

Ordine degli Ingegneri di Catanzaro

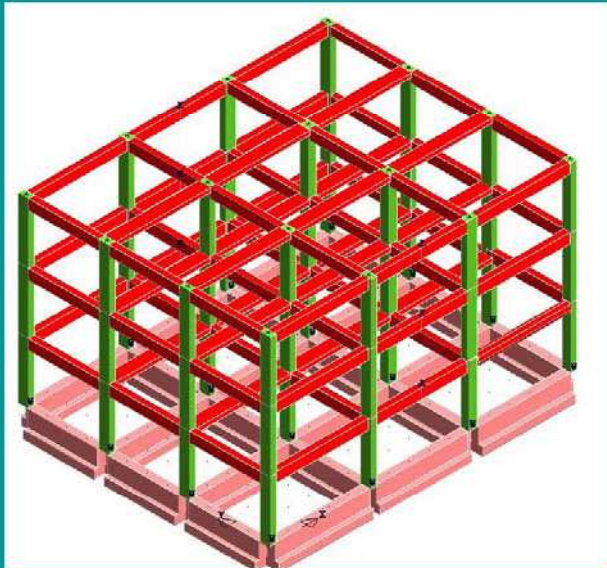
# ***GERARCHIA DELLE RESISTENZE***

Prof. Ing. Camillo Nuti – Università Roma Tre

## ***D.M. 14 Gennaio 2008***

- Fattore di struttura
- Duttilità strutturale
- Criterio della gerarchia delle resistenze

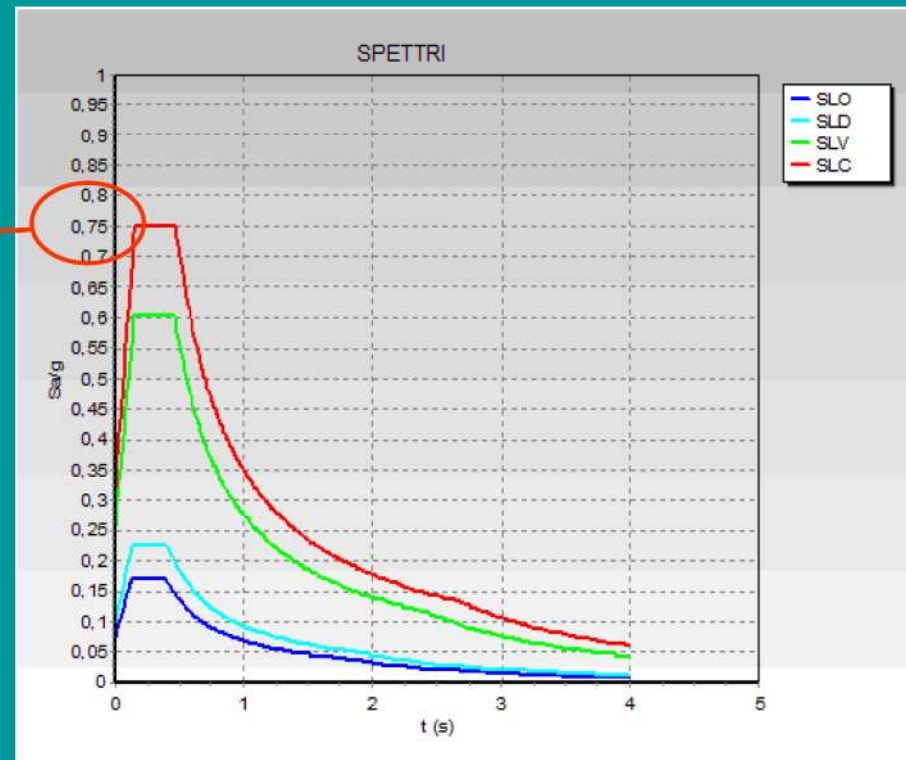
# FATTORE DI STRUTTURA



# Spettri per le verifiche agli S.L.

Le accelerazioni al suolo degli spettri di progetto previsti dal D.M. '08 hanno valori particolarmente elevati

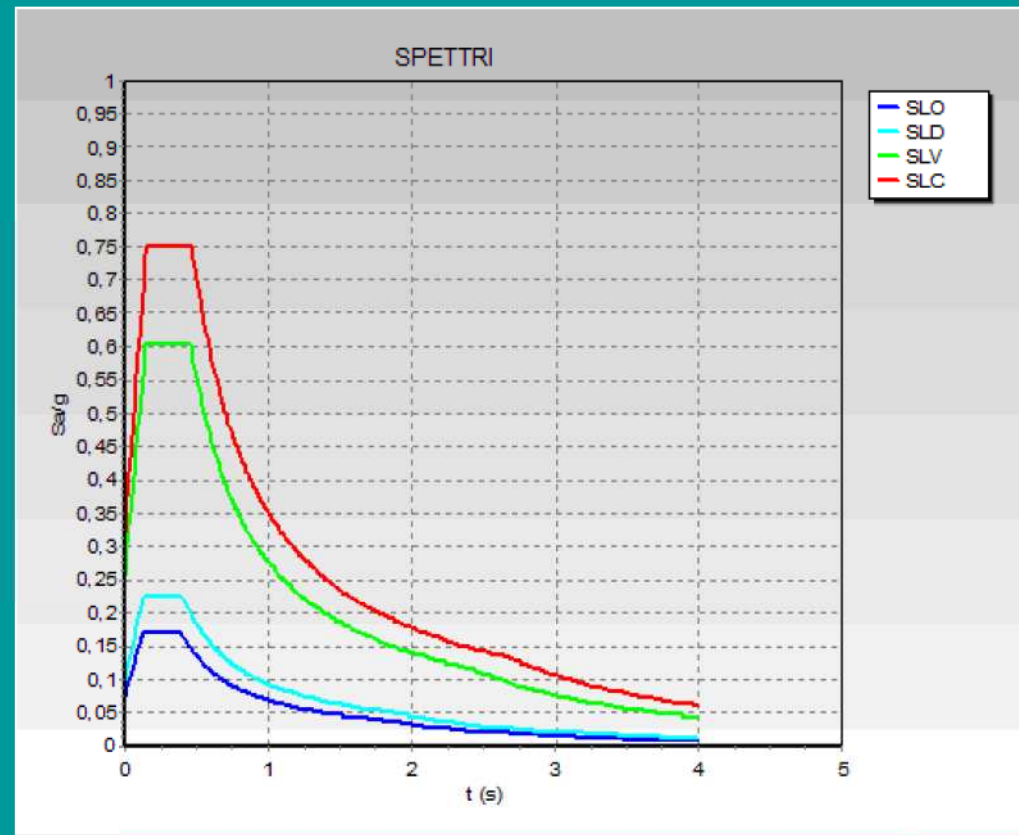
$$a_g \square 0.75 \cdot g = 7.35 \left[ m/s^2 \right]$$



# Spettri per le verifiche agli S.L.

Gli spettri di progetto saranno differenti per i diversi tipi di stato limite (S.L.) da verificare

Si utilizzano sismi più severi (maggiori periodi di ritorno e minore probabilità di essere superati) per gli stati limite più rischiosi



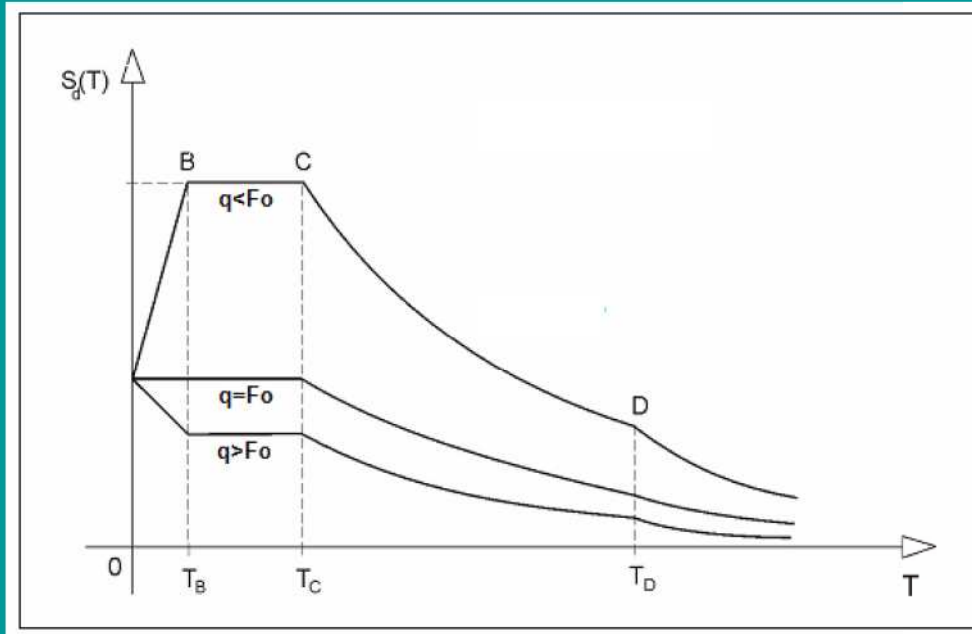
# *Spettri per le verifiche agli S.L.*

Gli spettri di progetto saranno differenti per i diversi tipi di stato limite (S.L.) da verificare

Si utilizzano sismi più severi (maggiori periodi di ritorno e minore probabilità di essere superati) per gli stati limite più rischiosi

**La normativa consente una riduzione delle ordinate spettrali per le verifiche S.L.U.**  
per tener conto della non linearità strutturale

# Spettri per le verifiche agli S.L.U.



Rispetto alle formule relative allo spettro elastico, si sostituisce  $\eta$  con  $1/q$

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_o} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

# Spettri per le verifiche agli S.L.U.



$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

La riduzione delle ordinate spettrali per i sismi più severi è legata al comportamento non lineare delle strutture e più in particolare alla **Duttilità Strutturale**

**q = Fattore di struttura**

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

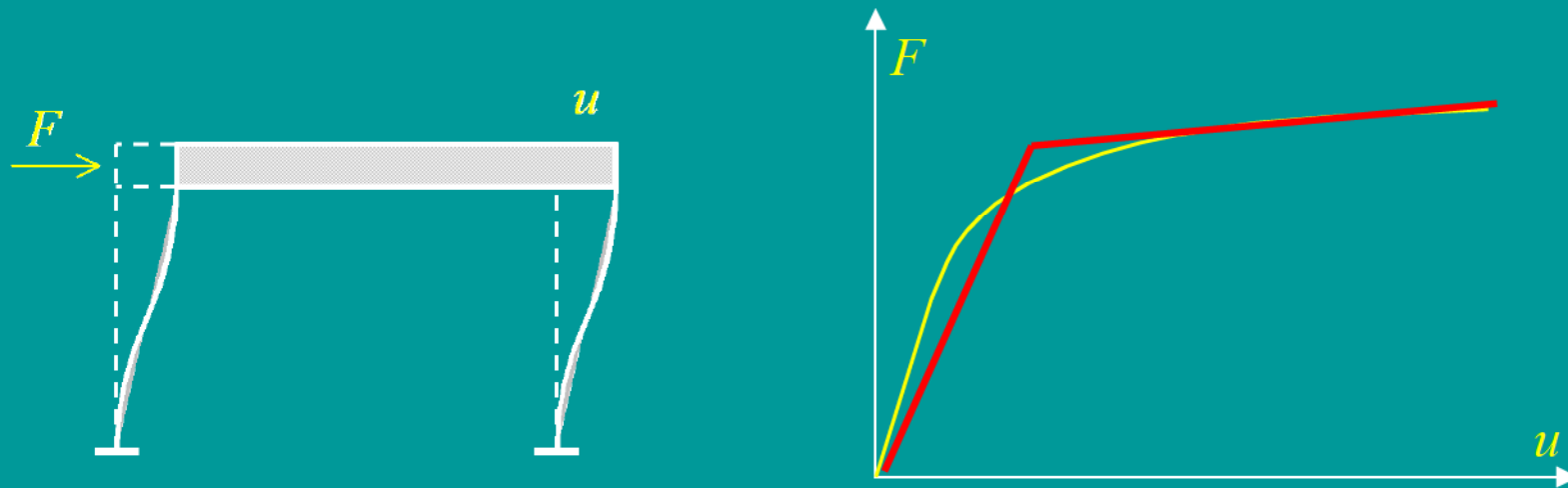
$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



# Duttilità strutturale

Il comportamento dei sistemi strutturali reali soggetti a sisma intenso è sempre non lineare



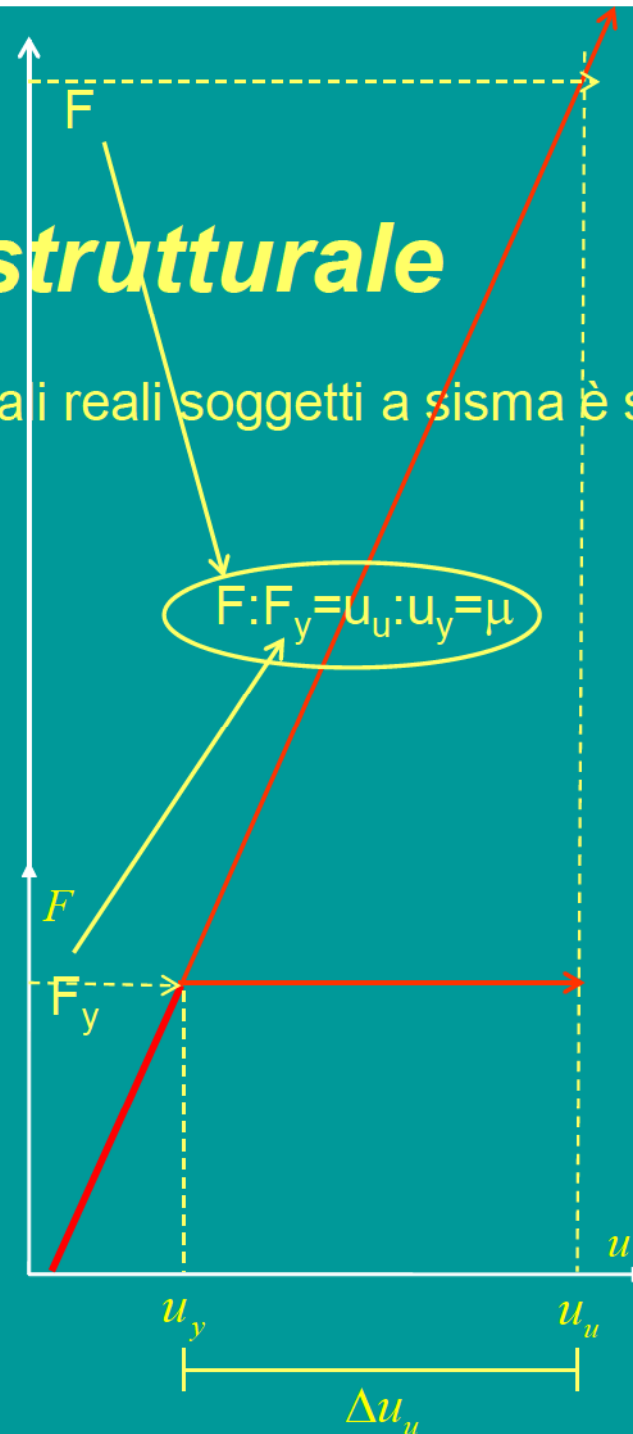
Il legame è in genere rappresentato con un modello equivalente, elastico-perfettamente plastico oppure elasto-plastico incrudente

# Duttilità strutturale

Il comportamento dei sistemi strutturali reali soggetti a sisma è sempre non lineare

$$\mu = \frac{u_u}{u_y} = 1 + \frac{\Delta u_u}{u_y}$$

**Duttilità** = capacità del sistema di deformarsi oltre il limite elastico senza sostanziali riduzioni della resistenza



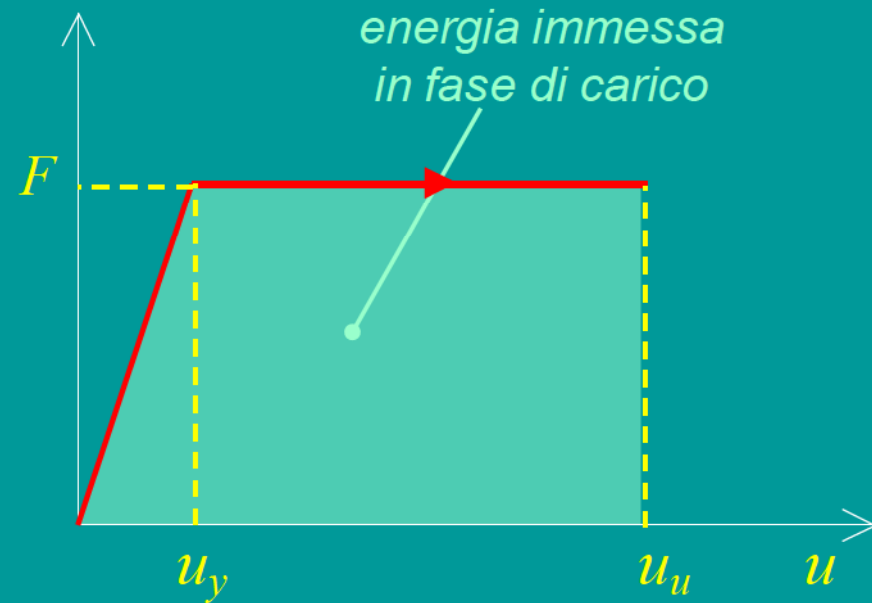
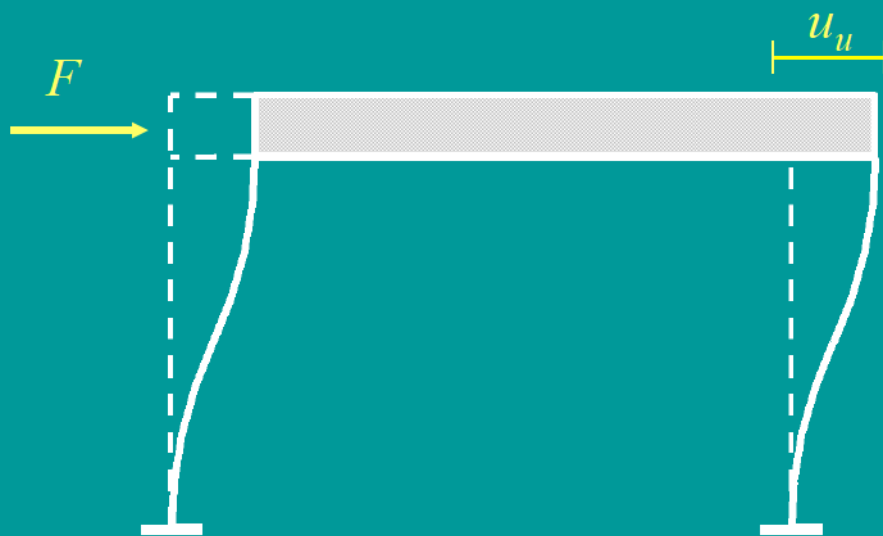
# *Duttilità strutturale*

Misura la capacità di dissipare energia



# Duttilità strutturale

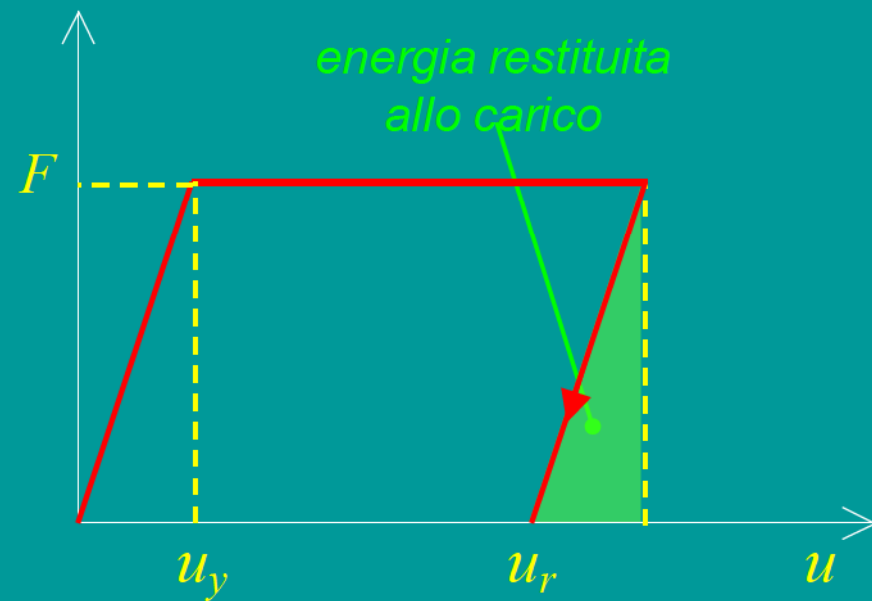
Misura la capacità di dissipare energia



Fase di carico

# Duttilità strutturale

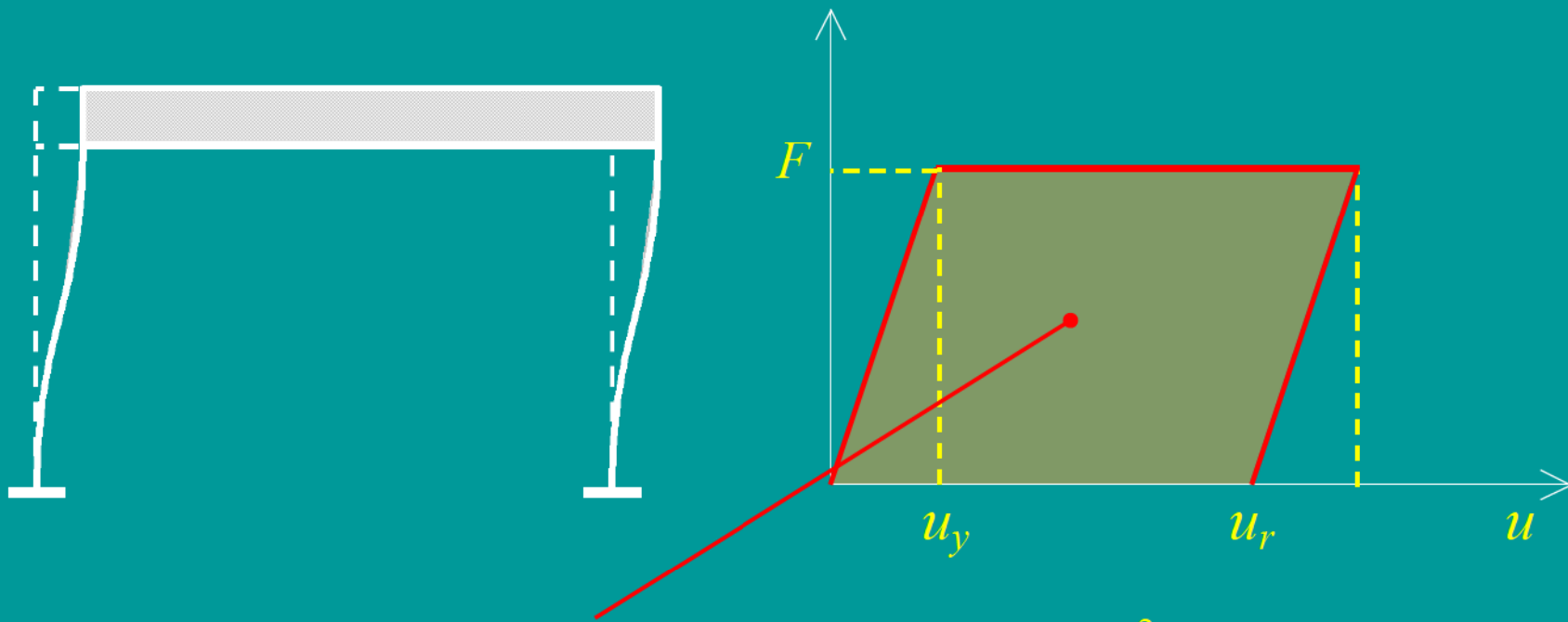
Misura la capacità di dissipare energia



Fase di scarico

# Duttilità strutturale

Misura la capacità di dissipare energia

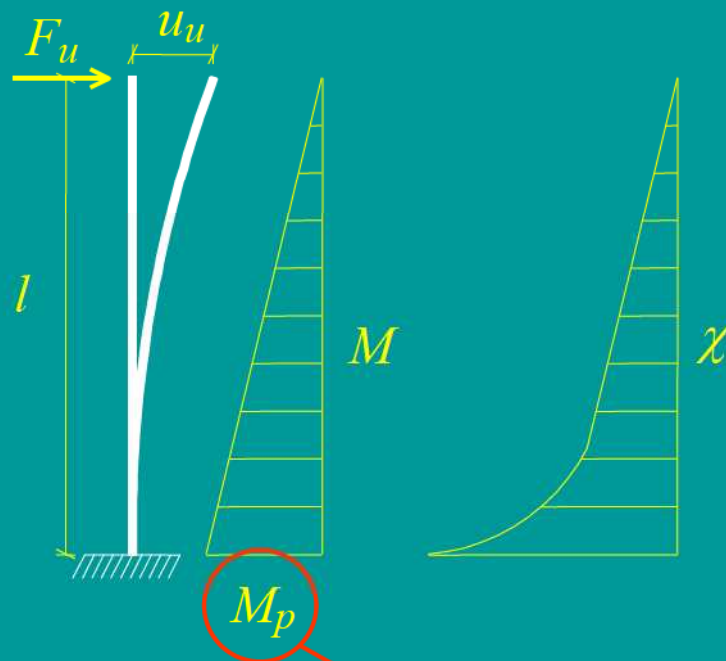


energia dissipata nel processo  
di carico e scarico ( $E_w$ )

$$E_w = \frac{F_y^2}{k} (\mu_u - 1)$$

# Duttilità strutturale

Le analisi non lineari di travi e pilastri fanno utile riferimento al concetto di **cerniera plastica**

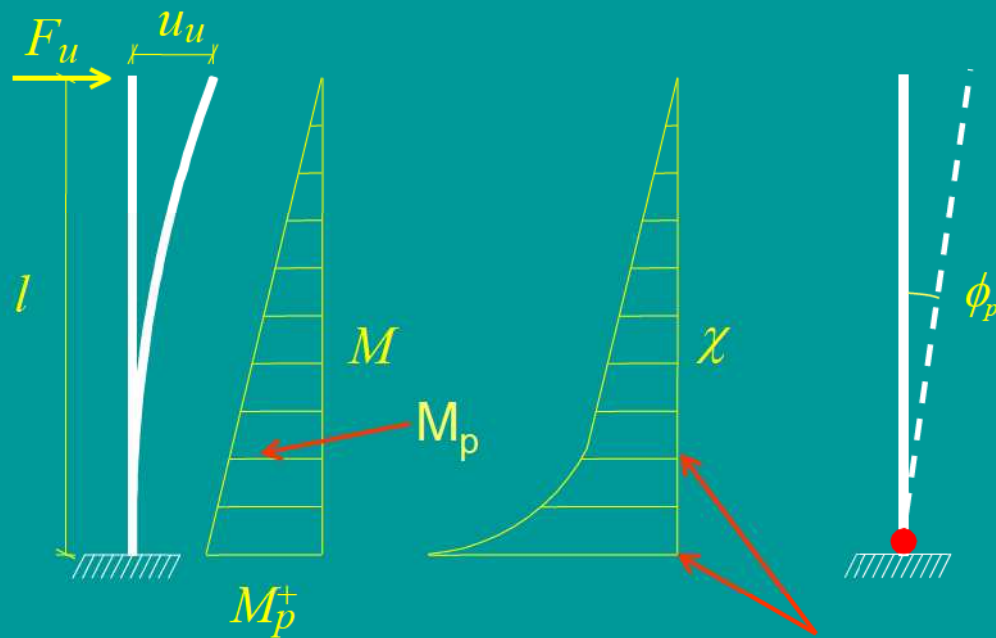


$M_p$  Momento plastico

Momento di completa  
plasticizzazione della sezione

# Duttilità strutturale

Le analisi non lineari sono usualmente condotte sulla base del concetto di **cerniera plastica**



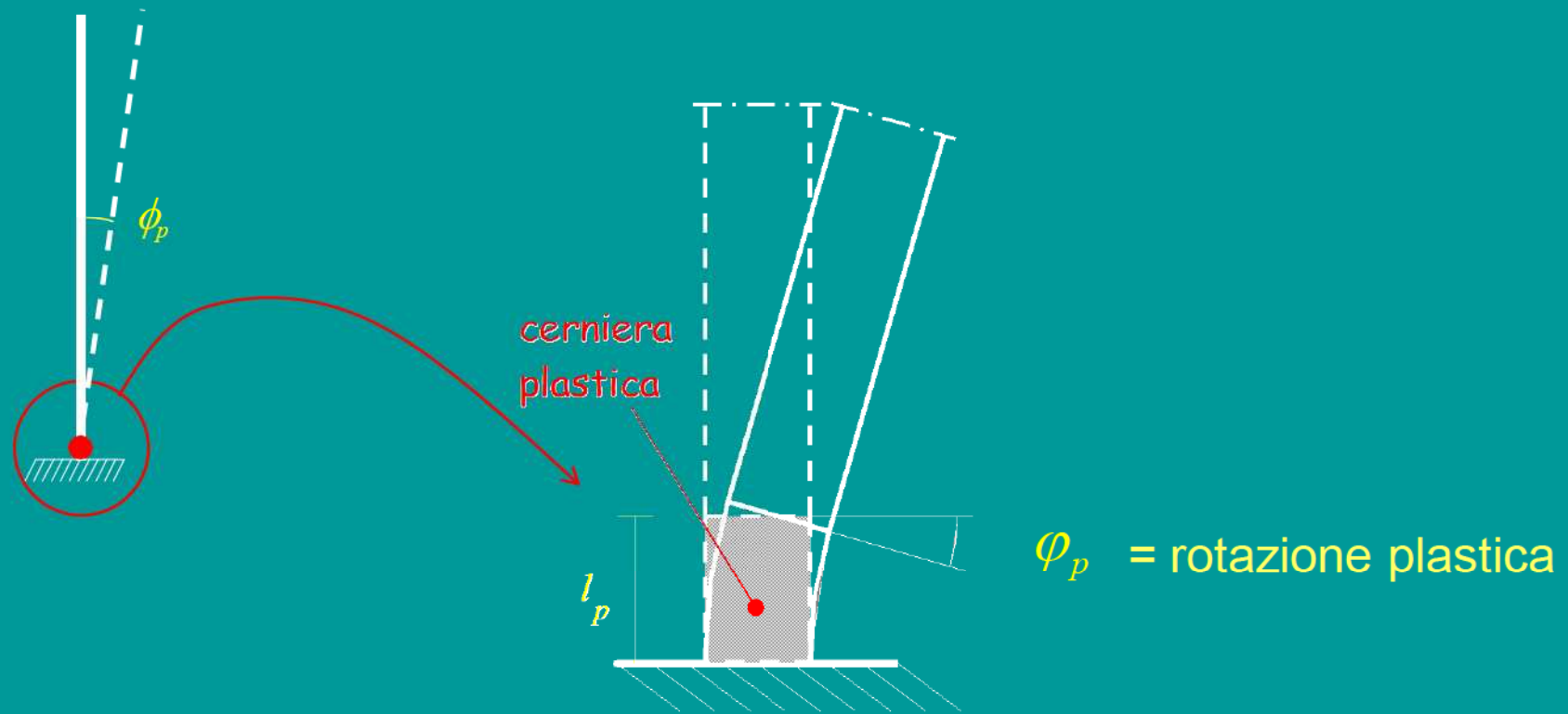
Schema di calcolo

Zona ove si estende la plasticizzazione per effetto dell'incrudimento dell'acciaio



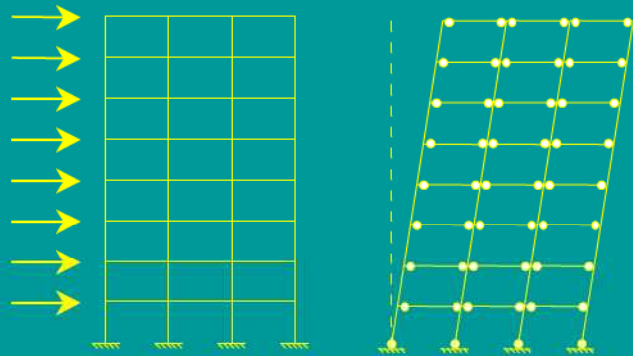
# Duttilità strutturale

## Cerniera plastica

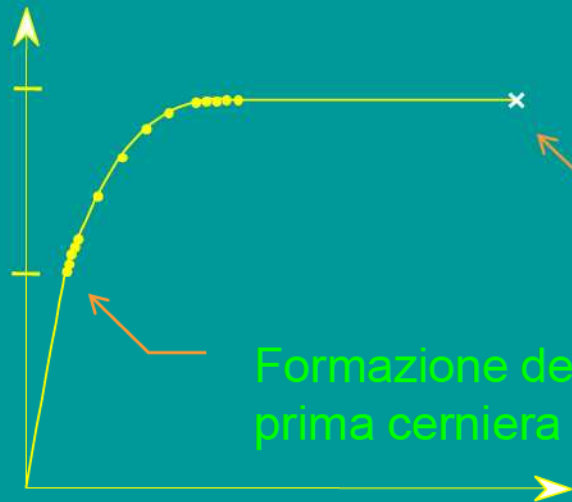


# Duttilità strutturale

Si possono avere diversi tipi di cinematismi al collasso

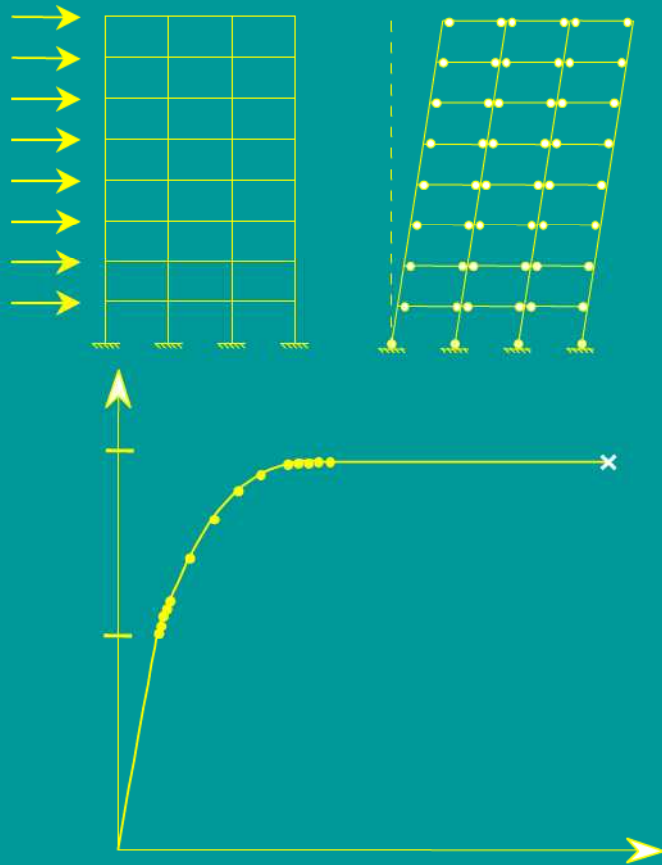


Collasso globale



# Duttilità strutturale

Si possono avere diversi tipi di cinematismi al collasso



## Collasso globale

Buon incremento della forza da prima plasticizzazione a collasso

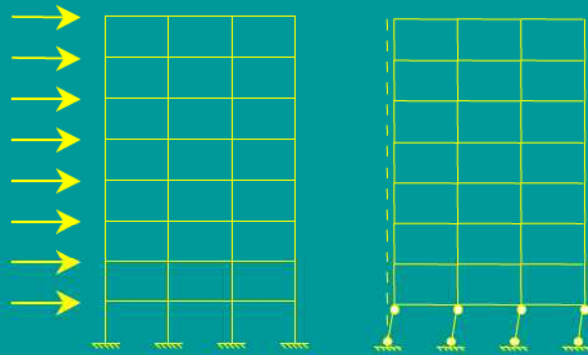
Forti spostamenti a collasso = elevata duttilità globale

Elevato numero di cerniere plastiche = elevata dissipazione di energia

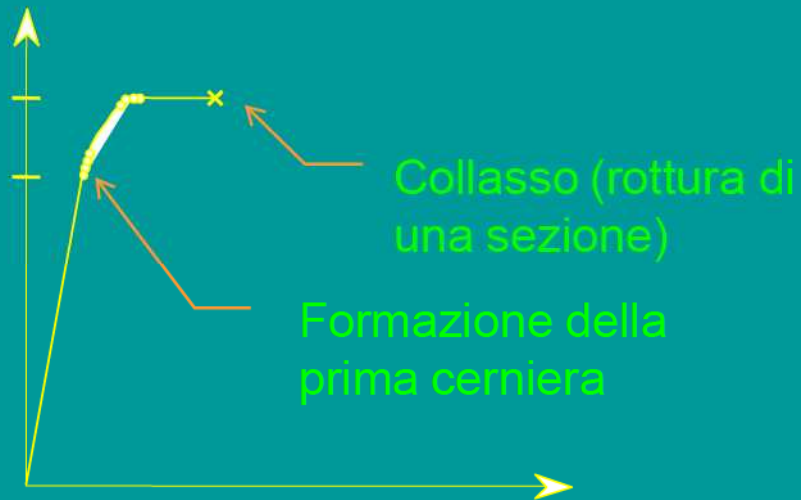
Cerniere plastiche principalmente sulle travi

# Duttilità strutturale

Si possono avere diversi tipi di cinematismi al collasso

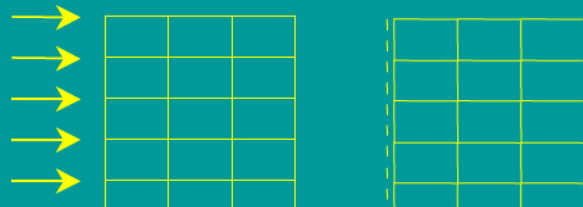


Collasso di piano



# Duttilità strutturale

Si possono avere diversi tipi di cinematismi al collasso

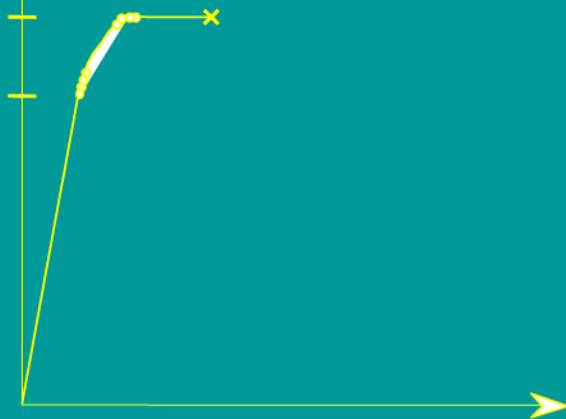


## Collasso di piano

Basso incremento della forza da  
prima plasticizzazione a collasso

per avere alta duttilità occorre un collasso globale  
**criterio della gerarchia delle resistenze**

Alta duttilità globale



Ridotto numero di cerniere  
plastiche = bassa dissipazione di  
energia

Cerniere plastiche sui pilastri

# ***Criterio della gerarchia delle resistenze***

La finalità del criterio della gerarchia delle resistenze è di progettare gli elementi strutturali in modo che le modalità di crisi ad elevata duttilità si manifestino prima (con sollecitazioni minori) di quelle a bassa duttilità (crisi fragili)

Crisi per taglio

meno duttile di

Crisi per flessione

Crisi per flessione composta

meno duttile di

Crisi per flessione semplice

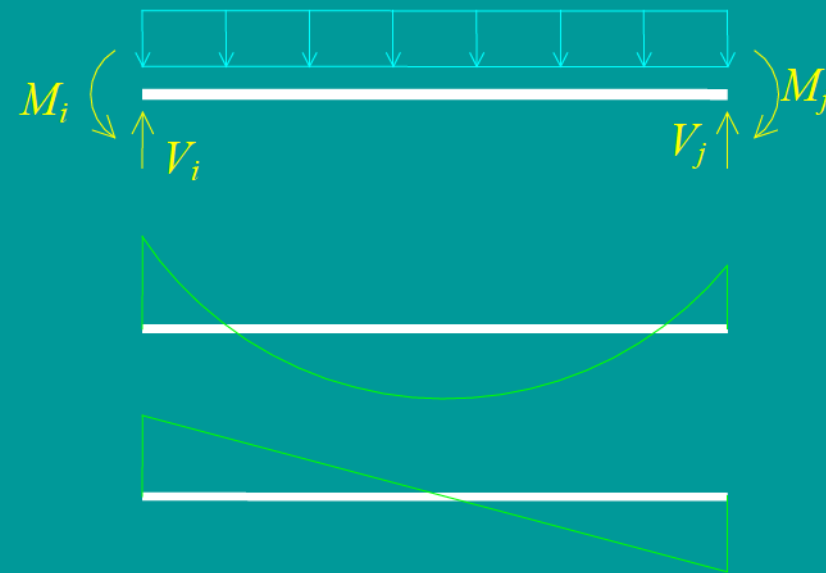
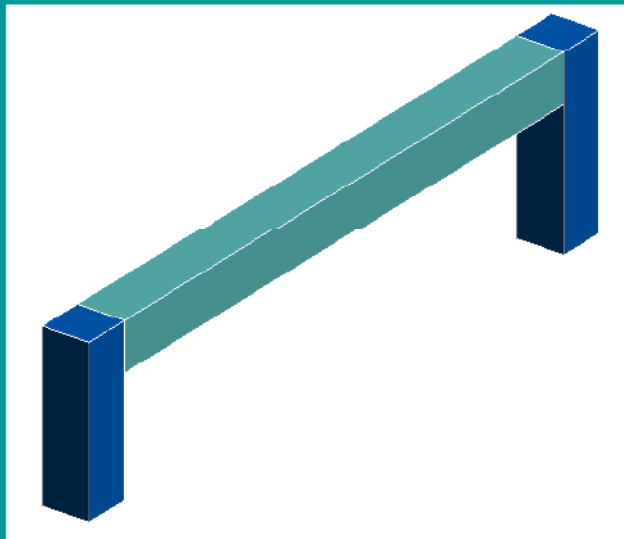
Crisi in fondazione

Talvolta critica

Per ottenere tale effetto gli elementi strutturali sono quasi sempre progettati con sollecitazioni differenti (maggiori) di quelle derivanti dal calcolo strutturale

# Criterio della gerarchia delle resistenze

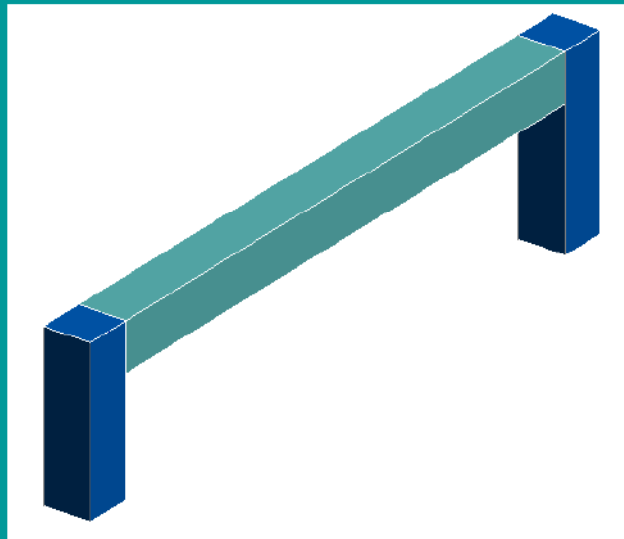
## Verifica a taglio delle travi



Al crescere delle azioni esterne le cerniere plastiche agli estremi devono formarsi prima che si manifesti la crisi per taglio (fragile)

# Criterio della gerarchia delle resistenze

## Verifica a taglio delle travi



La trave sarà dimensionata non con il taglio sollecitante  $V_{Sd}$  ma con

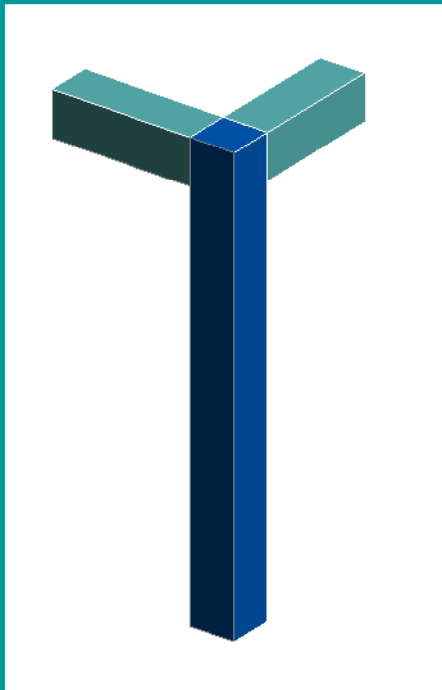
$$V_{Ed} = V_{agente} + \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{b,Rd}^1 + M_{b,Rd}^2}{l_t}$$

Garantisce che le cerniere plastiche si formi prima che si manifesti la crisi per taglio



# *Criterio della gerarchia delle resistenze*

Verifica a flessione dei pilastri

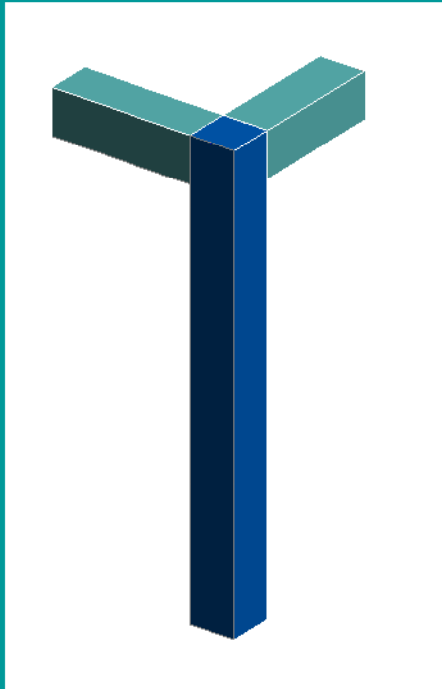


$$\sum M_{C,Rd} \geq \gamma_{Rd} \cdot \sum M_{b,Rd}$$

Garantisce che la cerniera plastica si formi nelle travi e non nei pilastri

# Criterio della gerarchia delle resistenze

Verifica a taglio dei pilastri

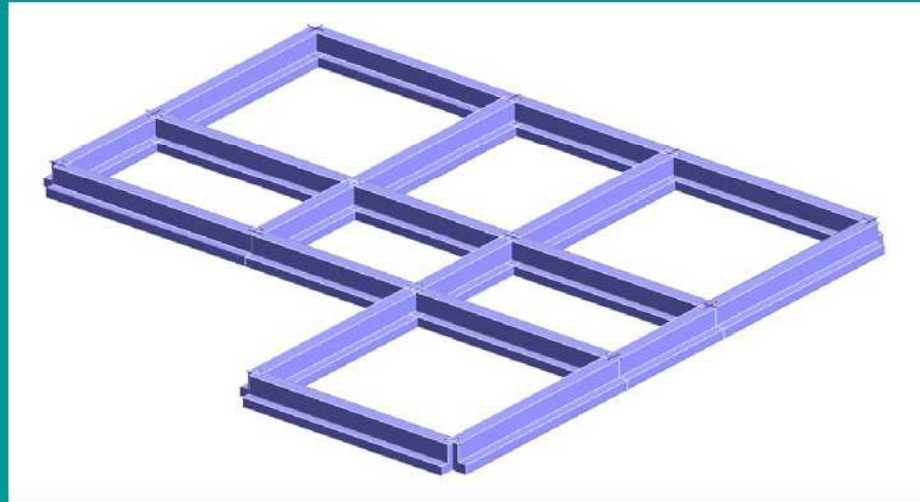


$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{C,Rd}^s + M_{C,Rd}^i}{l_p}$$

Garantisce che le cerniere plastiche si formi prima che si manifesti la crisi per taglio

# *Criterio della gerarchia delle resistenze*

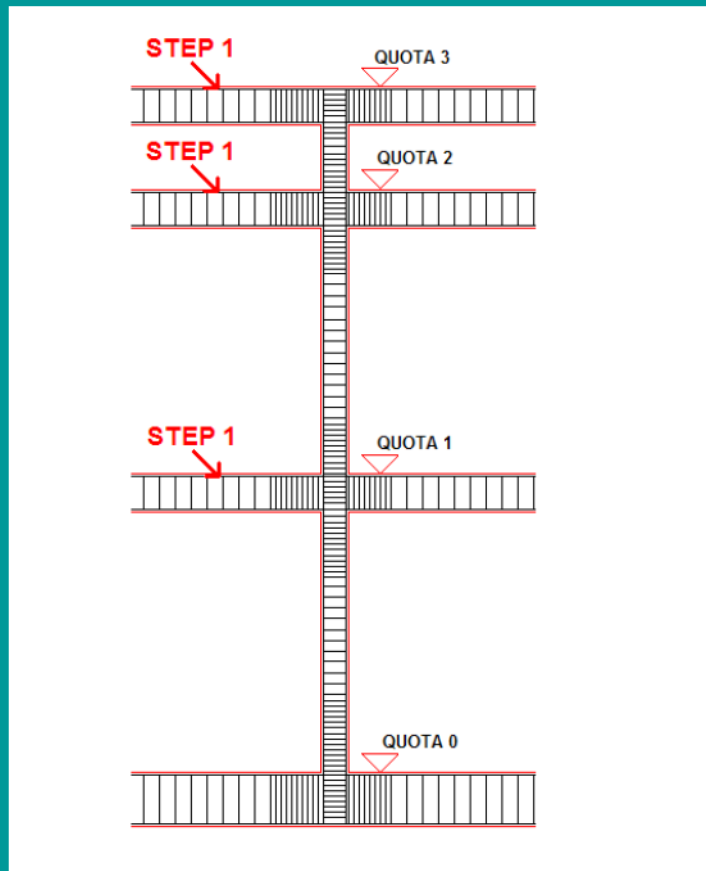
## Verifica travi di fondazione



Gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante, devono restare in campo elastico <sup>(1)</sup>, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante.

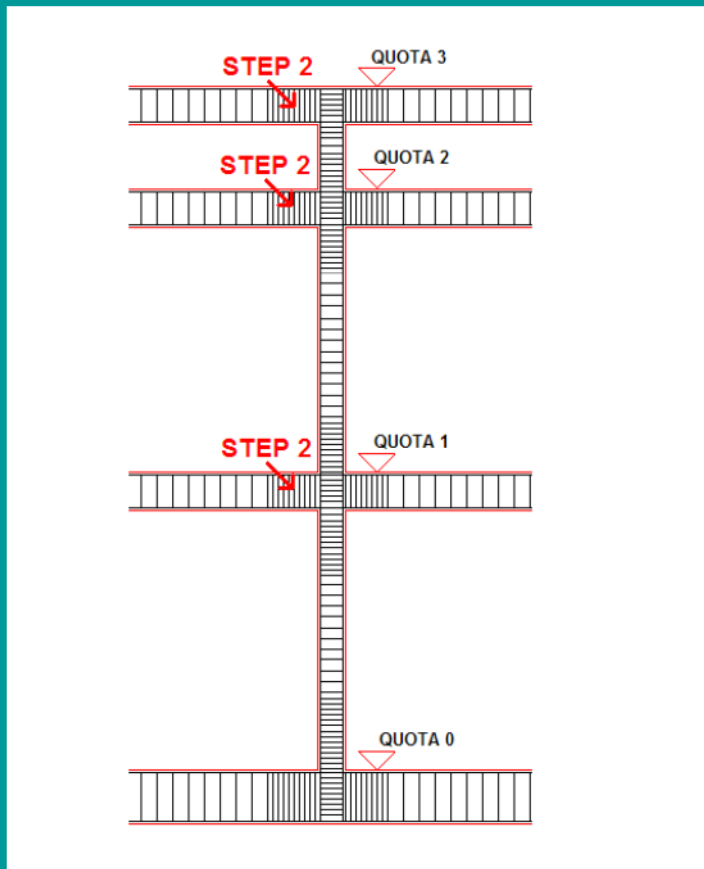
<sup>(1)</sup>Su tale assunzione di progetto si dibatte

# Criterio della gerarchia delle resistenze



**1)** Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione

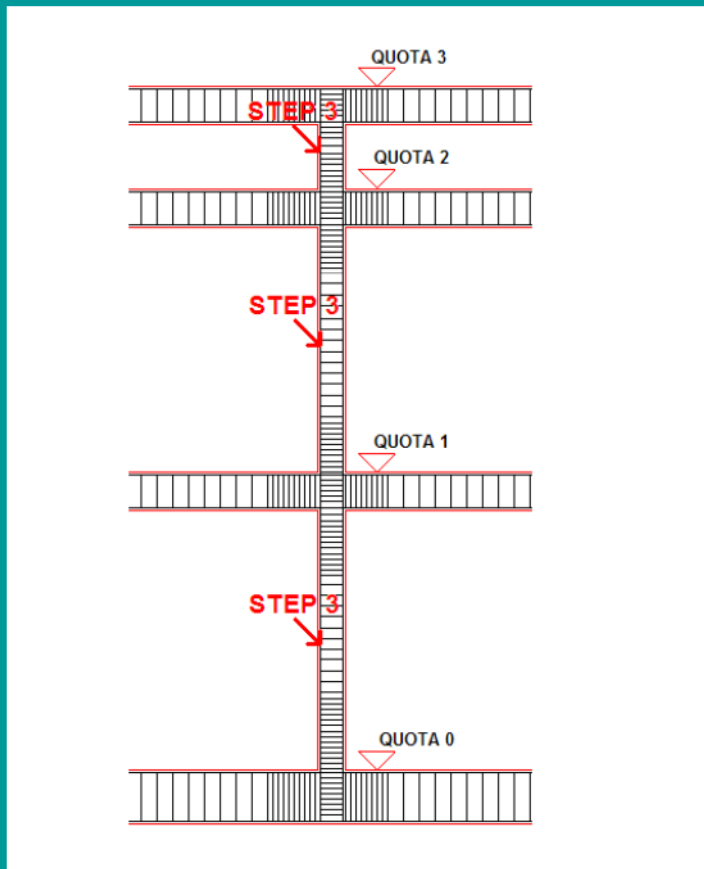
# Criterio della gerarchia delle resistenze



1) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione

2) Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di elevazione

# Criterio della gerarchia delle resistenze

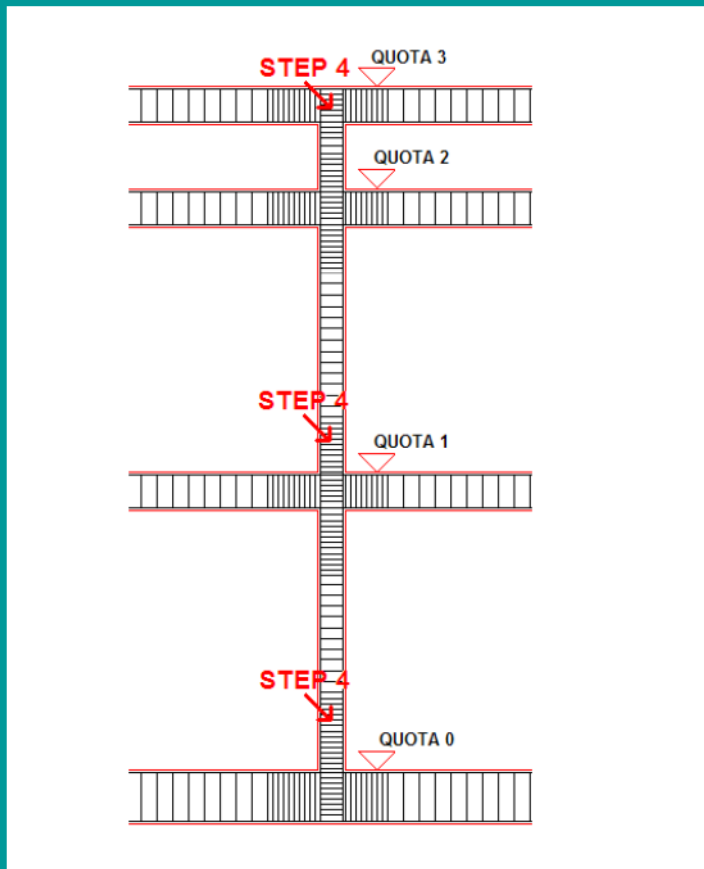


1) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione

2) Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di elevazione

**3)** Calcolo dell'armatura longitudinale dei pilastri

# Criterio della gerarchia delle resistenze



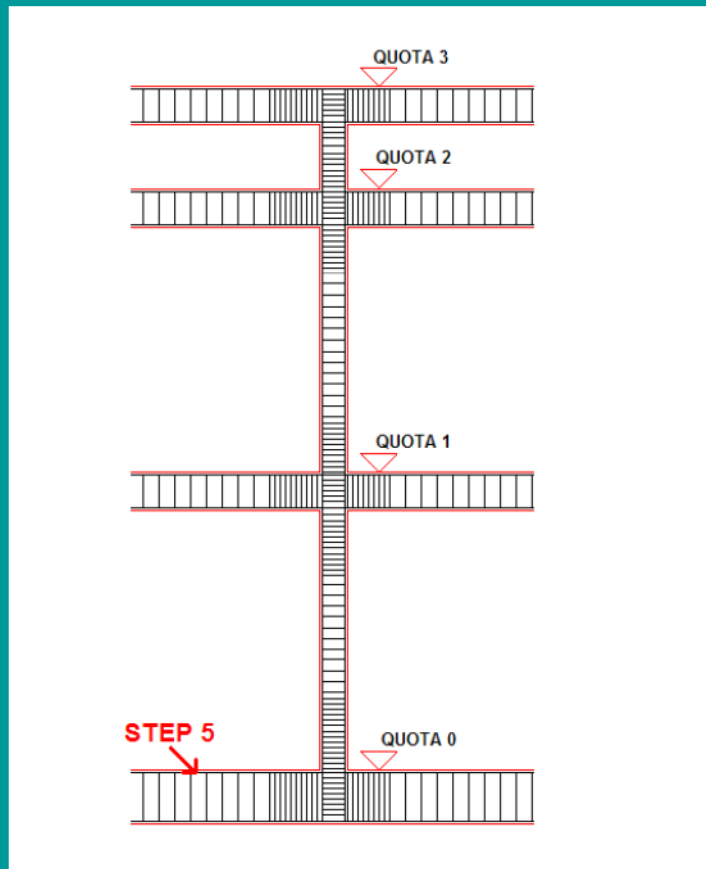
1) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione

2) Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di elevazione

3) Calcolo dell'armatura longitudinale dei pilastri

4) Calcolo dell'armatura a taglio dei pilastri

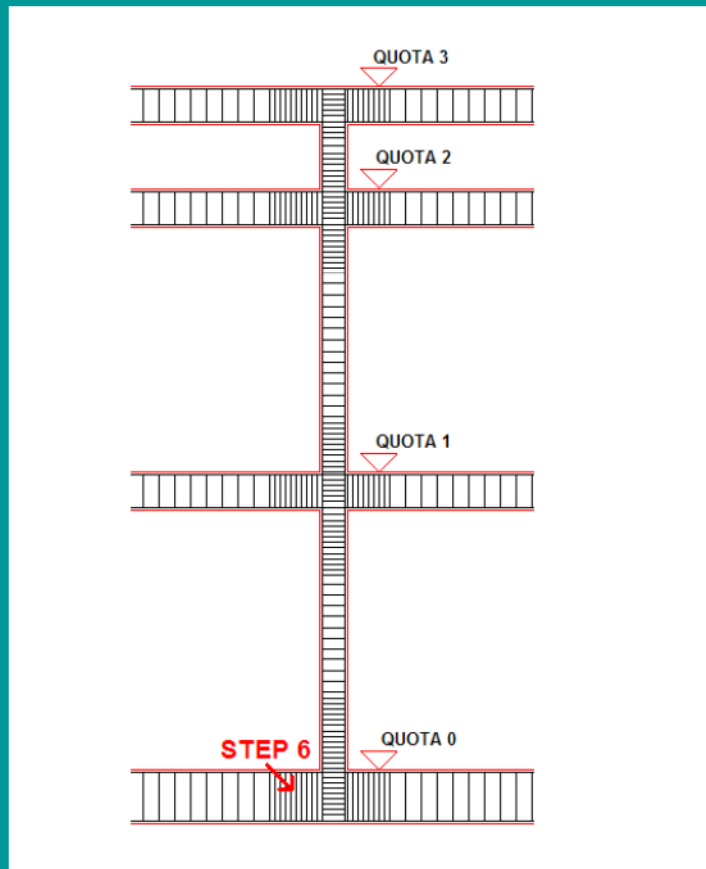
# Criterio della gerarchia delle resistenze



- 1) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione
- 2) Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di elevazione
- 3) Calcolo dell'armatura longitudinale dei pilastri
- 4) Calcolo dell'armatura a taglio dei pilastri
- 5) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di fondazione



# Criterio della gerarchia delle resistenze



1) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di elevazione

2) Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di elevazione

3) Calcolo dell'armatura longitudinale dei pilastri

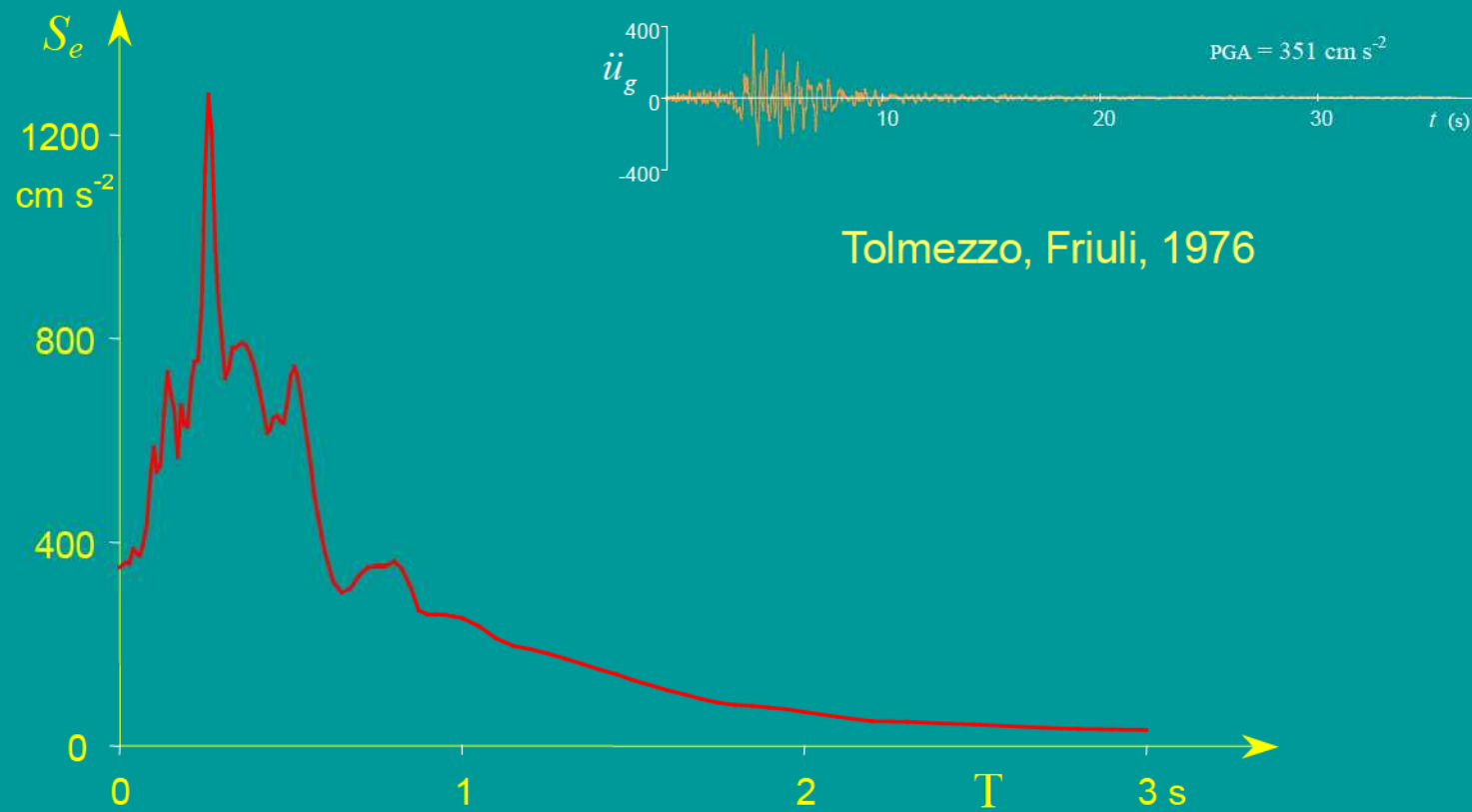
4) Calcolo dell'armatura a taglio dei pilastri

5) Calcolo dell'armatura longitudinale delle travi di fondazione

**6)** Calcolo dell'armatura a taglio delle travi di fondazione

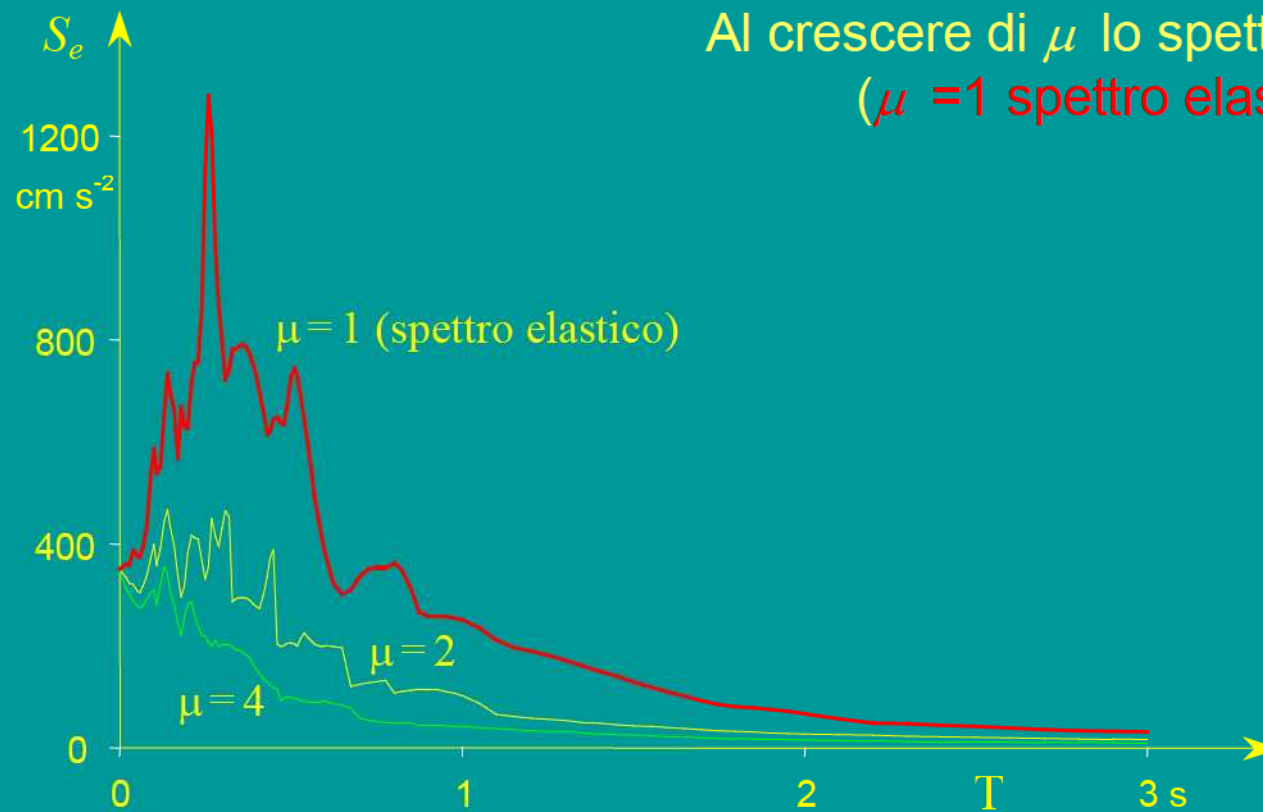
# Fattore di struttura

## Spettri di risposta non lineari



# Fattore di struttura

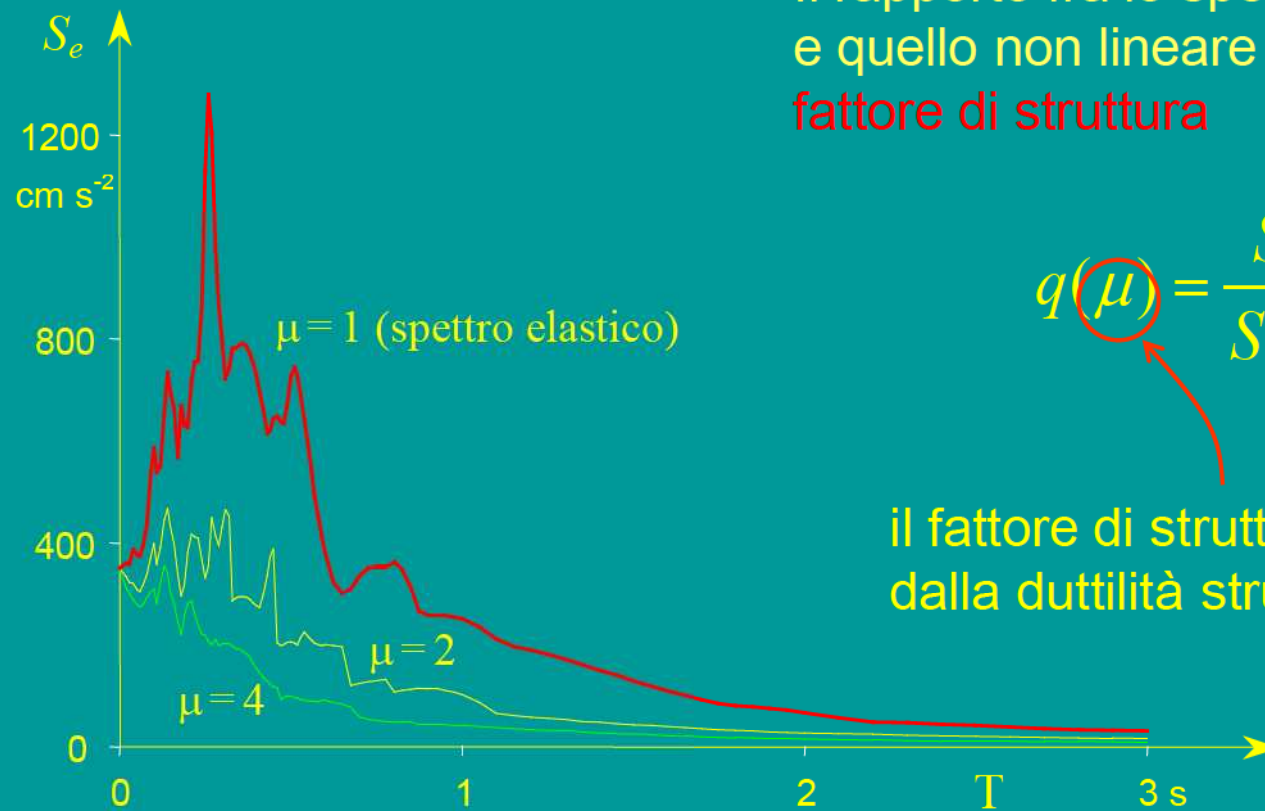
## Spettri di risposta non lineari



Al crescere di  $\mu$  lo spettro si riduce  
( $\mu = 1$  spettro elastico)

# Fattore di struttura

## Spettri di risposta non lineari



Il rapporto fra lo spettro elastico e quello non lineare è detto **fattore di struttura**

$$q(\mu) = \frac{S_e(T)}{S(T, \mu)}$$

il fattore di struttura dipende dalla duttilità strutturale

# Fattore di struttura

Fattore di struttura secondo il D.M. 14/01/2008

$$q = q_0 \cdot K_R$$

$q_0$  = parametro funzione della tipologia strutturale e del livello di duttilità attesa

Tipologia Strutturale	$q_0$	
	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3.0 \alpha_u/\alpha_1$	$4.5 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3.0	$4.0 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2.0	3.0
Strutture a pendolo inverso	1.5	2.0

Tipologia Edificio	$\alpha_u/\alpha_1$
<b>Strutture a telaio o miste equivalenti a telaio</b>	
Strutture a telaio di un piano	1.1
Strutture a telaio multipiano ad una campata	1.2
Strutture a telaio multipiano a più campate	1.3
<b>Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti</b>	
Strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale	1.0
Altre strutture a pareti non accoppiate	1.1
Strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti	1.2

# Fattore di struttura

Fattore di struttura secondo il D.M. 14/01/2008

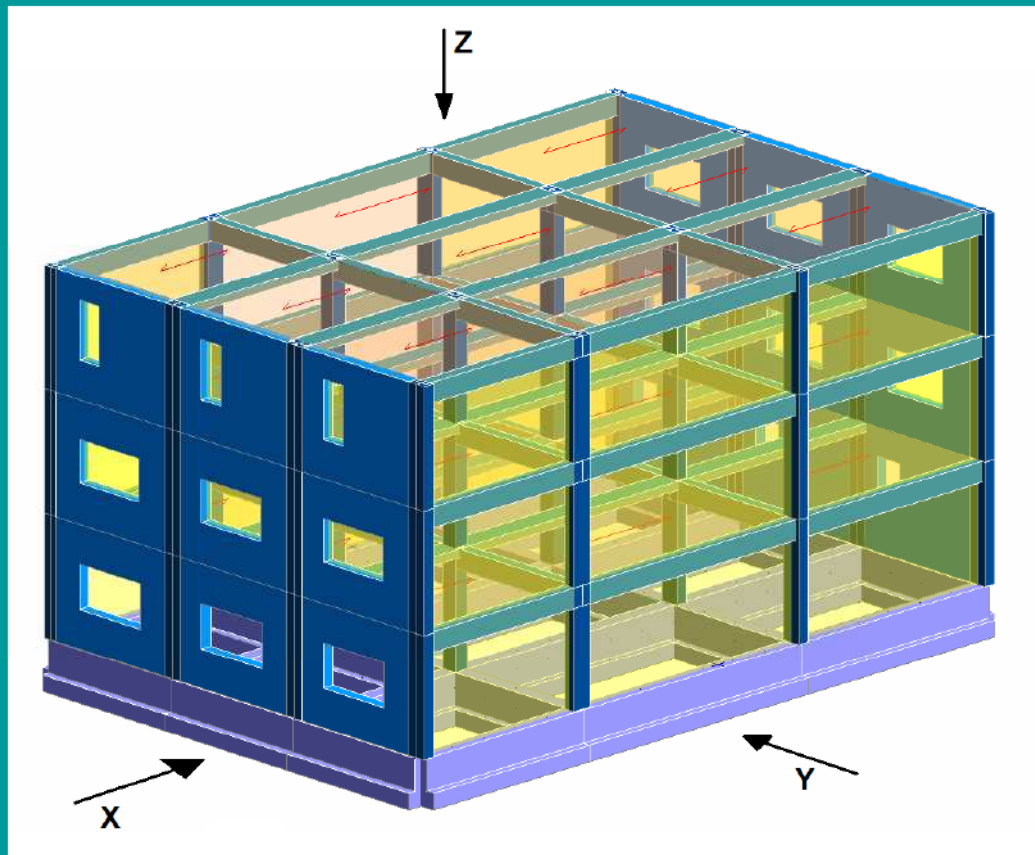
$$q = q_0 \cdot K_R$$

$K_R$  = parametro funzione della regolarità dell'edificio

$K_R$	Tipologia Strutturale
1.0	Edifici Regolari in Altezza
0.8	Edifici Non Regolari in Altezza

# Fattore di struttura

Fattore di struttura secondo il D.M. 14/01/2008



Si definisce un fattore di struttura per ogni direzione del sisma

$q_x$  – Fattore di struttura in direzione X

$q_y$  – Fattore di struttura in direzione Y

$q_z$  – Fattore di struttura in direzione Z = 1,5  
(per sisma verticale)