

Laurea in Scienze dell'Architettura (8CFU)

Roma, a.a. 2016 - 2017

Tecnica delle Costruzioni

Silvia Santini

Dipartimento di Architettura – Università di Roma TRE



Requisiti di una struttura antisismica.

- **Evitare rotture fragili** spesso improvvise e catastrofiche.
- **Dissipare energia** durante il sisma, attraverso il comportamento isteretico dei materiali.
- **Aumentare il periodo di vibrazione** della struttura riducendo così la risposta all'eccitazione sismica.
- Evitare che la struttura rimanga elastica sotto l'azione di terremoti violenti, i quali si presentano con ridotta probabilità di accadimento nella vita utile di riferimento. (svantaggio economico)

Criteri progettuali di prevenzione sismica

Le risorse residue dipendono da due funzionamenti:

- *Dalla crescente **capacità dissipativa** globale della quale il sistema resistente può disporre nel suo complesso in conseguenza delle crescenti ampiezze di oscillazione imposte dalle deformazioni alternate e ripetute prodotte dal sisma nelle zone di concentrazione dei danni.*

CAPACITY DESIGN, SISTEMI DISSIPATIVI

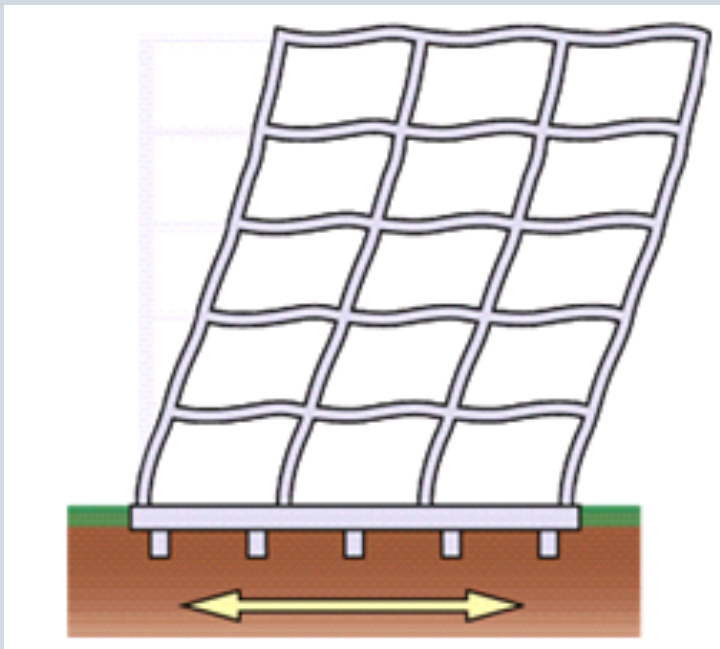
- *Dall'**aumento del periodo di oscillazione** (riduzione della rigidezza complessiva prodotta dal danno) che sposta la risposta verso zone di minore intensità della domanda.*

SISTEMI DI ISOLAMENTO ALLA BASE

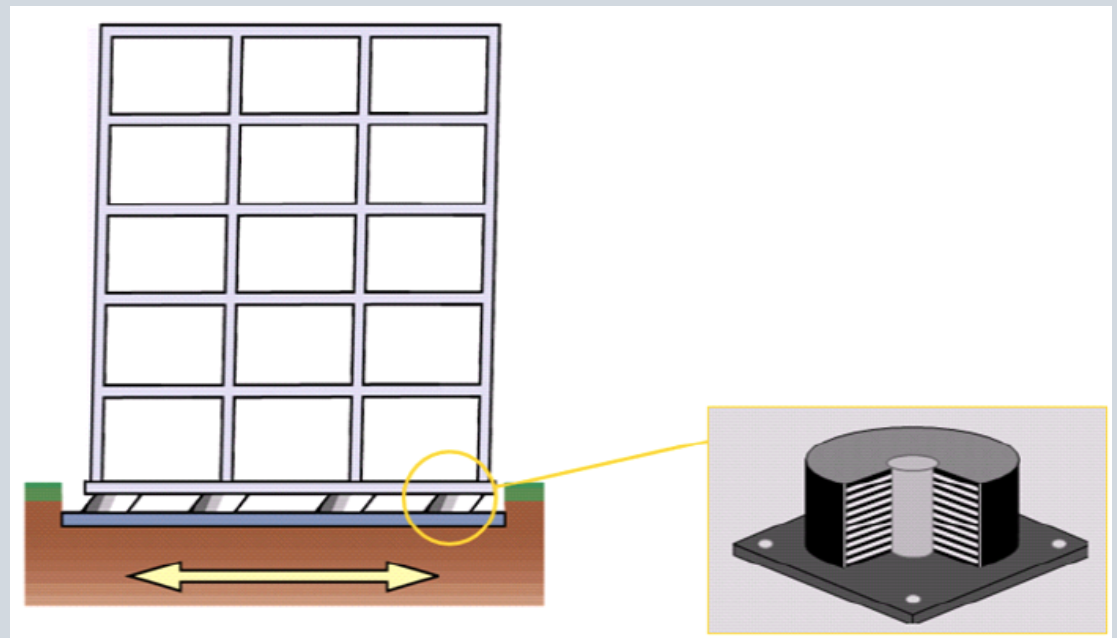
Controventi dissipativi



Isolamento alla base



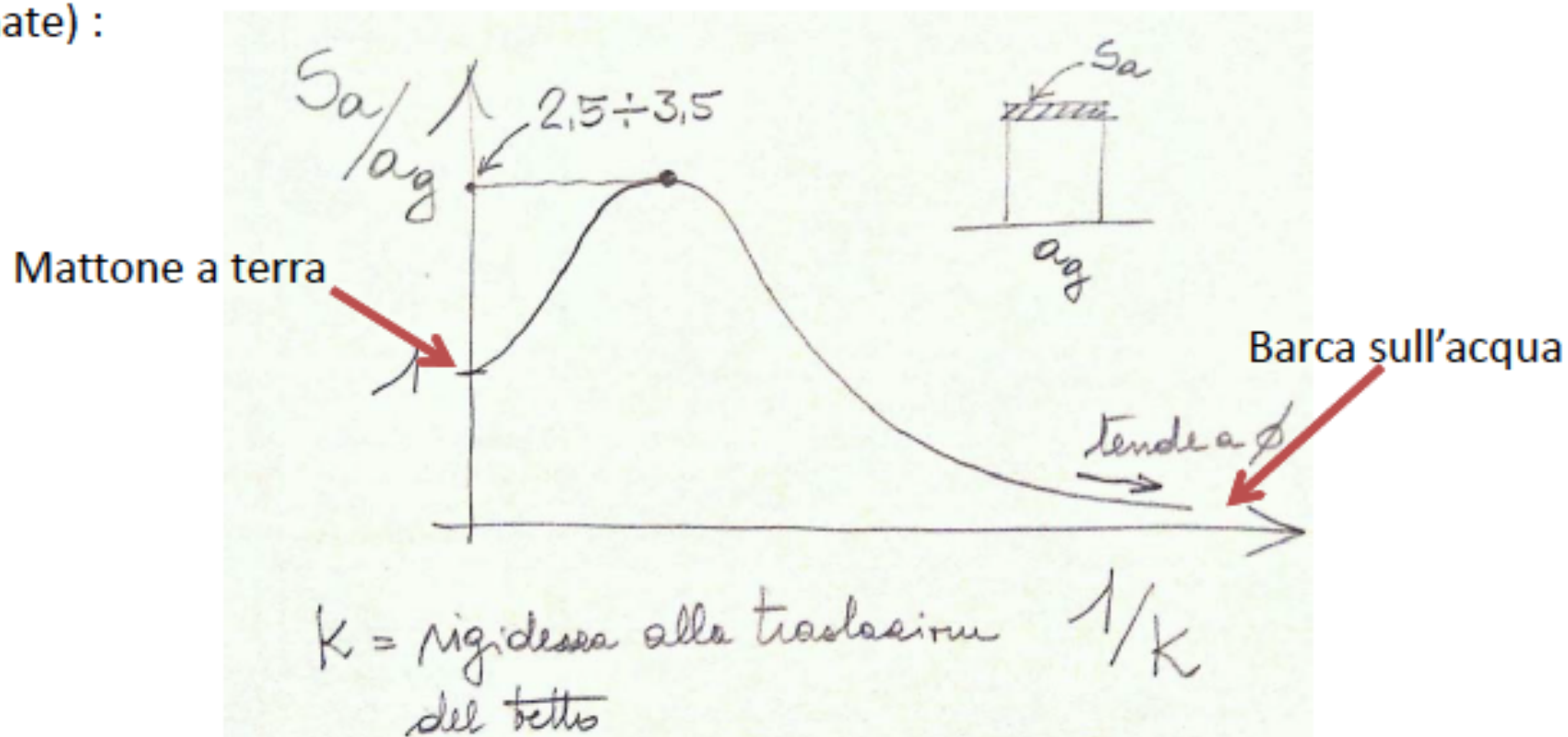
Le deformazioni sono diffuse in altezza sugli elementi della struttura che si plasticizzano.



Le deformazioni sono concentrate alla base e il comportamento della struttura è essenzialmente elastico.

- 1) Cosa fa un mattone a terra? Si muove come il terreno
- 2) Cosa fa una barca sull'acqua: se il fondo del mare si muove la barca sta ferma perché l'acqua ha rigidità nulla al taglio

Dato quindi il nostro edificio se riportiamo un diagramma flessibilità (in ascisse), risposta (in ordinate) :



Tra i due casi estremi le cose variano come in figura

Strategia progettuale antisismica

Rispetto ai requisiti delle sole resistenze locali che guidano un progetto tradizionale, il raggiungimento di questo obiettivo richiede di mettere in pratica specifici accorgimenti progettuali, mirati alla possibilità di **mobilitare comportamenti dissipativi** che diventano pertanto gli elementi qualificanti del progetto.

Pertanto, se si deve valutare la capacità di una costruzione ad opporsi ad un terremoto di forte intensità, le tradizionali analisi di resistenza possono assumere un valore alquanto limitato se non sono accompagnate da particolari accorgimenti che riguardano la **componente post-elastica della risposta**.

Regole generali della progettazione

Al fine di garantire alla struttura requisiti antisismici, si introducono i seguenti concetti chiave della progettazione:

- DUTTILITÀ.
- FATTORE DI COMPORTAMENTO.
- GERARCHIA DELLE RESISTENZE.

Il modello dell'oscillatore semplice (SDoF)

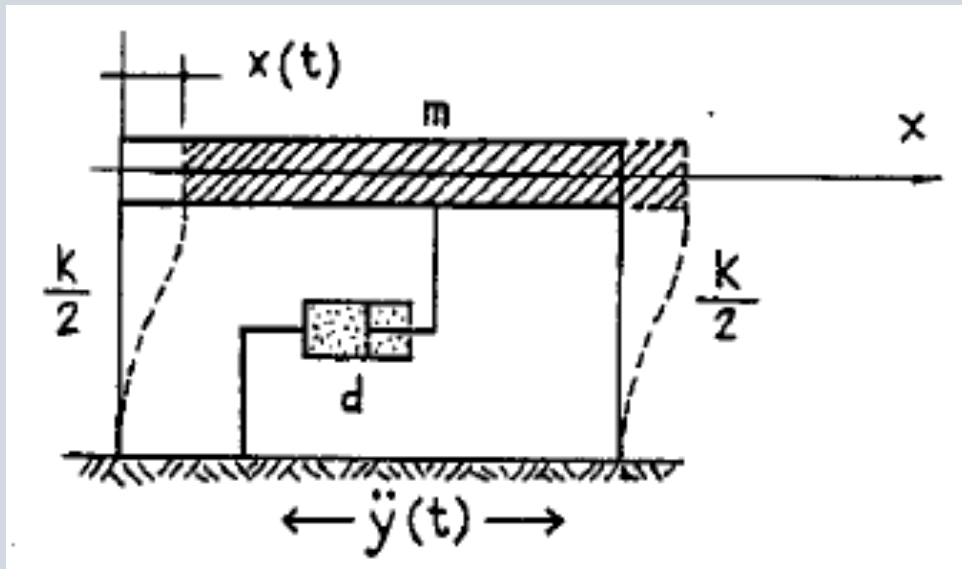
Esistono strutture reali il cui comportamento dinamico può essere ricondotto perfettamente al modello di oscillatore semplice, come ad esempio un serbatoio sospeso.

Anche una costruzione monopiano può, con buona approssimazione, essere studiata dal punto di vista dinamico mediante il modello del SDOF.

In essa infatti:

- La **massa** è generalmente concentrata a livello di solaio.
- La **forza di richiamo elastica** è esercitata dal sistema portante verticale (telaio, pareti, etc.) la cui rigidità dipenderà dalla natura stessa del sistema (materiale, inerzia della sezione, lunghezza dell'elemento, vincolo).

L'oscillatore semplice (SDoF)



periodo proprio

tempo necessario per compiere un'oscillazione completa, costante per tutta la durata del moto.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

frequenza propria ω

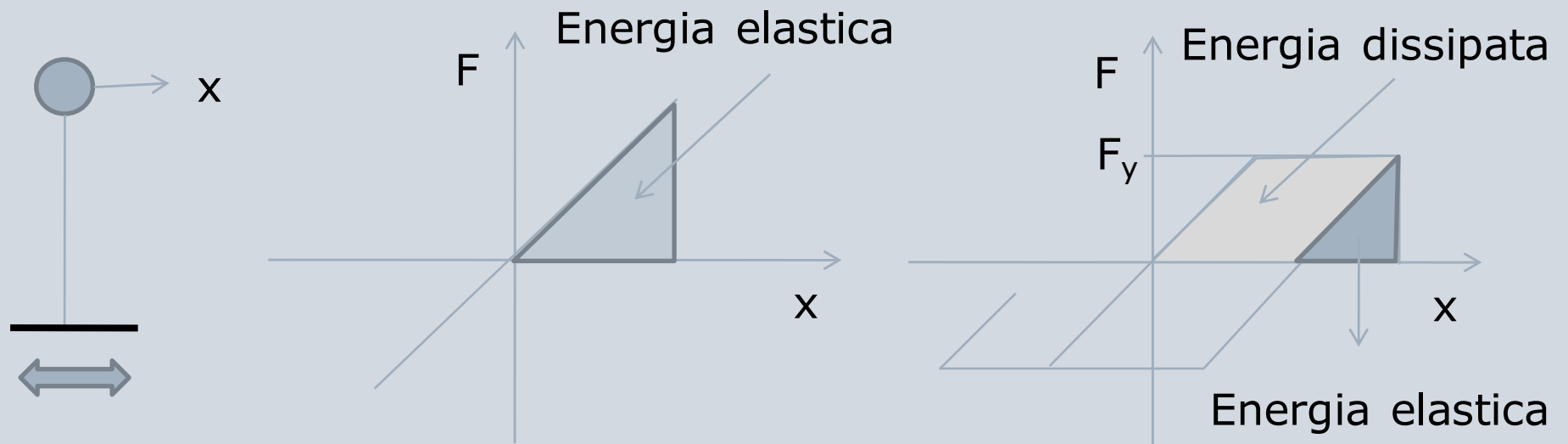
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

smorzamento relativo ξ

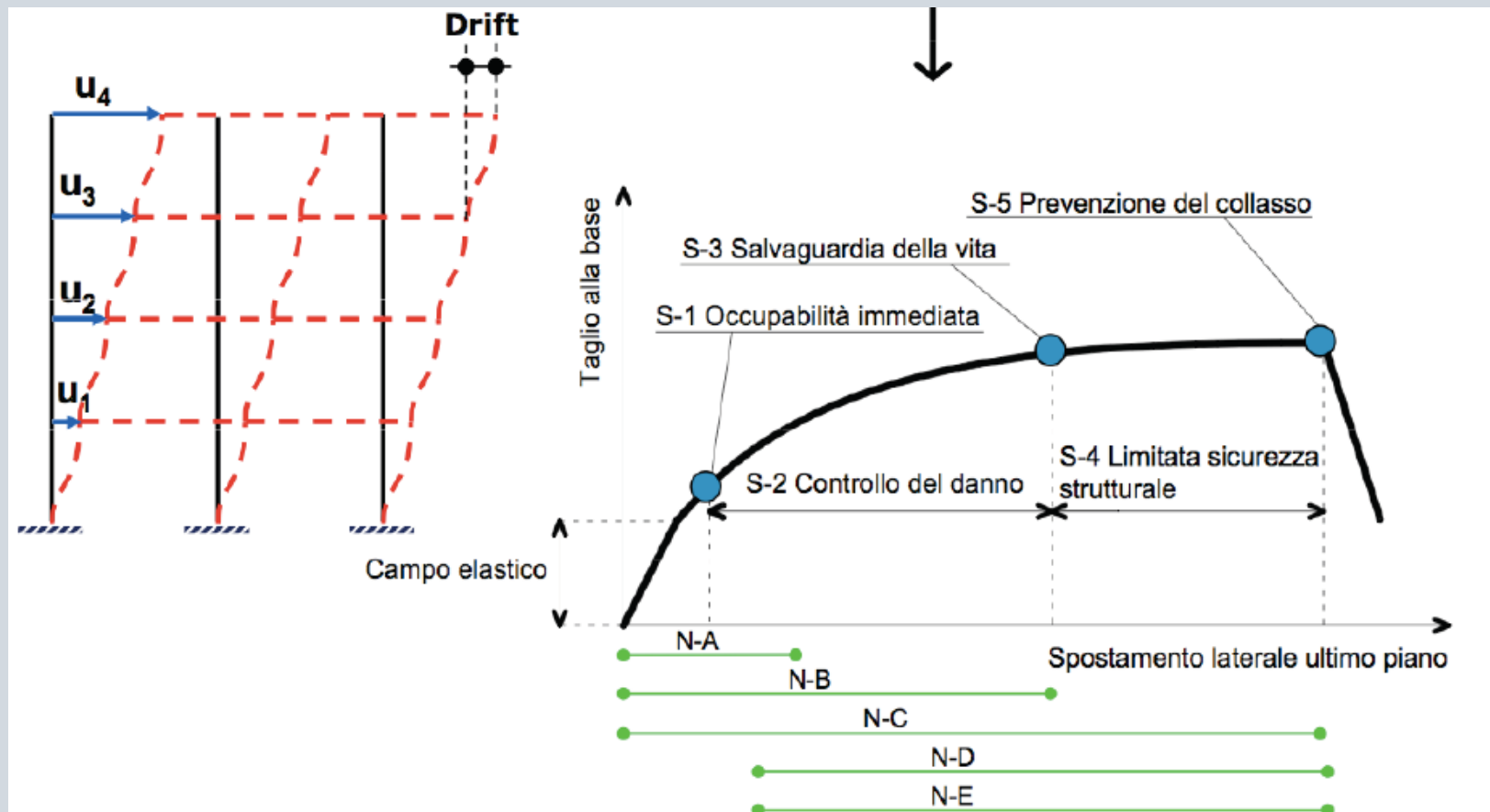
$$\xi = \frac{c}{2\omega m}$$

Oscillatore non lineare

Occorre quindi adottato un modello più realistico che metta in conto anche **comportamenti post-elastici**. Il modello più semplice per tale comportamento non lineare è l'oscillatore elastoplastico perfetto.



Livelli di prestazione



Strategia progettuale

Se l' **obiettivo** è limitato alla prevenzione dei **danni significativi** (SLD) Allora, al di sotto di una certa soglia di intensità sismica, la situazione può essere controllata con approcci dell' Ingegneria Strutturale tradizionale.

Se l' **obiettivo** è proteggere le costruzioni da **crolli rovinosi** (SLC) Allora gioca un ruolo determinante la capacità dissipativa. In questo caso il linguaggio delle tensioni unitarie così come quello delle resistenze meccaniche dei singoli elementi non è adeguato!

Capacità dissipativa e capacità deformativa diventano le prestazioni principali da richiedere al sistema resistente.

La strategia progettuale deve saper mobilitare quei comportamenti dissipativi che diventano gli elementi qualificanti del progetto.

Requisiti prestazionali

Le prestazioni di un'opera devono essere valutate in relazione allo stato limite, condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

- **SLU**: crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi che possano compromettere l'incolumità delle persone, comportare la perdita di beni, provocare gravi danni ambientali e sociali.
- **SLE**: funzionalità previste in condizione di esercizio, danni associati a perdite economiche.

Requisiti prestazionali

SLE



Stato Limite di Operatività (SLO)
interruzione d'uso

Stato Limite di Danno (SLD)
compromissione capacità resistente

SLU



Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
margini sicurezza collasso azioni orizzontali

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)
margini sicurezza collasso azioni verticali

Il periodo di ritorno T_R

I valori dei parametri che definiscono lo spettro sono legati al particolare stato limite considerato, al quale è associata una certa probabilità di superamento P_V in un determinato intervallo di tempo, pari alla vita utile della struttura V_R . Tali valori sono forniti in allegato alle Norme (DM2008, all.B) su un reticolo di punti che ricopre il territorio nazionale definiti in termine di latitudine e longitudine.

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R})$$

Stato limite		P_{V_R}
Stati limite di esercizio	SLO (operatività)	81%
	SLD (danno)	63%
Stati limite ultimi	SLV (salvaguardia della vita)	10%
	SLC (collasso)	5%

Regole generali della progettazione

Premessa al punto 7.2.1, DM 2008

- Le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche.
- Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, devono essere progettate in accordo con i seguenti **comportamenti strutturali**:
 - *comportamento strutturale non dissipativo*
 - *comportamento strutturale dissipativo*

Comportamenti strutturali

- Non dissipativo → SLE
 - Gli effetti sono calcolati **senza tener conto delle non linearità** di comportamento (di materiale e geometriche)
- **Dissipativo** → SLU
 - Gli effetti sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, **tenendo conto delle non linearità** di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato).

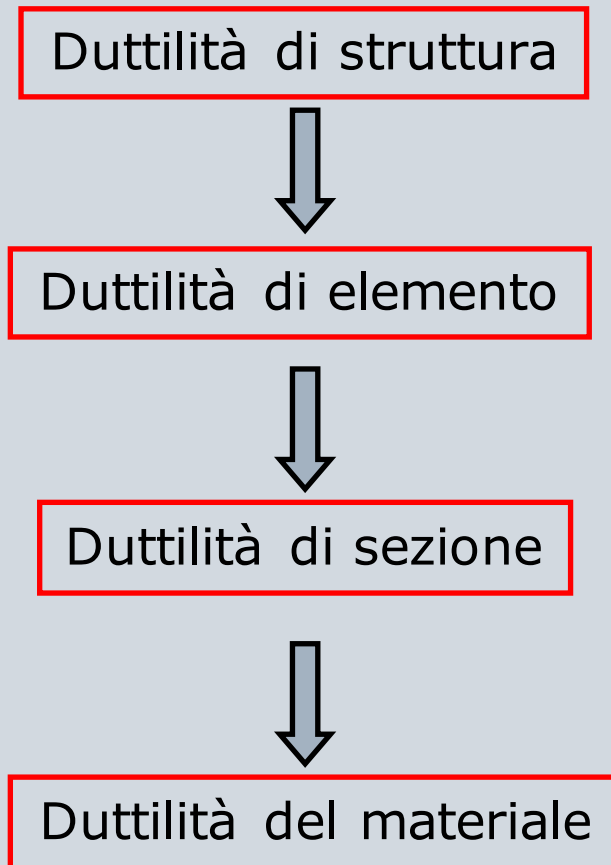
Comportamento dissipativo.

dal punto 7.2.1, DM 2008

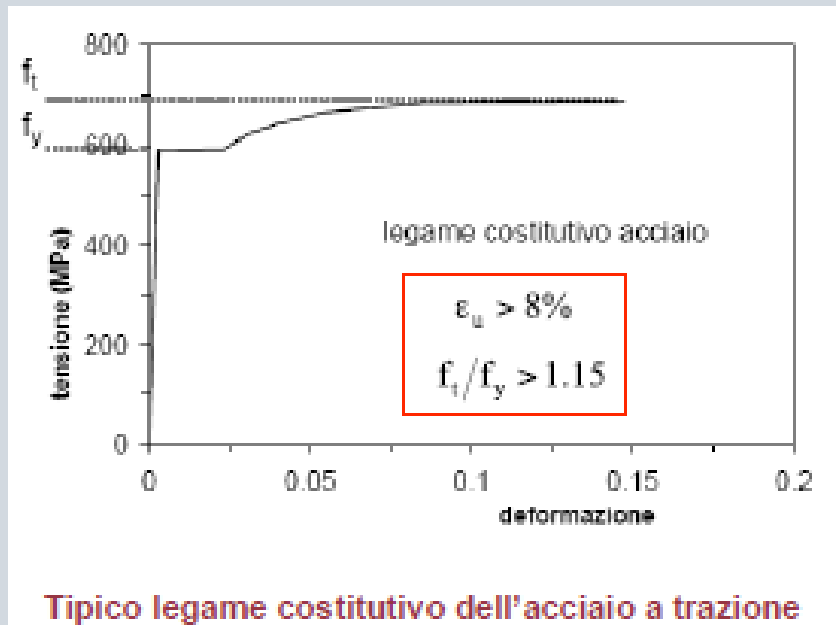
- Si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttività (CD):
 - Classe di duttilità alta (CD“A”)
 - Classe di duttilità bassa (CD“B”)
- La differenza è nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione.

Si precisa che in ambedue le classi, per assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili, si fa ricorso alla “gerarchia delle resistenze”.

Duttilità locale e globale



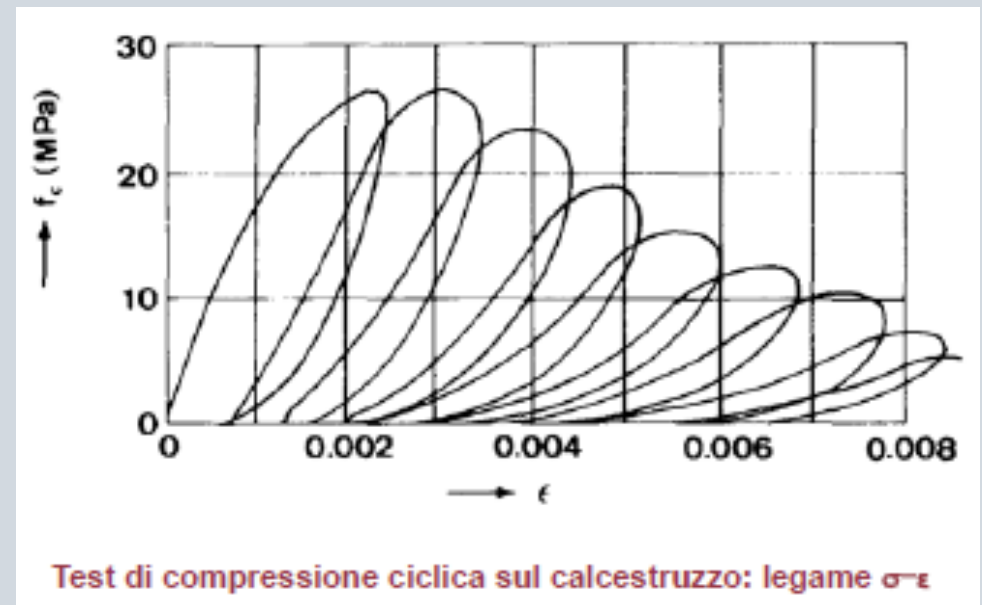
Duttilità di materiale.



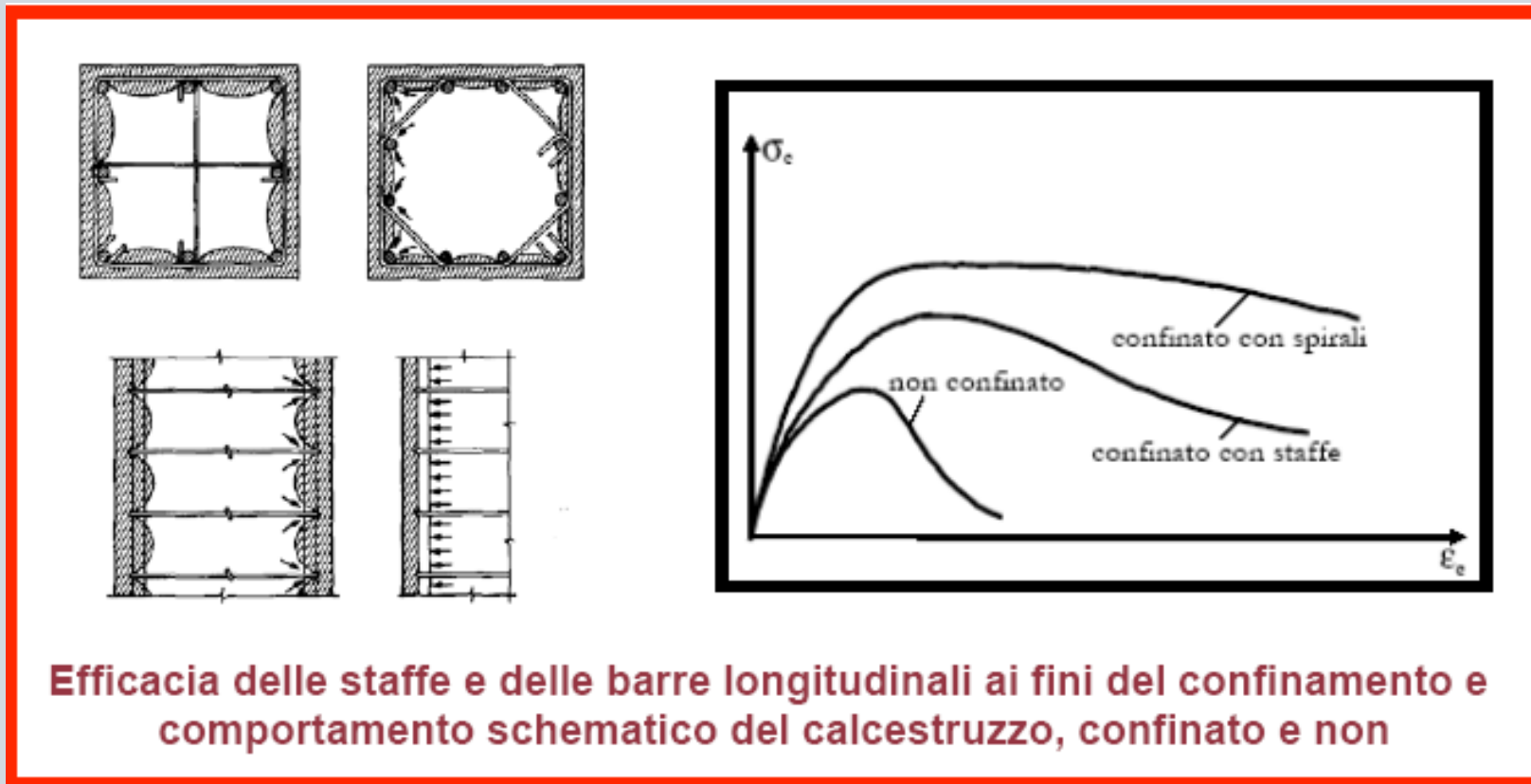
Tipico legame costitutivo dell'acciaio a trazione

Il calcestruzzo è un materiale fragile. Il confinamento con staffe o spirali consente di ottenere buona duttilità.

L'acciaio da costruzione presenta tipicamente un'elevata duttilità.

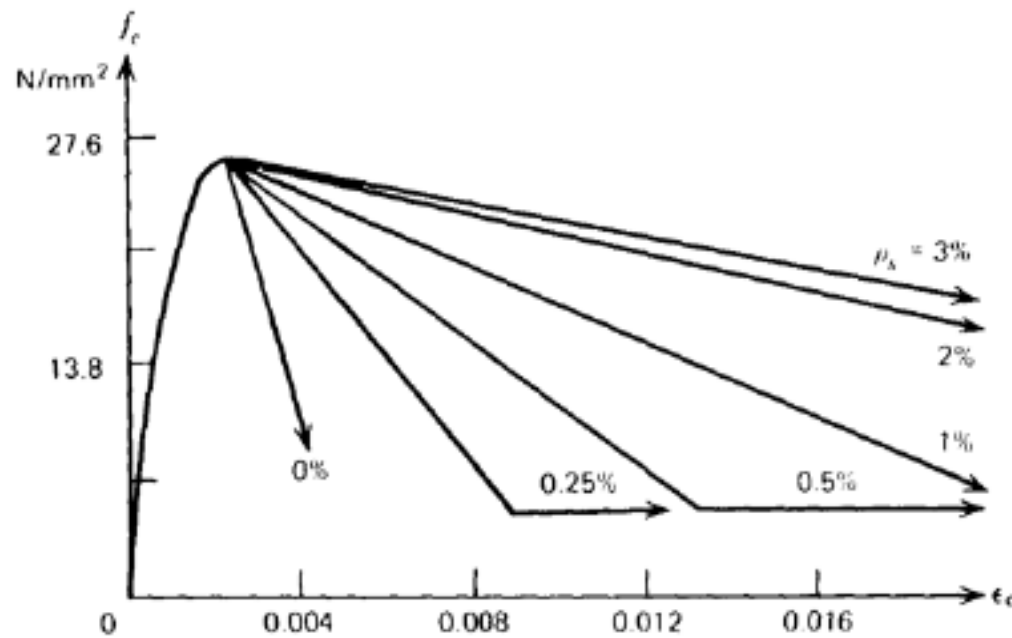


Duttilità del calcestruzzo



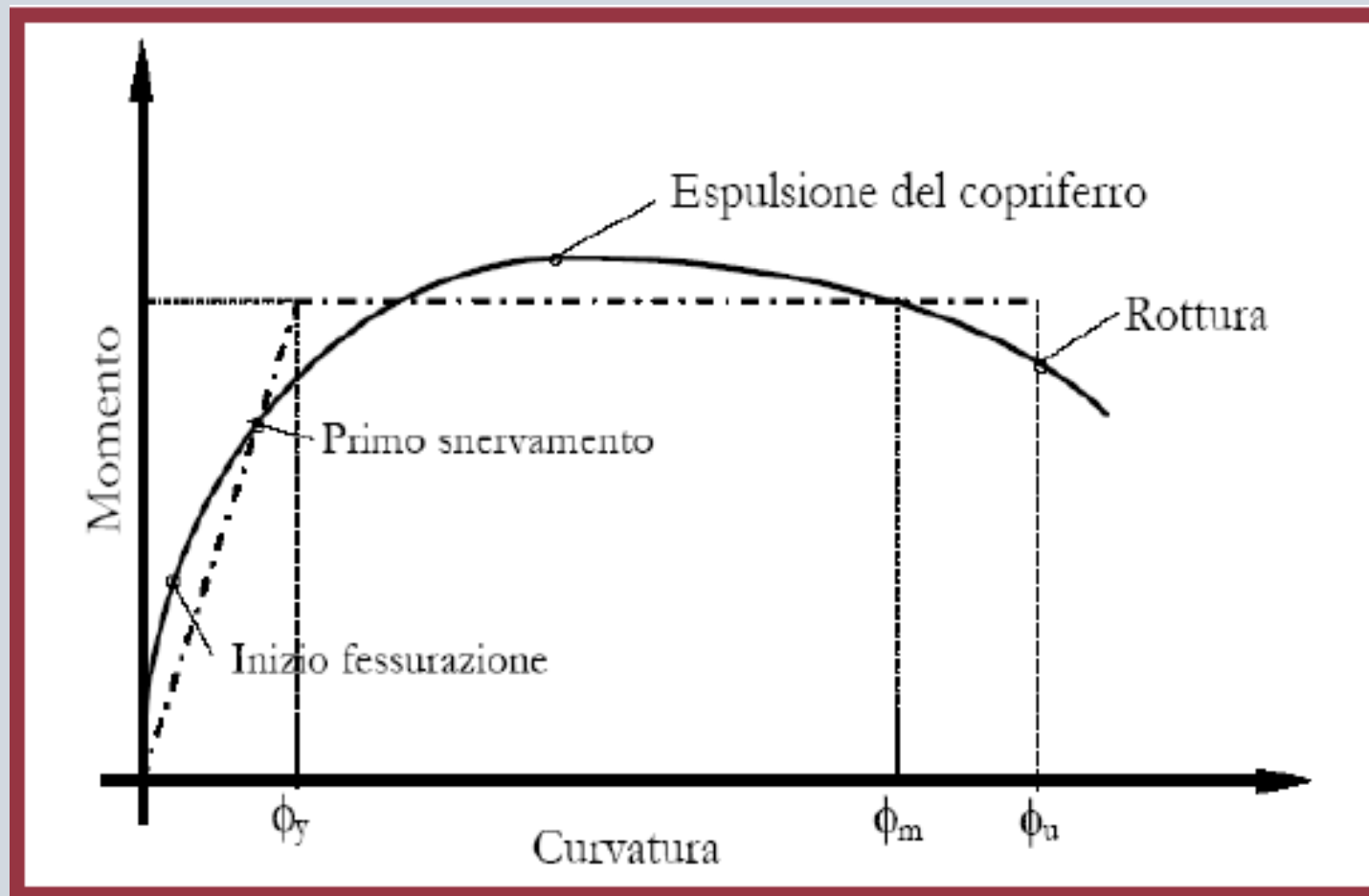
Efficacia delle staffe e delle barre longitudinali ai fini del confinamento e comportamento schematico del calcestruzzo, confinato e non

Duttilità del calcestruzzo

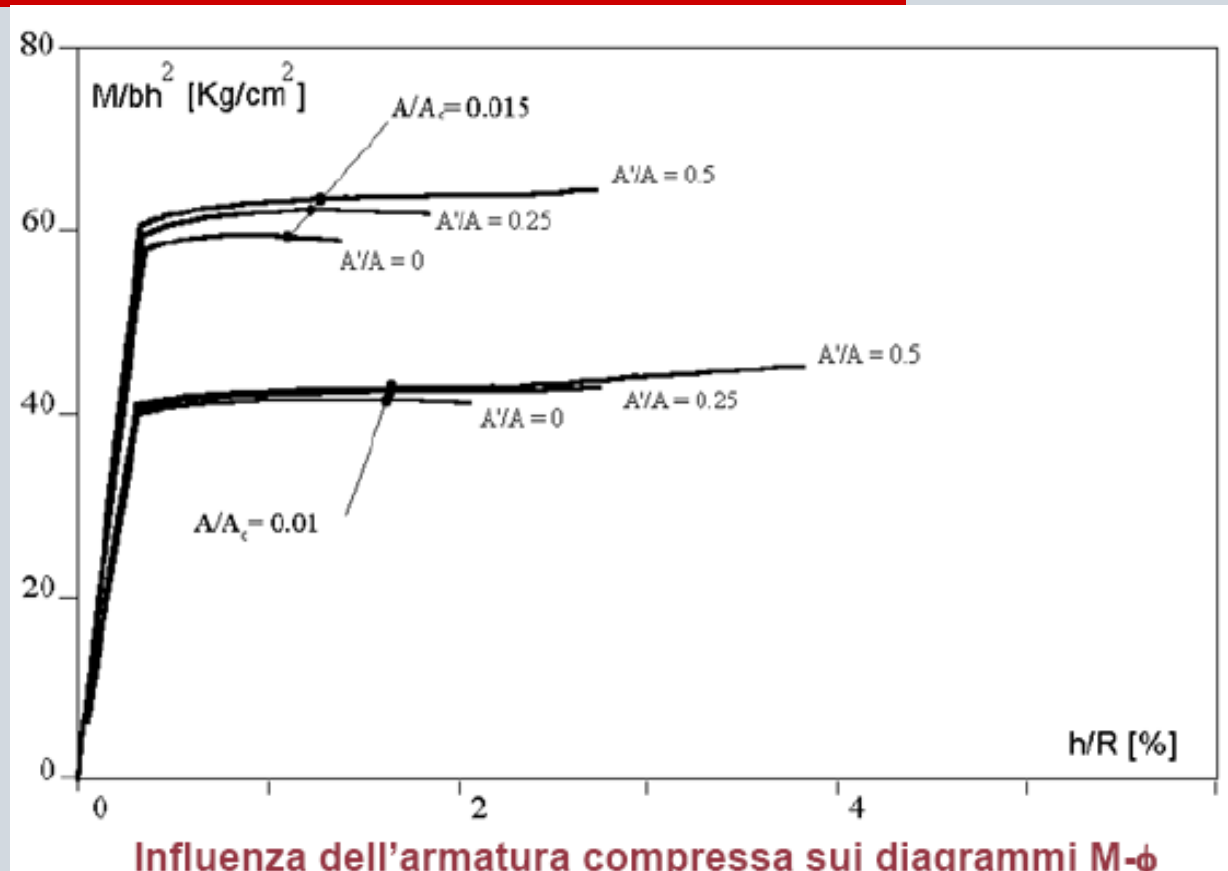


Diagrammi σ - ϵ del calcestruzzo al variare della percentuale di staffe

Duttilità di sezione

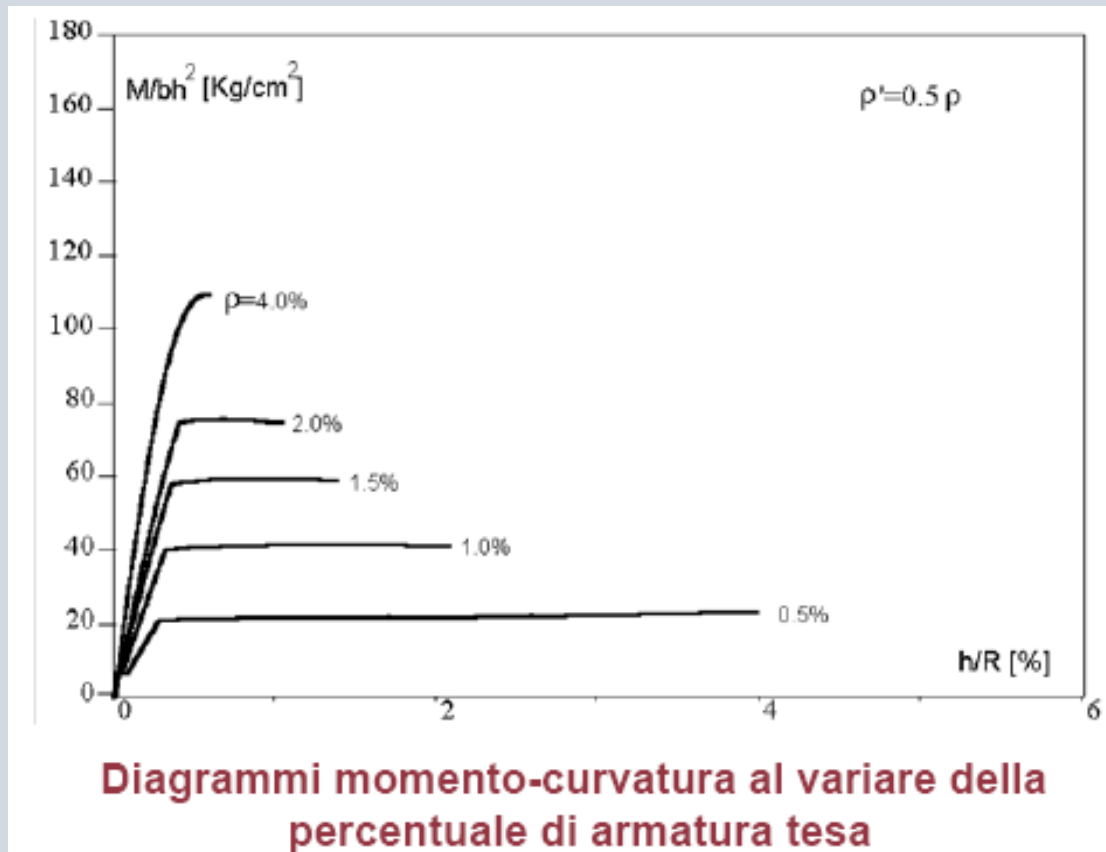


Duttività di sezione



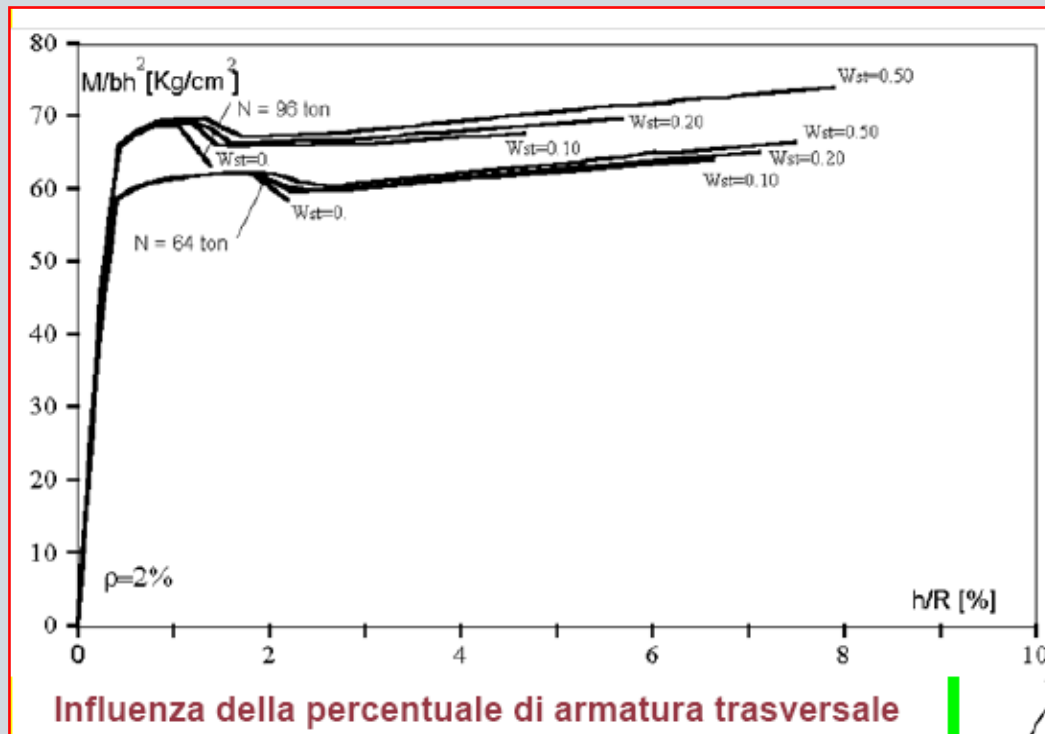
La duttilità aumenta all'aumentare dell'**armatura compressa**

Duttività di sezione



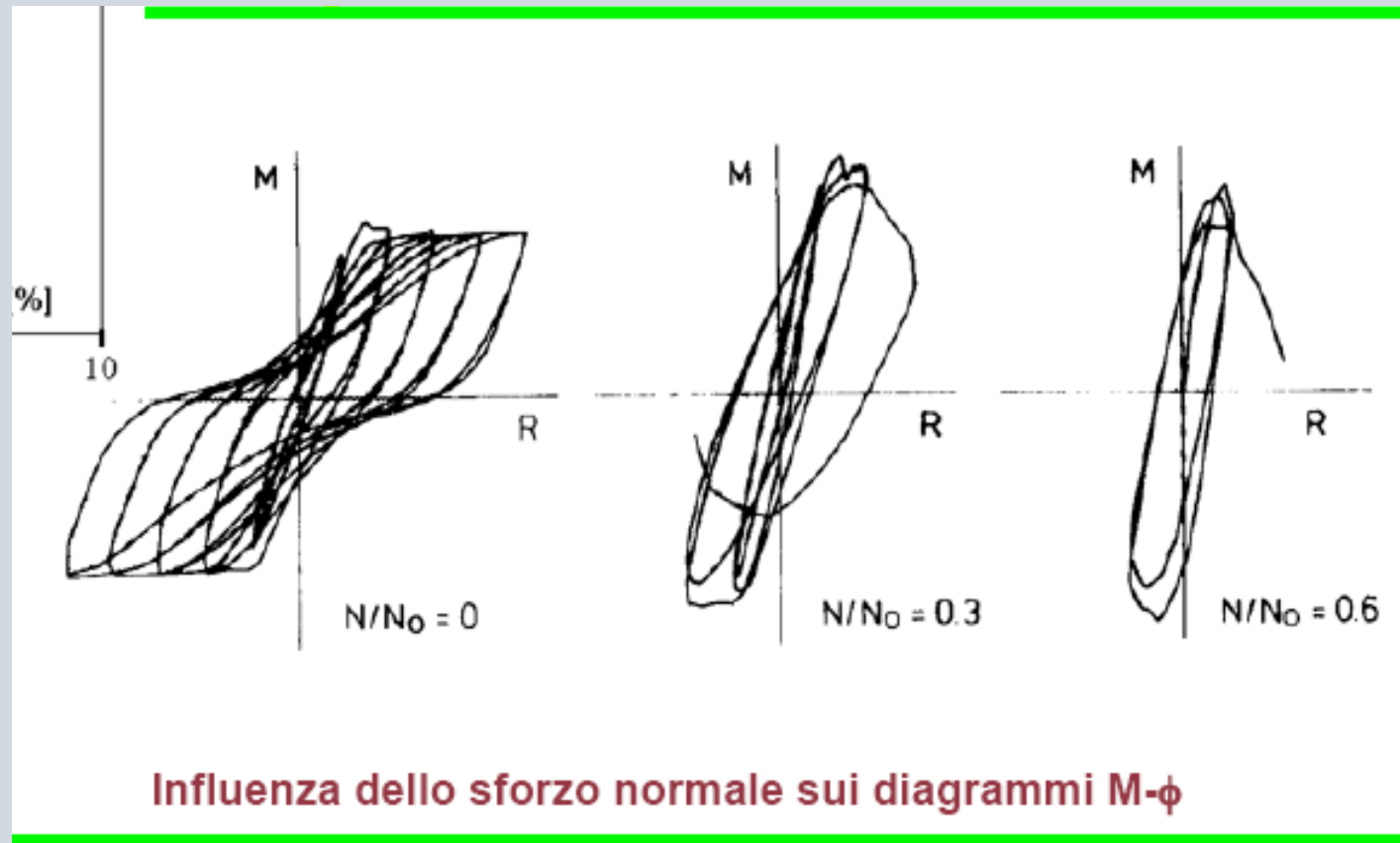
La duttilità si riduce all'aumentare dell'**armatura tesa**

Duttilità di sezione



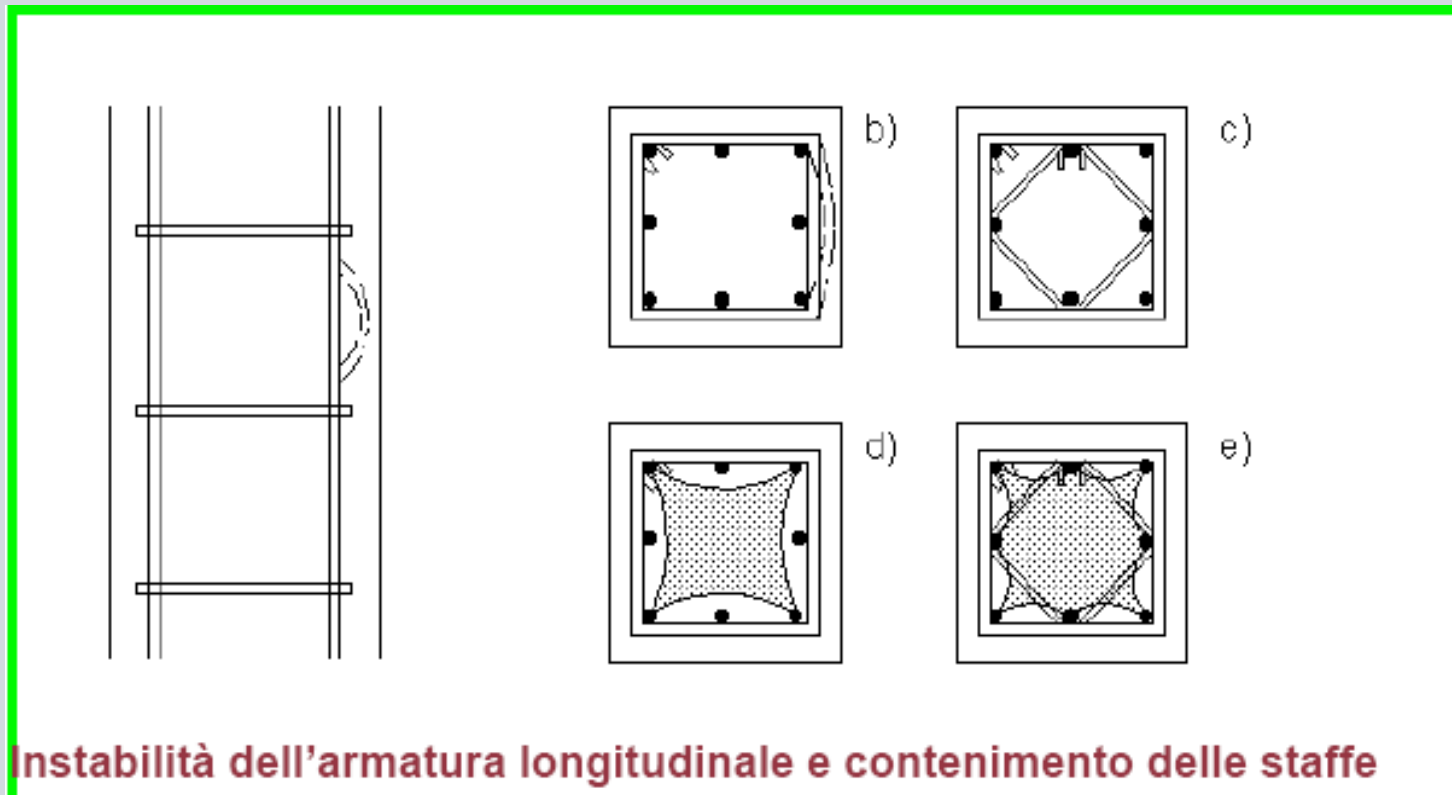
La duttilità aumenta all'aumentare dell'**armatura trasversale** (aumenta il confinamento del calcestruzzo)

Duttilità di sezione



La duttilità si riduce all' aumentare dello **sforzo assiale**.

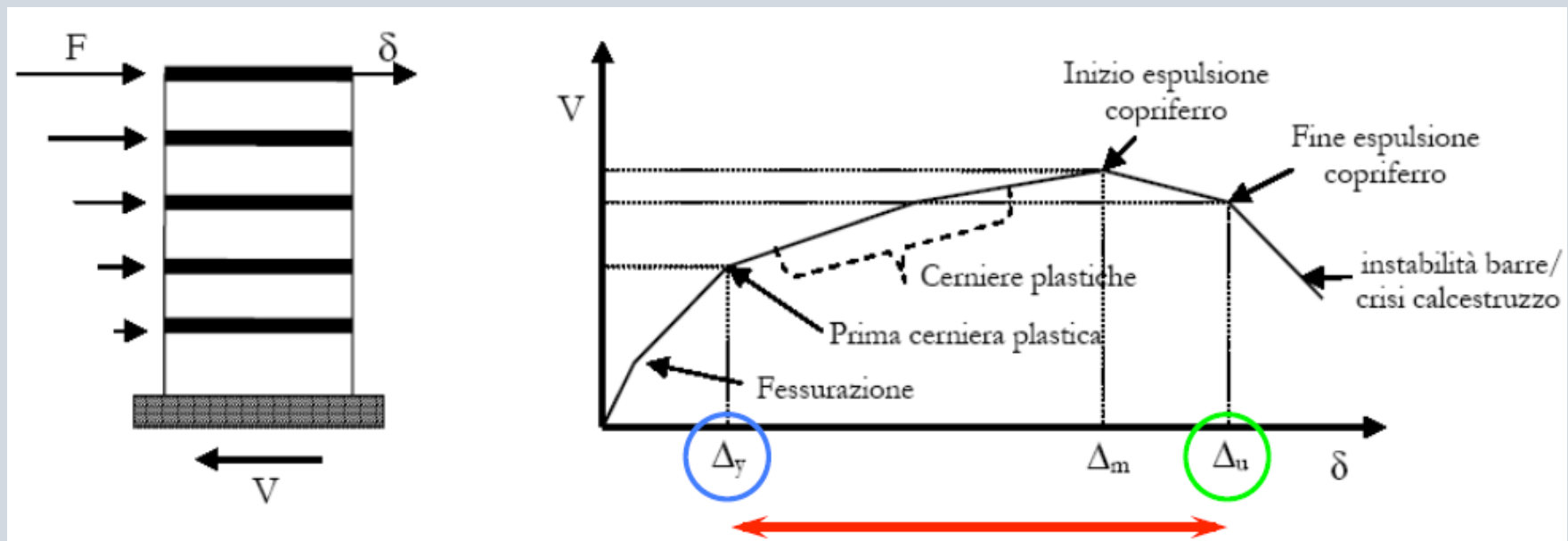
Duttilità di elemento



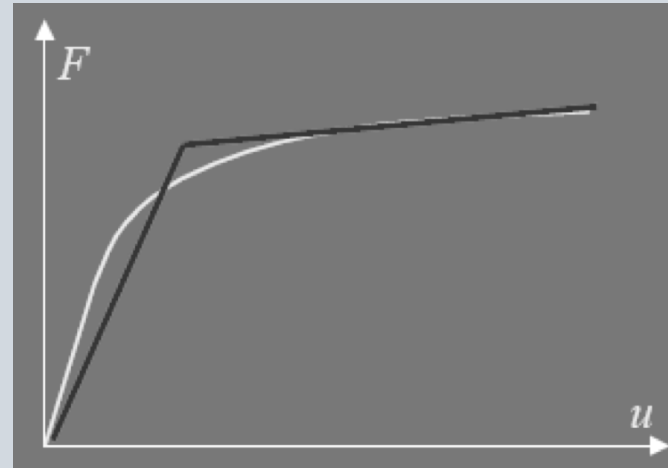
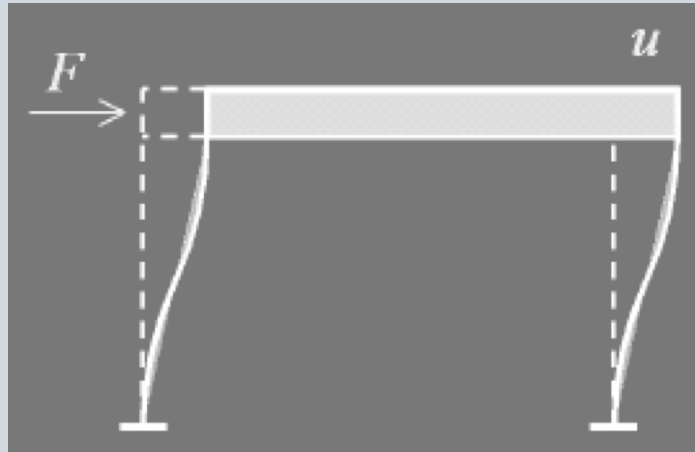
La duttilità di elemento dipende fortemente dall'armatura trasversale (staffe).
Le staffe riducono il rischio di instabilità delle barre longitudinali compresse.

Duttilità di struttura

- Graficamente la duttilità di spostamento di un edificio può essere individuata sulla curva “taglio alla base – spostamento in sommità” (Curva di Capacità), ottenuta analiticamente applicando opportune distribuzioni di forze statiche equivalenti ai piani (metodo pushover).



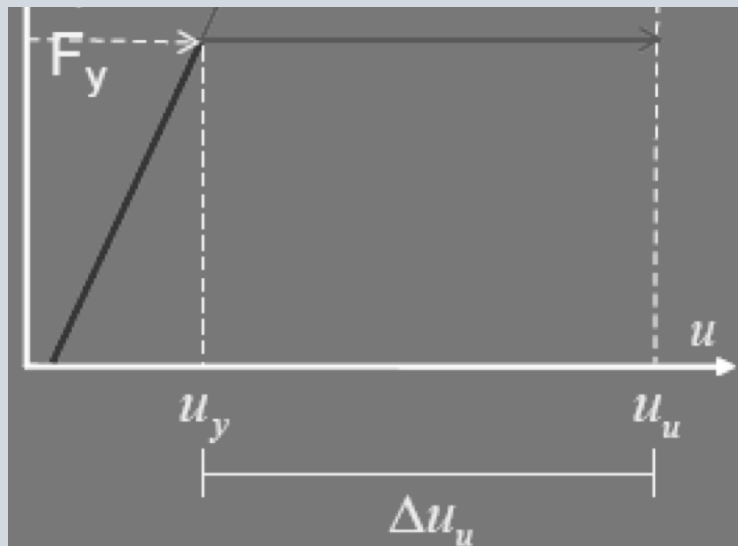
La duttilità strutturale



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.

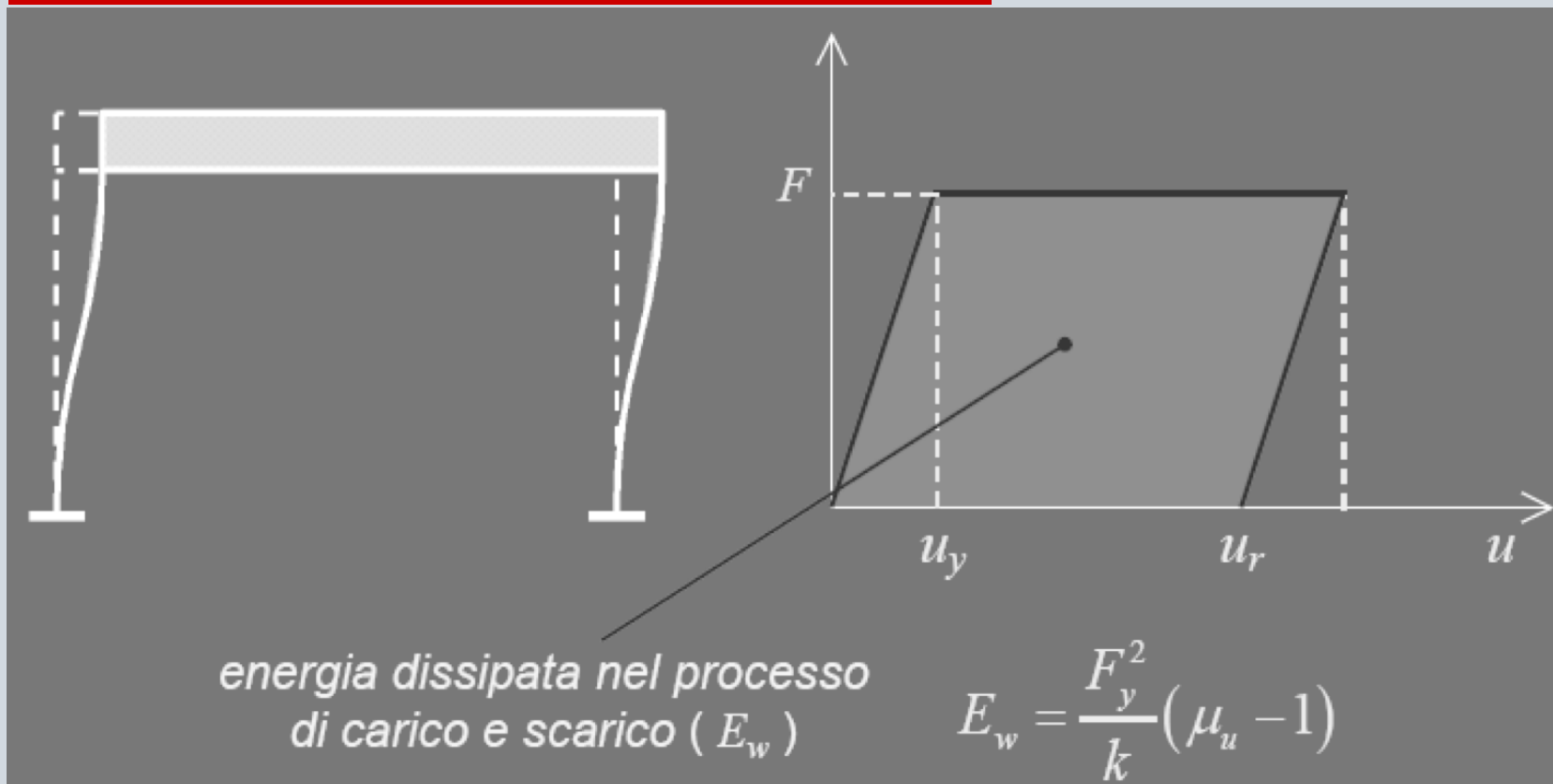
La duttilità strutturale



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

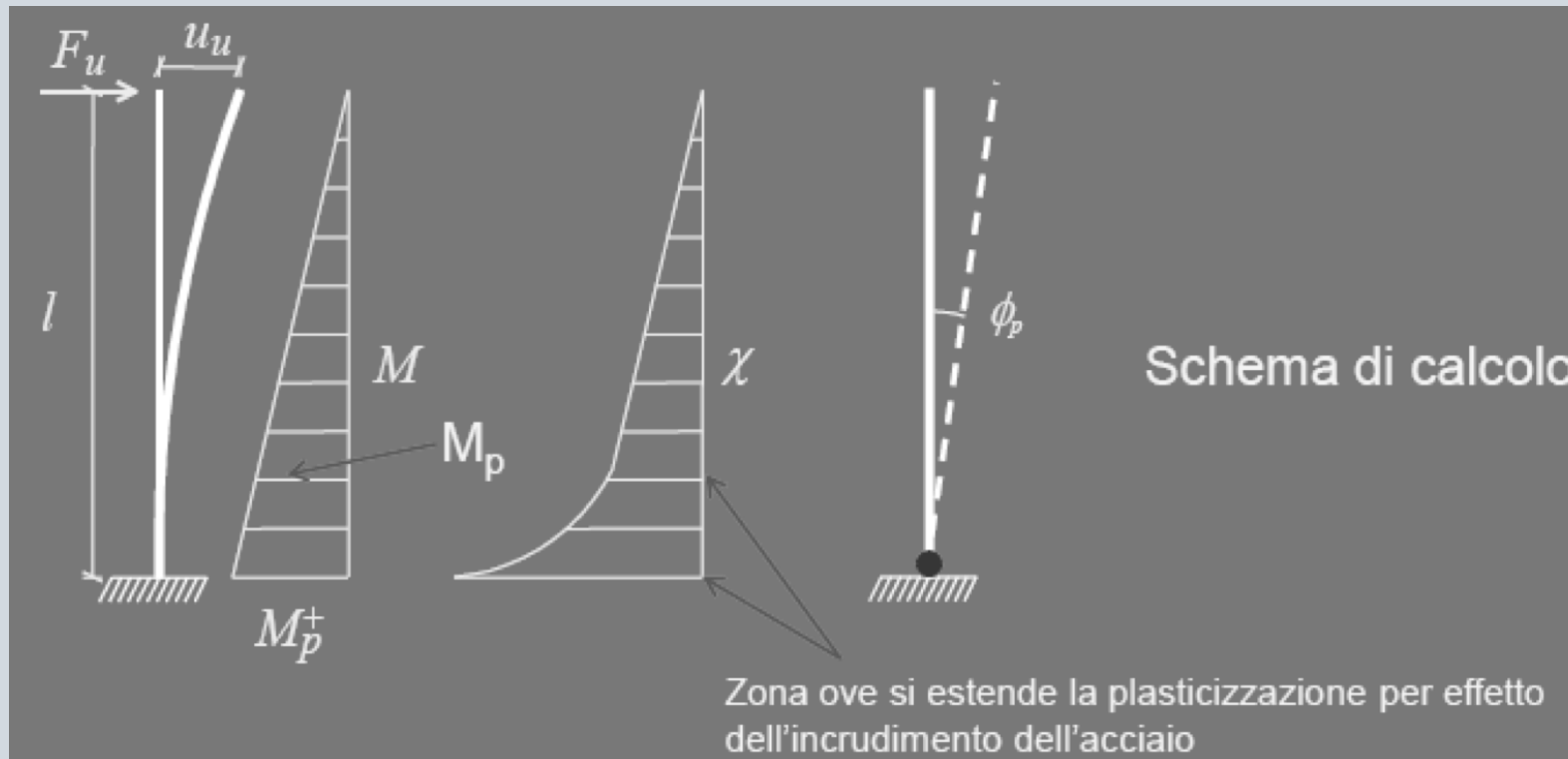
La duttilità misura la capacità del sistema di deformarsi oltre il limite elastico senza sostanziali riduzioni della resistenza.

La duttilità strutturale



La duttilità strutturale misura la **capacità di dissipare energia**.

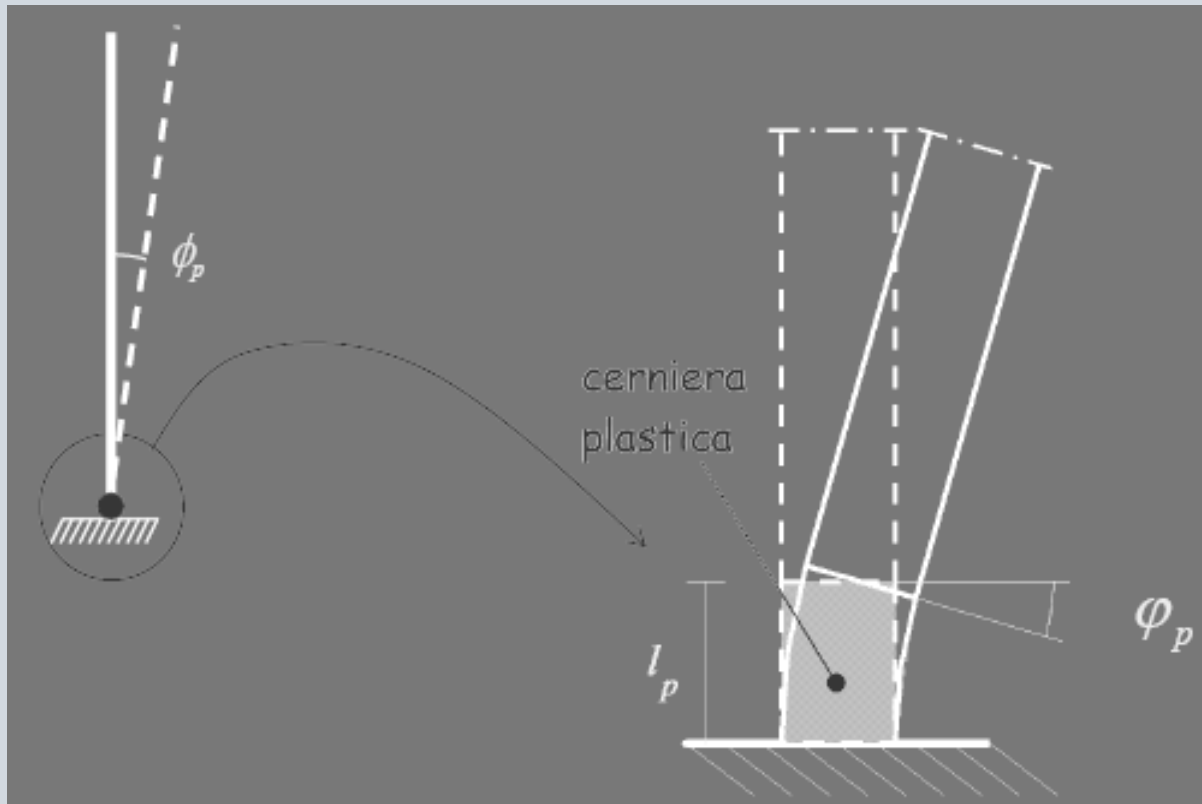
La duttilità strutturale



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

La duttilità strutturale

La cerniera plastica



ϕ_p

Rotazione plastica

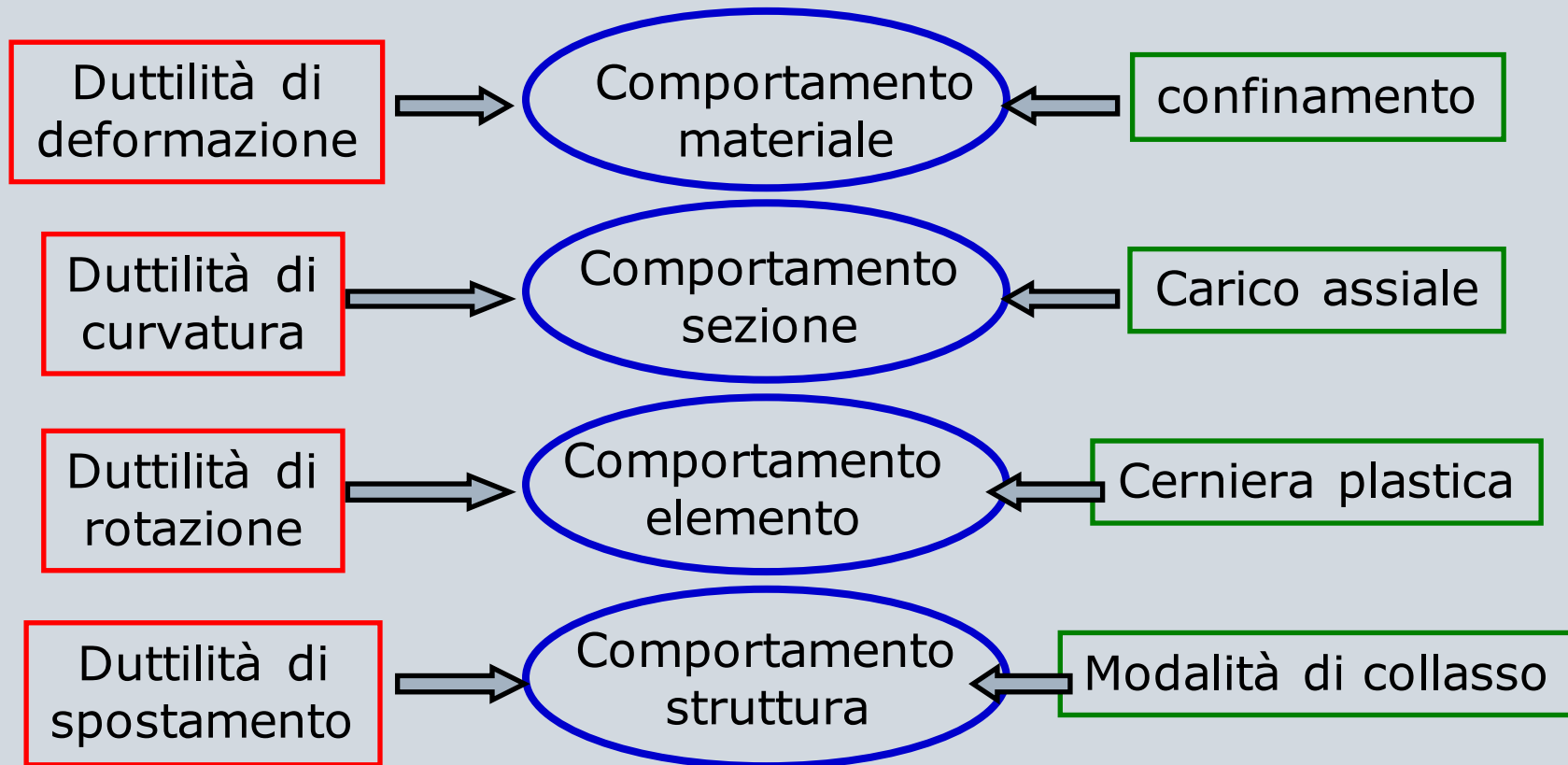
l_p

Lunghezza della
cerniera plastica

Esempio di cerniera plastica



Duttilità e comportamenti



La duttilità strutturale in sintesi

Grandi spostamenti a collasso = elevata duttilità globale

Numerose cerniere plastiche = elevata dissipazione

Cerniere plastiche sulle travi = gerarchia delle resistenze

