

## Dalla dinamica alla normativa sismica

Sistemi a un grado di libertà:  
studio del comportamento elasto-plastico

Catania, 9 marzo 2004

Aurelio Ghersi

È possibile progettare le strutture  
in modo che rimangano in campo elastico?

L'accelerazione massima del suolo, per terremoti con elevato periodo di ritorno, è molto forte (0.35 g in zone ad alta sismicità)

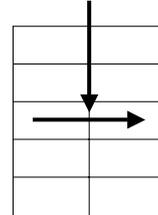
Per strutture con periodo medio-bassi si ha una notevole amplificazione dell'accelerazione, rispetto a quella del suolo (circa 2.5 volte)

Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal sisma) possono essere comparabili con le azioni verticali

## È possibile progettare le strutture in modo che rimangano in campo elastico?

Azioni orizzontali comparabili con le azioni verticali

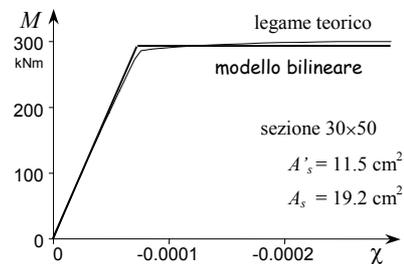
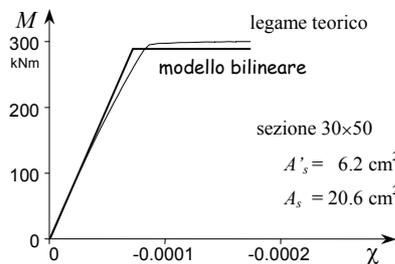
Le sollecitazioni provocate dalle azioni orizzontali sono molto forti



Non è economicamente conveniente progettare la struttura in modo che rimanga in campo elastico

## Comportamento oltre il limite elastico

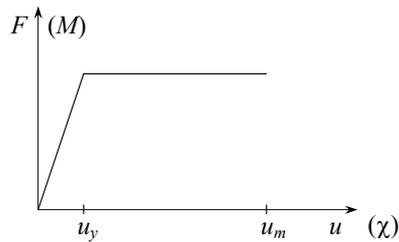
Occorre tener conto del comportamento non lineare delle singole sezioni



Il comportamento reale viene in genere rappresentato con un modello più semplice, bilineare (elastico-perfettamente plastico)

## Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

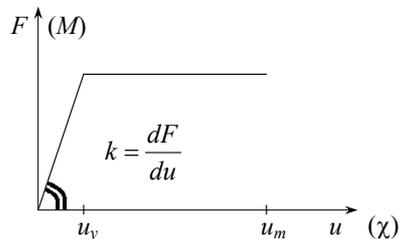


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

## Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



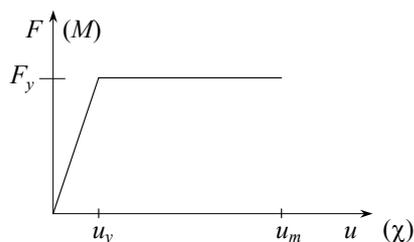
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

## Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



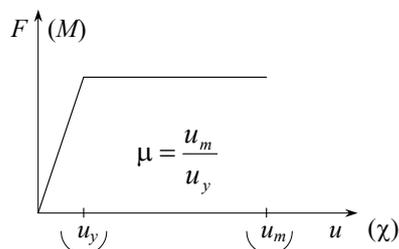
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

## Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



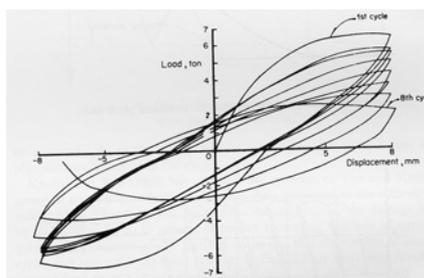
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

## Comportamento oltre il limite elastico

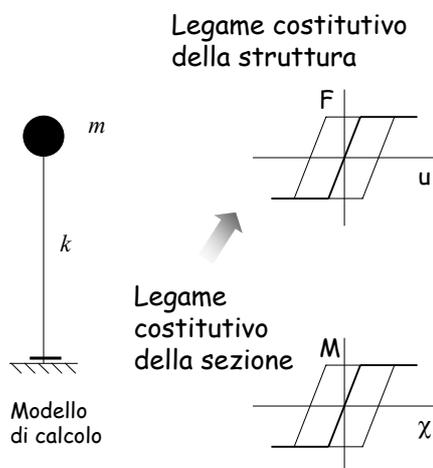
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidezza e resistenza



## Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico



Foto



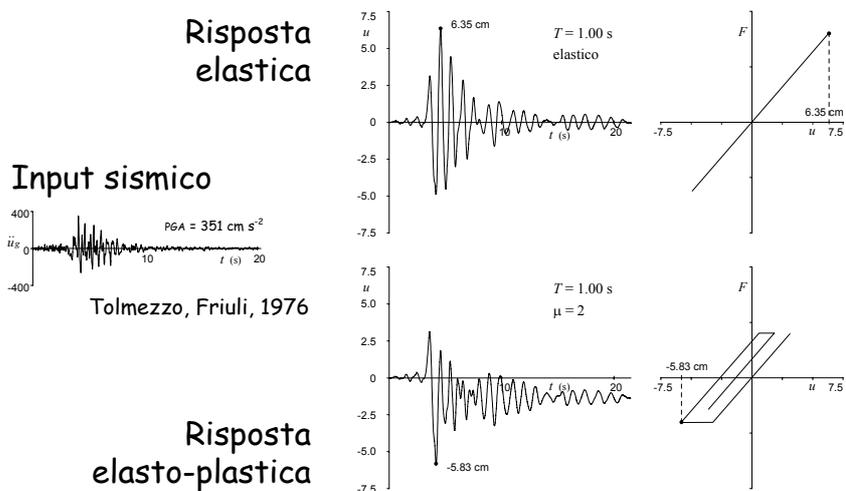
## Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

L'equazione del moto è formalmente la stessa, ma la rigidezza non è più una costante

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k(u) u = -m \ddot{u}_g$$

La risoluzione avviene per via numerica, in maniera analoga a quanto si fa per un oscillatore semplice elastico (ma con qualche complicazione in più)

## Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

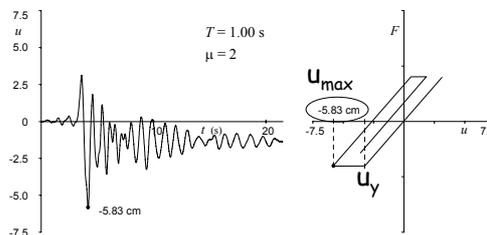


## Richiesta di duttilità

Il rapporto tra lo spostamento massimo  $u_{\max}$  ottenuto come risposta al sisma e lo spostamento  $u_y$  di plasticizzazione è la duttilità necessaria al sistema per non collassare (richiesta di duttilità)

In genere, abbassando la resistenza aumenta la richiesta di duttilità

Risposta elasto-plastica



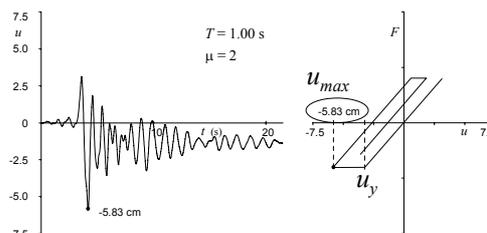
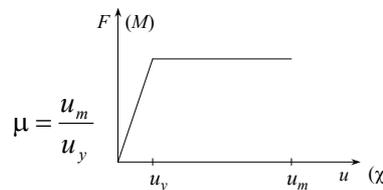
## Progettazione di strutture elasto-plastiche

È possibile progettare la struttura con una forza ridotta, accettando la sua plasticizzazione, purché la duttilità disponibile

sia maggiore di quella richiesta

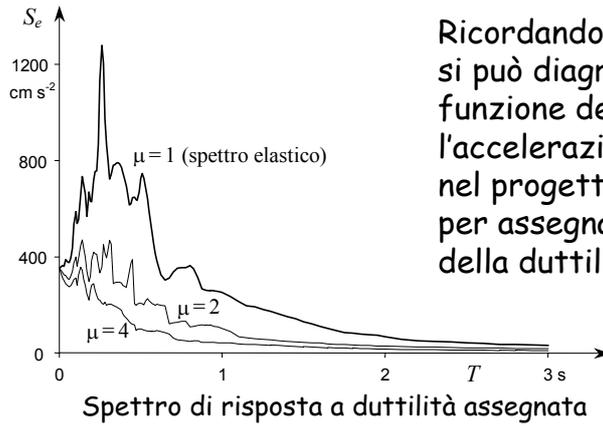
$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y}$$

Risposta elasto-plastica



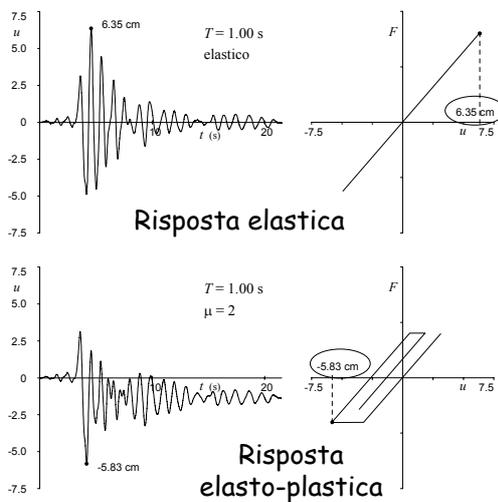
## Progettazione di strutture elasto-plastiche

La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta

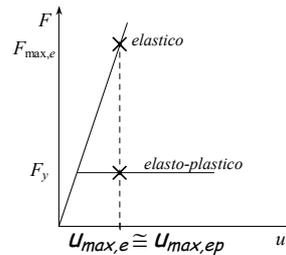


Ricordando che  $F = m a$ , si può diagrammare in funzione del periodo l'accelerazione da usare nel progetto, per assegnati valori della duttilità  $\mu$

## Progettazione di strutture elasto-plastiche



Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



## Progettazione di strutture elasto-plastiche

La forza di progetto  
può essere ottenuta  
dividendo

$F_d$

la forza necessaria  
per mantenere la  
struttura in campo  
elastico

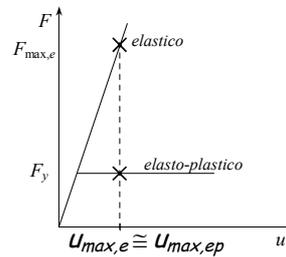
$F_{max,e}$

per la duttilità

$\mu$

$$F_d = F_y = \frac{F_{max,e}}{\mu}$$

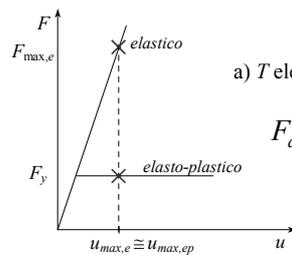
Le analisi numeriche  
mostrano che lo  
spostamento di  
schemi elastici ed  
elasto-plastici è più  
o meno lo stesso



## Progettazione di strutture elasto-plastiche

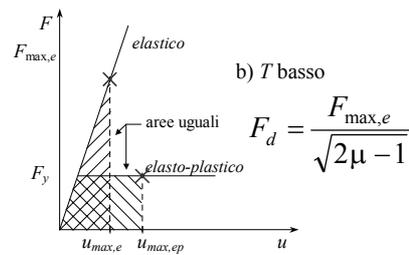
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo  
per strutture con periodo medio-alto

Per strutture con periodo basso si può pensare ad  
una uguaglianza in termini energetici



a)  $T$  elevato

$$F_d = \frac{F_{max,e}}{\mu}$$

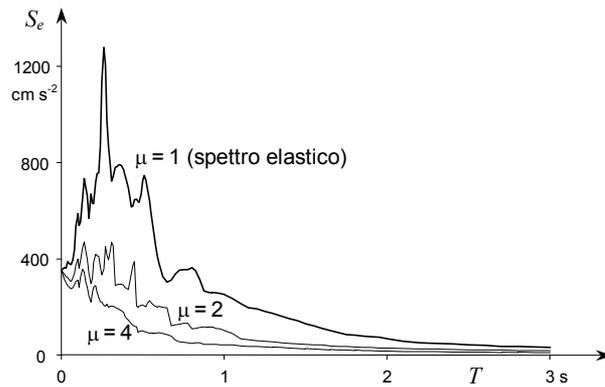


b)  $T$  basso

$$F_d = \frac{F_{max,e}}{\sqrt{2\mu - 1}}$$

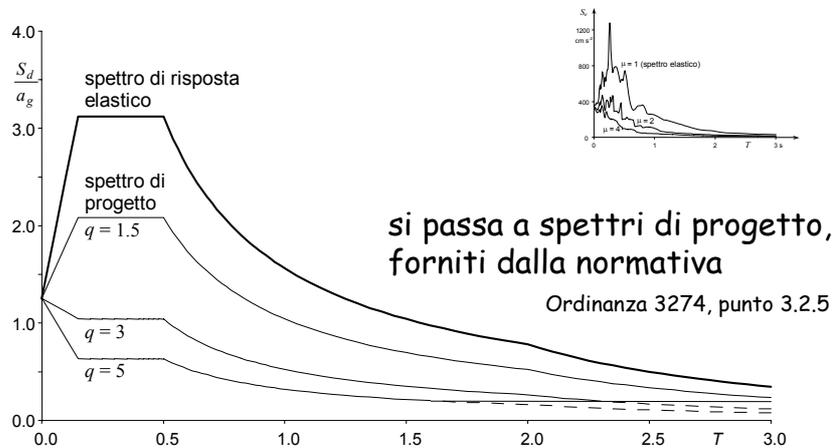
## Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata

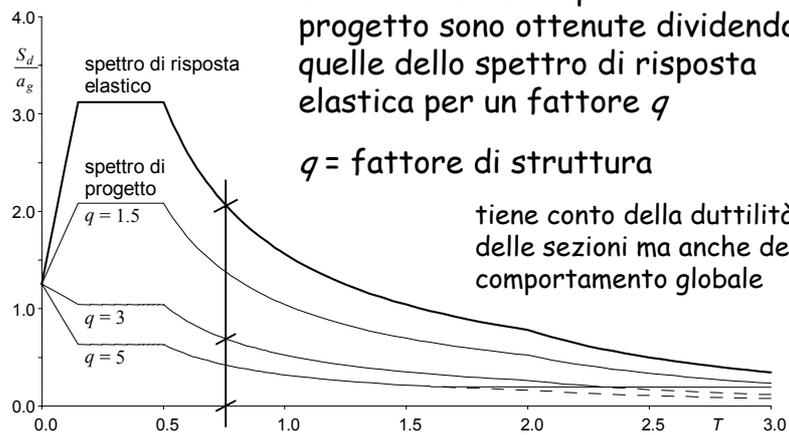


## Spettri di progetto di normativa

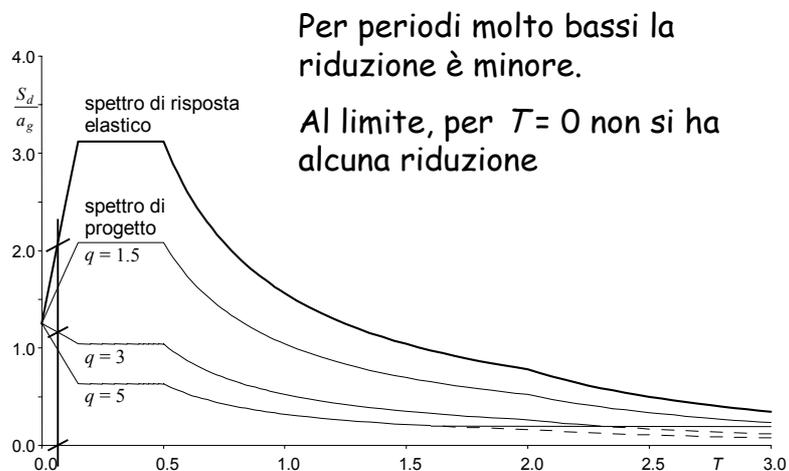
Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



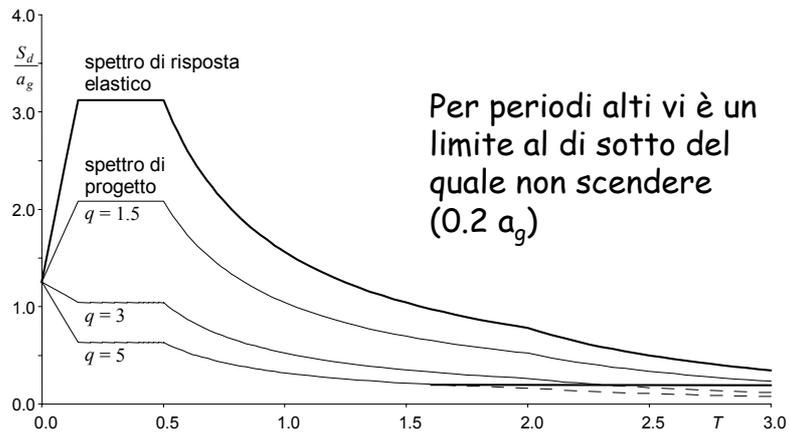
## Spettri di progetto di normativa



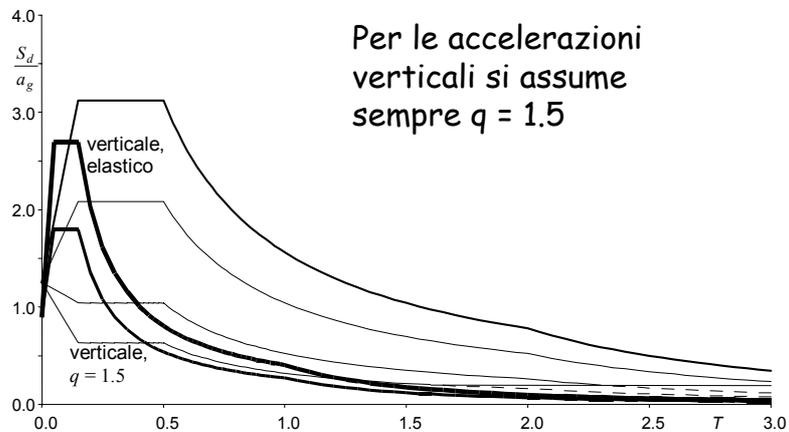
## Spettri di progetto di normativa



## Spettri di progetto di normativa



## Spettri di progetto di normativa accelerazioni orizzontali e verticali



FINE

Immagini tratte dal libro:  
A. Gherzi, P. Lenza  
Edifici antisismici in c.a.  
(in preparazione)

Per questa presentazione:  
coordinamento A. Gherzi  
realizzazione A. Gherzi  
ultimo aggiornamento 6/03/2004