

APPLICAZIONE A CASI STUDIO DELLA ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

Relatore

Ing. Fabio Di Trapani Ph.D
fabio.ditrapani@unipa.it

Responsabile Scientifico

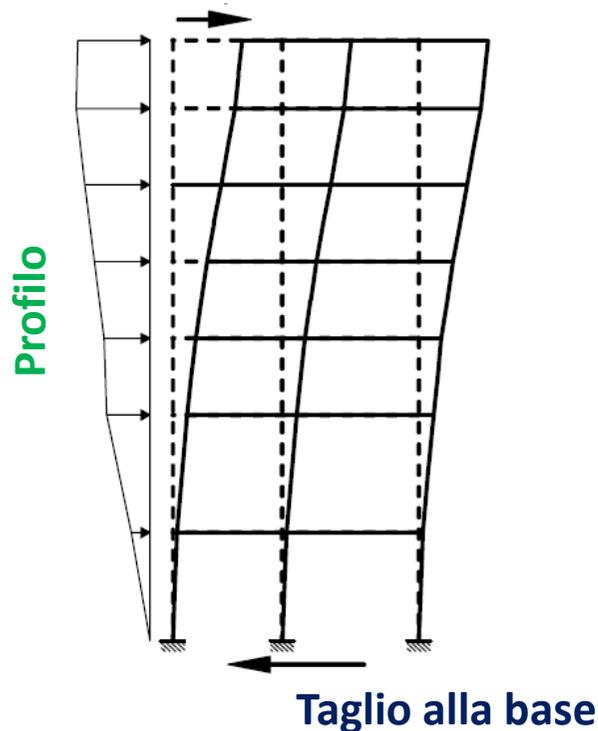
Ing. Gaspare Mollica

26 Giugno 2014, Trapani

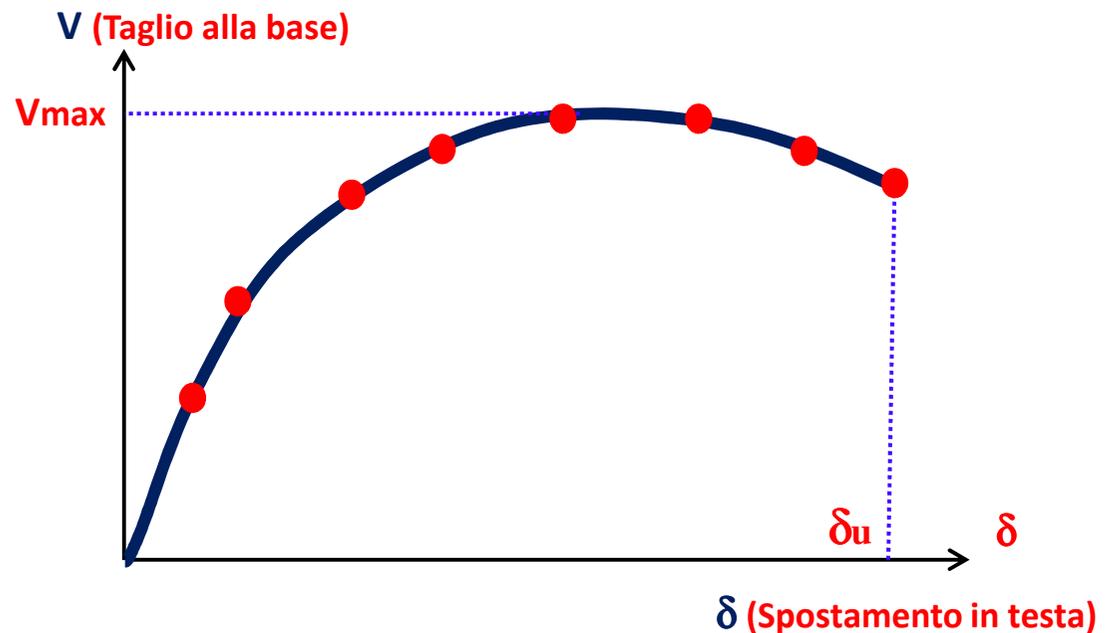
Analisi Statica Non Lineare - PUSHOVER

- 1 Applicazione di un profilo di forze o di spostamenti crescente monotonicamente
- 2 Lettura ad ogni passo del taglio alla base e del corrispondente spostamento in testa e costruzione di una curva $V-\delta$ definita curva di capacità
- 3 Verifica della capacità strutturale in termini di spostamento ultimo (o duttilità) rispetto a quella richiesta

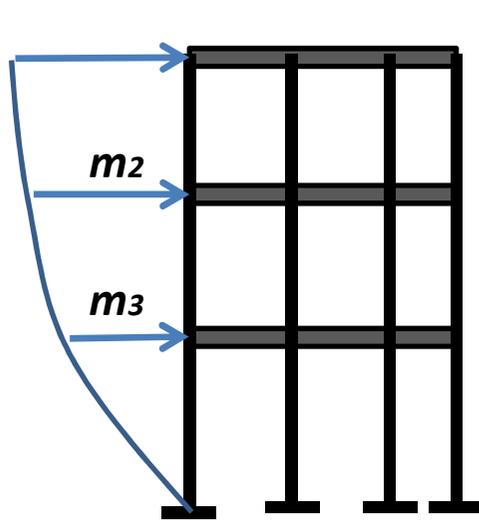
Spostamento in testa



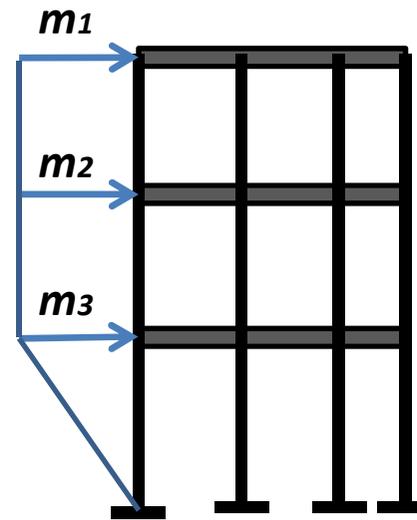
Curva di capacità



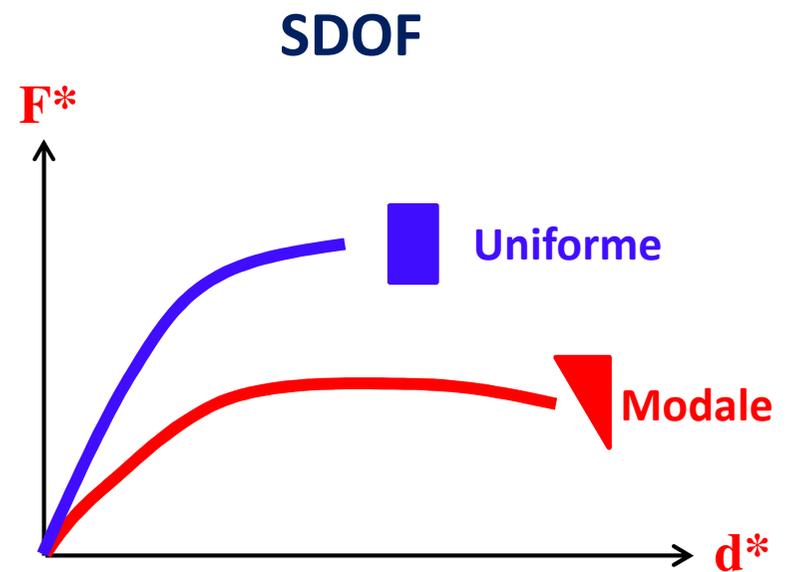
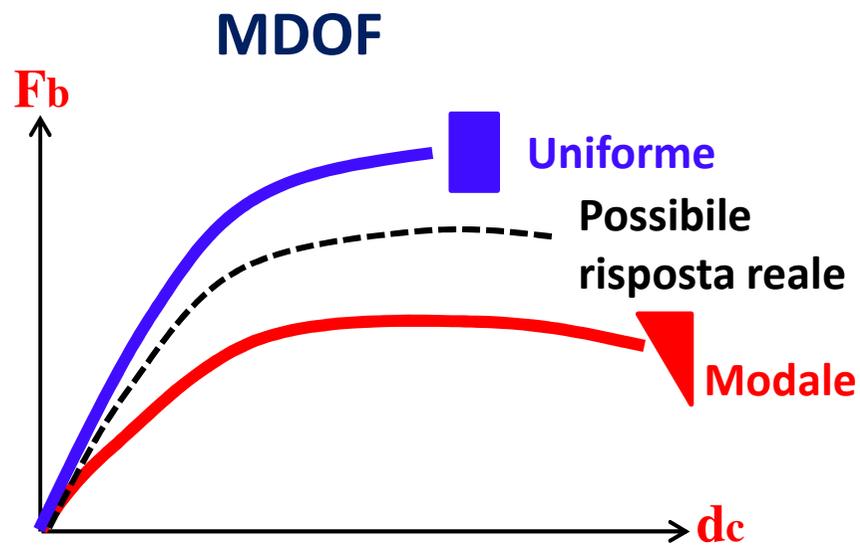
PROFILI DI CARICO



Modale



Uniforme



BILINEARIZZAZIONE DELLA RISPOSTA DELLO SDOF EQUIVALENTE

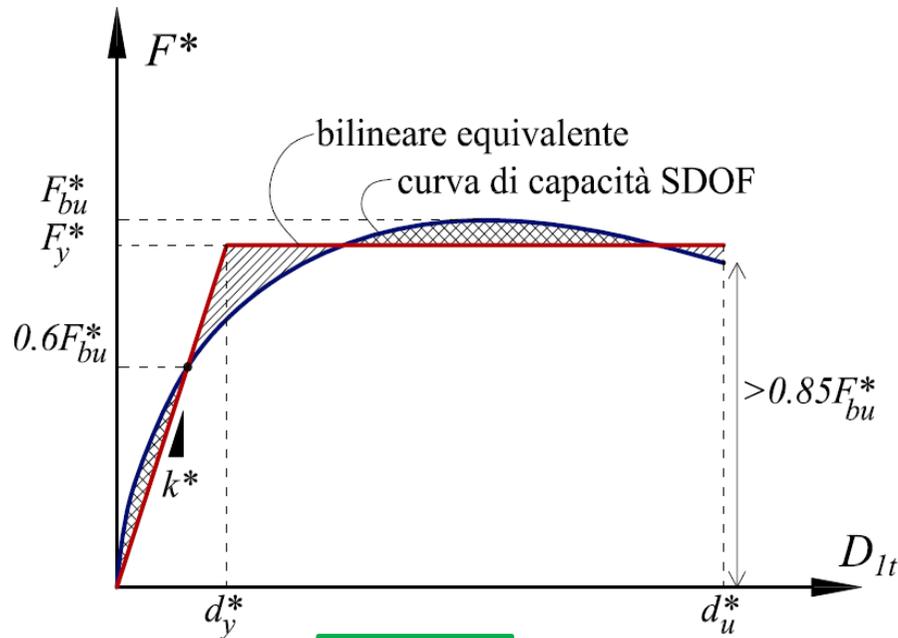
CARATTERISTICHE SDOF

$$k^* = \frac{F_y^*}{d_y^*}$$

$$m^* = \Phi_1^T M \tau$$

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

$$q^* = \frac{S_e(T^*) m^*}{F_y^*}$$

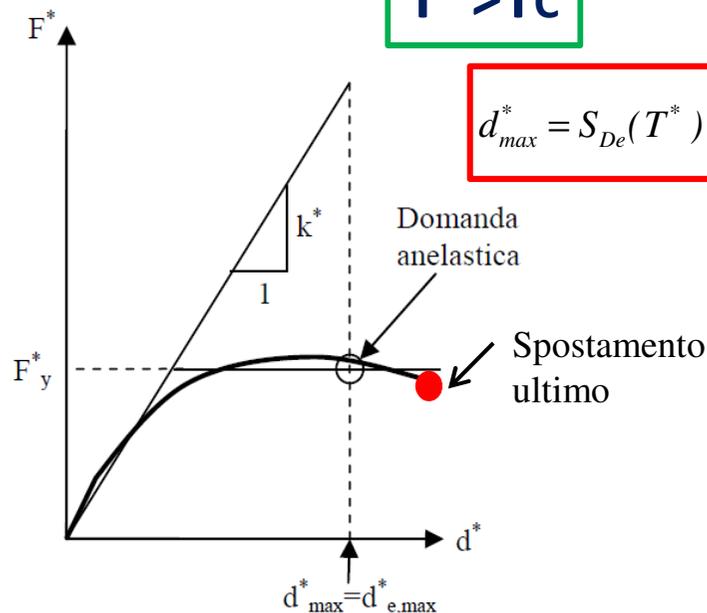


VERIFICA

$$d_{max}^* \leq d_u^*$$

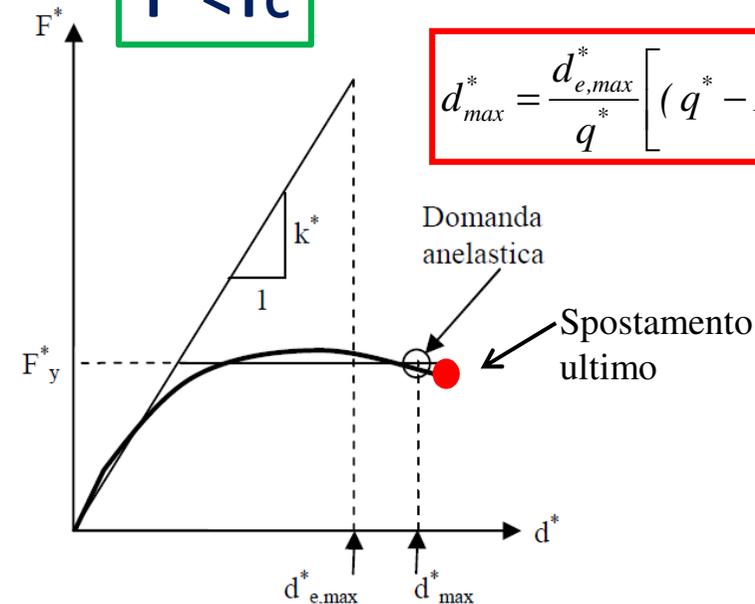
$$T^* > T_c$$

$$d_{max}^* = S_{De}(T^*) = \frac{S_e(T^*) m^*}{k^*}$$



$$T^* < T_c$$

$$d_{max}^* = \frac{d_{e,max}^*}{q^*} \left[(q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} + 1 \right]$$



MODELLAZIONE DELLA NON LINEARITA' MECCANICA NELLE STRUTTURE

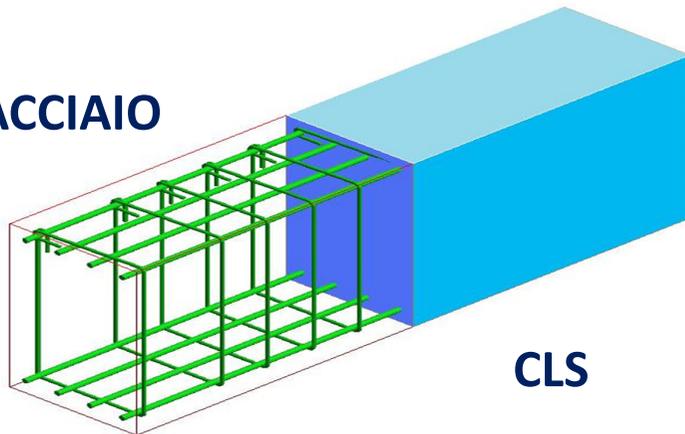
- Dipende dalla tipologia strutturale
- Devono essere individuate le zone soggette a plasticizzazione
- Devono essere introdotti dei modelli meccanici per modellare il loro comportamento
- Indagini visive e prove di caratterizzazione meccanica sono fondamentali nel caso di edifici esistenti

Non linearità Strutturale del modello

STRUTTURE IN C.A.



ACCIAIO



CLS

**Elementi MONODIMENSIONALI
costituiti da materiali molto diversi**

**Risposta NL dipendente dalla
distribuzione dell'armatura**

Non linearità Strutturale del modello

STRUTTURE IN MURATURA

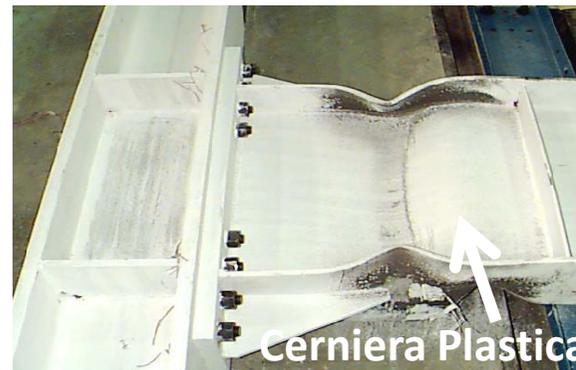
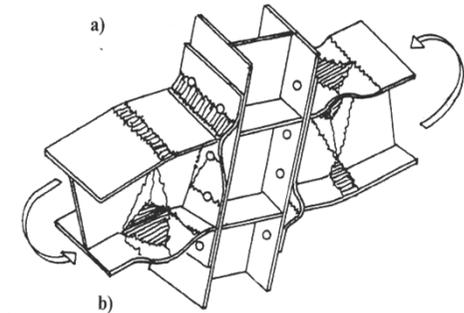


Elementi BIDIMENSIONALI con prevalente deformabilità a taglio

Risposta NL dipendente dalla caratterizzazione delle malte e dei blocchi, scorrimento giunti o fessurazione diagonale

Non linearità Strutturale del modello

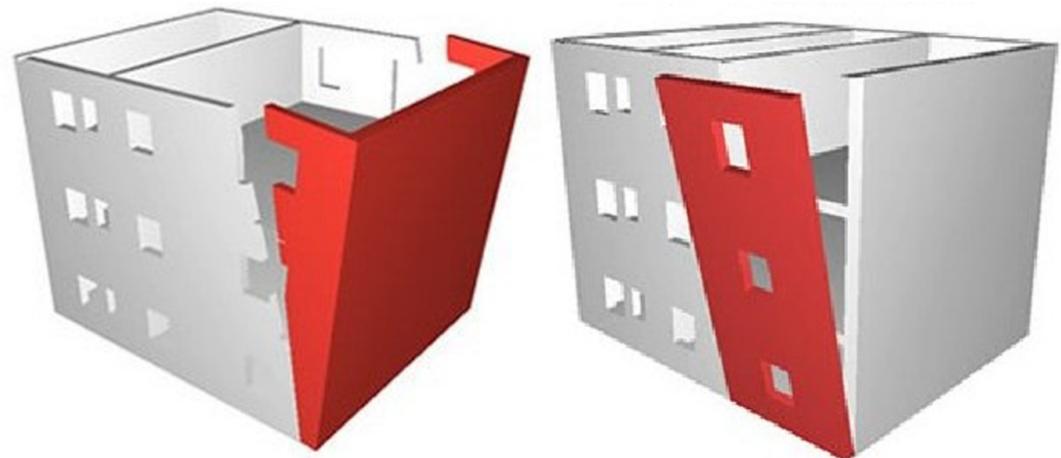
STRUTTURE IN ACCIAIO



**Elementi MONODIMENSIONALI di
materiale omogeneo**

**Risposta dipendente dalla
caratterizzazione dei giunti**

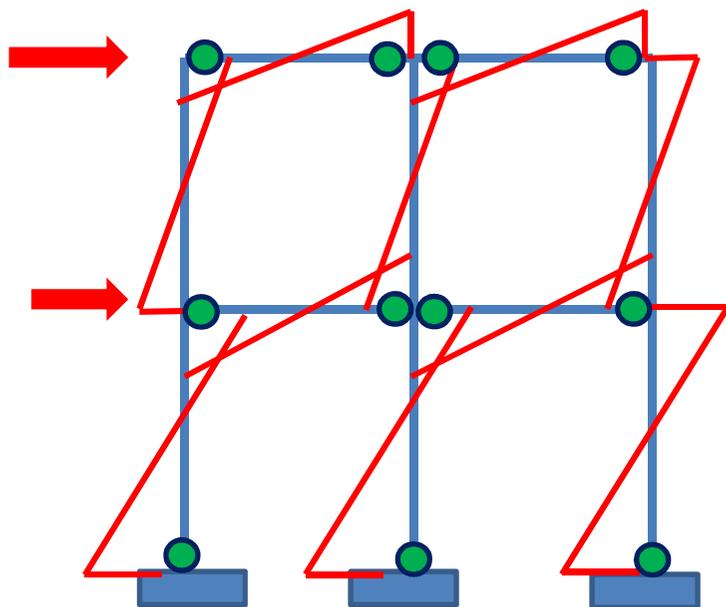
La risposta non lineare può inoltre dipendere dall'attivazione di meccanismi locali
rottture fragili non contemplate nel modello. Le **indagini conoscitive**,
l'interpretazione dei risultati ed eventuali **verifiche a valle** sono quindi passaggi
fondamentali



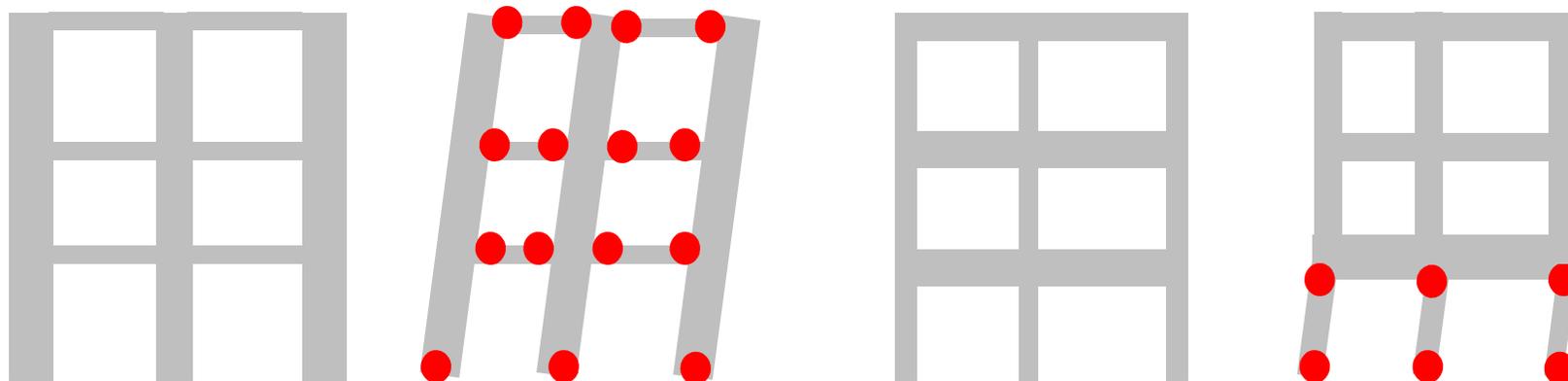
MODELLAZIONE DELLA NON LINEARITA' DI STRUTTURE IN
CALCETRUZZO ARMATO
- Aspetti Teorici
-Indicazioni normative

Se non intervengono rotture fragili per taglio degli elementi o dei nodi le sedi nella non linearità strutturale sono le regioni di estremità di travi e pilastri

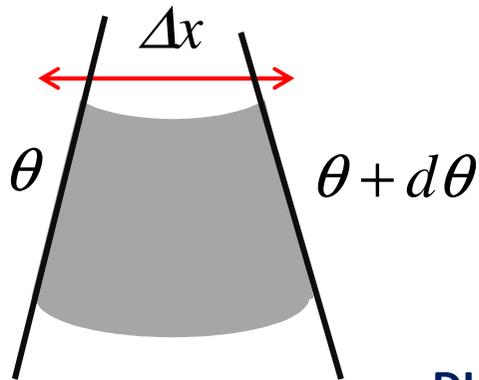
Si attivano dei meccanismi di tipo flessionale: **CERNIERE PLASTICHE**



- Le cerniere si attivano in sequenza ogni qualvolta viene raggiunto il momento di plasticizzazione
- Una volta che la cerniera è attivata il momento è mantenuto costante fin quando la cerniera non raggiunge una rotazione ultima
- La collocazione delle cerniere plastiche durante una analisi NL dipende dal profilo e dalla predisposizione strutturale determinando la duttilità finale



RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.



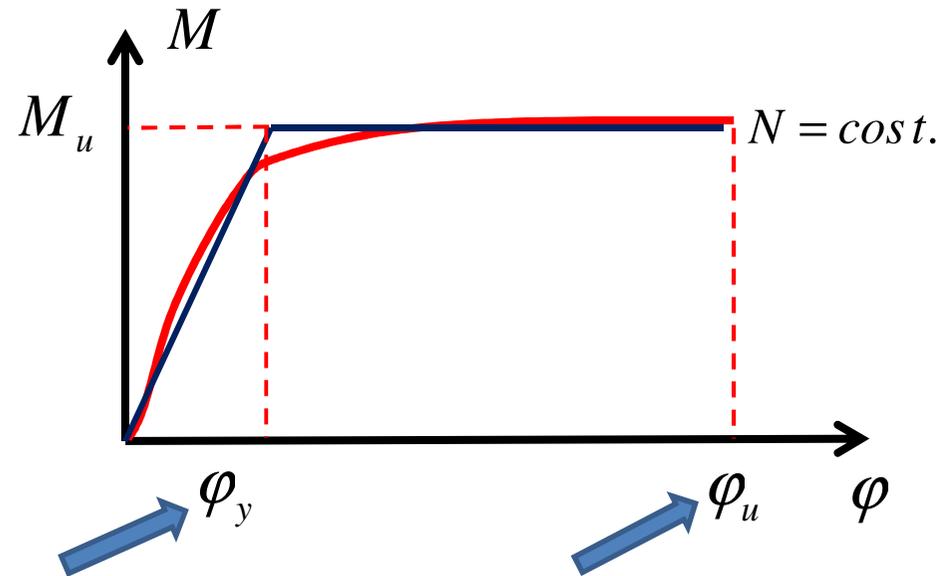
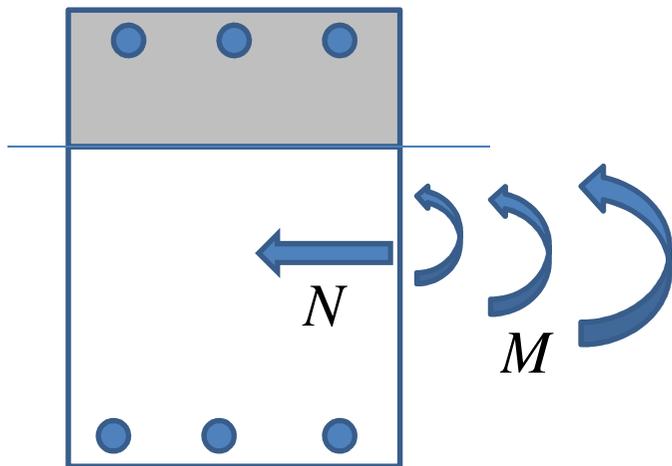
CURVATURA

$$\varphi = \frac{d\theta}{\Delta x}$$

E' la rotazione dell'unità di lunghezza

E' necessario definire una lunghezza per ottenere una rotazione finita

DIAGRAMMA MOMENTO-CURVATURA



Curvatura allo snervamento

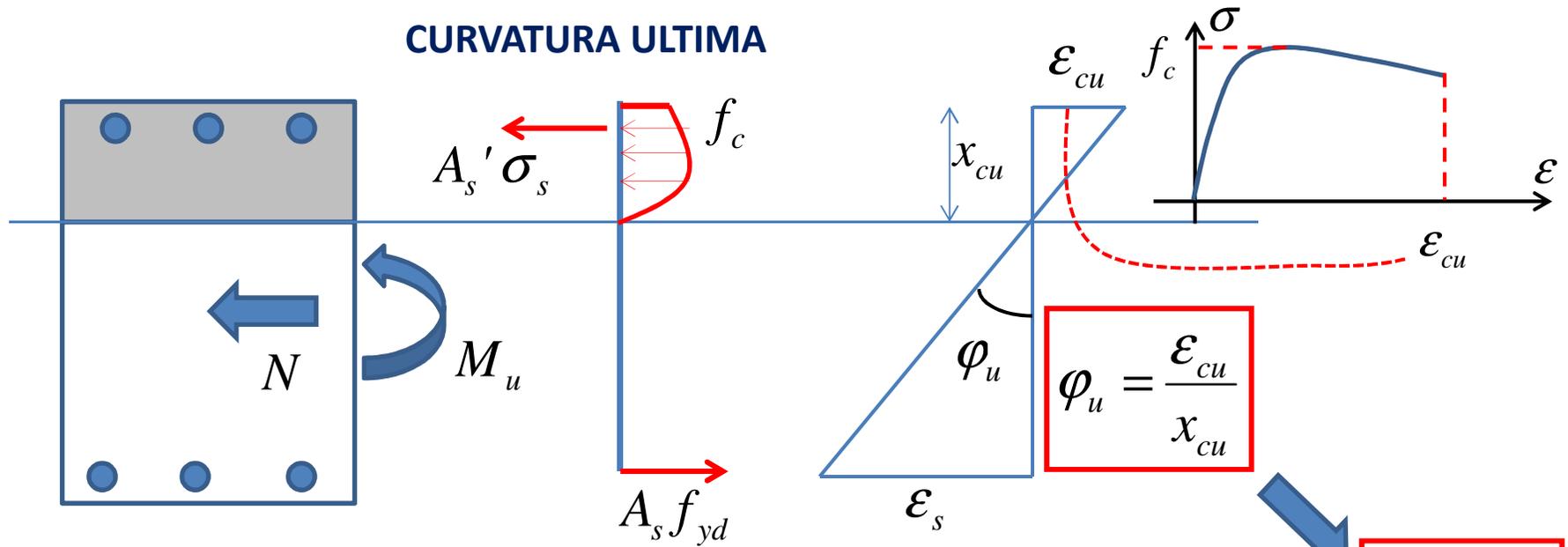
Curvatura ultima

Duttilità in Curvatura

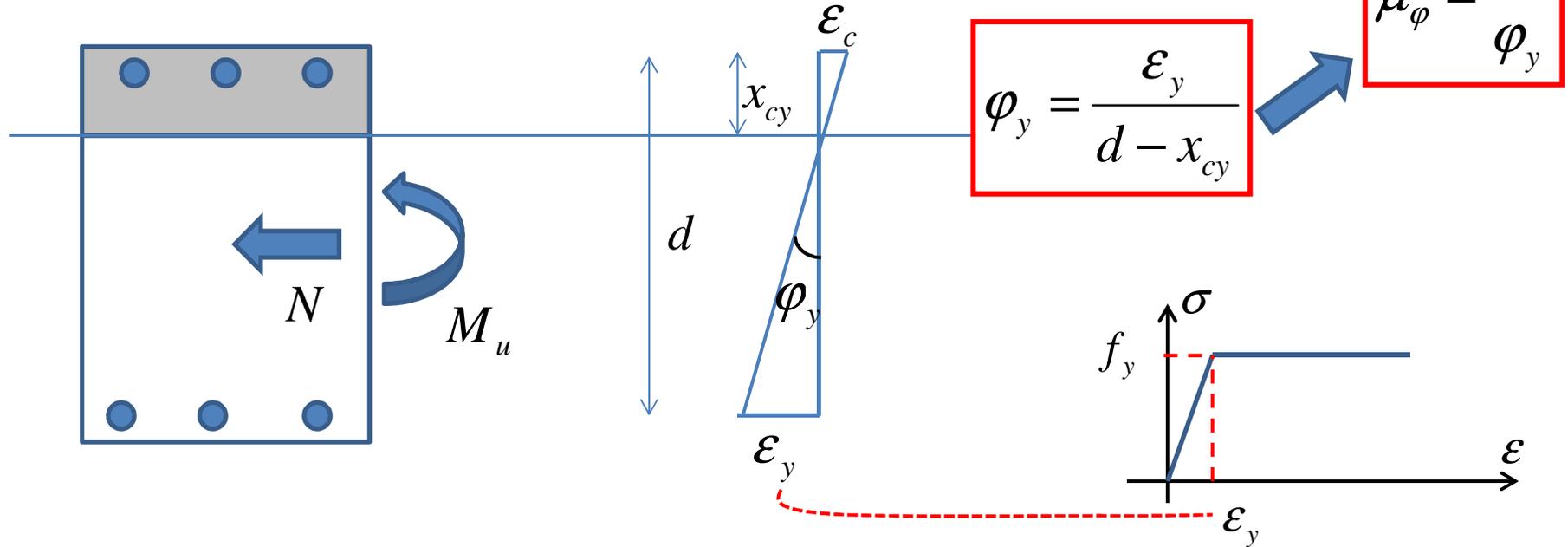
$$\mu_{\varphi} = \frac{\varphi_u}{\varphi_y}$$

RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

CURVATURA ULTIMA

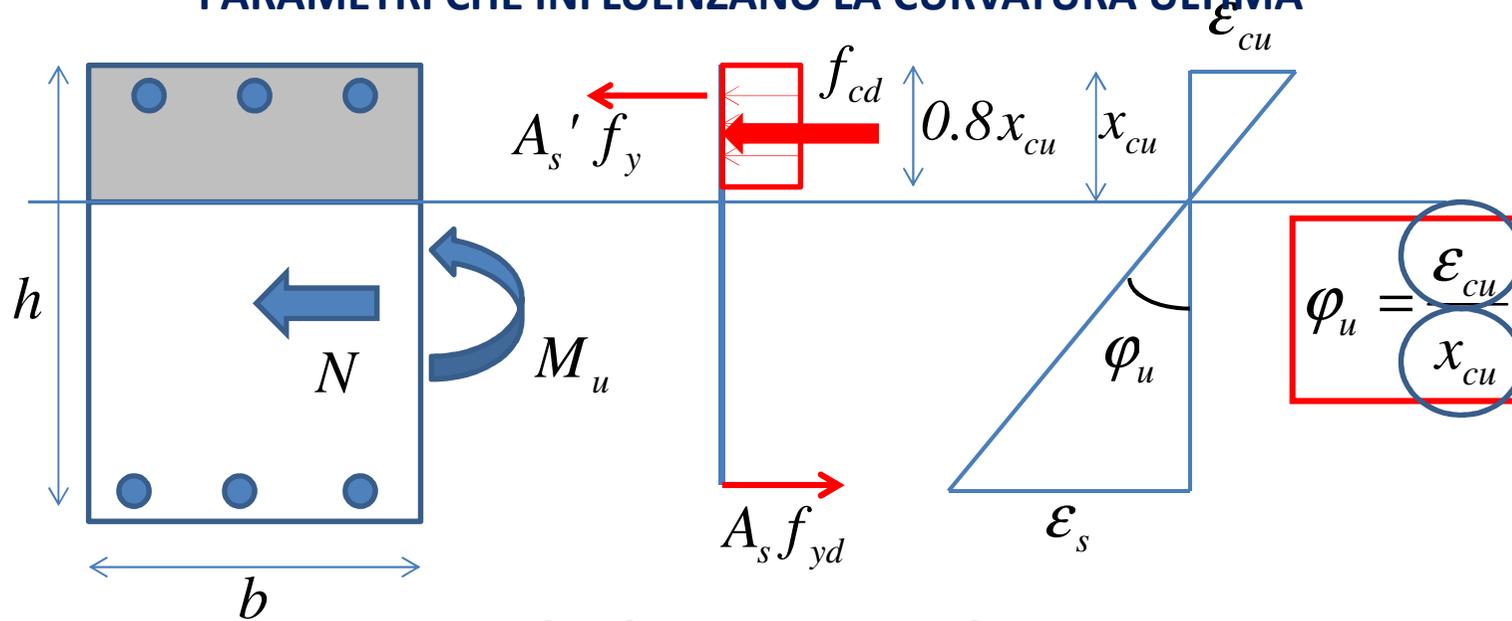


CURVATURA ALLO SNERVAMENTO



RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

PARAMETRI CHE INFLUENZANO LA CURVATURA ULTIMA



FATTORI CHE INFLUENZANO x_{cu}

Eq. Traslazione SLU

$$0.8x_{cu}bf_{cd} + A'_s f_{yd} - A_s f_{yd} = N$$

Resistenza CLS f_c

Armatura Compressa A'_s

Armatura tesa A_s

Altezza h

Sforzo normale N

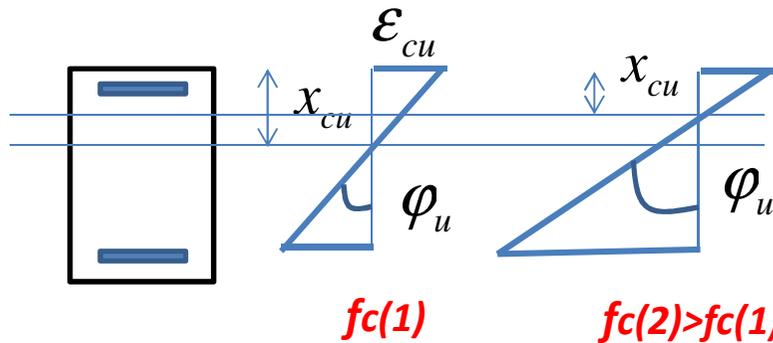
RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

FATTORI CHE INFLUENZANO x_{cu}

$$0.8x_{cu}bf_{cd} + A'_s f_{yd} - A_s f_{yd} = N$$

Aumento Resistenza CLS f_c

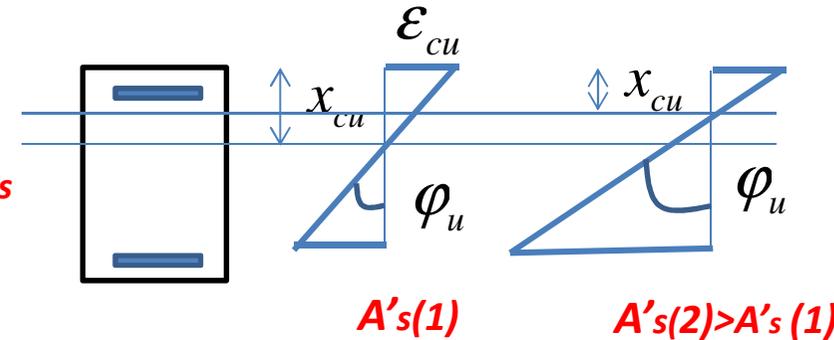
x_{cu} **Diminuisce**



φ_u
Aumenta

Aumento Armatura Compresa A'_s

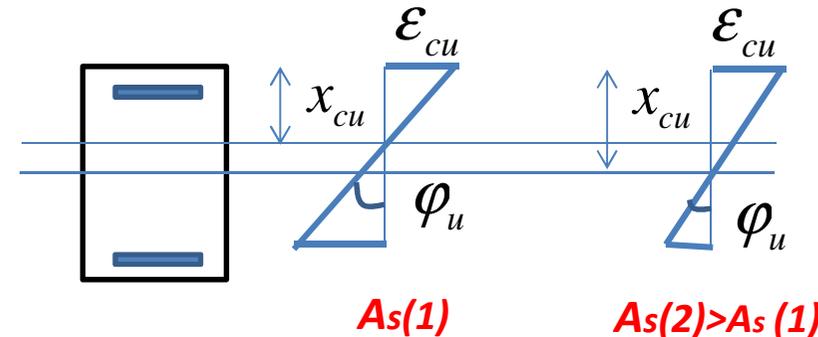
x_{cu} **Diminuisce**



φ_u
Aumenta

Aumento Armatura Tesa A_s

x_{cu} **Aumenta**



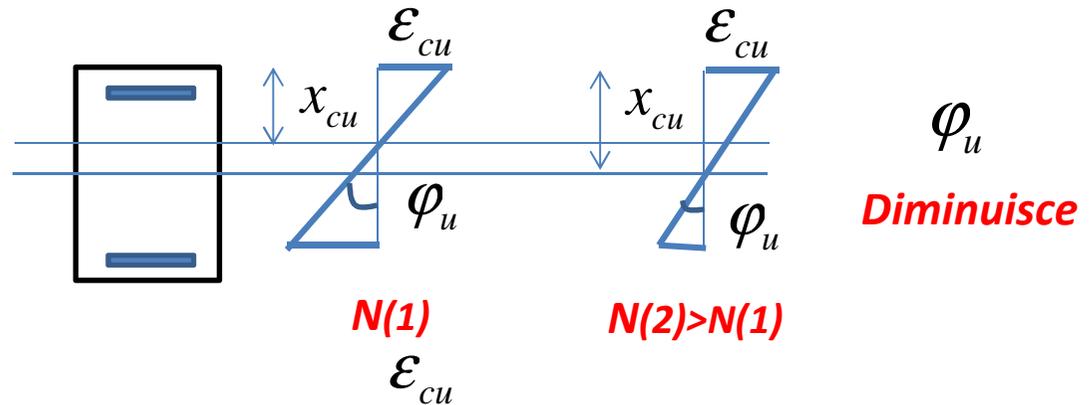
φ_u
Diminuisce

RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

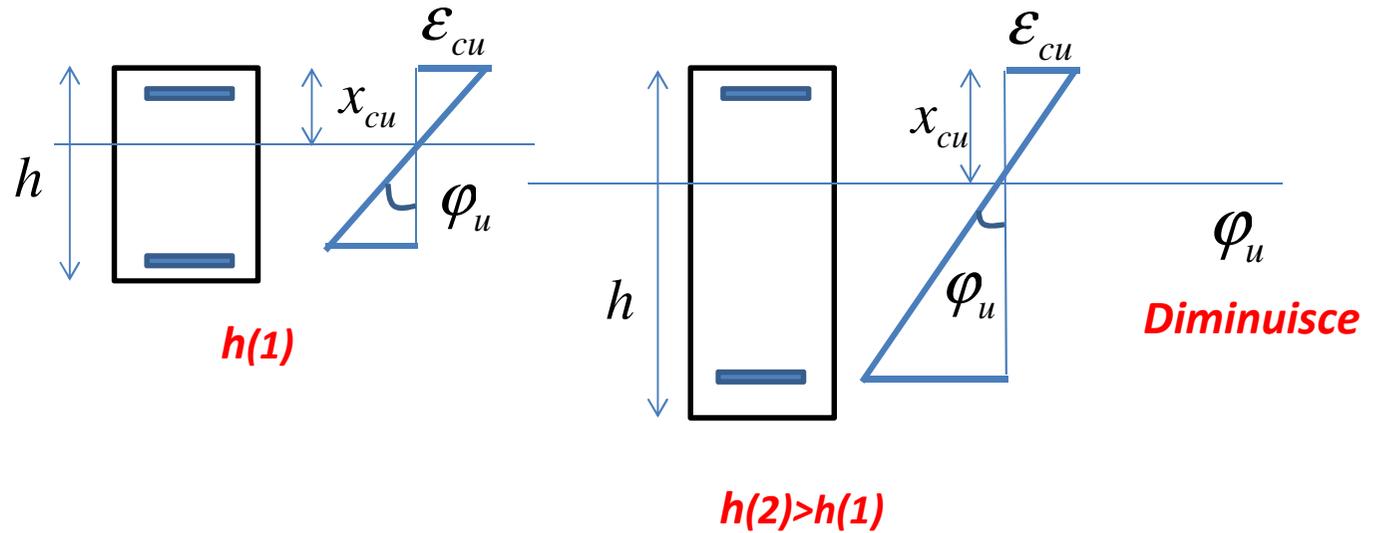
FATTORI CHE INFLUENZANO x_{cu}

$$0.8x_{cu}bf_{cd} + A'_s f_{yd} - A_s f_{yd} = N$$

Aumento N
 x_{cu} **Aumenta**



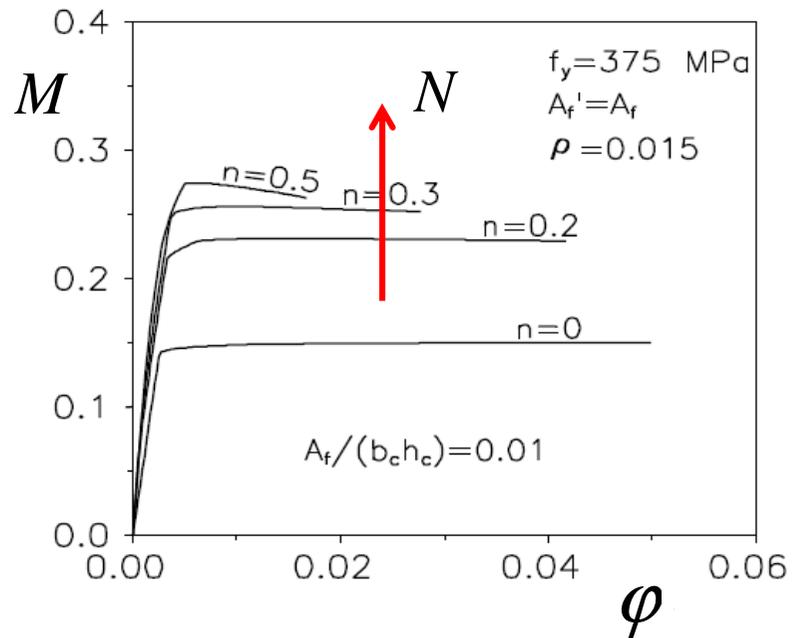
Aumento h
 x_{cu} **Aumenta**



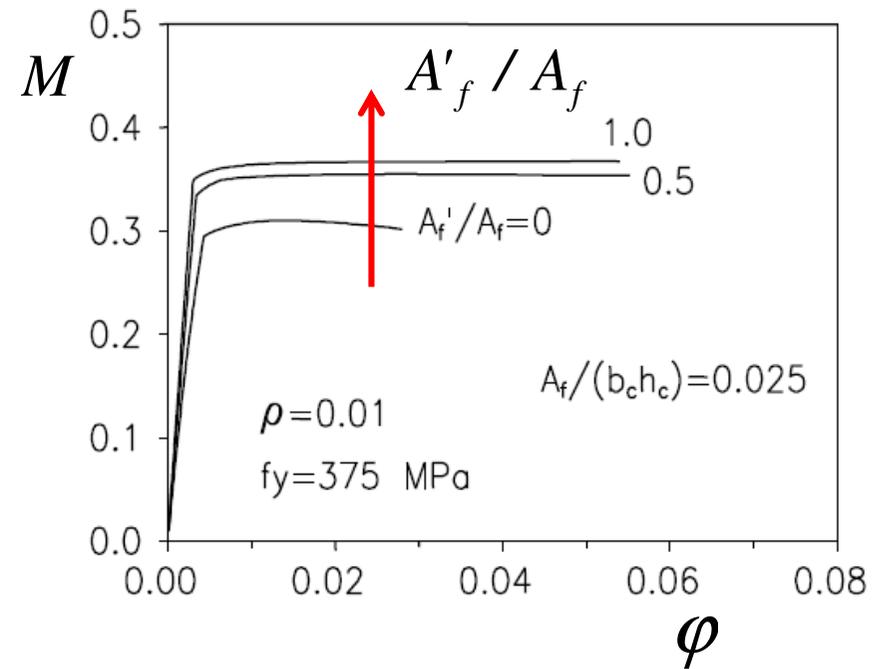
RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

DIGRAMMI M- ϕ A CONFRONTO

Elementi pressoinflessi (pilastri)



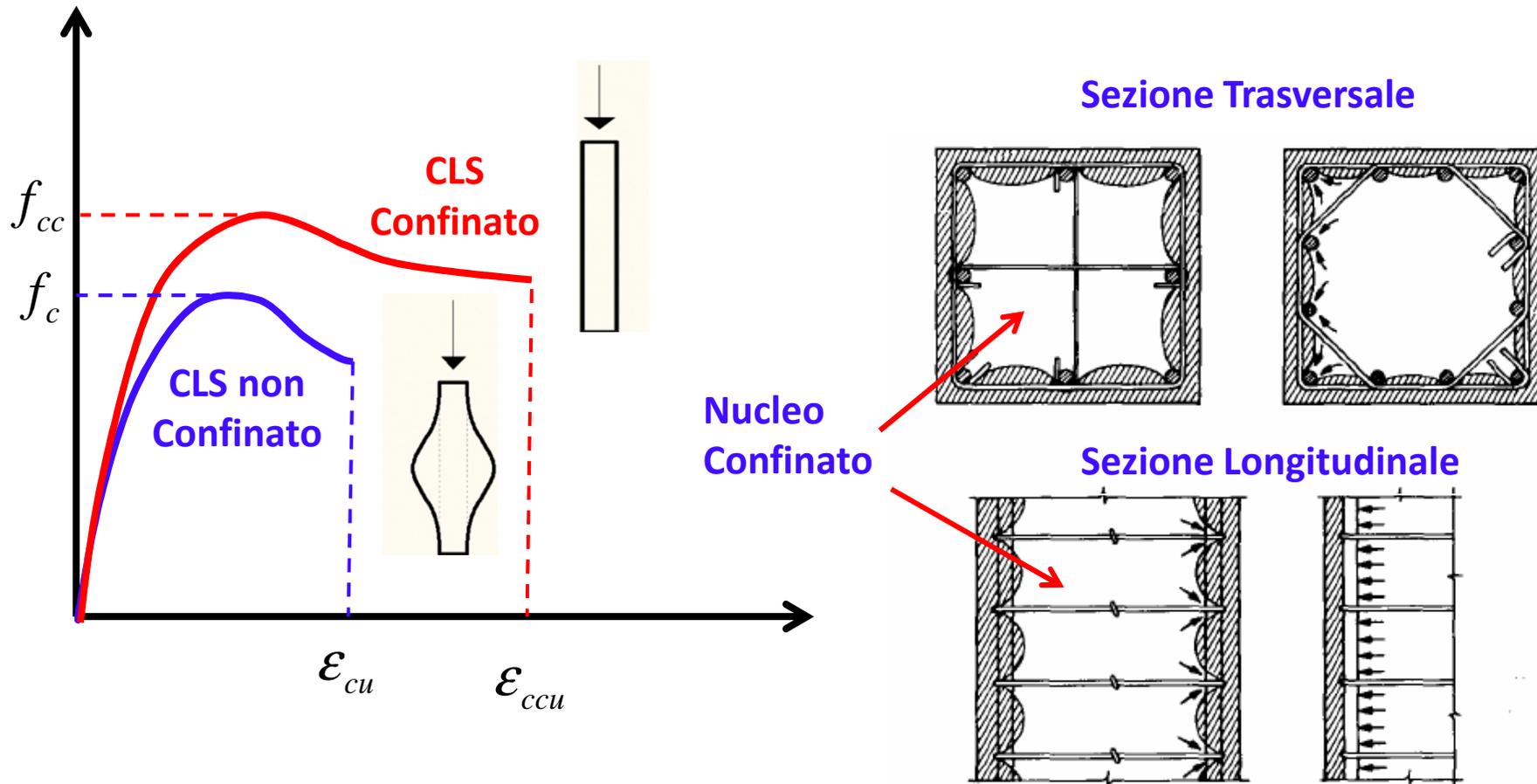
Elementi inflessi (travi)



RELAZIONE MOMENTO – CURVATURA PER SEZIONI IN C.A.

FATTORI CHE INFLUENZANO ϵ_{cu} (DEFORMAZIONE ULTIMA CLS)

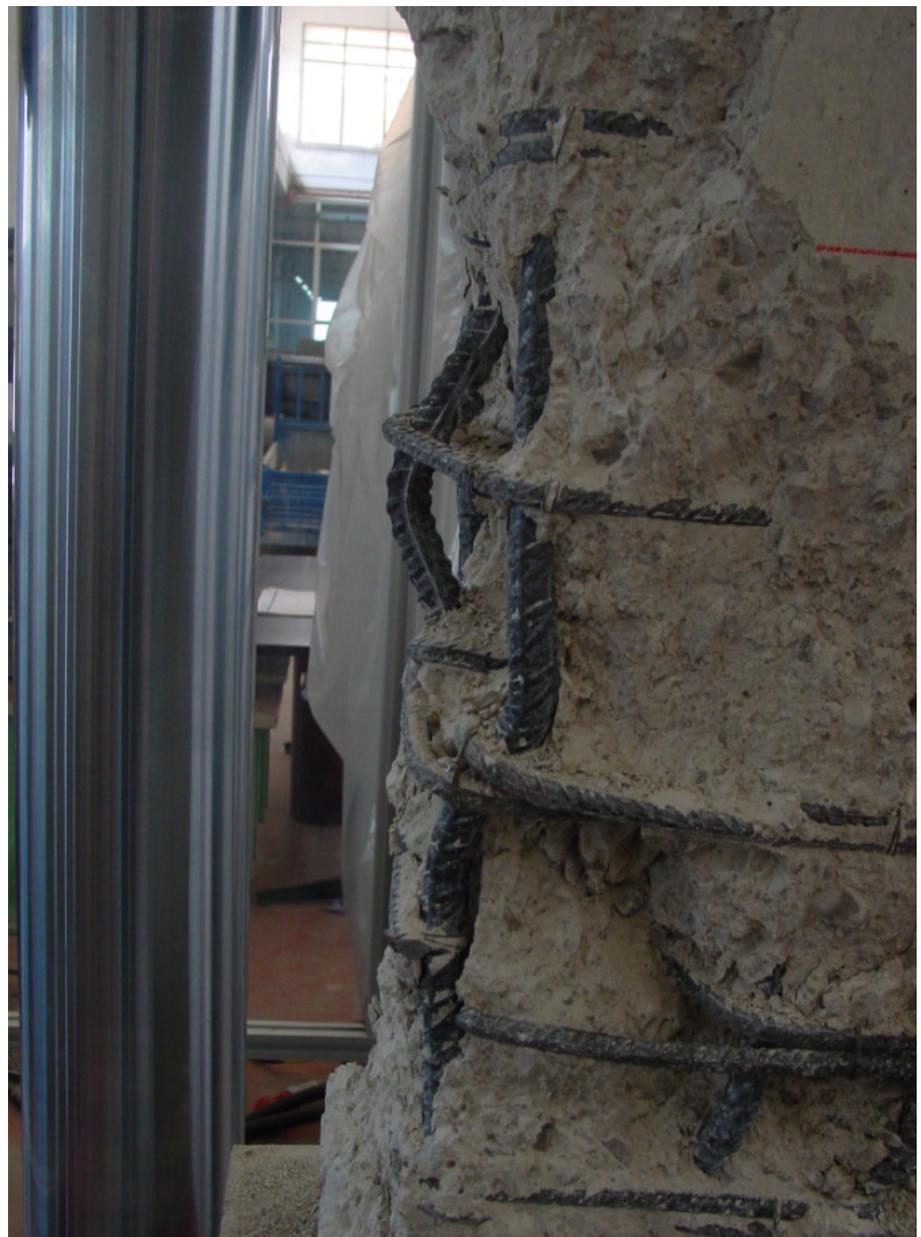
CONFINAMENTO DEL CALCESTRUZZO



La deformazione Ultima del CLS aumenta all'aumentare del volume del nucleo confinato

Riferimento Zone Critiche Pilastri e Travi







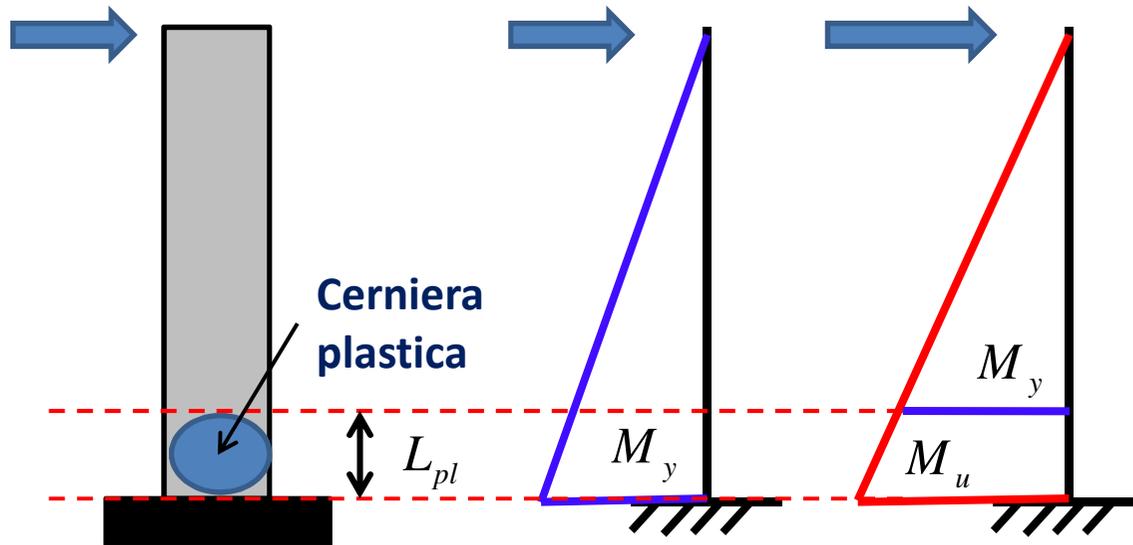


DUTTILITA' IN CURVATURA SEZIONE IN C.A.

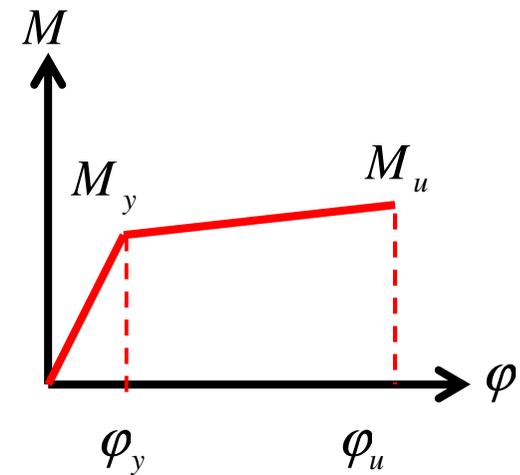
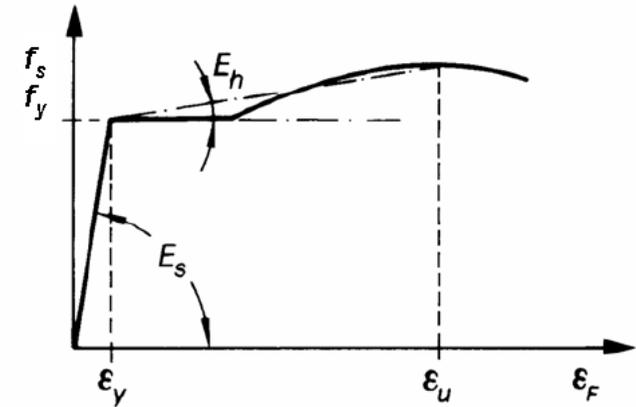
- **Aumenta con la resistenza del calcestruzzo**
- **Aumenta con il quantitativo di armatura compressa**
- **Diminuisce con il quantitativo di armatura tesa**
- **Diminuisce con il livello di compressione**
- **Diminuisce con il livello di compressione**
- **Aumenta con il confinamento del calcestruzzo**

DUTTILITA' STRUTTURALE

Passaggio dalle curvature alle rotazioni

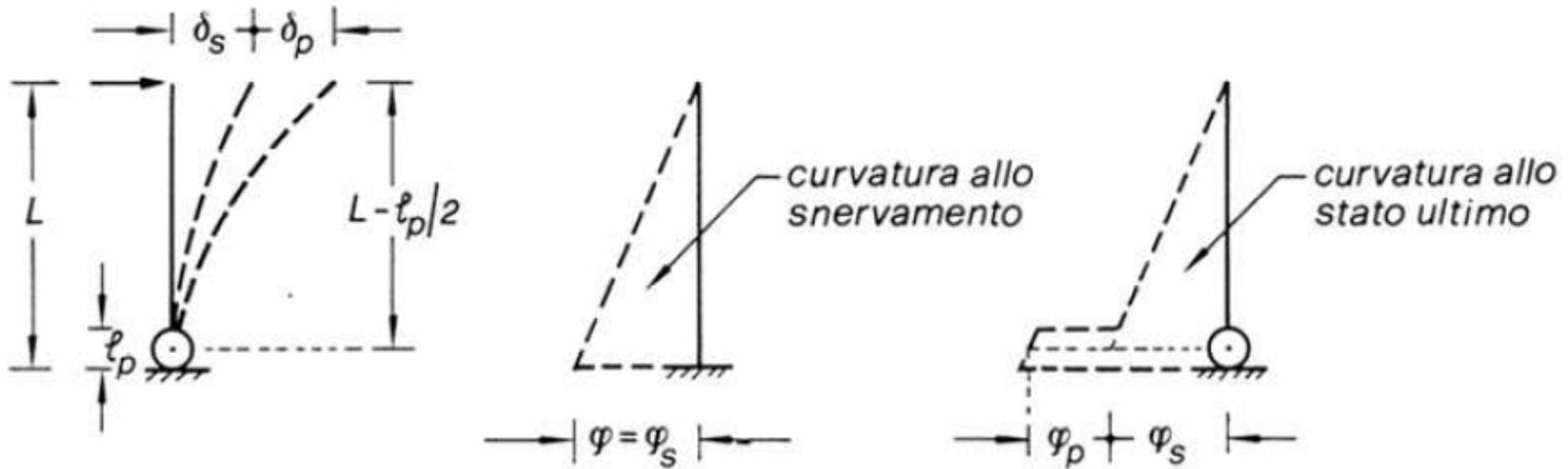


L_{pl} Lunghezza di cerniera plastica



DUTTILITA' STRUTTURALE

Passaggio dalle curvature alle rotazioni

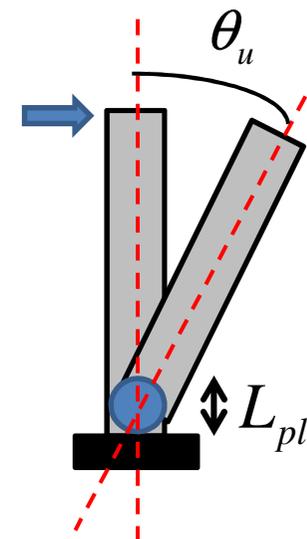


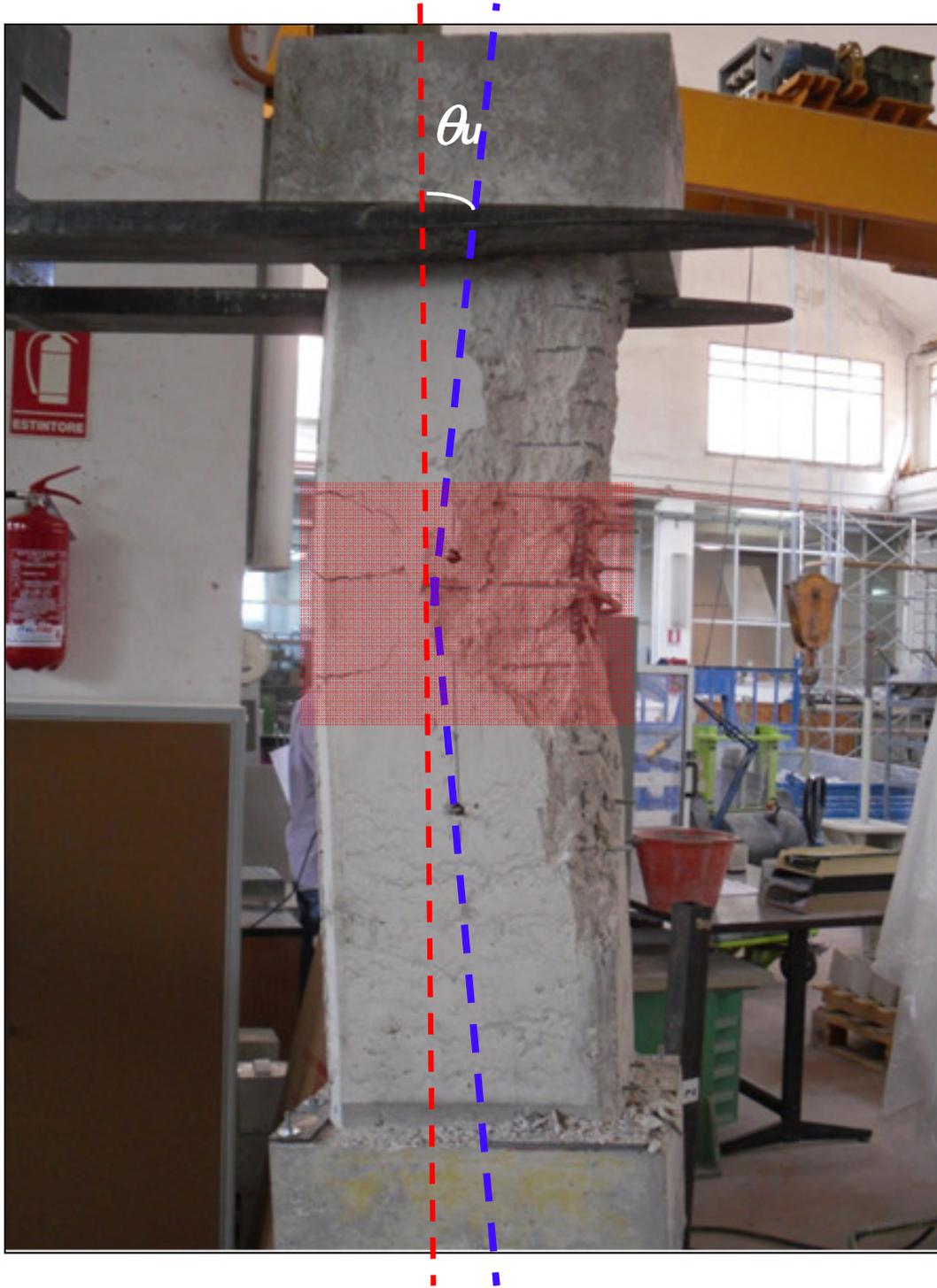
Assumendo che la curvatura plastica φ_p sia costante nella lunghezza L_p

Rotazione Ultima $\theta_u = \varphi_u L_{pl}$

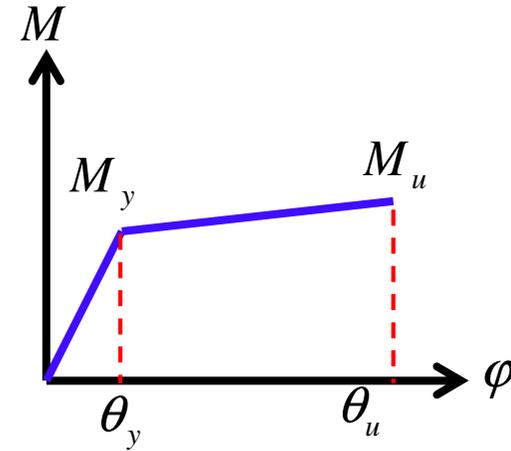
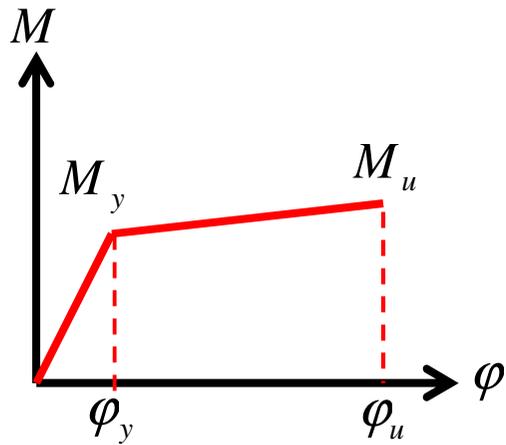
in prima
approssimazione....

$$L_{pl} \begin{cases} H \text{ (travi)} \\ 0.5H \text{ (pilastri)} \end{cases}$$

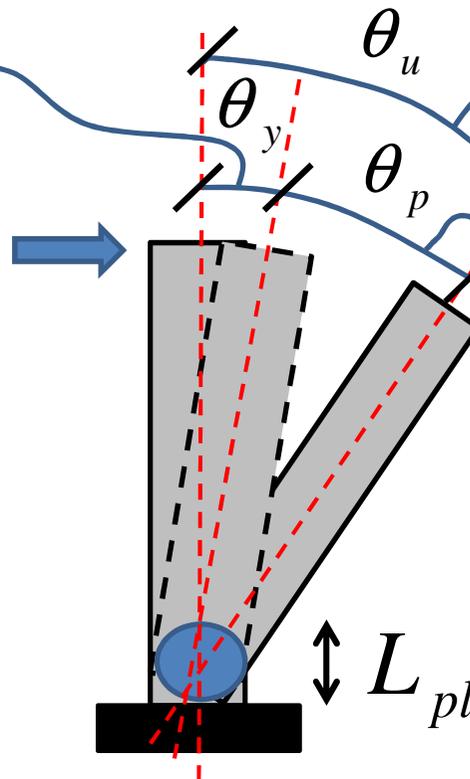




VALUTAZIONE DELLE ROTAZIONI



Rotazione allo
snervamento



Rotazione al collasso
(o rotazione ultima)

Aliquota plastica della
rotazione

VALUTAZIONE DELLE ROTAZIONI SECONDO LE NTC 08

Rotazione al collasso θ_u

La capacità di rotazione rispetto alla corda in condizione di collasso θ_u può essere valutata mediante sperimentazione diretta, modellazione numerica considerando il contributo di calcestruzzo, acciaio di aderenza, ovvero mediante la formula

Rotazione allo snervamento

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_V} \right) \right)$$

1,5 per elementi primari

Curvatura Ultima (tenuto conto del CONF.)

Curvatura allo snervamento

Lunghezza di cerniera plastica

Luce di taglio

$2M - VL = 0$

$M = \frac{VL}{2}$

$\frac{M}{V} = \frac{L}{2} = L_V$

§C8A.6.5)

Diagram of a beam of length L under a linear moment distribution. The beam is shown in blue with a red line representing the moment distribution. Labels include L , M , and V .

Diagram of a beam under a shear force V and moment M . The beam is shown in blue with red arrows for V and M . Labels include M and V .

Diagram of a beam showing the plastic hinge length L_V and the rotation angle θ_u . The beam is shown in blue with a red line representing the plastic hinge. Labels include L_V and θ_u .

VALUTAZIONE DELLE ROTAZIONI SECONDO LE NTC 08

Lunghezza di cerniera plastica θ_y

Diametro medio barre longitudinali

Altezza sezione

$$L_{pl} = 0,1L_v + 0,17h + 0,24 \frac{d_b L f_y}{\sqrt{f_c}}$$

§C8A.6.6

Rotazione allo snervamento θ_y

PER LE TRAVI

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0,0013 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + 0,13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

§8.7.2.1a

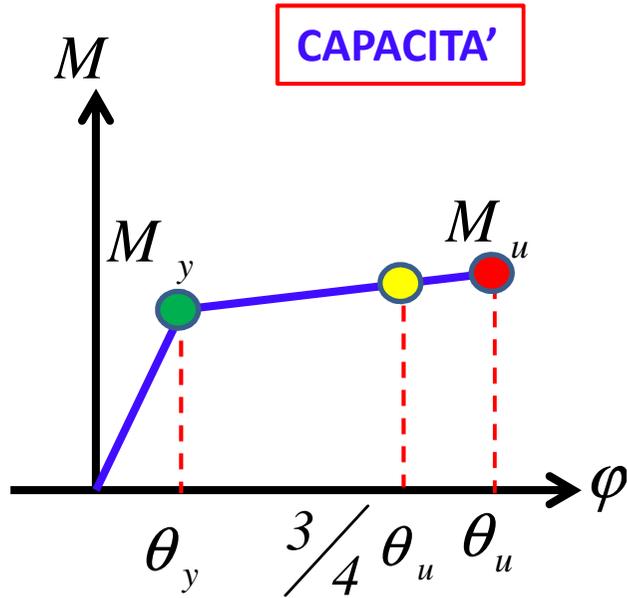
f_c e f_y sono rispettivamente la **resistenza a compressione** del calcestruzzo e la **resistenza a snervamento dell'acciaio** longitudinale (in MPa), ottenute come **media delle prove eseguite in sito** e da fonti aggiuntive di informazione, **divise per il fattore di confidenza appropriato** in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto

PER I PILASTRI

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0,002 \left(1 - 0,125 \frac{L_v}{h} \right) + 0,13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

§8.7.2.1a

RAGGIUNGIMENTO DI STATI LIMITE



Stato Limite di Danno Lieve (SLDL)

Spostamento di cui è capace la struttura al raggiungimento del primo snervamento

$$\theta_y$$

Stato Limite di Collasso (SLCO)

Spostamento di cui è capace la struttura al raggiungimento del primo

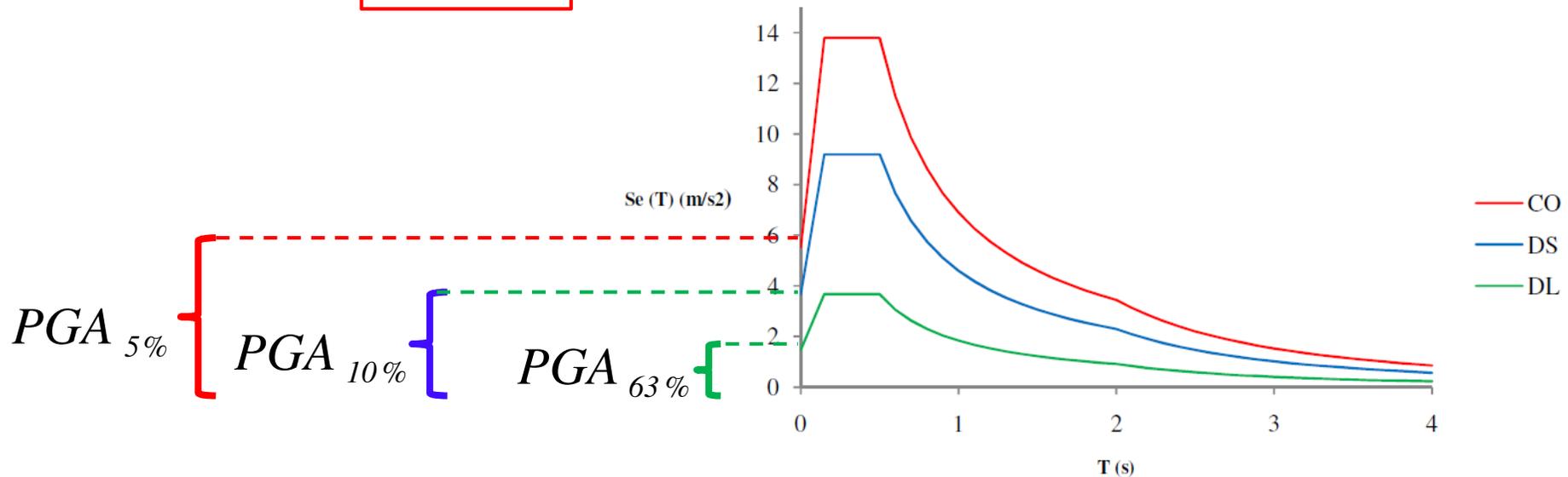
$$\theta_u$$

Stato Limite di Danno Severo (SLDS)

Spostamento di cui è capace la struttura al raggiungimento del primo

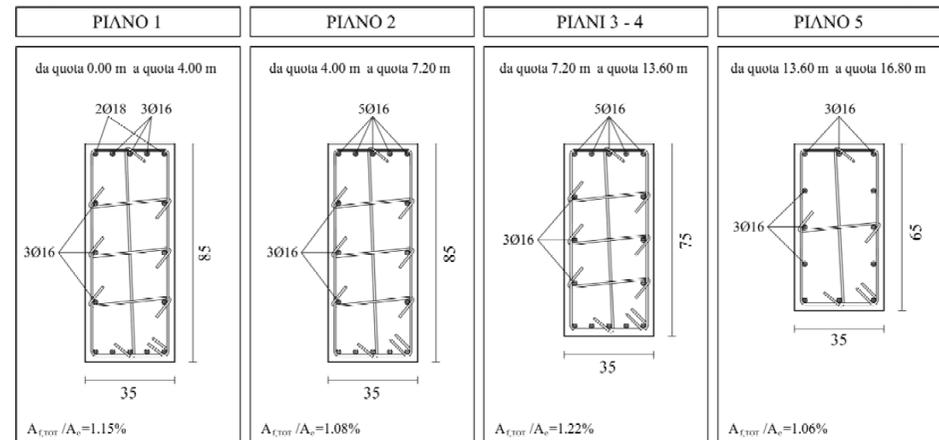
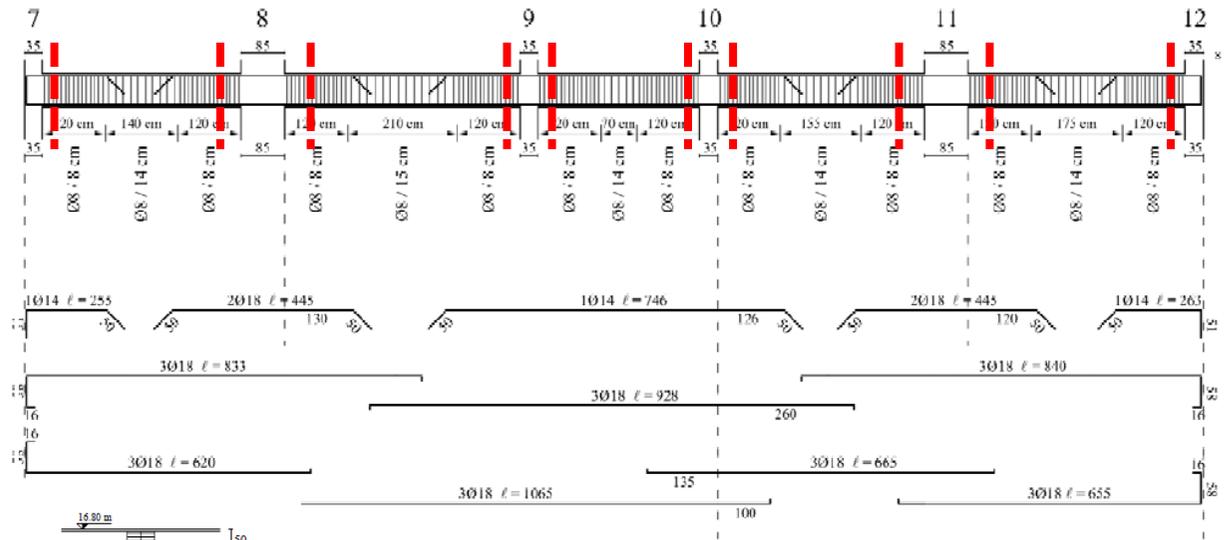
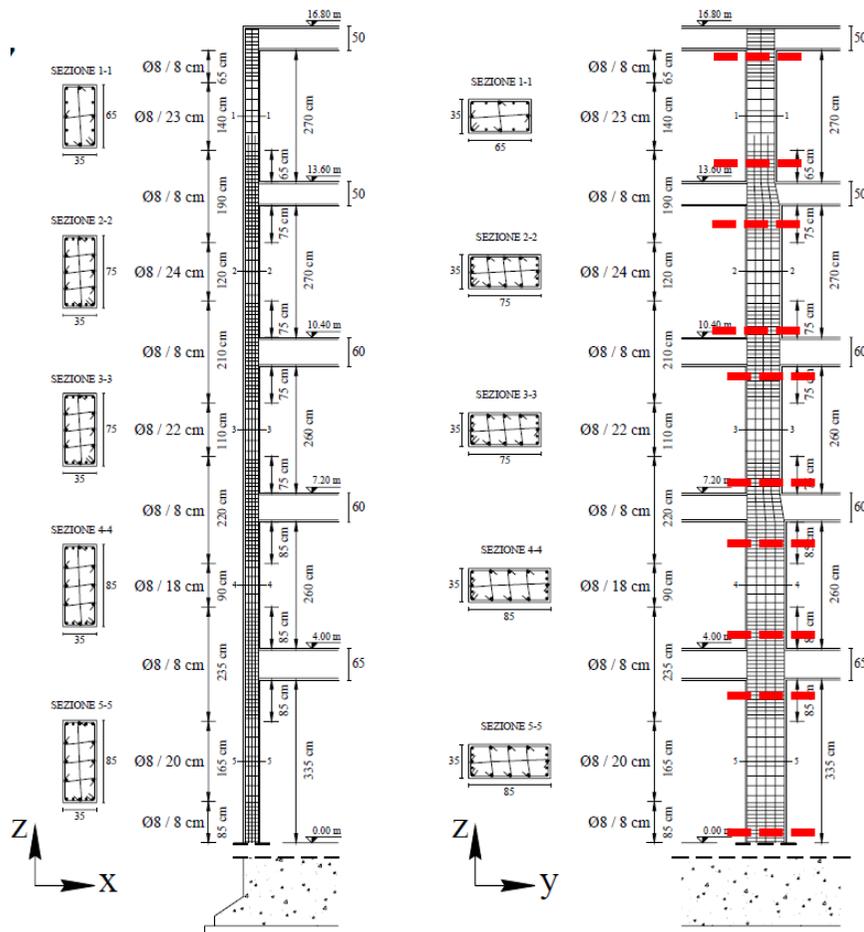
$$\frac{3}{4}\theta_u$$

RICHIESTA



**PER CARATTERIZZARE LE
LA NON LINEARITA'
DELLE SEZIONI.....**

**1. E' NECESSARIO UNA
SIGNIFICATIVA CONOSCENZA
DEI DETTAGLI GEOMETRICI**



**2. E' NECESSARIA L'IDENTIFICAZIONE DEI
PARAMETRI DI RESISTENZA DEL
CALCESTRUZZO E DELL'ACCIAIO**

CAMPAGNA DI INDAGINI: RICHIESTA NORMATIVA

LIVELLI DI CONOSCENZA SECONDO LE **NTC 08**

LC1: *Livello Conoscenza Limitata*

LC2: *Livello Conoscenza Adeguata*

LC3: *Livello Conoscenza Accurata*

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1.00

DEFINIZIONI

- **Progetto simulato:** serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. E' eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all'epoca della costruzione.
- **Verifiche in situ limitate:** servono per verificare la corrispondenza tra le armature o le caratteristiche dei collegamenti effettivamente presenti e quelle riportate nei disegni costruttivi, oppure ottenute mediante il progetto simulato.
- **Verifiche in situ estese:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali come alternativa al progetto simulato seguito da verifiche limitate, oppure quando i disegni costruttivi originali sono incompleti.
- **Verifiche in situ esaustive:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).
Le verifiche in situ sono effettuate su un'opportuna percentuale degli elementi strutturali primari per ciascuna tipologia di elemento (travi, pilastri, pareti...), come indicato nella tabella seguente (Tabella 3.2) privilegiando comunque gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, quali generalmente i pilastri:

DEFINIZIONI

- **Prove in situ limitate:** servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute o dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi, o da certificati originali di prova.
- **Prove in situ estese:** servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali.
- **Prove in situ esaustive:** servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali, e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).

RILIEVI E PROVE

(Circolare n. 617, punto C8A)

A. Edifici in CA		
	Rilievo dei dettagli costruttivi	Prove sui materiali
	Per ogni tipo di elemento «primario» (trave, pilastro, ...)	
Verifiche limitate	La quantità e la disposizione dell'armatura sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di CLS per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e la disposizione dell'armatura sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di CLS per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e la disposizione dell'armatura sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di CLS per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Le percentuali di elementi da verificare e il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati in tabella hanno valore indicativo e devono essere adattati ai singoli casi.

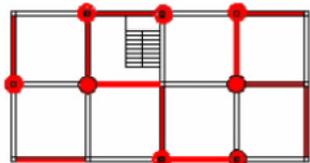
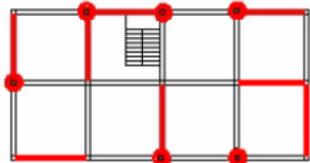
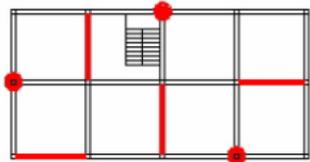
Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

Il numero di provini riportato in tabella potrà esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

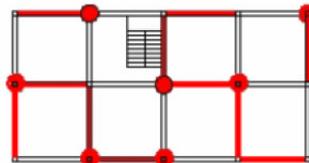
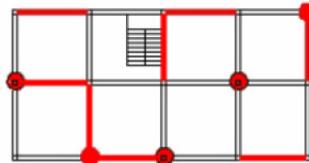
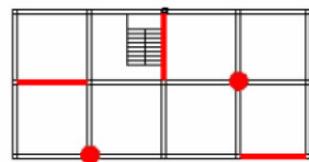
Rilievo dei dettagli costruttivi

Verifica della quantità e disposizione dell'armatura per almeno il 15%, 35%, 50% (LC1, LC2, LC3) di ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)

**PIANO TERRA: 15 PILASTRI
22 TRAVI
0 SETTI**



**PIANO 1: 15 PILASTRI
22 TRAVI
0 SETTI**



**TOTALE: 30 PILASTRI
44 TRAVI
0 SETTI**

**Lc1=15% =>
5 Pilastri
7 Travi**

**Lc2=35% =>
11 Pilastri,
16 Travi**

**Lc1=50% =>
15 Pilastri
22 Travi**



Pacometro

Cerca ferro



PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE

PROVE DISTRUTTIVE



Carotaggio



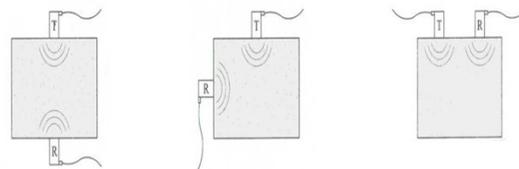
Estrazioni barre

PROVE NON DISTRUTTIVE

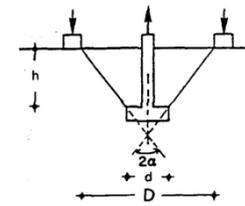
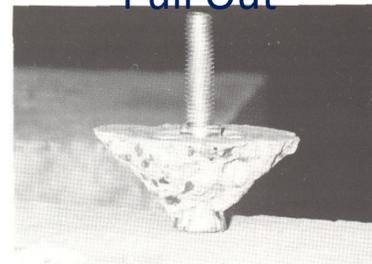
Prove sclerometriche



Ultrasuoni

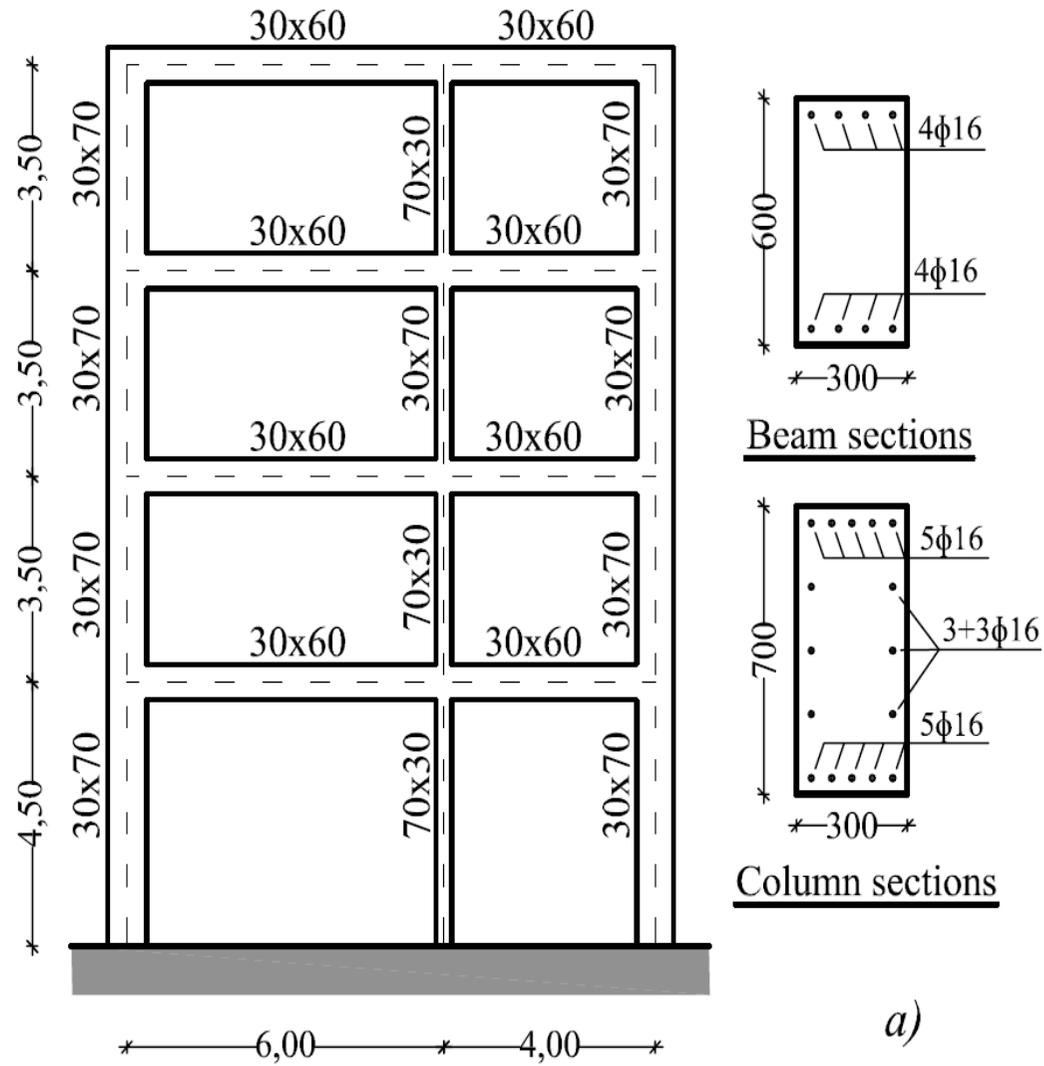


Pull Out



Esempio Applicativo

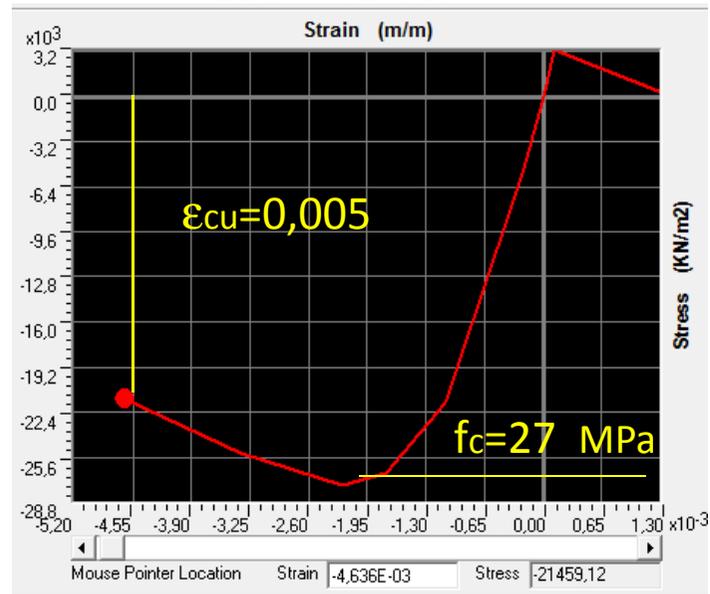
CASO STUDIO – DATI GEOMETRICI



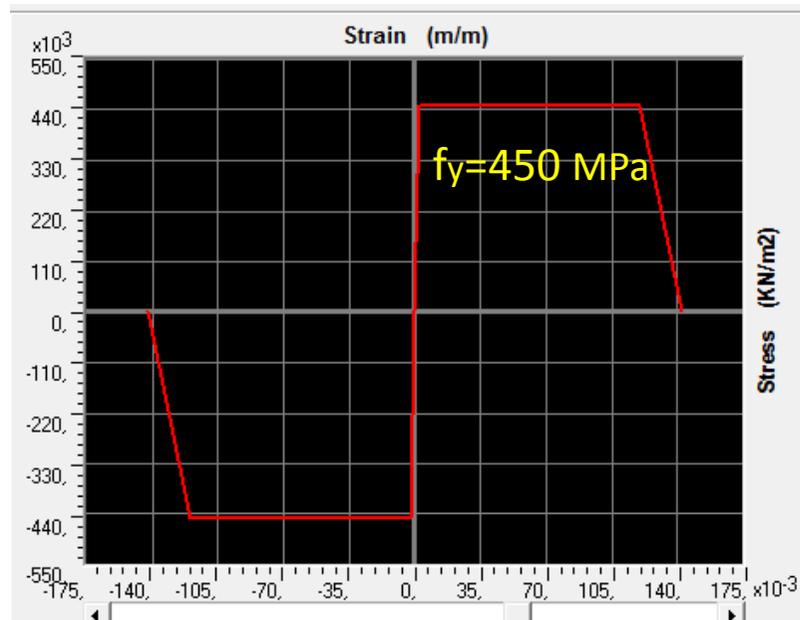
a)

CASO STUDIO – DATI MECCANICI

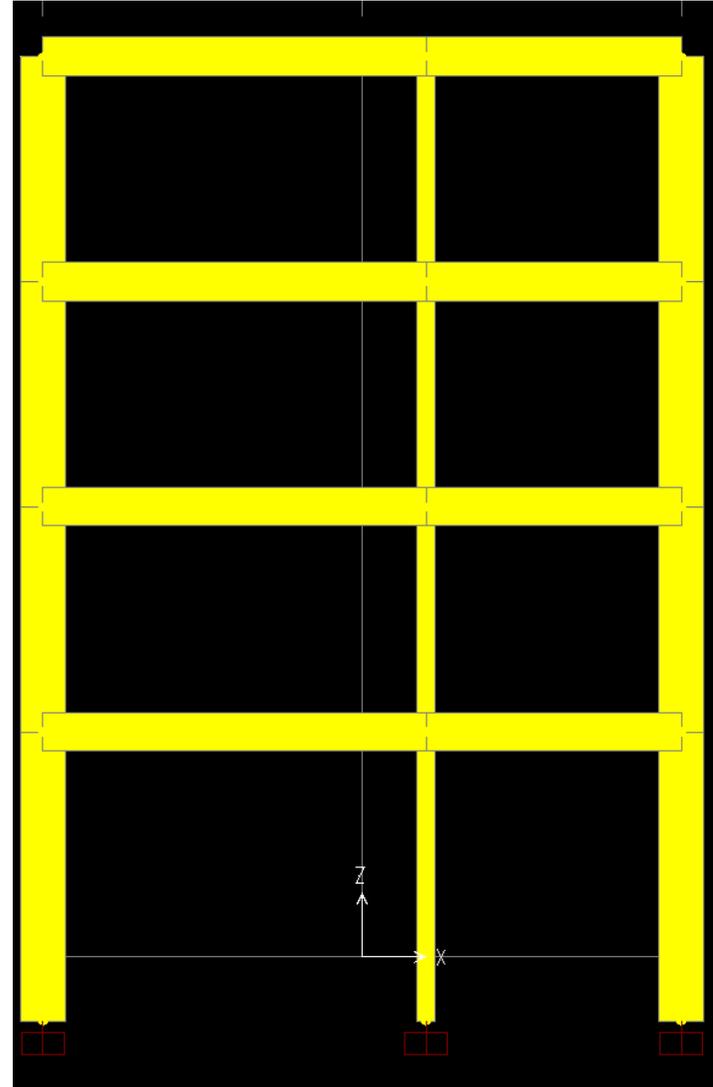
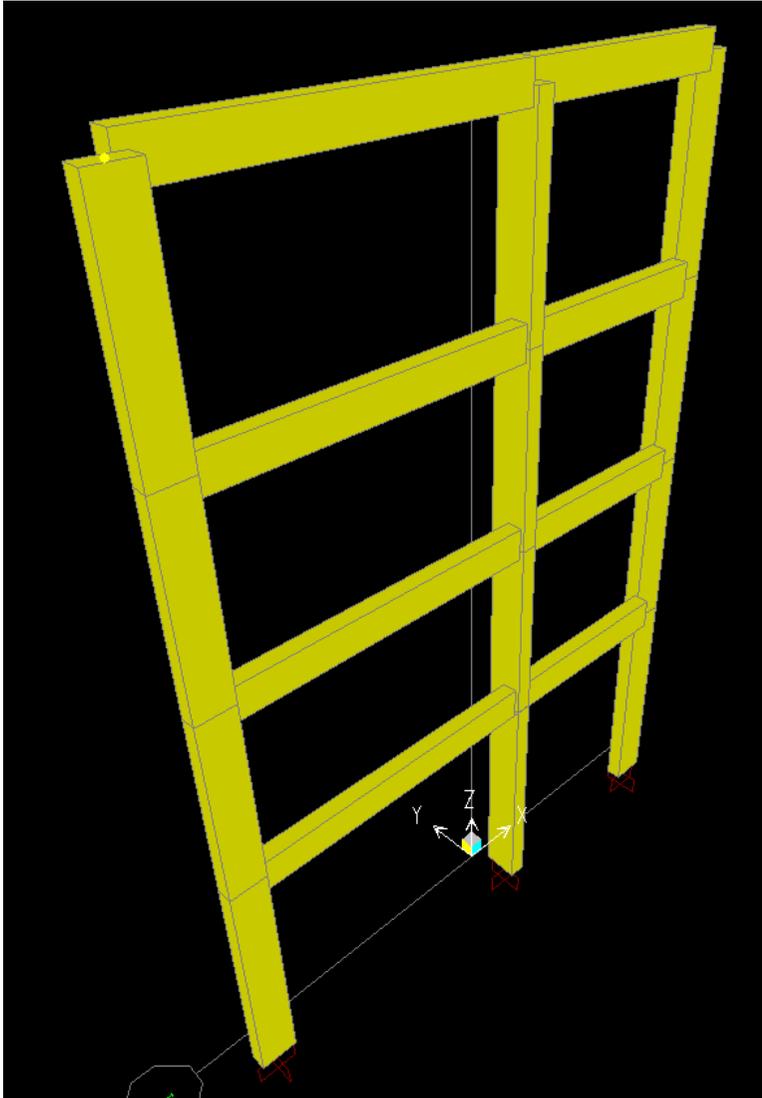
LEGAME CLS



LEGAME ACCIAIO

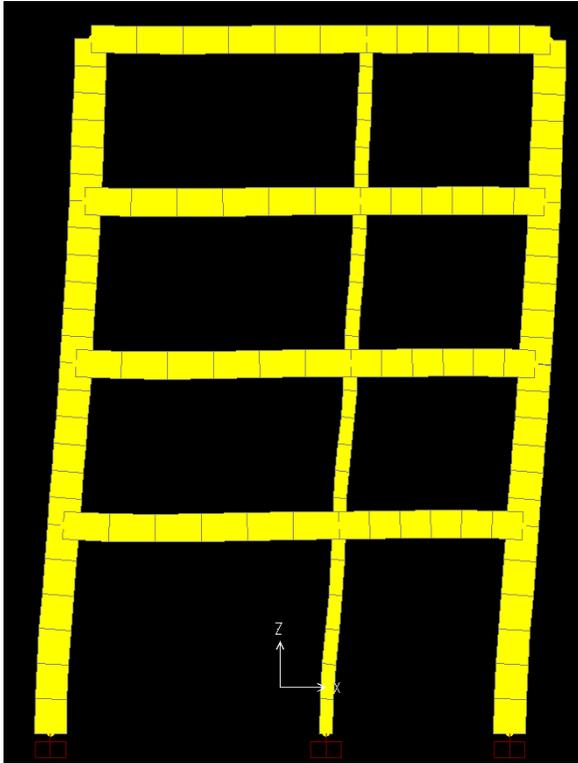


MODELLO



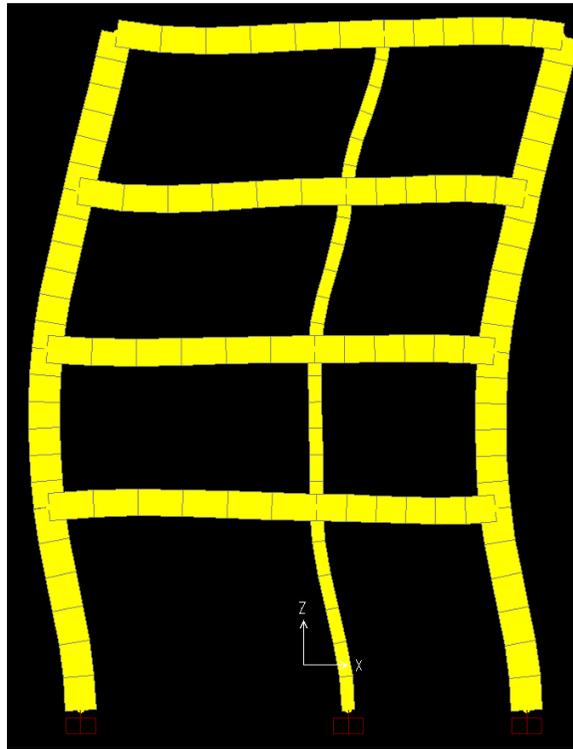
ANALISI MODALE

Modo 1



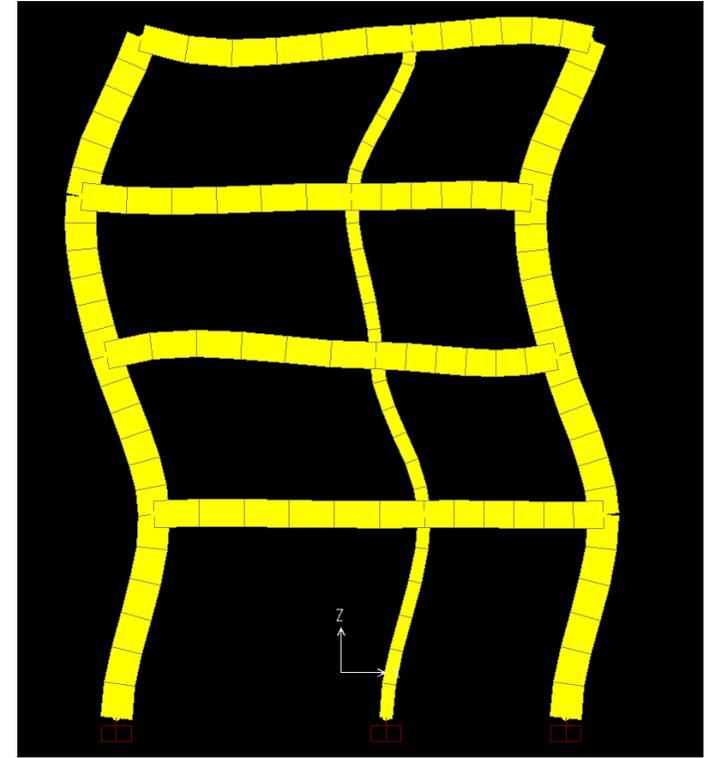
$T=0,84$ s

Modo 2



$T=0,25$ s

Modo 3



$T=0,13$ s

ANALISI MODALE

Periodi e masse partecipanti

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,842195	0,8783
	MODAL	Mode	2	0,256324	0,09381
	MODAL	Mode	3	0,13277	0,02335
	MODAL	Mode	4	0,085678	0,00453
	MODAL	Mode	5	0,077719	0,0000008694
	MODAL	Mode	6	0,064948	0,00000009626
	MODAL	Mode	7	0,053541	0,000001171
	MODAL	Mode	8	0,028082	0,00000007438
	MODAL	Mode	9	0,027518	0,0000001684
	MODAL	Mode	10	0,027019	0,0000005575
	MODAL	Mode	11	0,026026	0,0000008739
	MODAL	Mode	12	0,025409	0,0000006921

Autovettore primo modo

$$\varphi_1 = \begin{bmatrix} 0.0883 \\ 0.0755 \\ 0.0549 \\ 0.0282 \end{bmatrix} \rightarrow \varphi_{1n} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.855 \\ 0.621 \\ 0.319 \end{bmatrix}$$

Masse ai piani

$$\begin{aligned} m_1 &= 61.55 \text{ kNs}^2 / m \\ m_2 &= 61.55 \text{ kNs}^2 / m \\ m_3 &= 61.55 \text{ kNs}^2 / m \\ m_4 &= 61.55 \text{ kNs}^2 / m \end{aligned}$$

Coefficiente di partecipazione

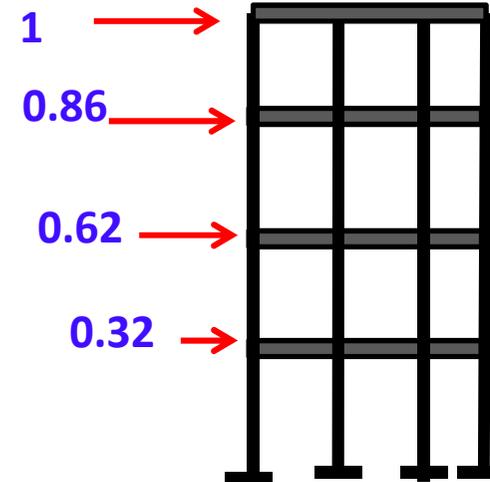
$$\Gamma_1 = 1.27 \text{ kNs}^2$$

PROFILI DI CARICO

$$F = \begin{bmatrix} 1 \times 61.55 \\ 0.855 \times 61.55 \\ 0.621 \times 61.55 \\ 0.319 \times 61.55 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 61.55 \\ 52.62 \\ 38.26 \\ 19.65 \end{bmatrix}$$

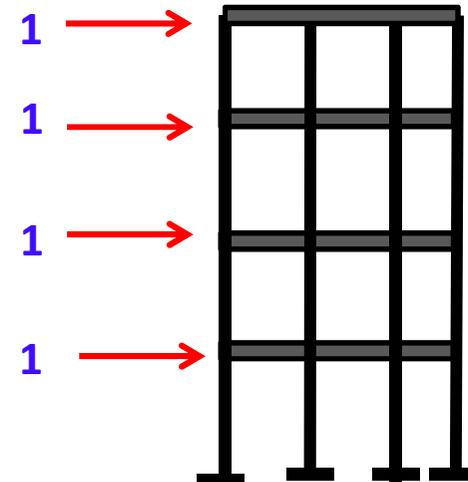
MODALE

Scalo rispetto a
61.55



UNIFORME

Scalo rispetto a
61.55



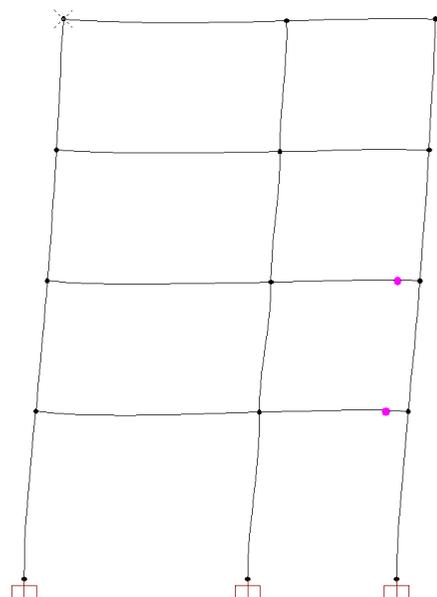
$$m_1 = 61.55 \text{ kNs}^2 / m$$

$$m_2 = 61.55 \text{ kNs}^2 / m$$

$$m_3 = 61.55 \text{ kNs}^2 / m$$

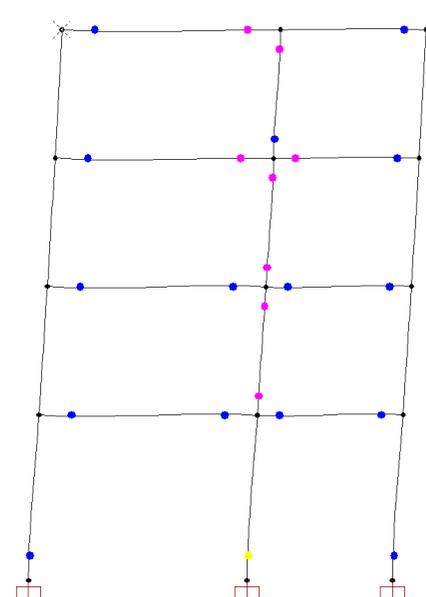
$$m_4 = 61.55 \text{ kNs}^2 / m$$

MODALE

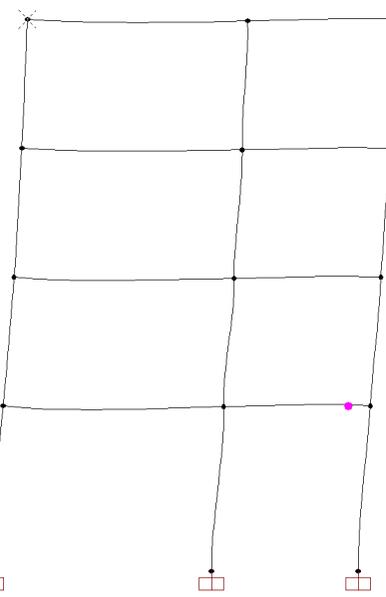


1° Snervamento

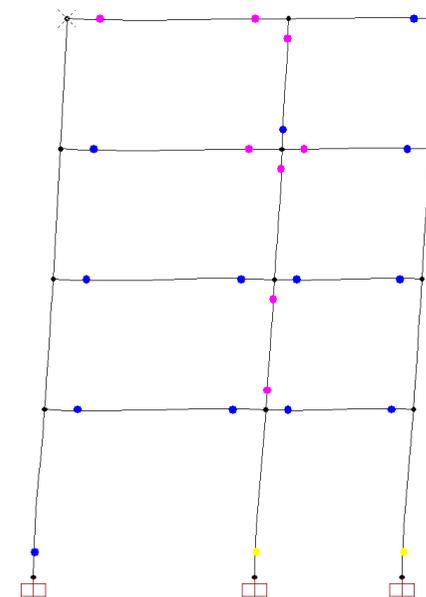
UNIFORME



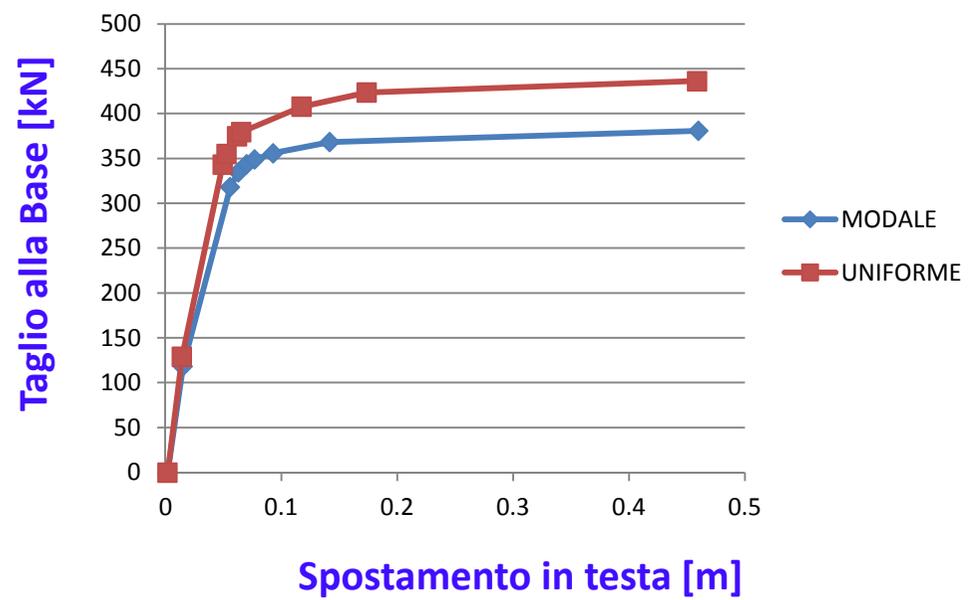
Collasso



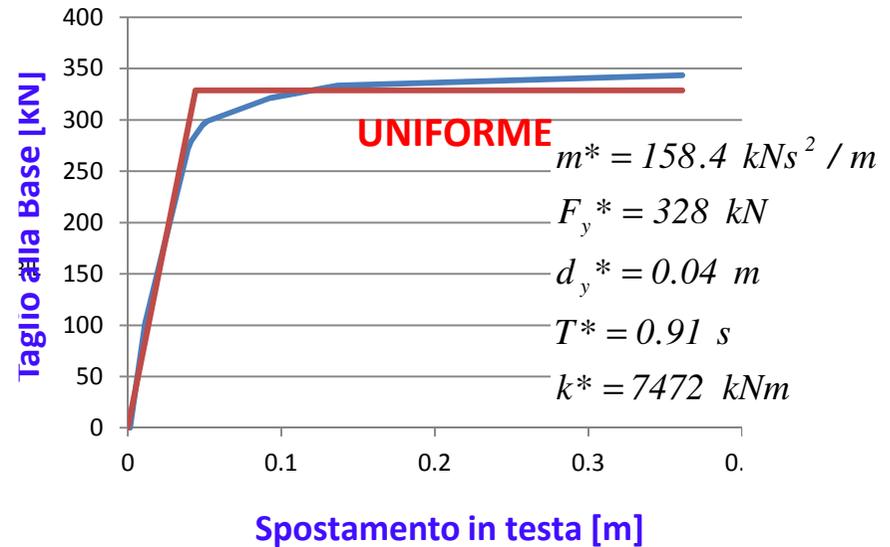
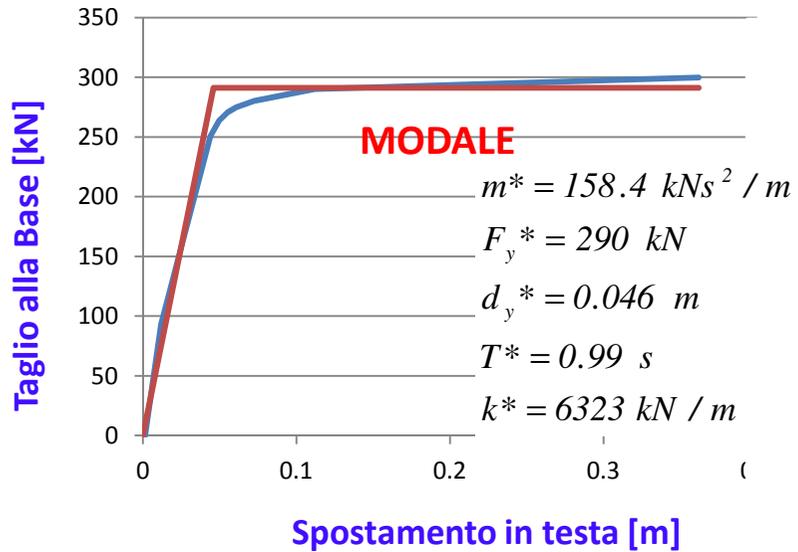
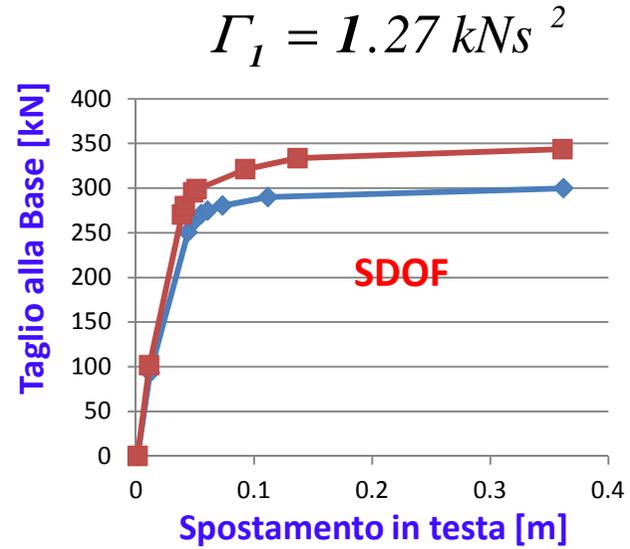
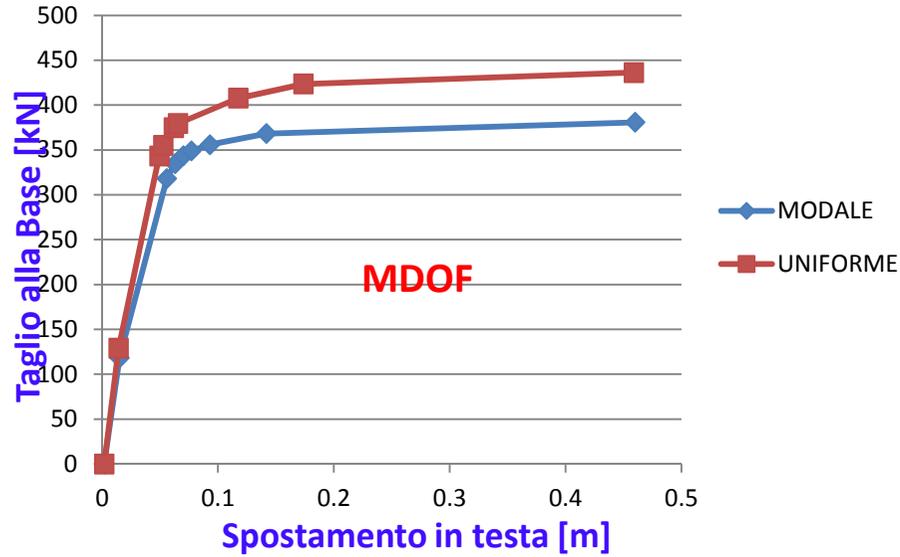
1° Snervamento



Collasso



PASSAGGIO A SDOF EQUIVALENTE



DEFINIZIONE DOMANDA

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 12.5453 LATITUDINE: 38.0171

Ricerca per comune

REGIONE: Sicilia PROVINCIA: Trapani COMUNE: Trapani

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

DEFINIZIONE DOMANDA

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLU** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **D** info

$S_s =$ 1.800

$C_c =$ 2.066 info

Categoria topografica **T1** info

$h/H =$ 0.000

$S_T =$ 1.000 info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) 5

$\eta =$ 1.000 info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o 1

Regol. in altezza **sì** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q 1.5

$\eta =$ 0.667 info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

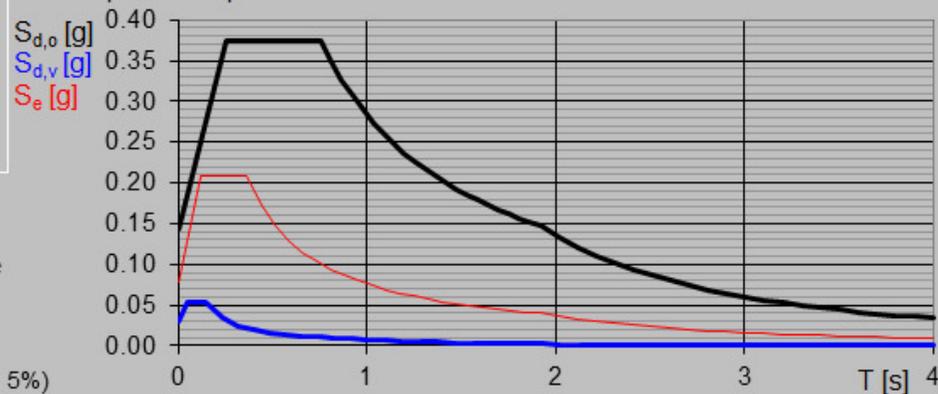
Parametri e punti spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Spettri di risposta



INTRO

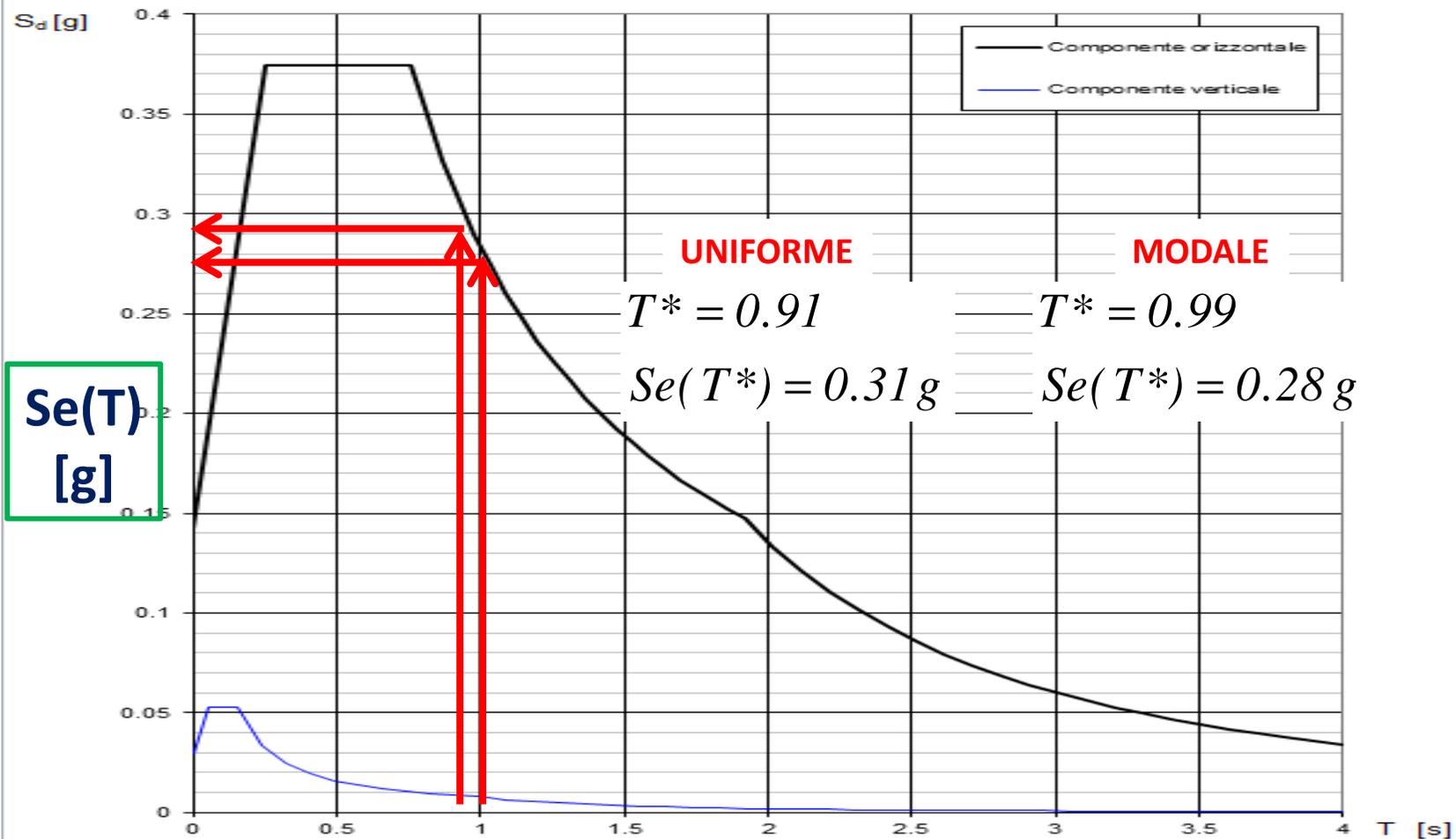
FASE 1

FASE 2

FASE 3

DEFINIZIONE DOMANDA

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



$Se(T)$
[g]

T [s]

DEFINIZIONE FATTORE DI STRUTTURA q^*

UNIFORME

$$T^* = 0.91$$

$$F_E = Se(T^*)m^* = 0.31 \times 9.81 \times 158.4 = 491.04 \text{ kN}$$

$$F_y^* = 328 \text{ kN}$$

$$q^* = \frac{F_E}{F_y^*} = 1.49$$

MODALE

$$T^* = 0.99$$

$$F_E = Se(T^*)m^* = 0.28 \times 9.81 \times 158.4 = 435 \text{ kN}$$

$$F_y^* = 328 \text{ kN}$$

$$q^* = \frac{F_E}{F_y^*} = 1.32$$

CALCOLO SPOSTAMENTO RICHIESTO d^*_{max} e Verifica

CASO 1

$$T^* > T_c$$

$$d^*_{max} = S_{De}(T^*) = \frac{S_e(T^*)m^*}{k^*}$$

$$d^*_{max} \leq d^*_u$$

UNIFORME

$$k^* = 7472 \text{ kNm}$$

$$d^*_{max} = \frac{S_e(T^*)m^*}{k^*} = \frac{0.31 \times 9.81 \times 158.4}{7472} = \frac{491}{7472} = 0.065 \text{ m}$$

$$d^*_u = 0.361 \text{ m} \text{ VERIFICATO!}$$

MODALE

$$k^* = 6323 \text{ kNm}$$

$$d^*_{max} = \frac{S_e(T^*)m^*}{k^*} = \frac{0.28 \times 9.81 \times 158.4}{6323} = \frac{435}{6323} = 0.07 \text{ m}$$

$$d^*_u = 0.362 \text{ m} \text{ VERIFICATO!}$$

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Fajfar, P., Gaspersic, P., 1996. The N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**, 31-46.

Peter Fajfar (2000) A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design. *Earthquake Spectra*: August 2000, Vol. 16

Fajfar, P., 1999. Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**, 979-993.

Anil K. Chopra and Rakesh K. Goel (2000). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2002; 31:561–582 (DOI: 10.1002/eqe.144)

Federal Emergency Management Agency. 2000. FEMA 356 “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings”, Washington, D.C., Stati Uniti.

Federal Emergency Management Agency. 2001. FEMA 368 “NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures”, Washington, D.C., Stati Uniti.