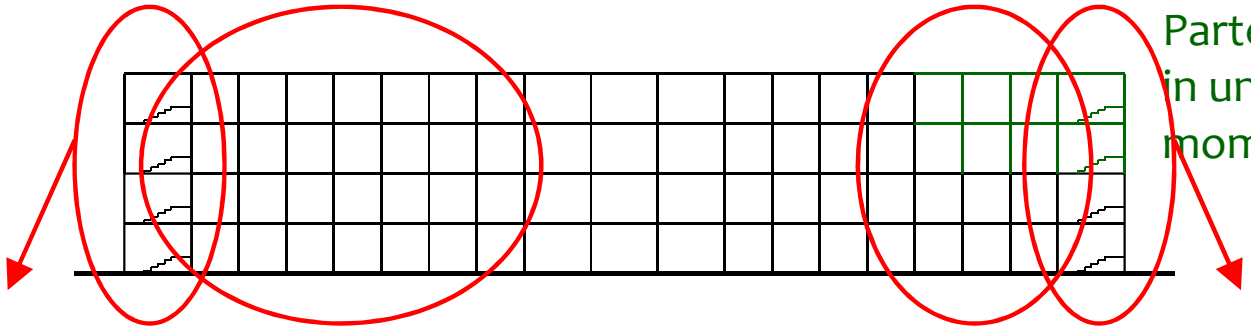
Nel crollo, la scala ha trascinato verso il basso tutto l'edificio



Struttura rigida in una direzione, debole nell'altra

Corpo scala non conteggiato nel calcolo

PROSPETTO

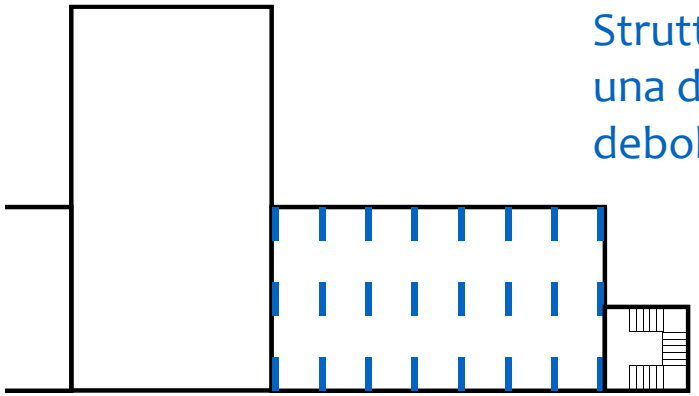


Parte costruita in un secondo momento

# Resistenza e rigidezza bi-direzionale

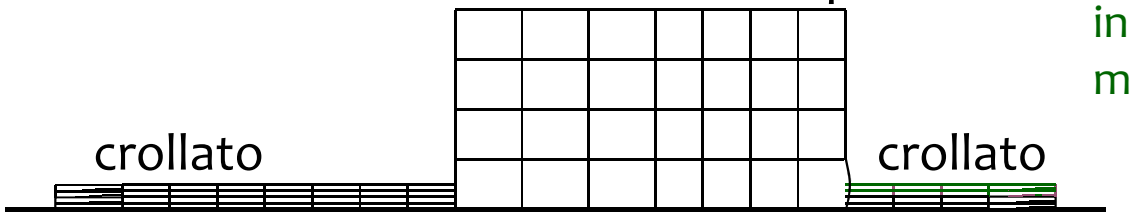
La zona scala, non conteggiata nel calcolo, era più rigida (in dir. x) della struttura e quindi ha subito sollecitazioni molto forti ed ha innescato il crollo

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



Struttura rigida in una direzione, debole nell'altra

Corpo scala non conteggiato nel calcolo




Parte costruita in un secondo momento

PROSPETTO

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

## Resistenza e rigidezza torsionale

=

Adeguata 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

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

## 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

FONDAZIONE INGEGNERI ASCOLI PICENO

# Adeguata 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 e normativa

**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**

**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 sovraresistenza, 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)

- **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

NTC08, punto 7.2.2

NTC18, punto 7.2.1

- **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

NTC08, punto 7.2.2

NTC18, punto 7.2.1

- **In particolare:**

- le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%

- la rigidezza r vrastante più del 30% e no

- il rapporto t enerico orizzontame rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente

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

NTC08, punto 7.2.2 NTC18, punto 7.2.1 EC8, punto 4.2.3.3

- **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

NTC08, punto 7.2.2

NTC18, punto 7.2.1

- **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 rapport … gni orizzonta
- Ciascun c … anto maggiore … turali verticali

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

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

NTC08, punto 7.2.2

NTC18, punto 7.2.1

**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

**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 sovraresistenza 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

**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

- **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

**Indipendentemente dalle prescrizioni della normativa, il progettista deve sempre cercare di realizzare una costruzione regolare in pianta e regolare in altezza, conformemente a queste indicazioni:**

- **Regolare in pianta**

  È regolare in pianta una costruzione che ha un comportamento bilanciato, cioè che per effetto del sisma trasla con rotazioni nulle o minime, e che ha una adeguata rigidezza rotazionale

- **Regolare in altezza**

  È regolare in altezza una costruzione con una tipologia strutturale che si estende a tutti i piani e che ha una distribuzione delle masse e delle rigidezze con valori che non cambiano eccessivamente da piano a piano e soprattutto con valori delle resistenze che non si discostano in maniera disuniforme da quelli strettamente necessari