

Corso di Riabilitazione Strutturale

POTENZA, a.a. 2011 – 2012

**VALUTAZIONE DI EDIFICI
ESISTENTI IN C.A. – I PARTE
ANALISI E STRATEGIE DI INTERVENTO**

Dott. Marco VONA
DiSGG, Università di Basilicata
marco.vona@unibas.it
<http://www.unibas.it/utenti/vona/>

ANALISI DI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI

CAMPAGNA DI INDAGINI

Geometria, Dettagli costruttivi e Resistenza dei materiali

METODI DI ANALISI STRUTTURALE

Livello di conoscenza, tipologia di struttura

MODELLAZIONE E ANALISI

Definizione del comportamento degli elementi strutturali

VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

In termini di resistenza e/o deformazione

STRATEGIA DI INTERVENTO

Globale e/o Locale



I METODI DI ANALISI STRUTTURALE

Sono ammessi quattro metodi di analisi caratterizzati da complessità e precisione crescenti

- 1. ANALISI STATICA LINEARE**
- 2. ANALISI DINAMICA MODALE**
- 3. ANALISI STATICA NON LINEARE**
- 4. ANALISI DINAMICA NON LINEARE**

La scelta dipende dalle caratteristiche (regolarità, periodi propri caratteristici) e dall'importanza della struttura che si sta studiando.



METODOLOGIA DI ANALISI

1. ANALISI STATICA LINEARE
2. ANALISI DINAMICA MODALE
3. ANALISI STATICA NON LINEARE
4. ANALISI DINAMICA NON LINEARE

Le norme individuano come *metodo normale*, per la definizione delle sollecitazioni di progetto, l'*analisi modale* associata allo spettro di risposta di progetto e applicata ad un modello tridimensionale dell'edificio

Considerazioni sulla regolarità in pianta ed in altezza della struttura permettono di considerare al posto di un modello tridimensionale due modelli piani separati e al posto dell'analisi modale una semplice *analisi statica lineare*



METODOLOGIA DI ANALISI

Accuratezza
risultati

-



+

ANALISI STATICA LINEARE



ANALISI DINAMICA MODALE



ANALISI STATICA NON LINEARE



ANALISI DINAMICA NON LINEARE

Difficoltà
operative

-



+



METODOLOGIA DI ANALISI

ANALISI	APPLICABILITÀ	MODELLO	ELEMENTI 1D
STATICA LINEARE	Scarsa	Lineare	Lineare
DINAMICA MODALE	Buona	Lineare	Lineare
STATICA NON LINEARE	Dubbia	Non Lineare	<hr/> NL concentrata NL diffusa
DINAMICA NON LINEARE	Sempre	Non Lineare	<hr/> NL concentrata NL diffusa



METODOLOGIA DI ANALISI STRUTTURALE

STRUTTURA REALE
Schematizzazione



MODELLO FISICO
Modellazione



MODELLO MATEMATICO

Alla struttura reale si associa un modello fisico – matematico ricavando così le sollecitazioni



METODI DEGLI ELEMENTI FINITI

Grazie al metodo degli “*Elementi Finiti*” è possibile analizzare strutture estremamente complesse in modo semplice ricorrendo ad una opportuna discretizzazione

Le strutture sono quindi suddivise in tanti elementi più piccoli

Per casi semplici (la trave continua, telaio) la discretizzazione è molto semplice poiché, in genere, coincide con gli elementi stessi

Tali strutture sono costituite da elementi detti *monodimensionali* in quanto una dimensione prevale sulle altre

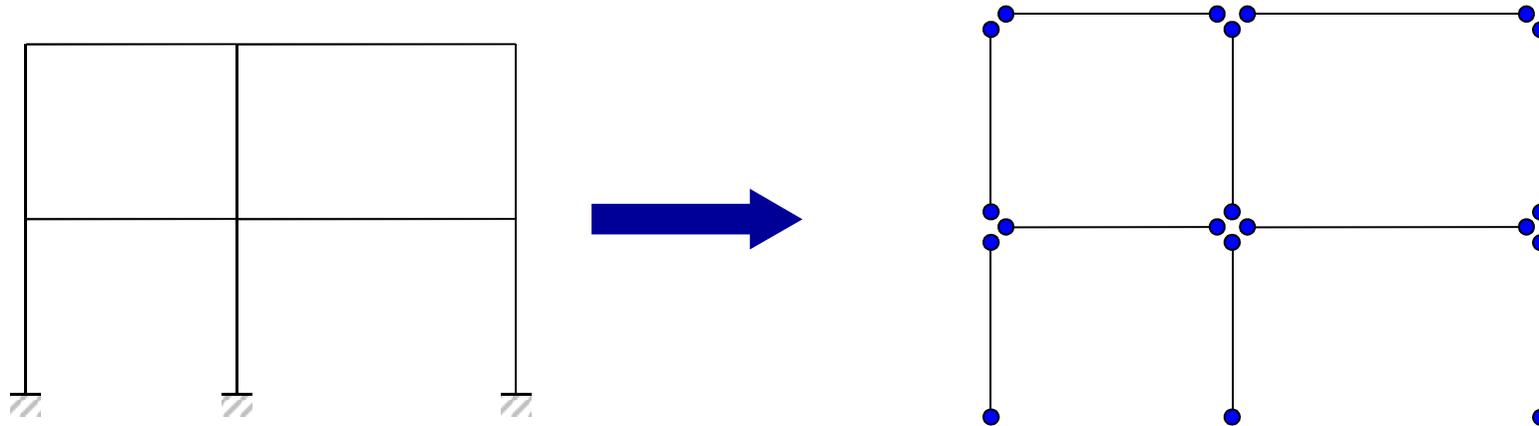


MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI

La struttura composta di elementi monodimensionali è scomposta in elementi collegati in modo puntuale tramite dei *nodi* e le incognite del problema sono gli spostamenti dei nodi

Noti i carichi esterni è possibile risolvere le equazioni di equilibrio

Nel caso semplice di travi continue e telai semplici ogni *elemento finito* è caratterizzato da due nodi



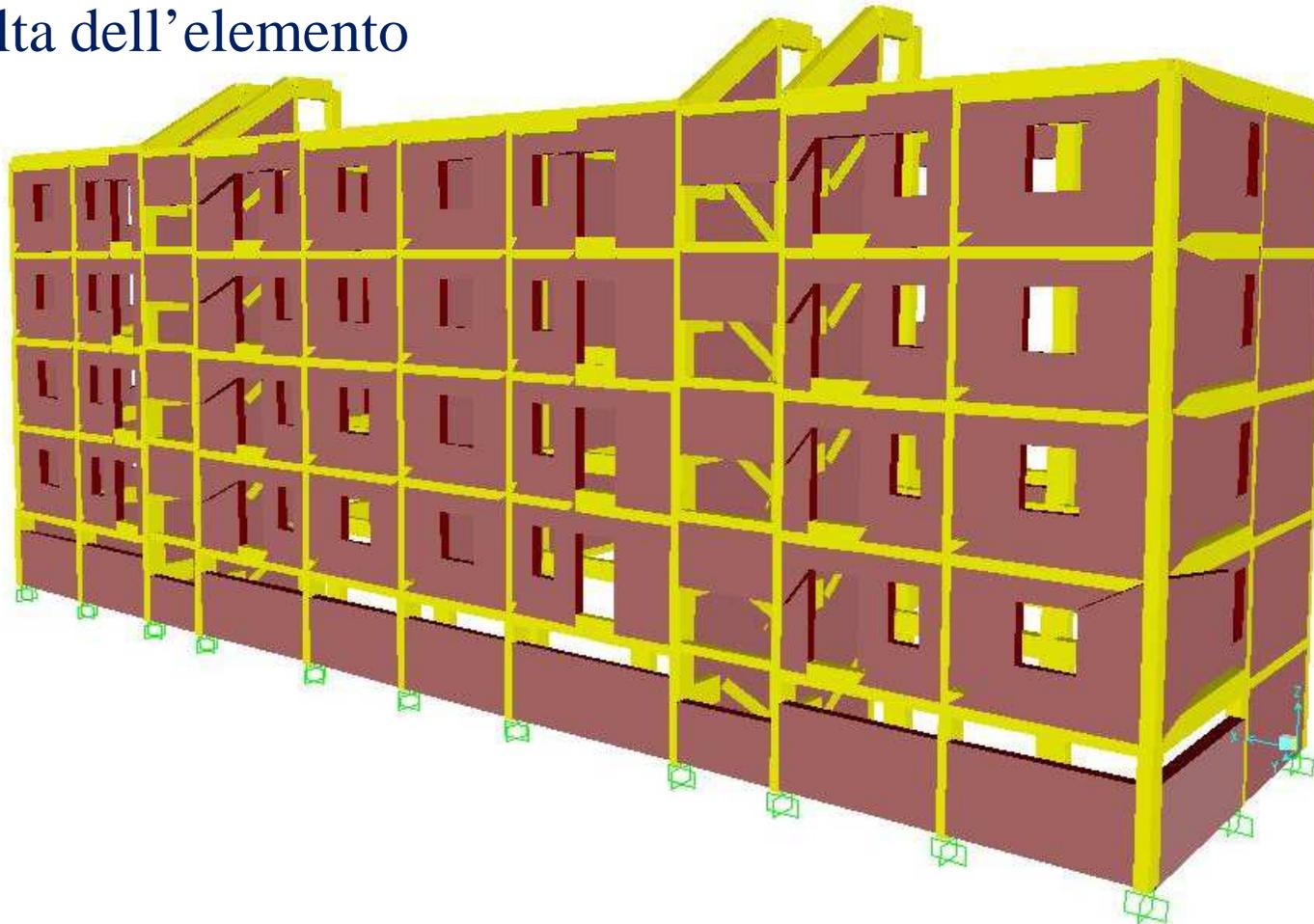
MODELLO DI CALCOLO

- Definizione dei **nodi** che definiscono la geometria e la posizione nello spazio degli elementi che definiscono la struttura
- Scelta dell'elemento che meglio schematizza il comportamento degli elementi che definiscono la struttura (ad es. Frames)
- **Caratteristiche meccaniche** dei materiali (E, G, masse, etc.)
- Caratteristiche degli elementi che definiscono la struttura (es. **caratteristiche geometriche** delle sezioni, A, I_x, I_y, etc.)
- **Vincoli** da applicare ai nodi per rendere modellare la realtà fisica
- **Carichi** applicati alla struttura (concentrati o ripartiti, statici o dinamici) concentrati ai nodi o lungo gli elementi



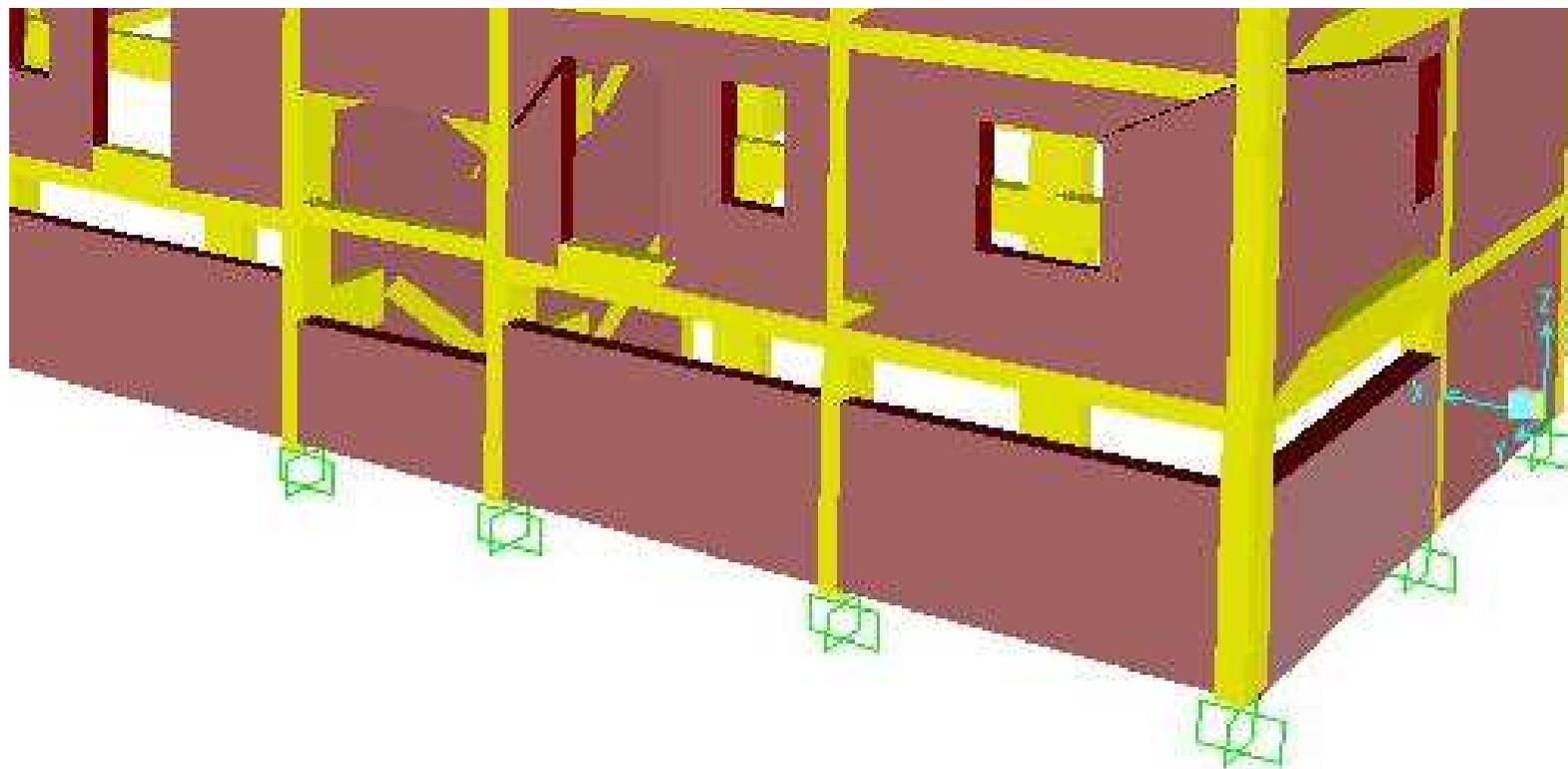
MODELLO DI CALCOLO

- Definizione dei **nodi**
- Scelta dell'elemento



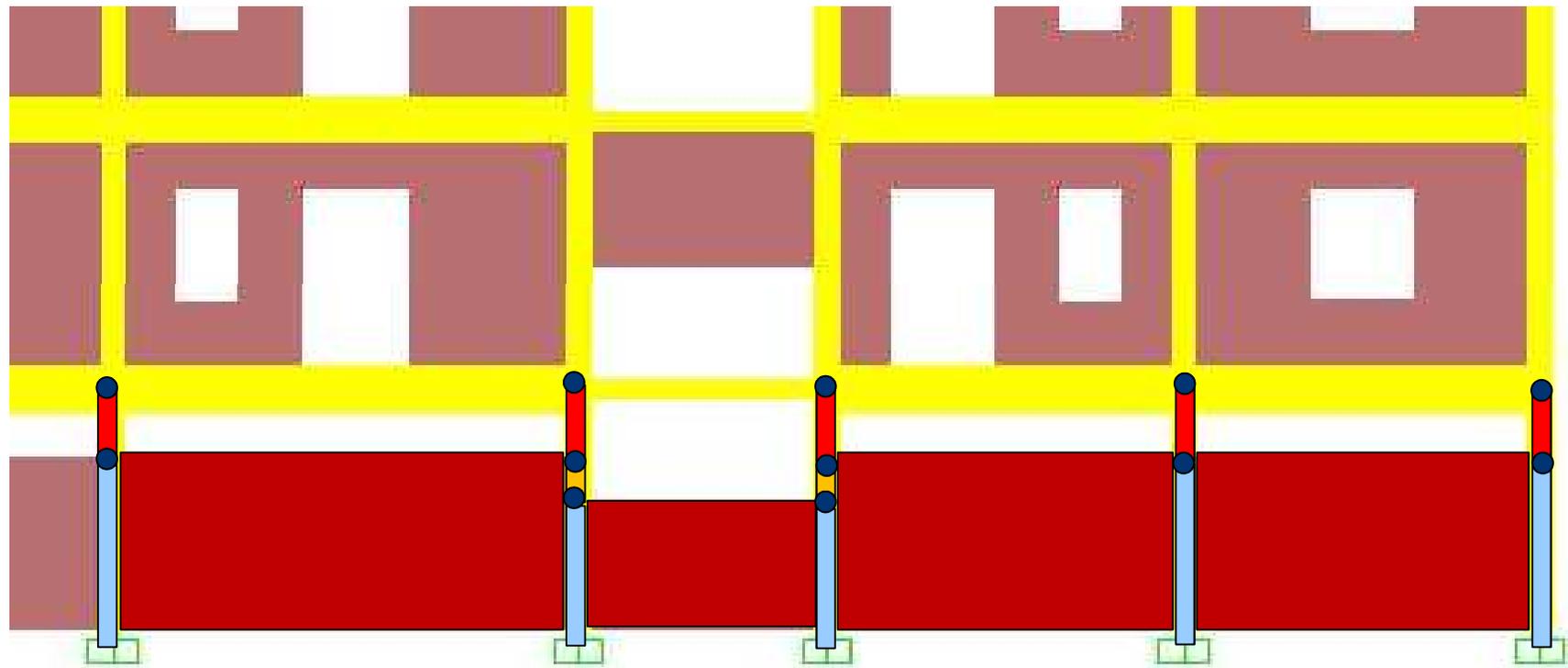
ANALISI DI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI

MODELLO DI CALCOLO



ANALISI DI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI

MODELLO DI CALCOLO



IMPOSTAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

- Introdurre le **dimensioni** correttamente individuate
- Rispettare gli **assi geometrici** della struttura esistente
- **Discretizzare** correttamente la struttura e le sotto parti
- **Modellare correttamente** gli elementi esistenti in base ai modelli disponibili (elem. monodimensionali per pilastri e travi, elem. bidimensionali per pareti) ed alle sollecitazioni che si vogliono analizzare
- Riportare correttamente tutti i **carichi** presenti (statici e dinamici) sulla struttura a partire dal peso proprio



IMPOSTAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

- Considerare attentamente i vincoli esistenti e modellarli correttamente con riferimento al grado di vincolo effettivo esistente
- Modellare correttamente le proprietà geometriche e meccaniche degli elementi componenti la struttura
- Controllare accuratamente l'input al fine di evitare errori di modellazione

ANALISI DINAMICA MODALE

- Determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale)
- Calcolo degli effetti dell'azione sismica (dallo spettro di risposta di progetto) per ciascuno dei modi di vibrare individuati
- Combinazione degli effetti (**CQC**)

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa ovvero con massa partecipante superiore al **5%**

Il numero dei da considerare deve essere tale che la massa partecipante totale sia superiore **all'85%**



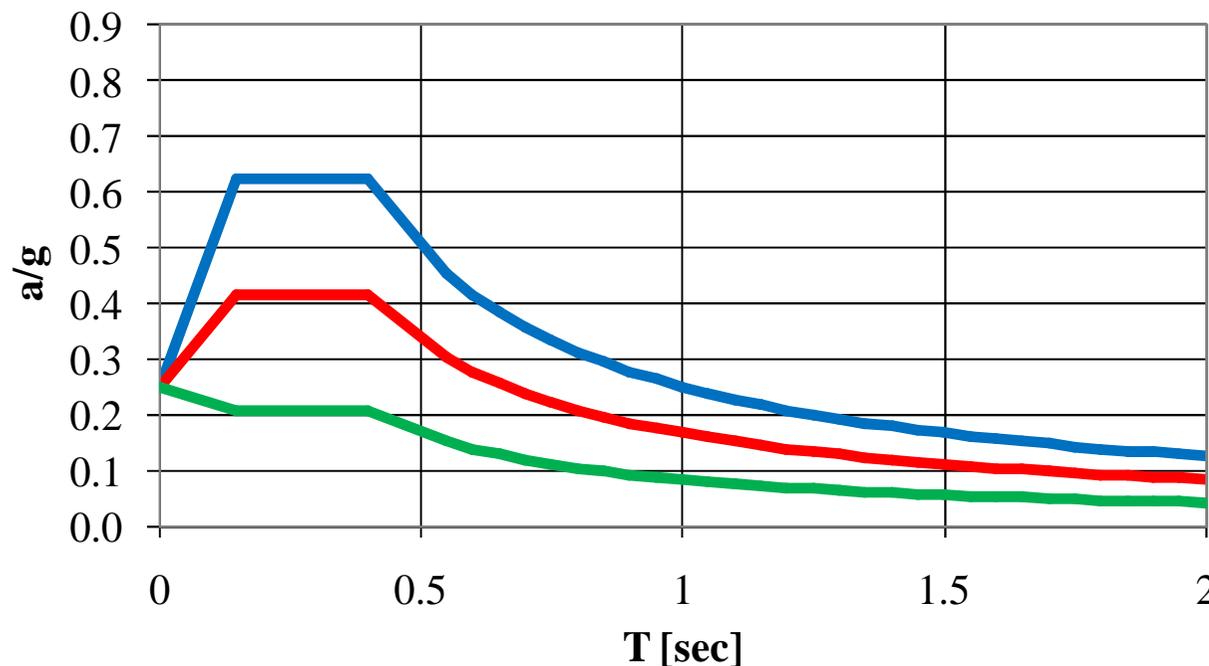
EDIFICI IN C.A. ESISTENTI

ANALISI LINEARE CON FATTORE DI STRUTTURA

Tale metodo è applicabile ai soli stati limite di *DS* e *DL*

Lo *spettro di progetto* in termini di accelerazioni si ottiene dallo *spettro elastico* riducendo le ordinate con il fattore di struttura q

q scelto nell'intervallo [1.5, 3.0]



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

La valutazione del fattore di struttura va effettuata tenendo in conto le diverse caratteristiche (progettuali, di materiali, di dettagli strutturali, ecc) che caratterizzano gli edifici esistenti rispetto a quelli di nuova progettazione

$$q = q_0 K_R$$

dove:

q_0 è legato alla tipologia strutturale

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità dell'edificio



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

Gli edifici esistenti sono caratterizzati da criteri di progettazione non finalizzati a soddisfare i principi base di una moderna progettazione sismica

La valutazione del fattore q_0 è subordinata al rapporto di sovrarresistenza e alla capacità di spostamento in campo plastico dell'edificio

Concettualmente la determinazione del rapporto di sovrarresistenza (α_u / α_1) può effettuarsi solo mediante l'esecuzione di una analisi statica non lineare



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

A rigore, una valutazione a priori del rapporto (α_u/α_1) non risulta proponibile senza uno strumento di analisi non lineare

La capacità di spostamento in campo plastico (duttilità) degli edifici esistenti risulta senza dubbio limitata, rispetto agli edifici di nuova progettazione

Non esiste una gerarchia delle resistenze e generalmente vi è una carenza dei dettagli di armatura presenti nelle zone potenzialmente interessate da una plasticizzazione



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

La determinazione della capacità globale di spostamento è subordinata alla capacità di rotazione del singolo elemento strutturale:

- qualità dei dettagli strutturali (modalità di chiusura delle staffe, lunghezze di sovrapposizione, percentuali di armatura, ecc.);
- entità dello sforzo assiale normalizzato di compressione nelle colonne
- grado di confinamento delle colonne (passo delle staffe, ecc.);
- caratteristiche meccaniche degli acciai (incrudenti o non);
- presenza di pareti

LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

Edifici con:

- caratteristiche di irregolarità in pianta/elevazione
- dettagli strutturali carenti
- elevati sforzi assiali normalizzati ($v > 0.25$) nelle colonne

è *ipotizzabile* un fattore di struttura basso

Limite inferiore:

$$q=1.50$$



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

Edifici con:

- assenza di caratteristiche di irregolarità
- presenta buoni dettagli strutturali
- bassi sforzi assiali nelle colonne (normalizzati, $v < 0.25$)

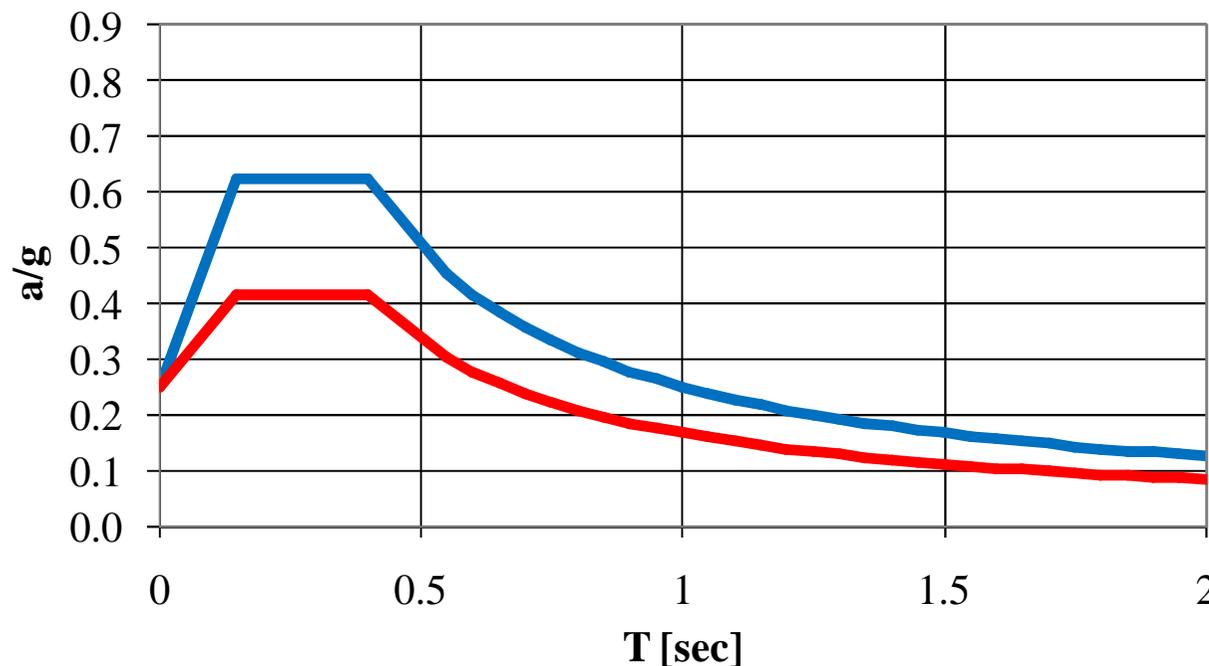
è *utilizzabile* un fattore di struttura più grande

Limite superiore: **$q=3.00$**



LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA

In ogni caso gli elementi strutturali **fragili** devono soddisfare la condizione che la sollecitazione indotta dall'azione sismica ridotta per $q = 1.5$ sia inferiore o uguale alla corrispondente resistenza



MECCANISMI DI ROTTURA DUTTILI E FRAGILI

Gli elementi ed i **meccanismi resistenti** sono classificati in:

- **DUTTILI**: travi, pilastri e pareti inflesse con e senza sforzo normale
- **FRAGILI**: meccanismi di taglio in travi, pilastri, pareti e nodi

In presenza di pilastri con sforzo normale particolarmente elevato va presa in considerazione la possibilità di comportamento fragile

La verifica degli elementi *duttili* è eseguita confrontando i limiti di capacità con gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di *deformazioni*

La verifica degli elementi *fragili* è eseguita confrontando le capacità (*resistenze*) con gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di *forze*



COMPORTAMENTO NON LINEARE

NON LINEARITÀ GEOMETRICA



NON LINEARITÀ DEL MATERIALE



**NON LINEARITÀ DI ELEMENTO
MATERIALE
SEZIONE**



NON LINEARITÀ DI STRUTTURA



NON LINEARITÀ GEOMETRICA



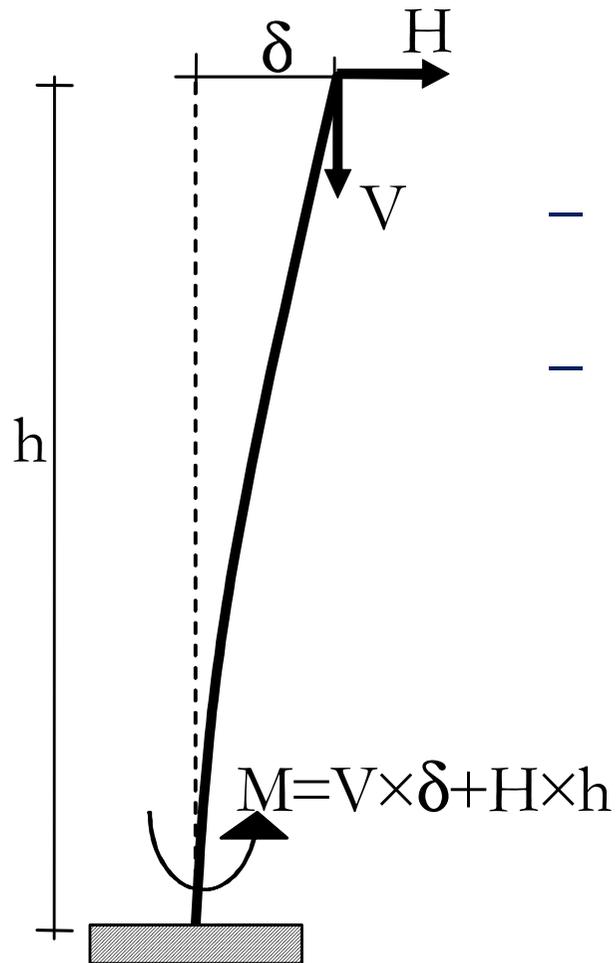
- Grandi rotazioni/spostamenti
- effetti del secondo ordine
- effetto trave colonna

Livelli di spostamento molto elevati variabili in modo non proporzionale ai carichi

Non più valida l'ipotesi della teoria dell'**elasticità lineare** secondo la quale è possibile confondere configurazione iniziale e finale

NON LINEARITÀ GEOMETRICA

Materiale elastico Effetti del secondo ordine

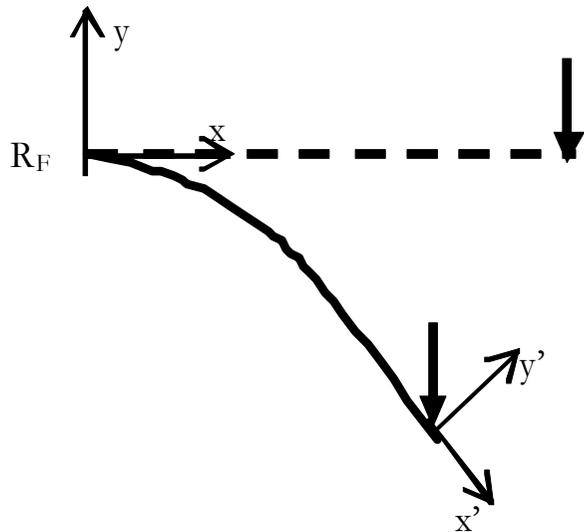


- La configurazione indeformata e deformata non coincidano. Il carico V non è parallelo all'asse
- L'elemento cambia configurazione rispetto a quella iniziale
- Inflettendosi il carico V contribuisce anche al taglio e al momento nell'elemento



NON LINEARITÀ GEOMETRICA

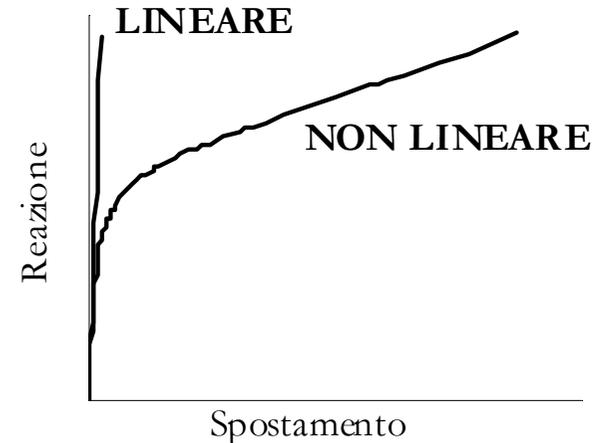
Ipotesi: materiale elastico



Comportamento lineare

configurazione iniziale e finale coincidono

Taglio cresce linearmente con lo spostamento verticale dell'estremo libero



Comportamento non lineare

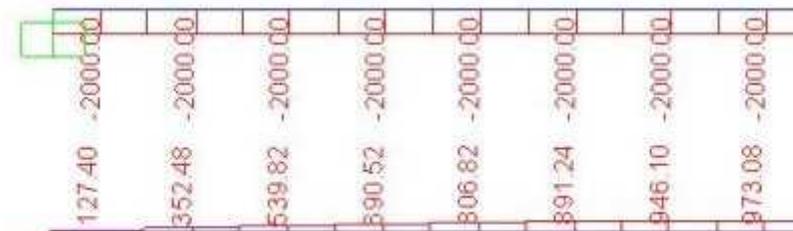
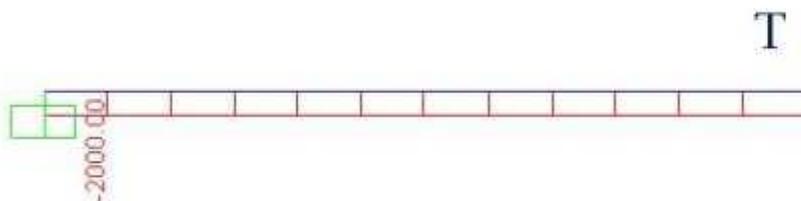
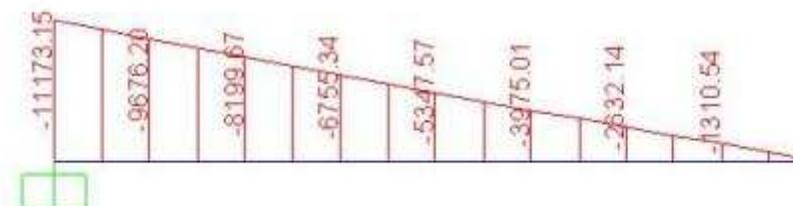
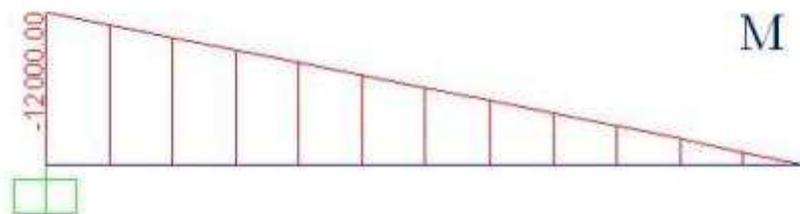
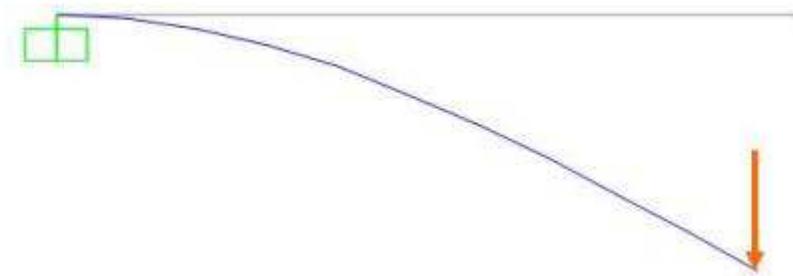
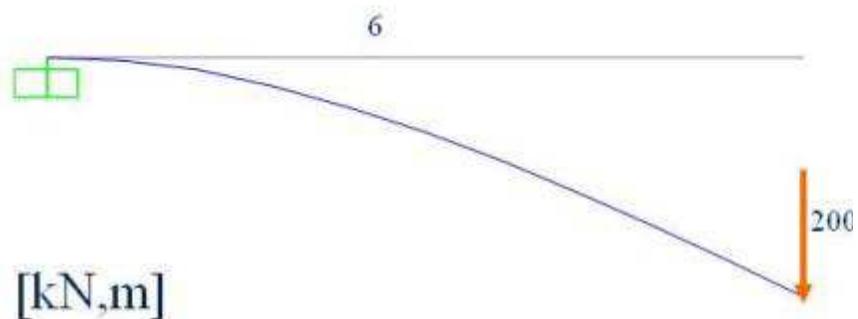
Il carico cresce e l'elemento cambia configurazione

La componente del carico ortogonale all'asse non cresce più linearmente con lo spostamento

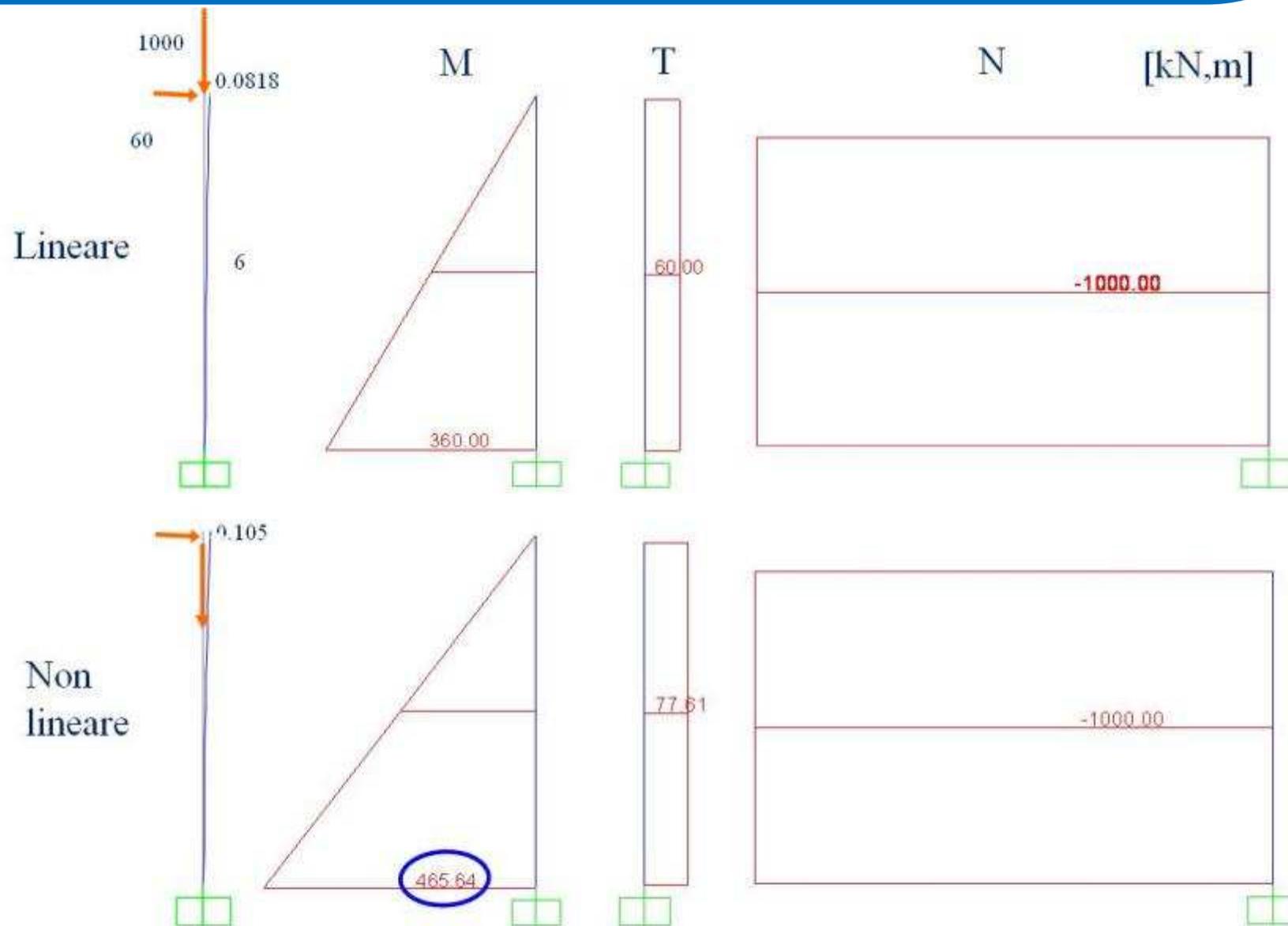
GRANDI SPOSTAMENTI E ROTAZIONI

Lineare

Non lineare

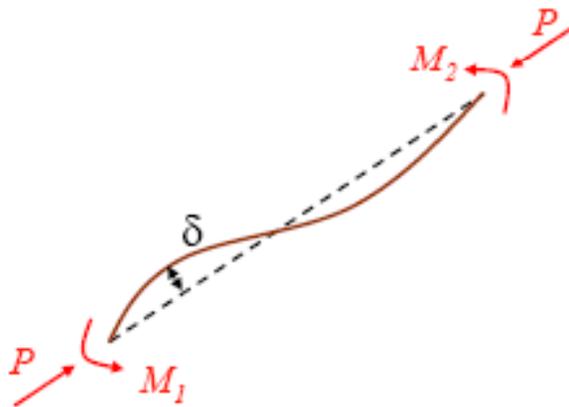
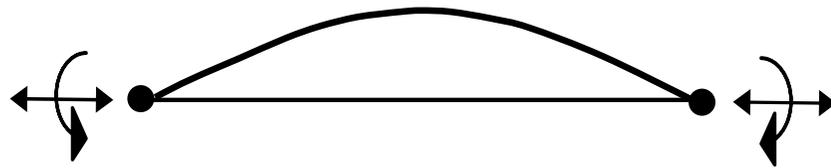


EFFETTI DEL SECONDO ORDINE



EFFETTO TRAVE-COLONNA

Materiale elastico



$$M(x) = -M_1(1-x/L) + M_2x/L - P\delta$$

Azione assiale
Momento flettente

Effetto trave-colonna

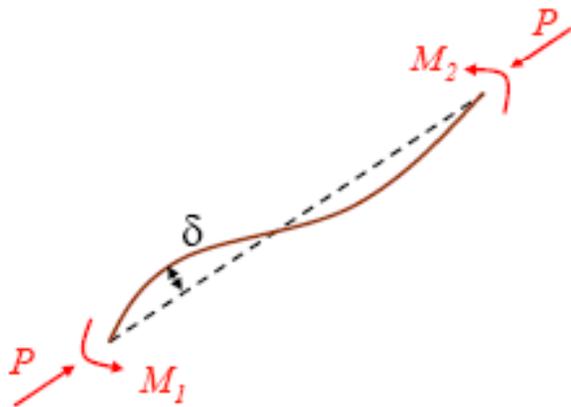
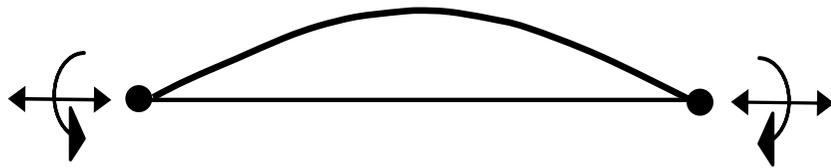
– Configurazione indeformata e deformata coincidono

Le due azioni (M, N) sono completamente disaccoppiate

– Se a causa dell'inflessione indotta dal momento, l'elemento cambia configurazione rispetto a quella iniziale, risulterà una interazione fra deformazione trasversale indotta dal momento flettente ed azione assiale

EFFETTO TRAVE-COLONNA

Materiale elastico



$$M(x) = -M_1(1-x/L) + M_2x/L - P\delta$$

Azione assiale e momento sono accoppiati

Effetto trave-colonna

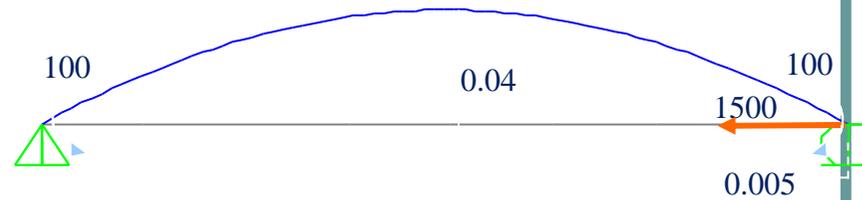
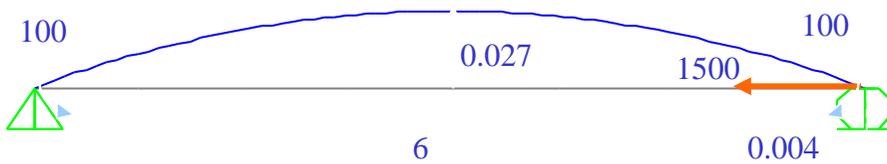
Un'azione assiale di compressione riduce la rigidezza flessionale, mentre un'azione di trazione ha l'effetto opposto

Questo si traduce in termini di modellazione, nell'avere una matrice di rigidità dell'elemento in cui i diversi contributi, assiale, flessionale e tagliante sono fra loro accoppiati

EFFETTO TRAVE-COLONNA

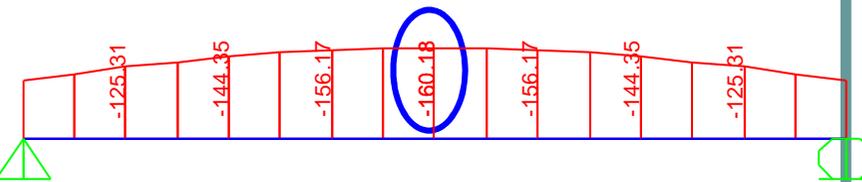
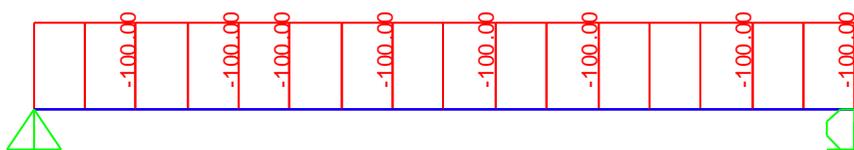
Lineare

Non lineare

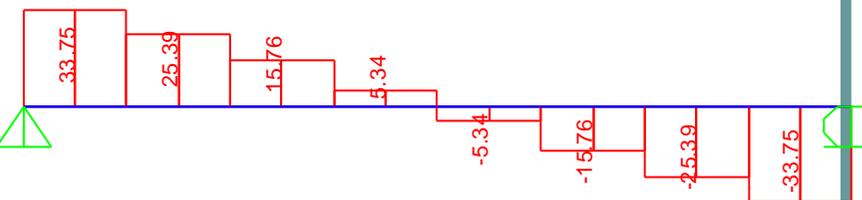


[kN,m]

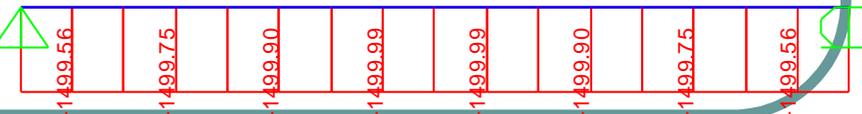
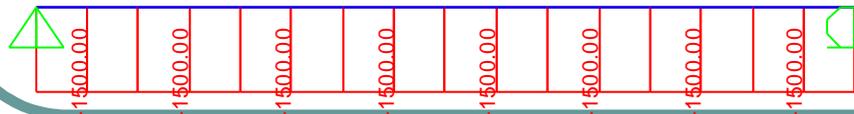
M



T



N



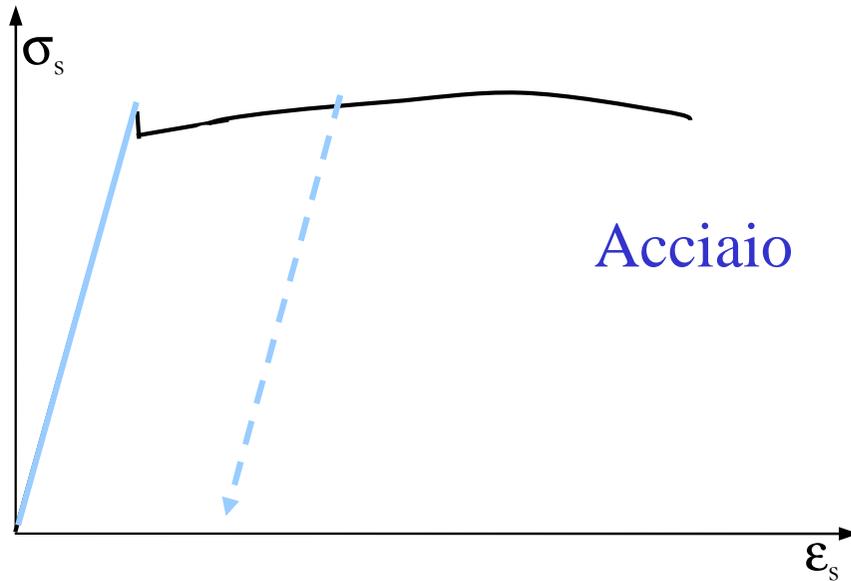
NON LINEARITÀ DEL MATERIALE

- Deformazione irreversibili
- Comportamento ciclico
- Degrado della rigidezza e resistenza

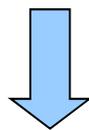
I materiali superano i limiti di comportamento elastico



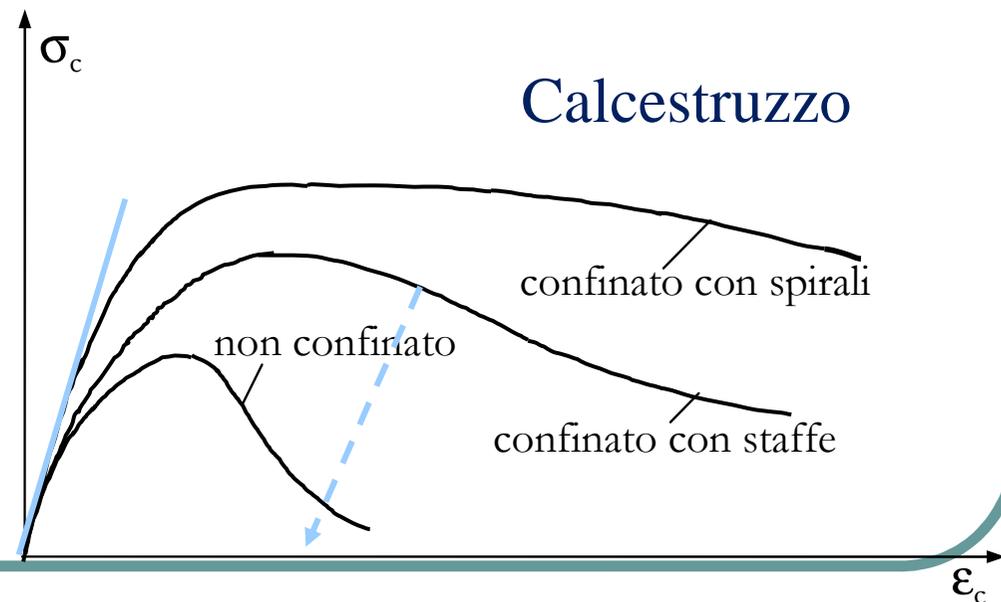
NON LINEARITÀ DEL MATERIALE



$$\sigma = E\epsilon$$

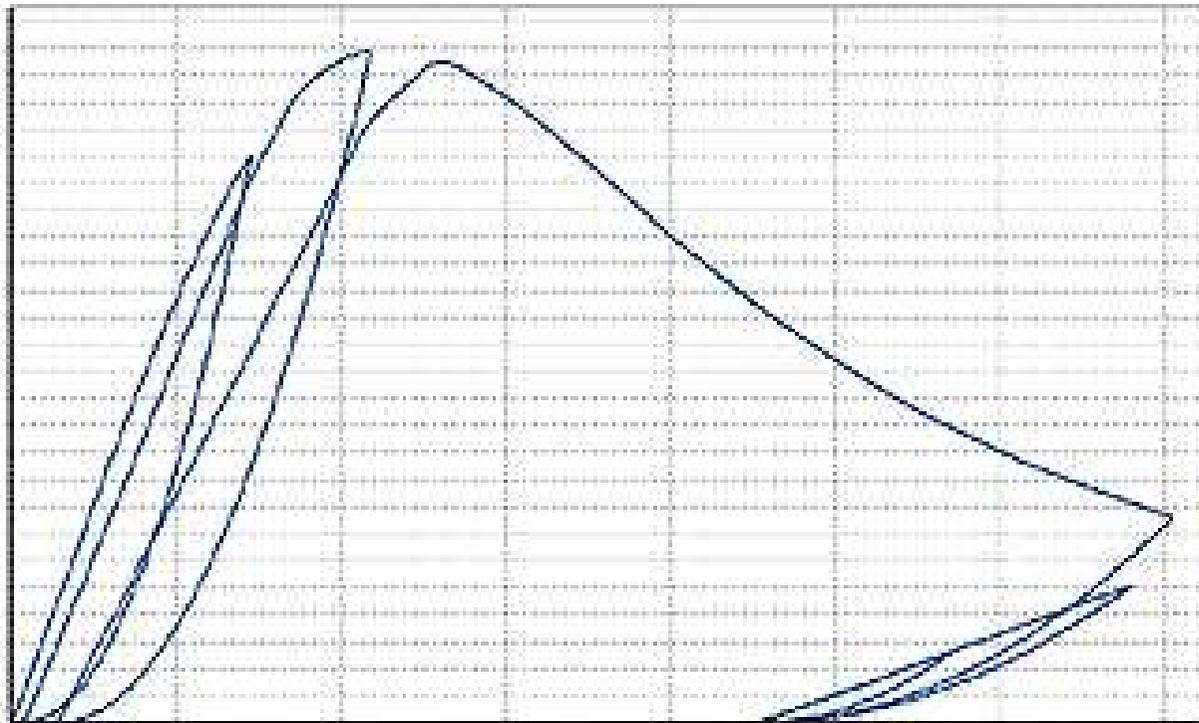


$$\sigma = f(\epsilon, \epsilon^i, \alpha)$$



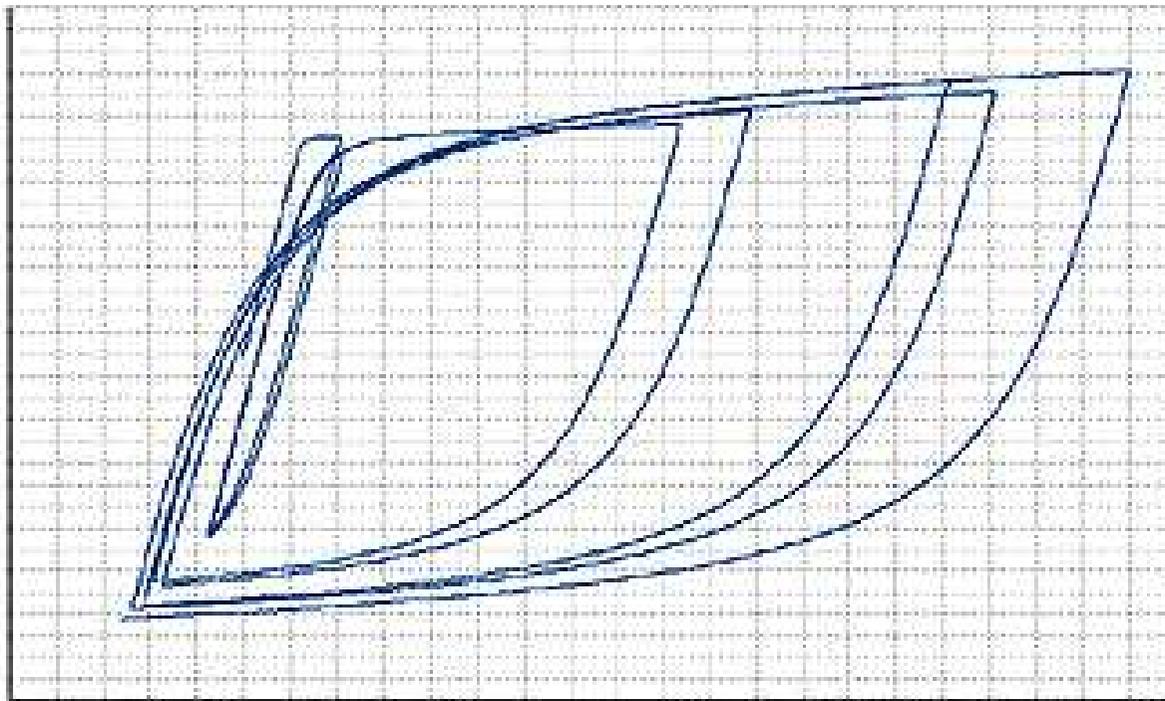
NON LINEARITÀ DEL MATERIALE: CALCESTRUZZO

- Comportamento ciclico con dissipazione
- **FORTE** dipendenza da storia di carico precedente
- Fessurazione con accumulo di danno

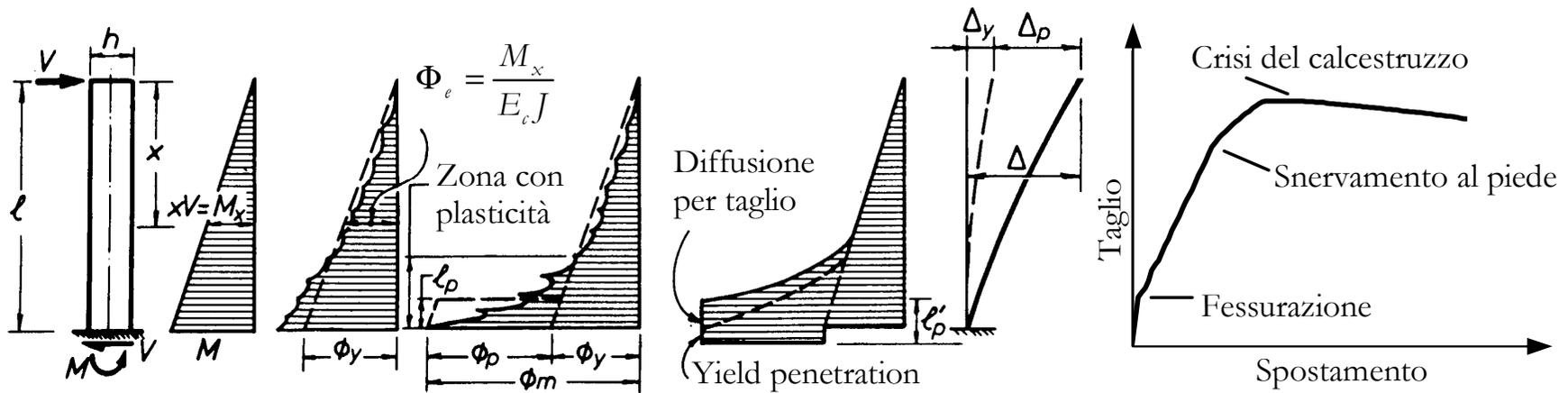


NON LINEARITÀ DEL MATERIALE: ACCIAIO

- Comportamento ciclico con **FORTE** dissipazione
- Dipendenza da storia di carico precedente
- Grande stabilità ciclica



NON LINEARITÀ DI ELEMENTO



- Irreversibilità
- Dissipazione
- Degrado

