

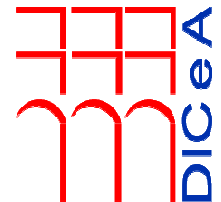
Introduzione alla progettazione sismica

Paolo Spinelli e Luca Salvatori



Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

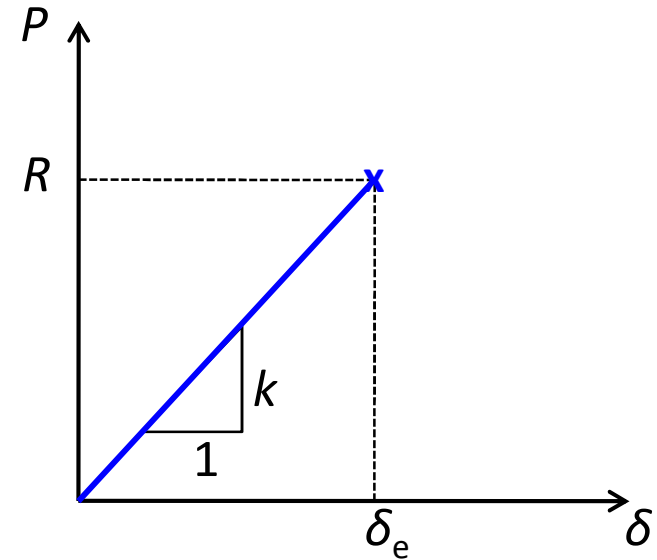
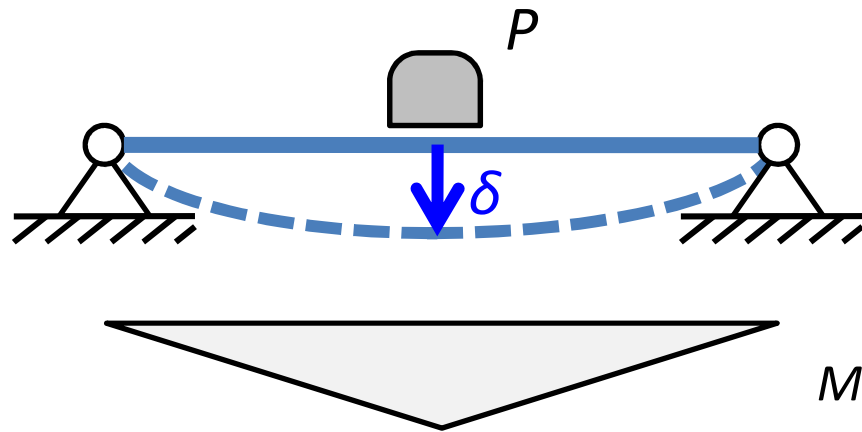
Università di Firenze



Non era più semplice assegnare il valore delle
“forze sismiche”, come nella vecchia normativa?

In alcuni casi (forze imposte) si progetta “per resistenza”, in altri
(spostamenti imposti) “per resistenza, rigidità e duttilità”.

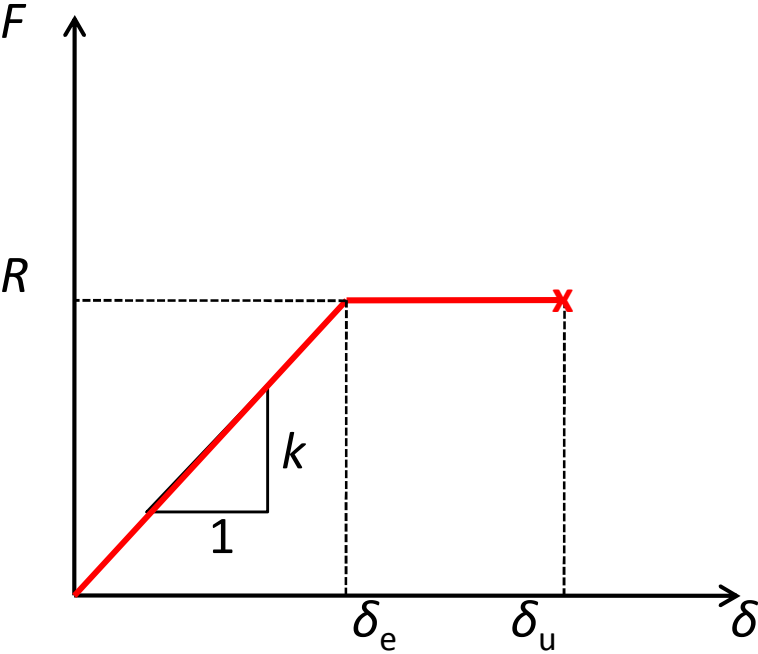
Trave appoggiata con carico imposto



Il progetto è basato solo sulla resistenza

R	Resistenza
k	Rigidezza
μ	Duttilità

Rigidezza-Resistenza-Duttilità



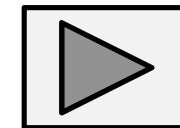
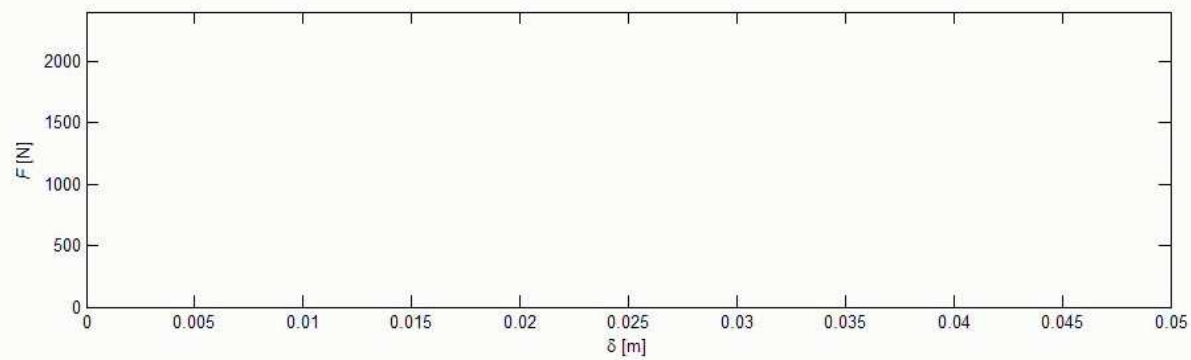
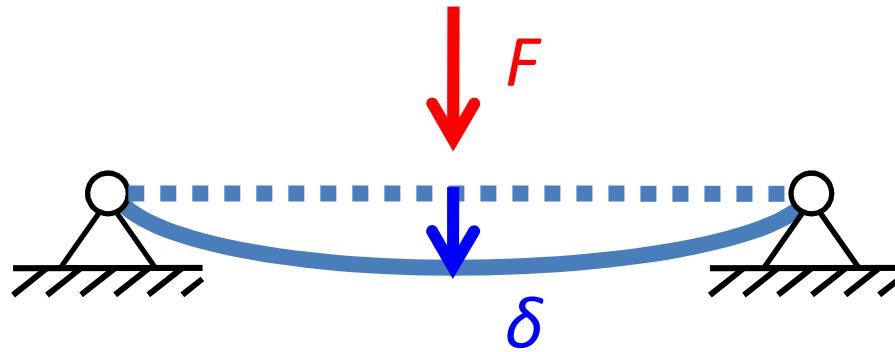
Fattore di duttilità

$$\mu = \delta_u / \delta_e \geq 1$$

Elementi di progettazione sismica

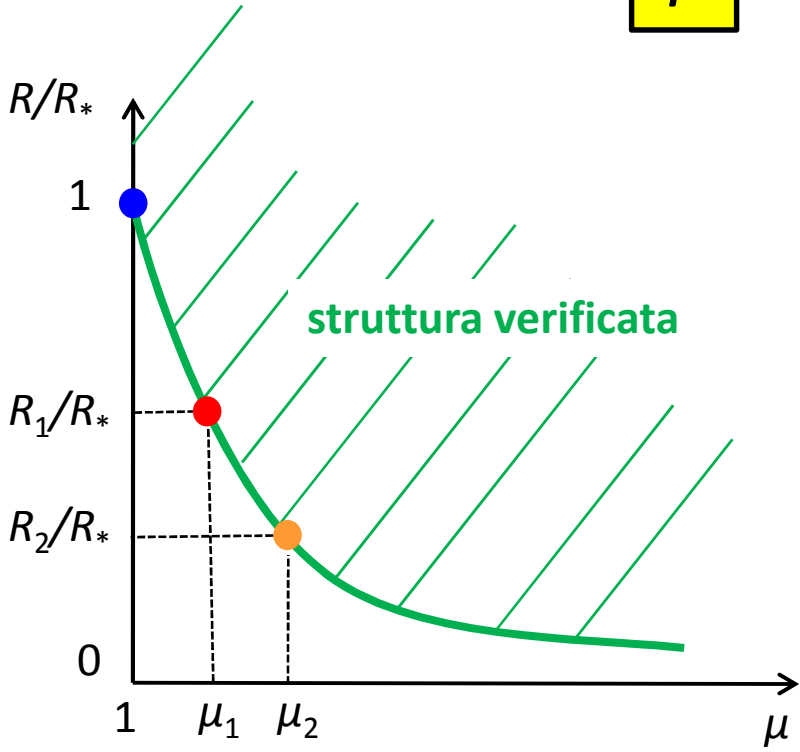
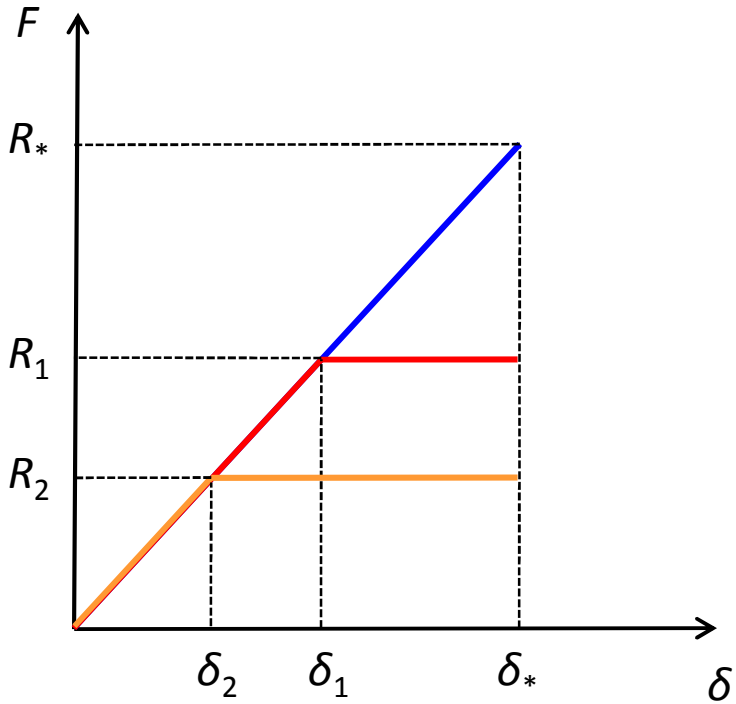
{	Resistenza	R
	Rigidezza	k
	Duttilità	μ

Trave appoggiata con spostamento imposto



Progetto basato su rigidità, resistenza e duttilità

Fissata la rigidità k ci sono infinite combinazioni di resistenza e duttilità (R, μ) che soddisfano il requisito.

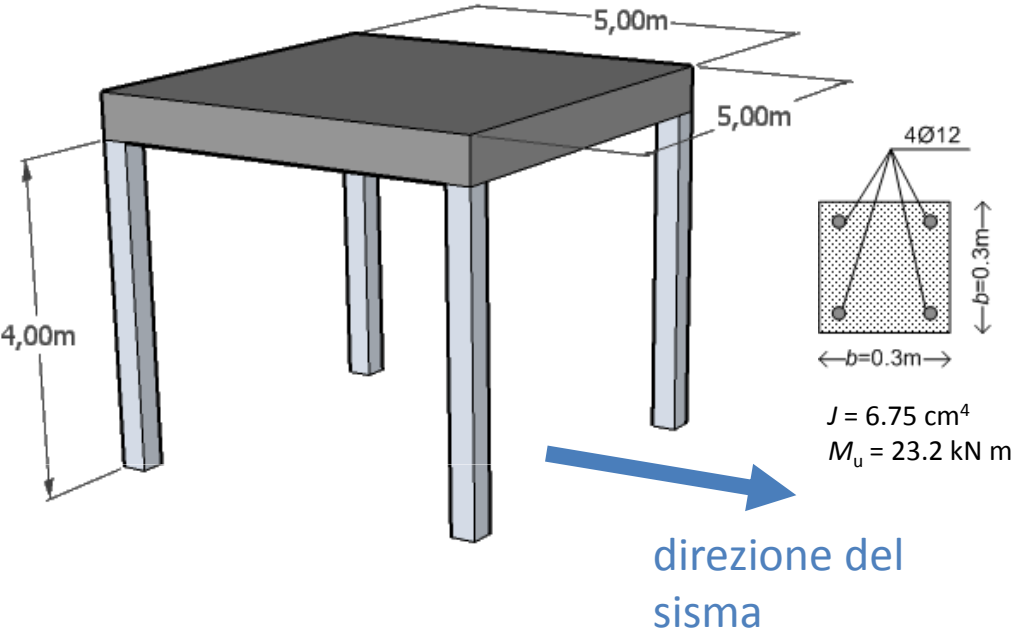


$$R = R_*/\mu$$

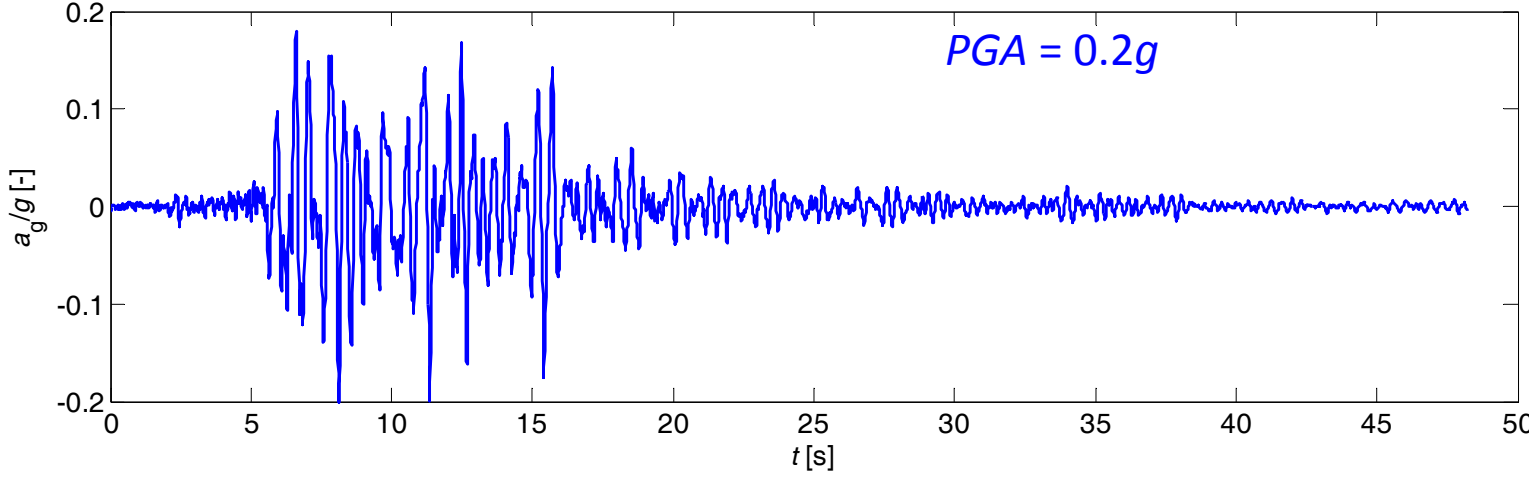
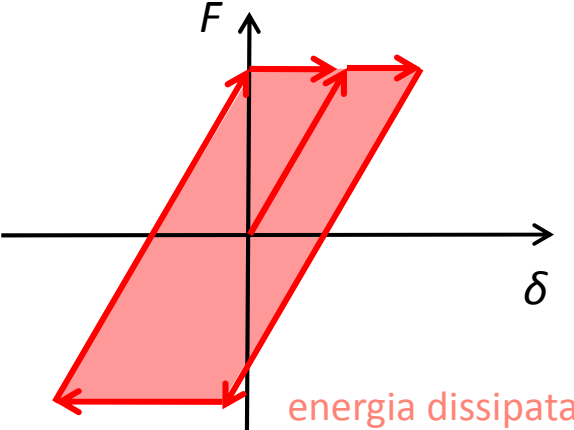
Cosa c'entra con il sisma l'esempio della trave che con carico imposto si progetta per resistenza e che con spostamento imposto si progetta per resistenza-rigidezza-duttilità?

Occorre in effetti fare un passo avanti nella comprensione del comportamento dinamico delle strutture sotto azione sismica.

Esempio di analisi dinamica nel dominio del tempo

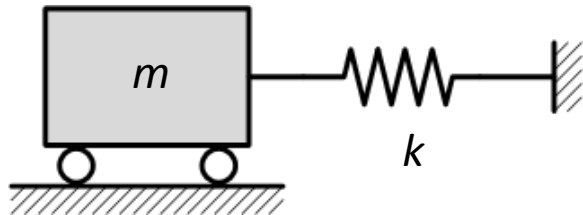


Ciclo di isteresi



Trascurando la deformabilità della trave, il telaio si comporta come un oscillatore ad 1 GdL

A) Oscillatore elastico



$$m\ddot{\delta} + c\dot{\delta} + k\delta = -a_g(t)m$$

Dati del problema

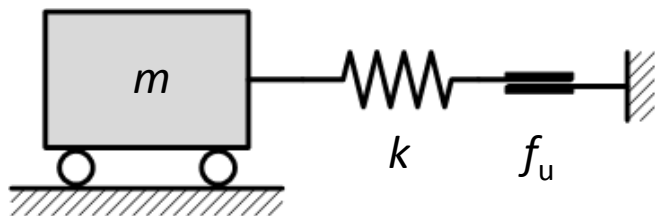
$$m = 37500 \text{ kg}$$

$$k = 15.8 \text{ kN/mm}$$

$$\xi = 1\% \text{ (rapporto di smorzamento)}$$

$$f_u = 46.4 \text{ kN (nel caso elasto-plastico)}$$

B) Oscillatore elastico – perfettamente plastico



$$m\ddot{\delta} + c\dot{\delta} + f_{\text{int}} = -a_g(t)m$$

Simulazioni nel dominio del tempo (il caso B è ovviamente non lineare):

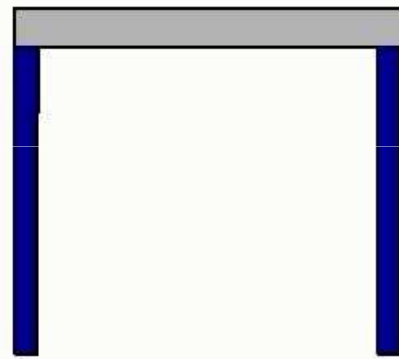
- Integrazione nel tempo con il metodo di Hilber-Hughes-Taylor
- *Return mapping* con il metodo di Eulero all'indietro

Simulazione

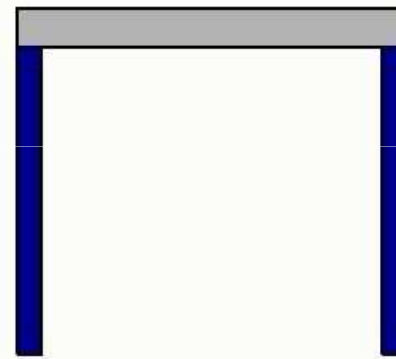
- tempi rallentati con fattore 1/4
- spostamenti normalizzati ad 1 m

Telaio elastico (A)

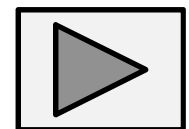
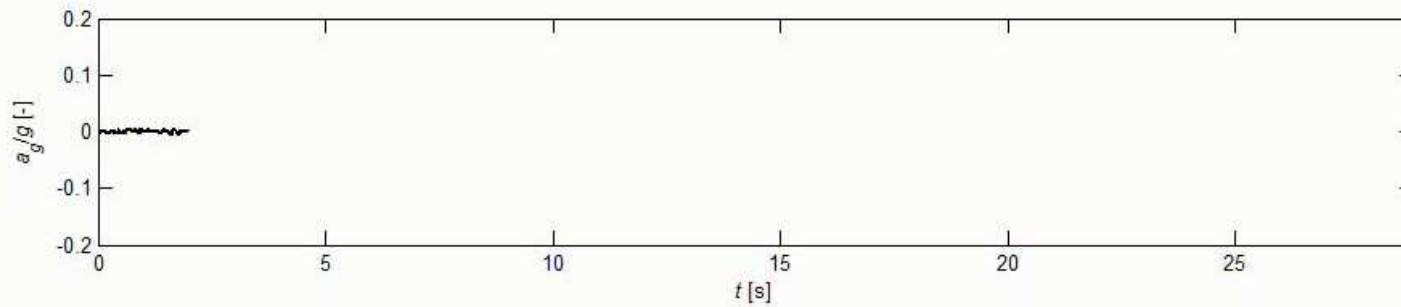
Telaio elastico – perfettamente plastico (B)
(il colore indica l'energia dissipata)



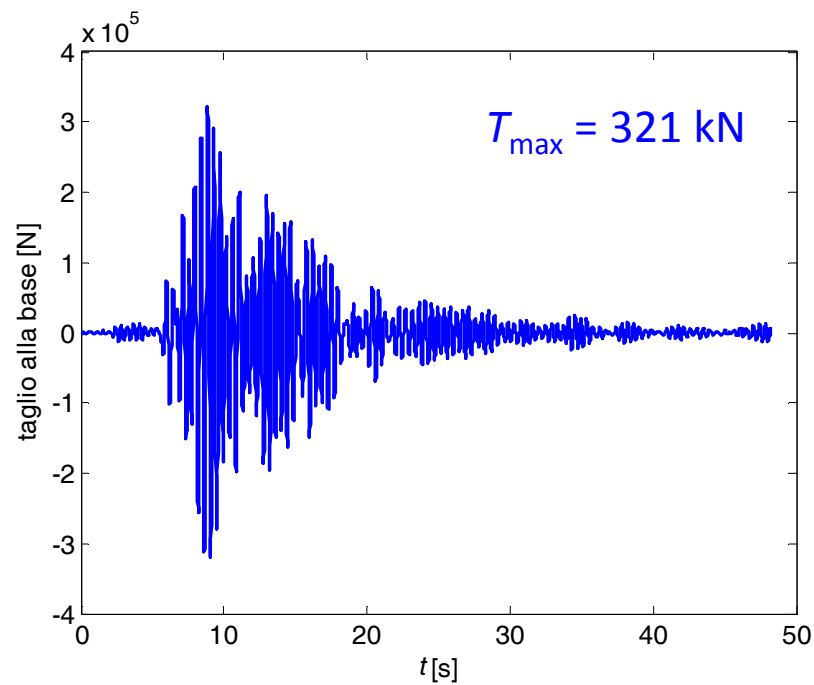
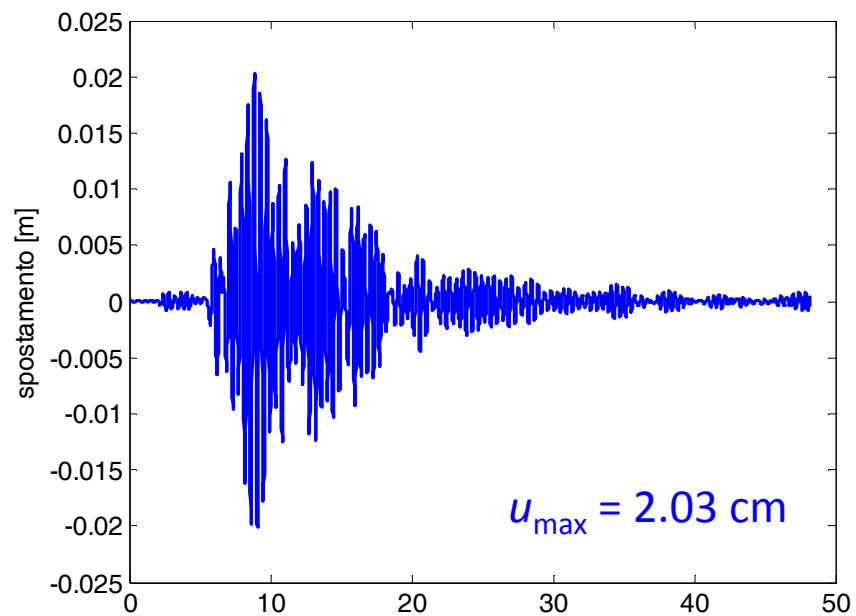
ELASTICO



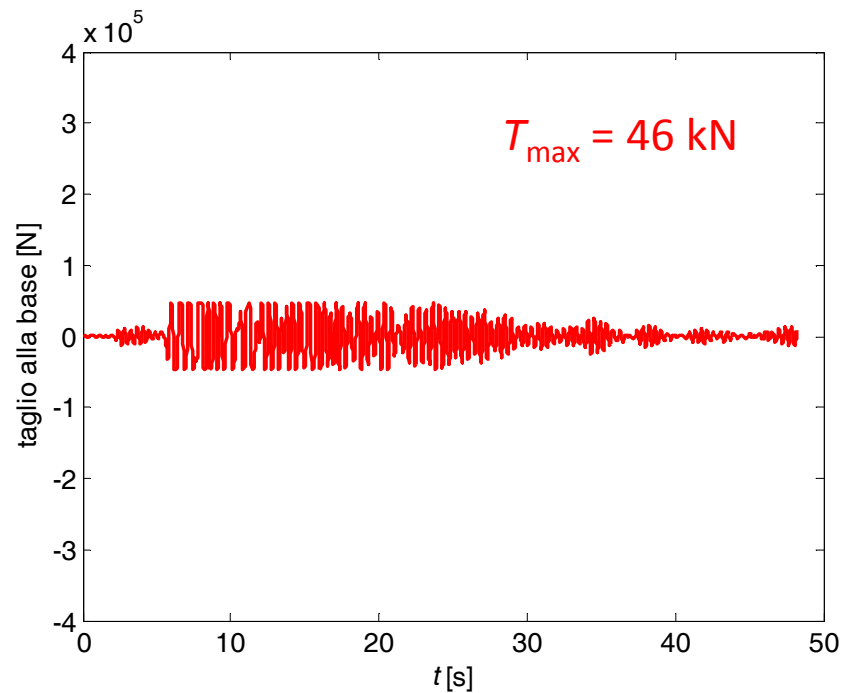
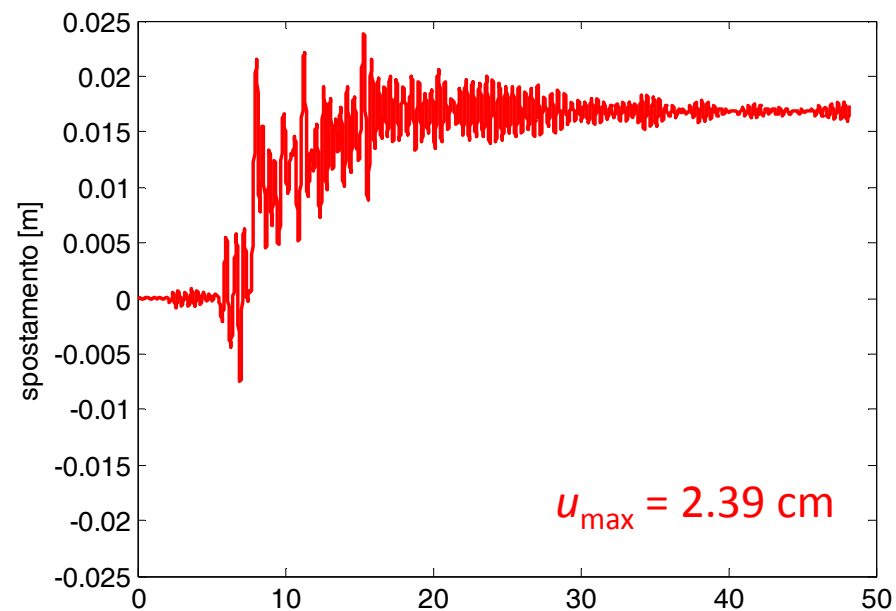
ELASTICO - PERFETTAMENTE PLASTICO



Caso elastico (A)

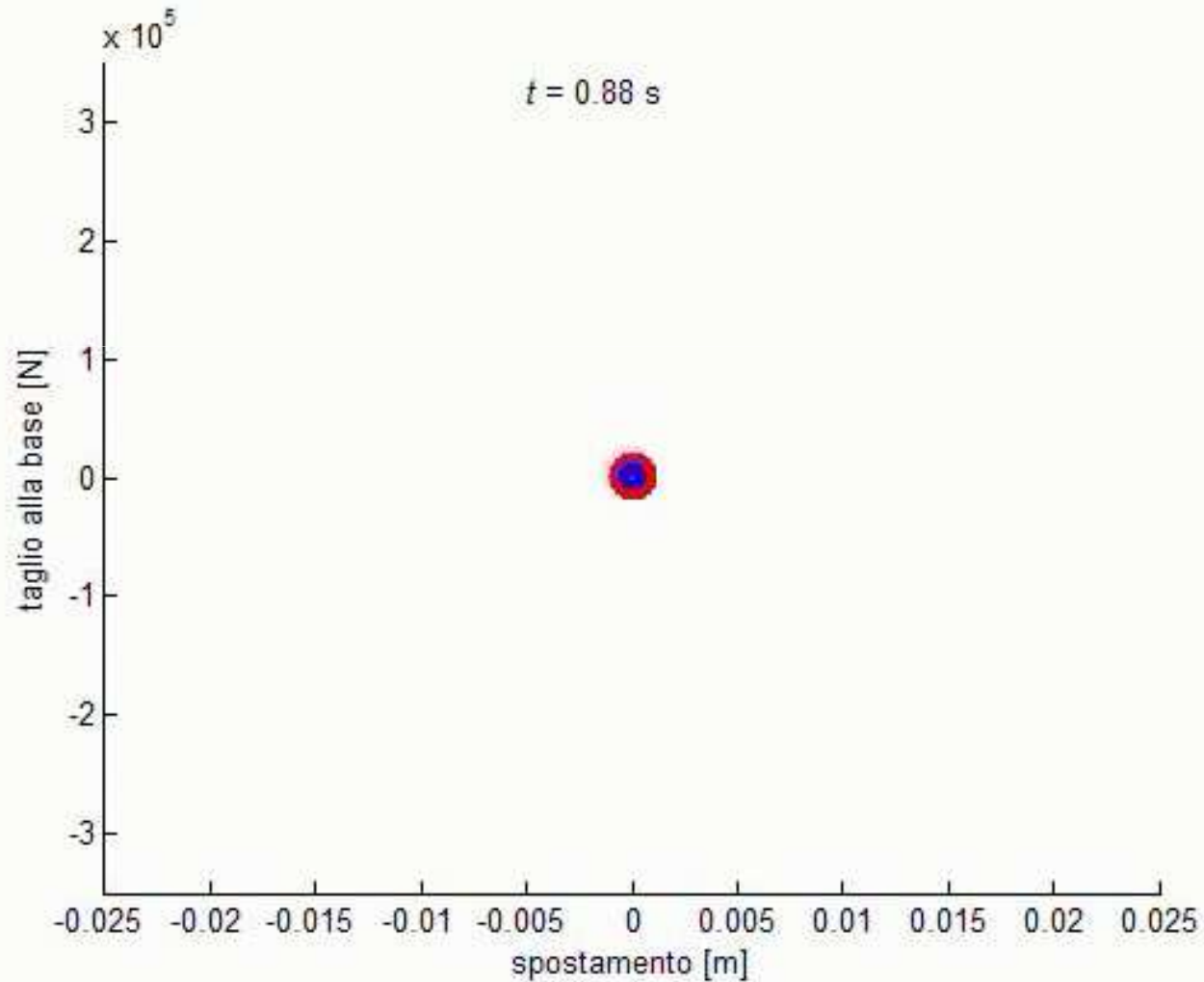


Caso elastico – perfettamente plastico (B)



Cicli di isteresi responsabili della dissipazione di energia nel caso (B)

- tempi rallentati con fattore 1/2



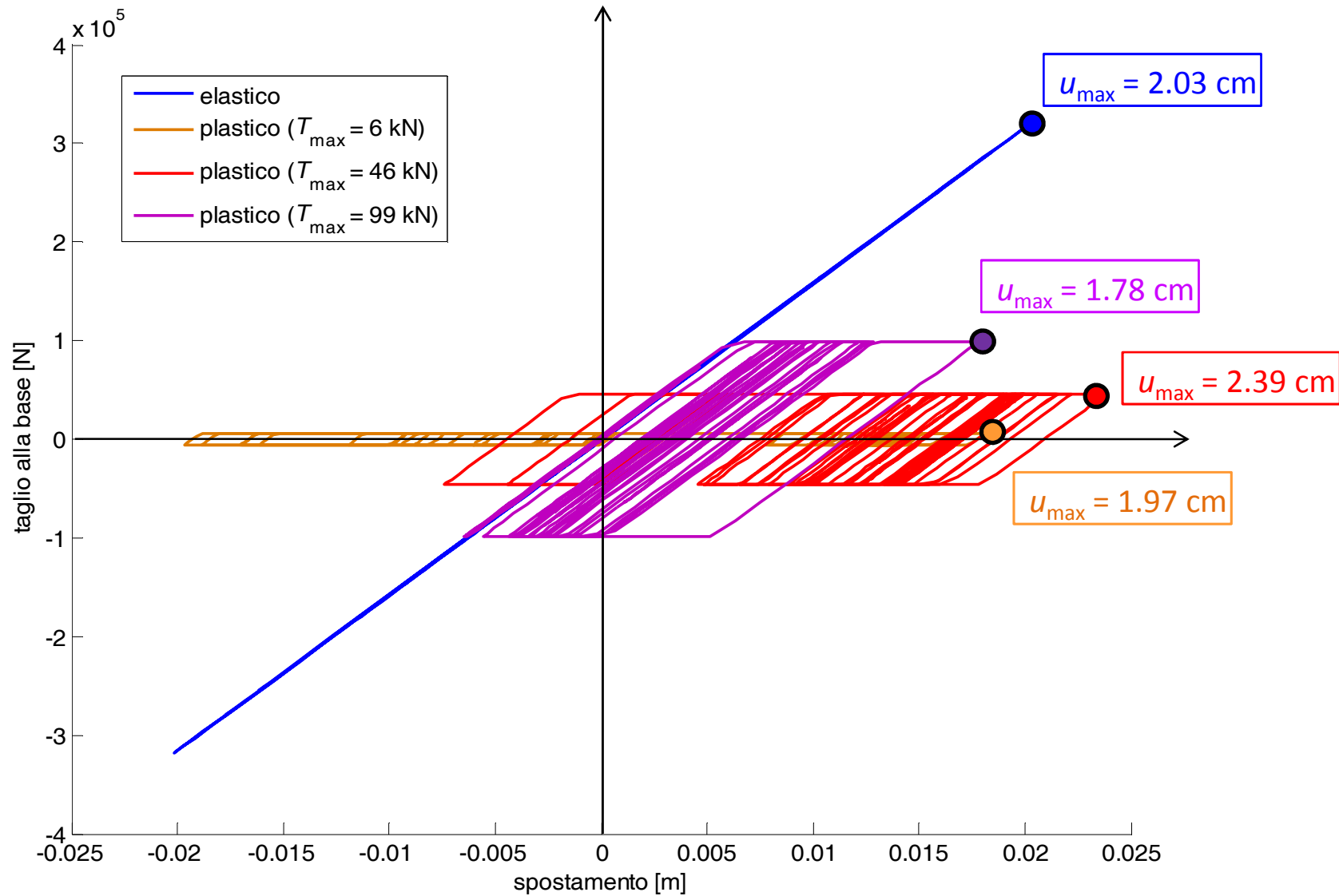
● elastico

○ elasto-plastico



Confronto nel caso di differenti valori del taglio ultimo

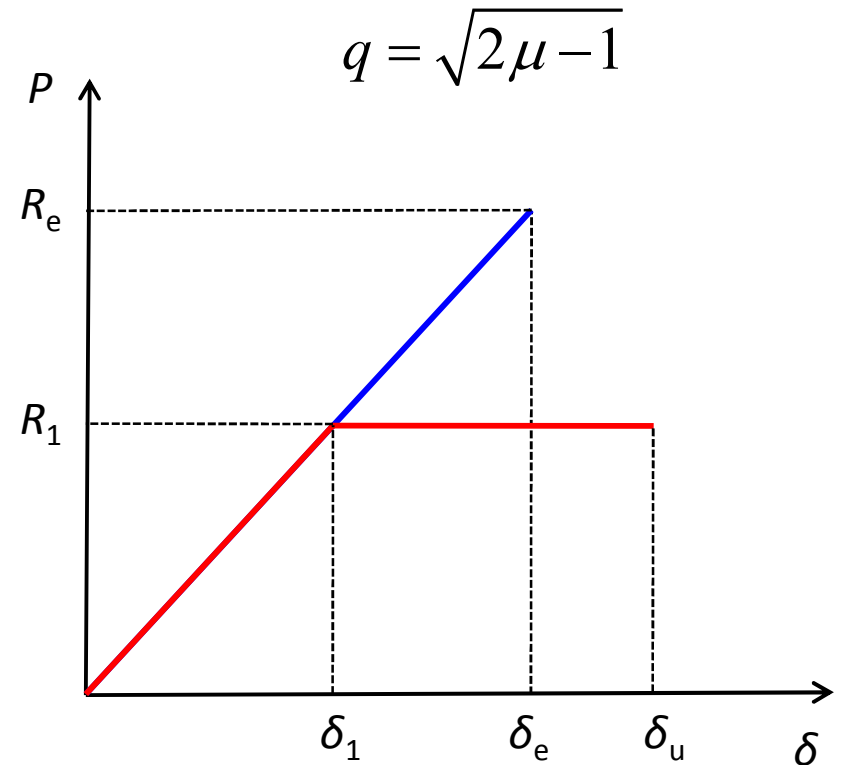
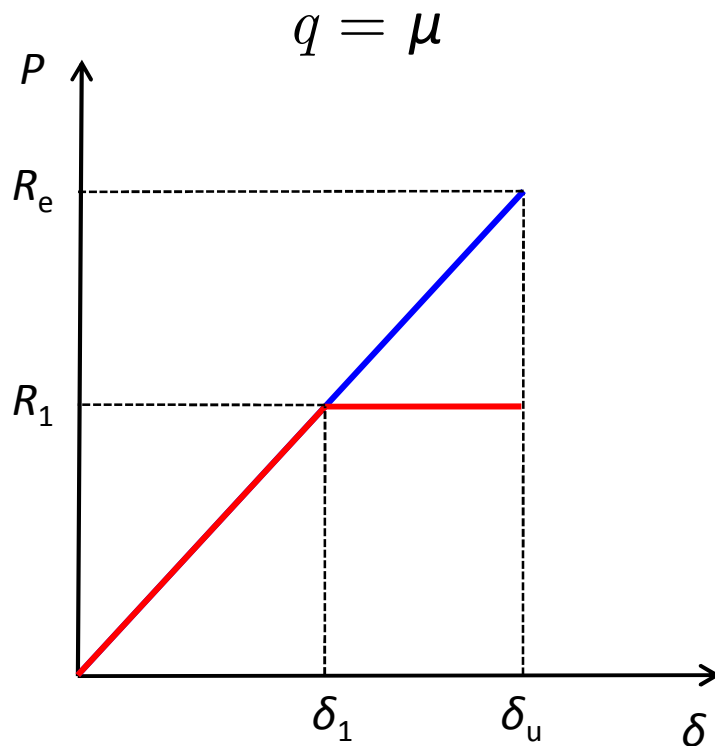
Lo spostamento massimo si mantiene circa costante



Fattore di struttura

$$q = R_e / R_1$$

In caso di strutture molto rigide, piuttosto che l'uguaglianza fra gli spostamenti dell'oscillatore elastico e di quello elasto-plastico si osserva un'equivalenza dell'energia di deformazione associata alle oscillazioni da cui si ricava

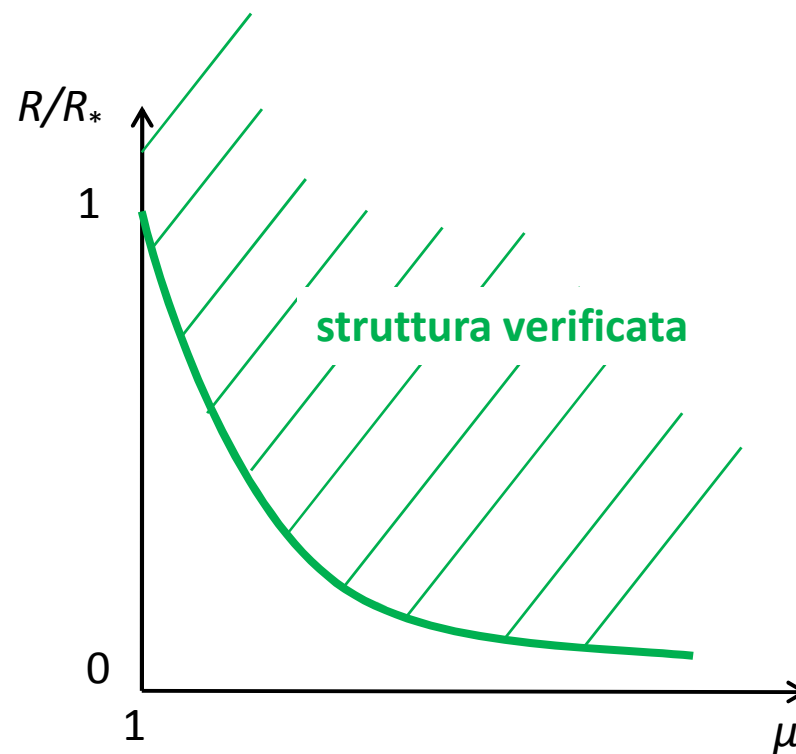


$$\mu = \delta_u / \delta_1$$

Progettazione sismica di strutture duttili

Dato un sisma di progetto posso progettare una struttura più duttile e meno resistente o più resistente e meno duttile.

Data una duttilità posso “scalare” l’azione e scegliere una resistenza minore di quella corrispondente al caso elastico.



In altre parole, dato un sisma di progetto, posso progettare una struttura più resistente ma meno duttile, oppure una meno resistente ma più duttile (come per la trave appoggiata con spostamenti imposti!).

Fattori di struttura secondo N.T.C. 2008

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (7.3.1)$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_w/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Fattori di struttura per strutture in CA secondo N.T.C. 2008

7.4.3.2 Fattori di struttura

Il fattore di struttura da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica orizzontale è calcolato come riportato nel § 7.3.1.

I massimi valori di q_0 relativi alle diverse tipologie ed alle due classi di duttilità considerate (CD "A" e CD "B") sono contenuti nella tabella seguente.

Tabella 7.4.I – Valori di q_0

Tipologia	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

Le strutture a pareti estese debolmente armate devono essere progettate in CD "B". Strutture aventi i telai resistenti all'azione sismica composti, anche in una sola delle direzioni principali, con travi a spessore devono essere progettate in CD "B" a meno che tali travi non si possano considerare elementi strutturali "secondari".

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di α_u / α_1 :

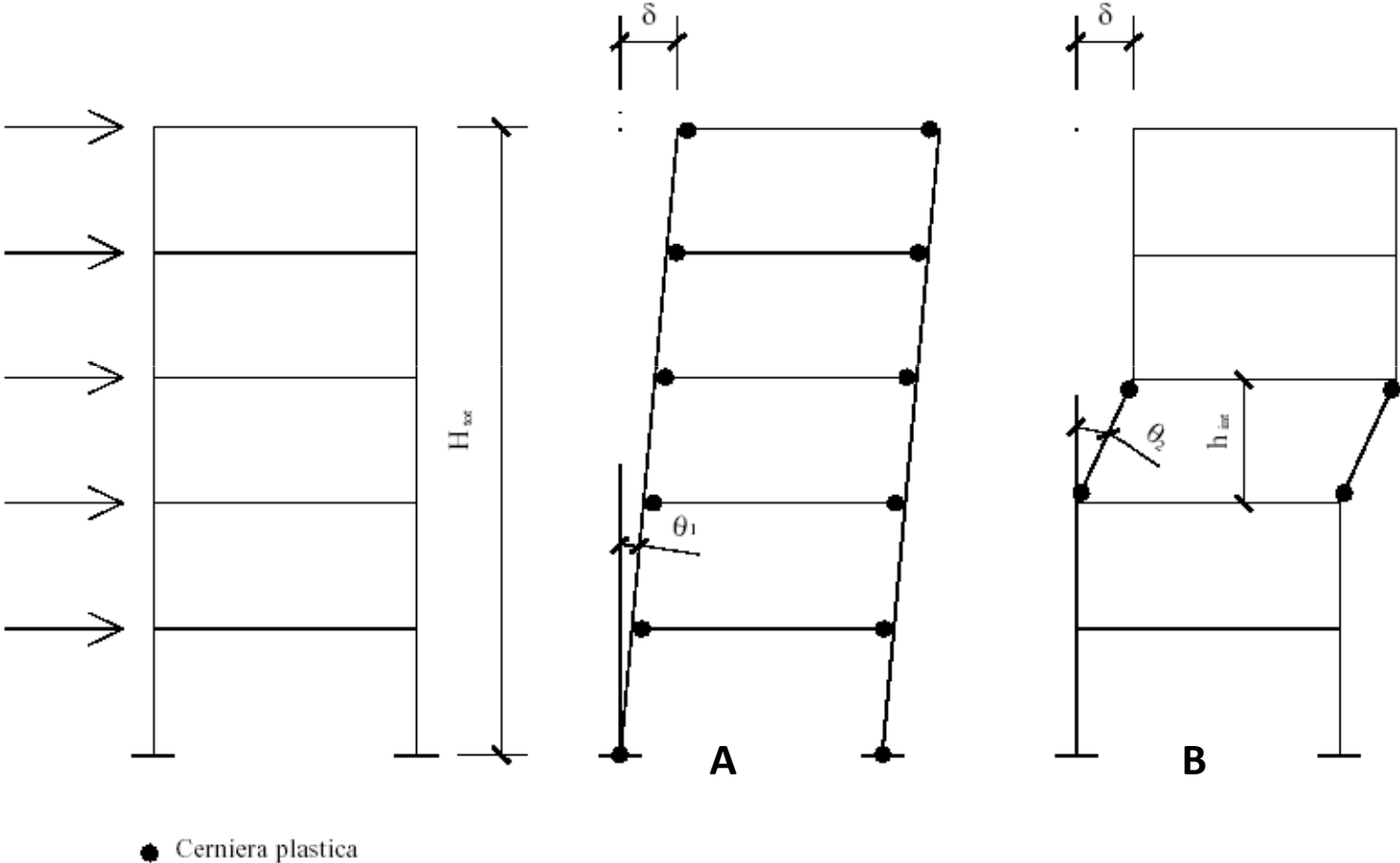
a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

- strutture a telaio di un piano $\alpha_u / \alpha_1 = 1,1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata $\alpha_u / \alpha_1 = 1,2$
- strutture a telaio con più piani e più campate $\alpha_u / \alpha_1 = 1,3$

b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale $\alpha_u / \alpha_1 = 1,0$
- altre strutture a pareti non accoppiate $\alpha_u / \alpha_1 = 1,1$
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti $\alpha_u / \alpha_1 = 1,2$

Classi di duttilità



Esempi di spettri di risposta

