



136MI – COSTRUZIONI IN ACCIAIO

Analisi dei telai

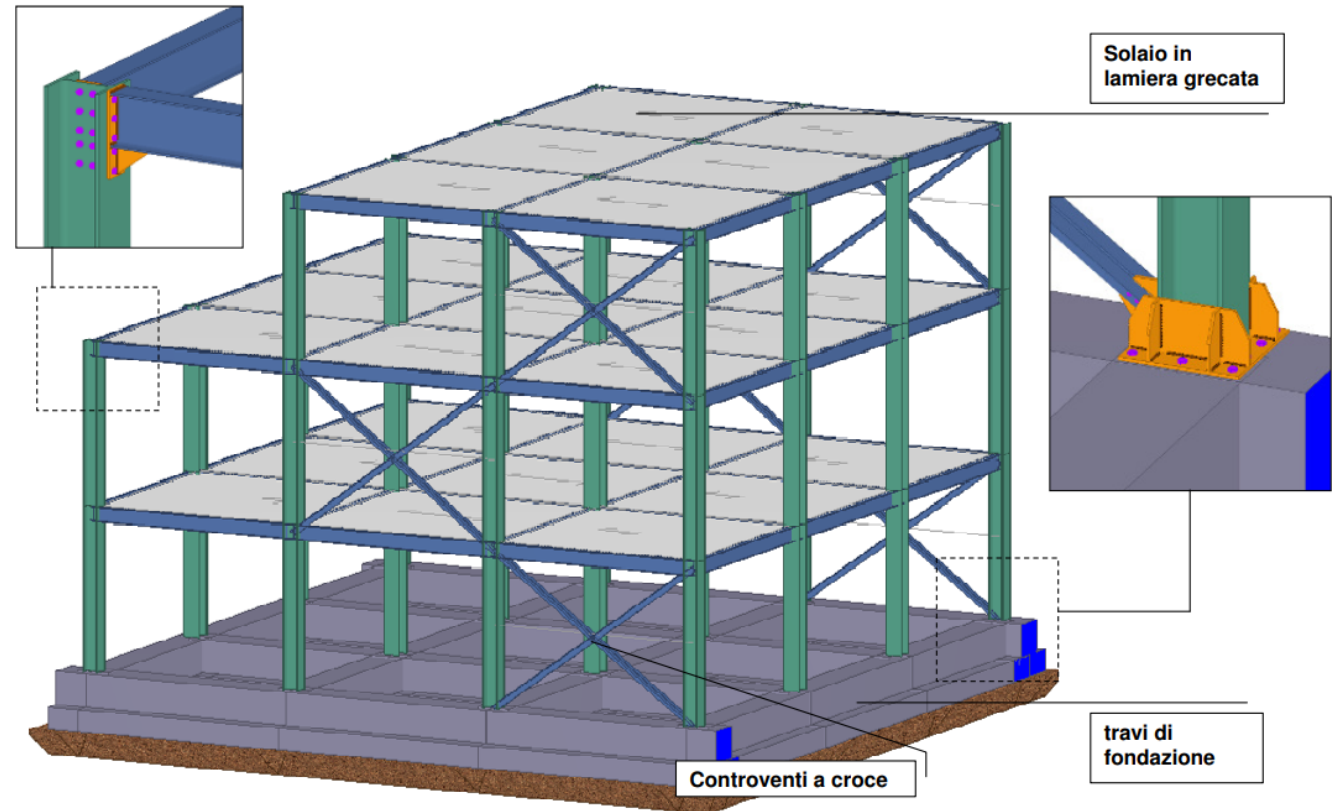
Analisi di sistemi intelaiati

- Nelle costruzioni in acciaio la struttura, molte volte ben distinta dalle componenti accessorie, ha tipicamente una configurazione a **ossatura portante spaziale**
- Con riferimento a sistemi intelaiati regolari in pianta e in elevazione, ossia a situazioni ricorrenti nel mondo delle costruzioni in acciaio, se possibile è conveniente, in fase di progettazione, individuare **modelli di calcolo piani** sui quali basare il dimensionamento strutturale. Di conseguenza la progettazione, nell'ipotesi usualmente soddisfatta di solai infinitamente rigidi nel proprio piano, risulta indubbiamente semplificata e al contempo caratterizzata comunque da un soddisfacente grado di sicurezza
- Appare quindi di fondamentale importanza affrontare in modo corretto il **dimensionamento dei sistemi intelaiati piani**, garantendo però sempre la piena rispondenza tra il modello di calcolo e la **struttura reale**

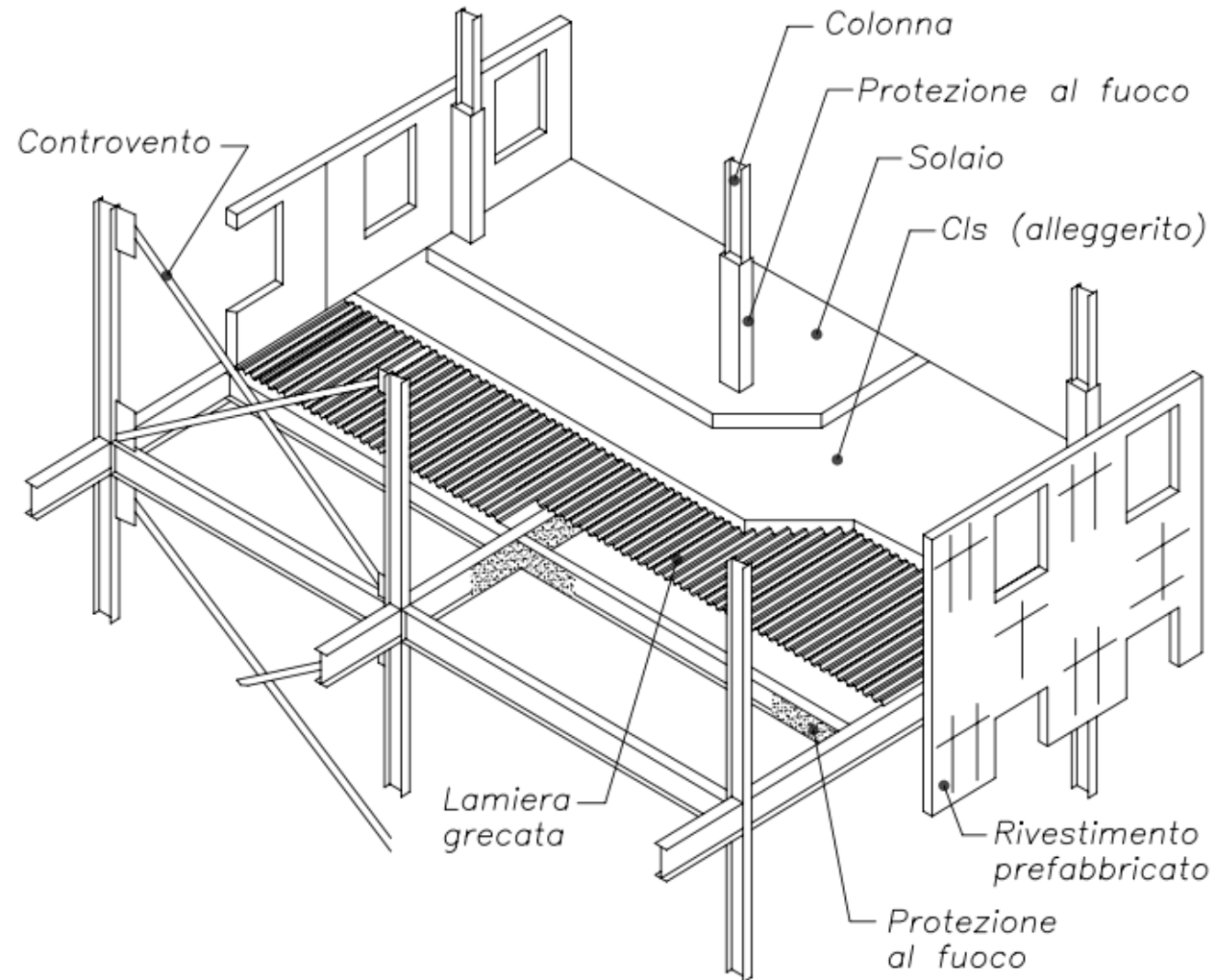


Analisi di sistemi intelaiati

- I telai devono essere verificati facendo in modo che venga garantita:
 - ✓ resistenza delle sezioni trasversali
 - ✓ resistenza delle membrane all'instabilità
 - ✓ resistenza dei collegamenti
 - ✓ stabilità globale del telaio
 - ✓ equilibrio al ribaltamento come corpo rigido



Analisi di sistemi intelaiati



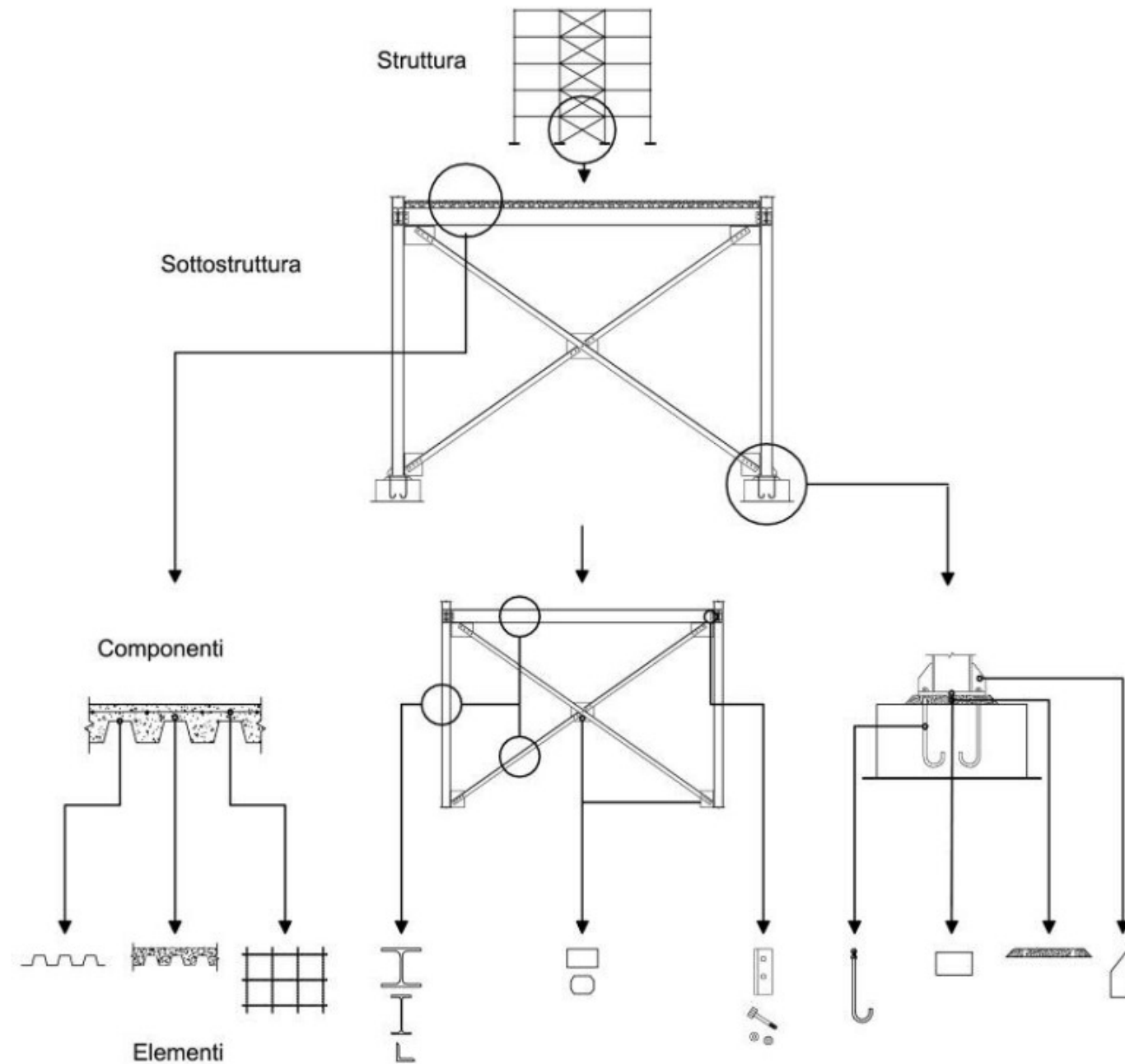
Classificazione

- Secondo l'EC3, gli elementi componenti il telaio possono distinguersi in:
 - ✓ travi
 - ✓ colonne
 - ✓ giunti

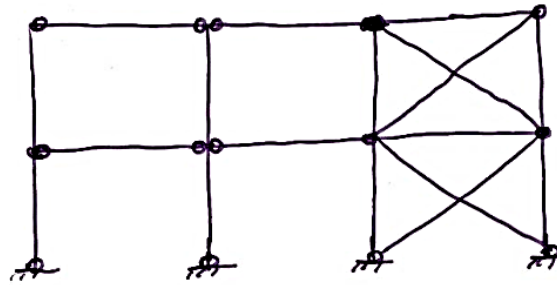
I giunti possono classificarsi in base alla loro **rigidezza** e alla loro **resistenza**

- Per quanto riguarda le **intelaiature**, esse potranno essere classificate come:
 - ✓ intelaiatura semplice (collegamenti cerniera)
 - ✓ continua (collegamenti rigidi)
 - ✓ semi-continua (collegamenti semi-rigidi)





Classificazione

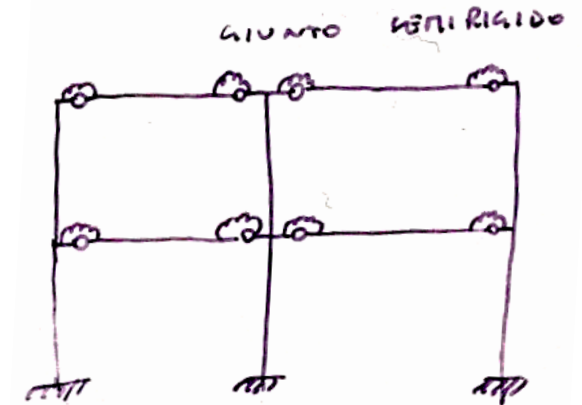


INT. SEMPLICE
(CONTROVENTATA)

- La distinzione tra **telai controventati** e telai **non controventati** è legata alla presenza o all'assenza di uno specifico sistema strutturale (il sistema di controvento) in grado di trasferire in fondazione tutte le azioni orizzontali dovute al **vento** o al **sisma**, oppure associate alle **imperfezioni strutturali**
- Sulla base delle indicazioni riportate nell'EC3, il sistema di controvento viene individuato come quella parte della struttura che è in **grado di ridurre gli spostamenti trasversali del sistema strutturale almeno dell'80%**
- In modo del tutto equivalente, il sistema strutturale è controventato se la **rigidezza trasversale dell'organismo che funge da controvento è almeno 5 volte** quella del telaio
- In presenza di telaio controventato come definito sopra, si parla di **telaio a nodi fissi**

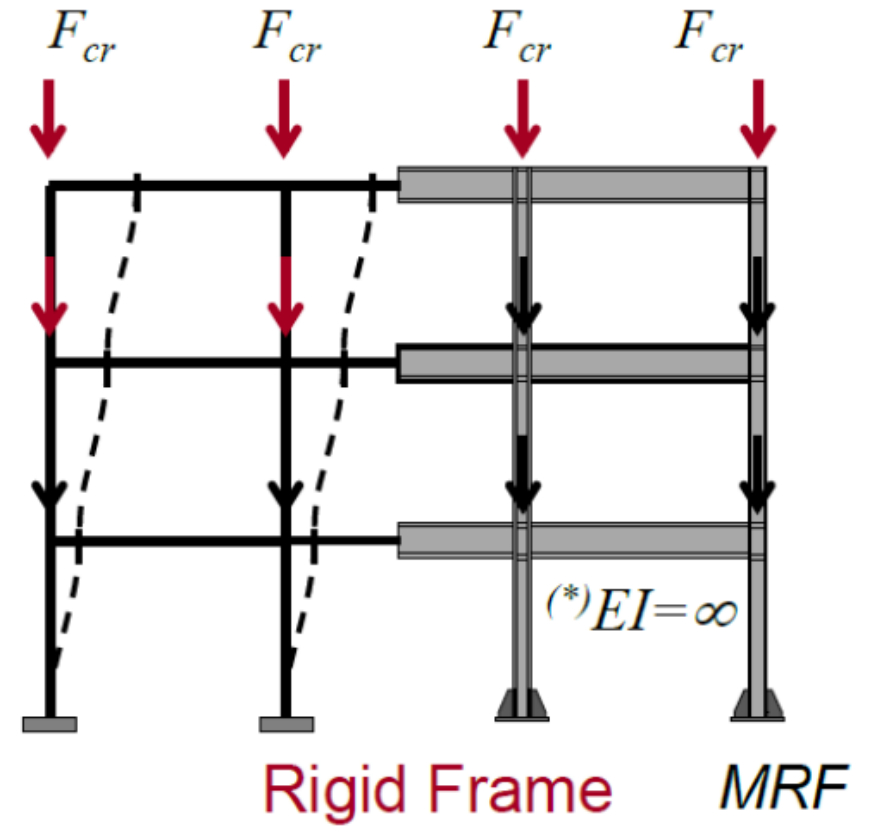
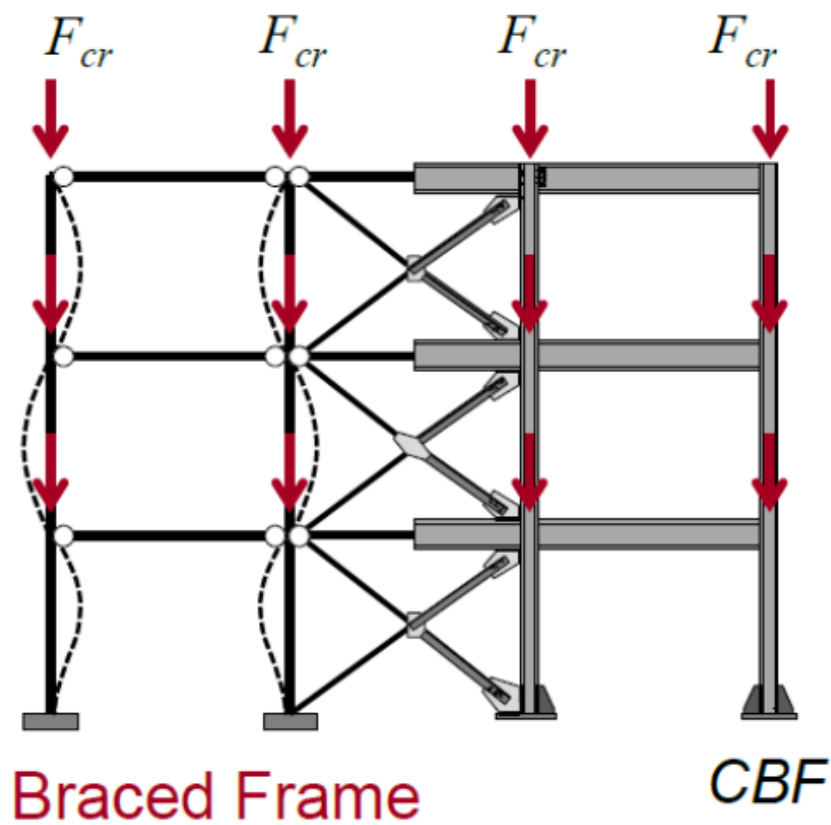


GIUNTO RIGIDO
INTELAIATURA
CONTINUA



GIUNTO SEMI RIGIDO
INTELAIATURA
SEMI-CONTINUA

Tipo di comportamento atteso



Tipo di comportamento atteso

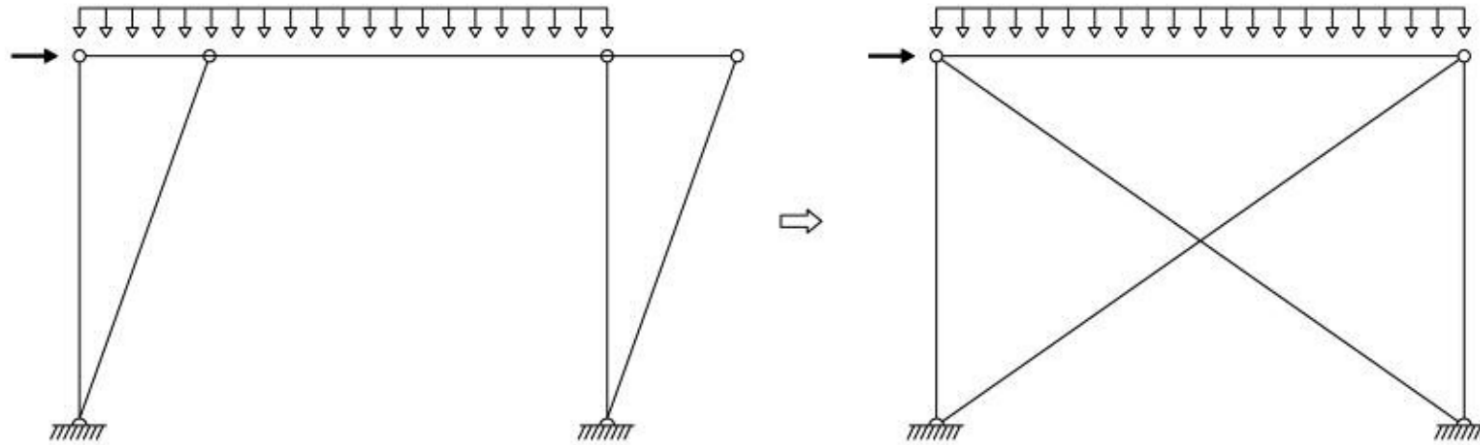


Figura 2.7 - Schema di una struttura a ritri pendolari

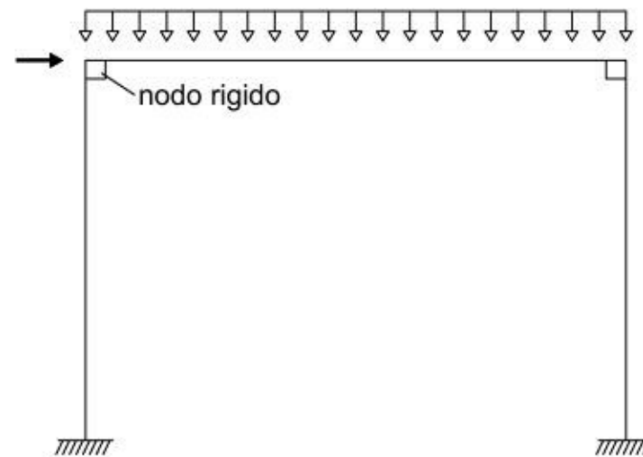
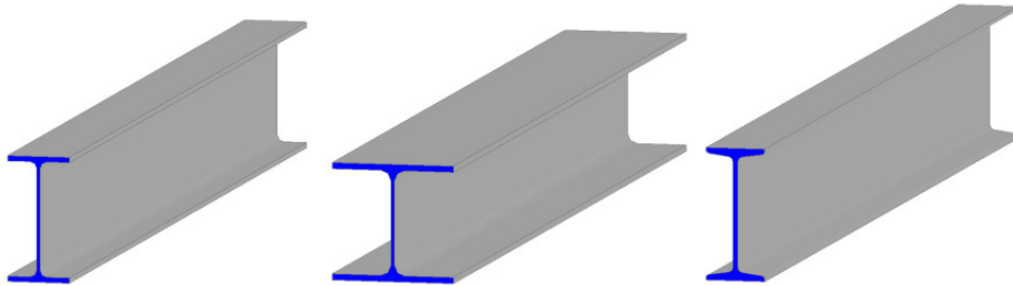


Figura 2.8 - Schema a telaio

Classificazione

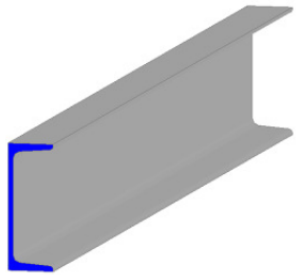
PROFILI SEMPLICI



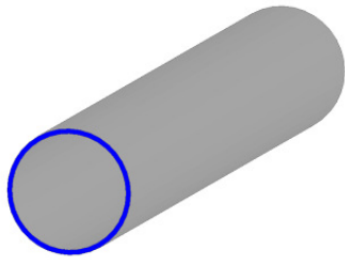
IPE

HE

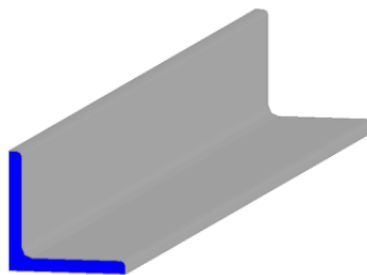
IPN



UPN

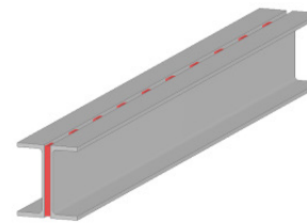


TUBOLARI

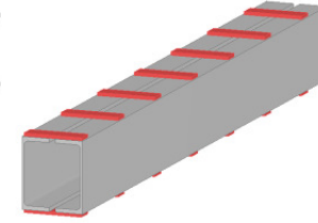


L

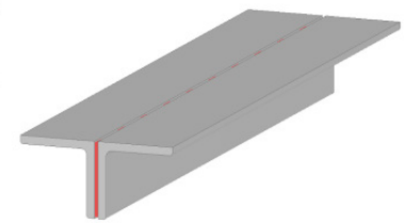
PROFILI COMPOSTI



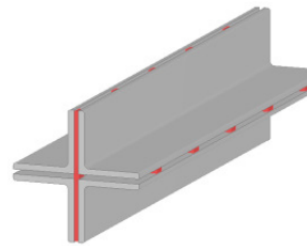
2C ACCOPPIATI DI SPALLA



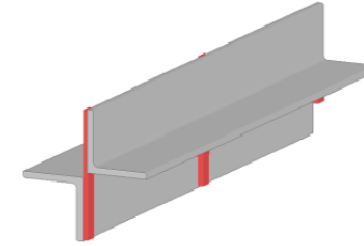
2C ACCOPPIATI DI FRONTE



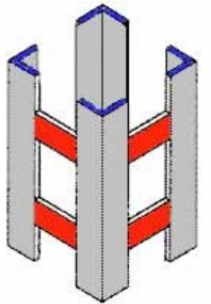
2L ACCOPPIATI DI SPALLA



4L ACCOPPIATI A CROCE



2L ACCOPPIATI A FARFALLA

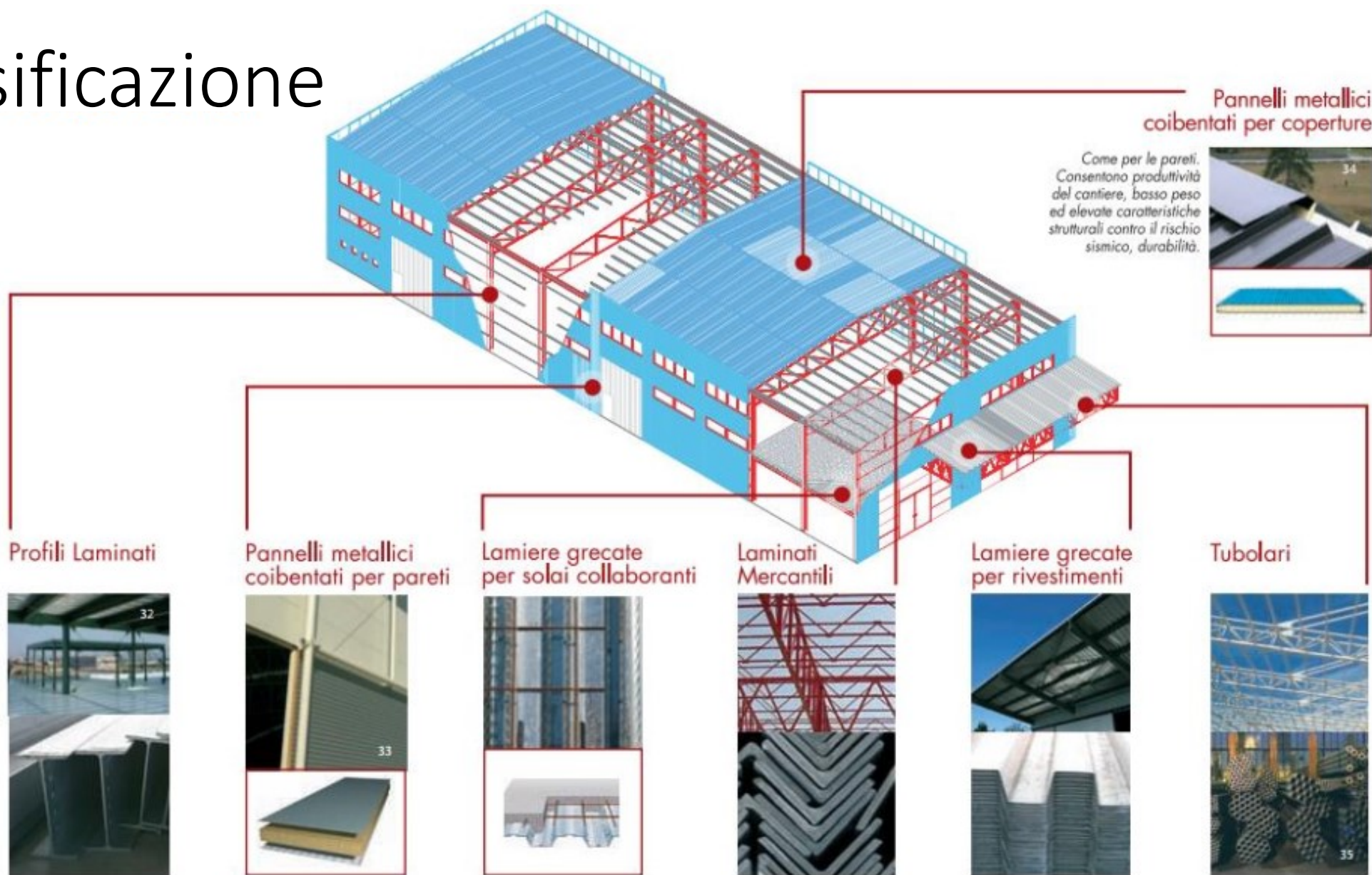


4L CALASTRELLATI

Classificazione

Classe	Caratteristiche della sezione		Sezione
1		La sezione è in grado di plasticizzarsi completamente senza riduzione della resistenza dovuta a fenomeni di instabilità. Lo stato limite di riferimento è quello di completa plasticizzazione.	DUTTILE
2		La sezione ha le stesse caratteristiche della classe 1 ma la capacità rotazionale è limitata da effetti di instabilità locale.	COMPATTA
3		La sezione è in grado di raggiungere lo stato limite di inizio snervamento ma l'instabilità locale le impedisce di plasticizzarsi completamente.	SEMI-COMPATTA
4		La resistenza della sezione viene determinata considerando l'instabilità locale. Essa sarà inferiore alla forza che provoca la sua completa plasticizzazione. Lo stato limite di riferimento è sempre quello di inizio snervamento ma considerando solo una parte della sezione.	SNELLA

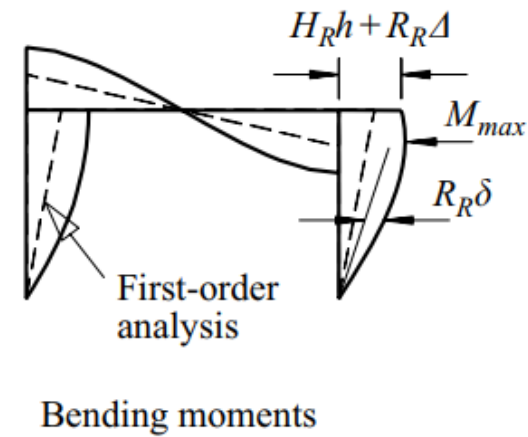
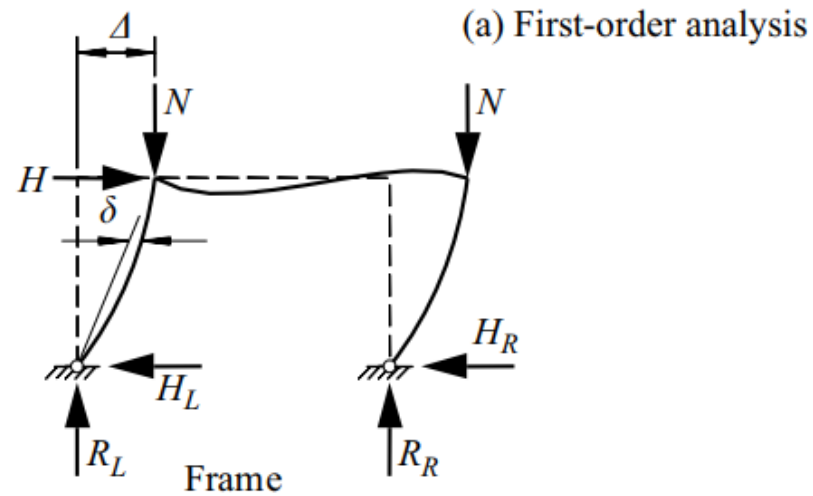
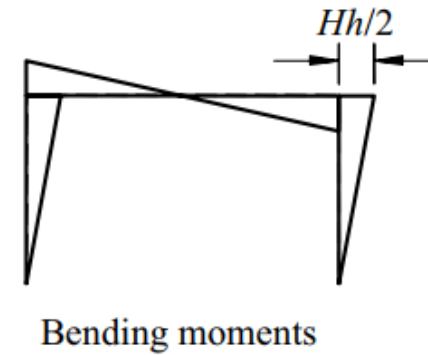
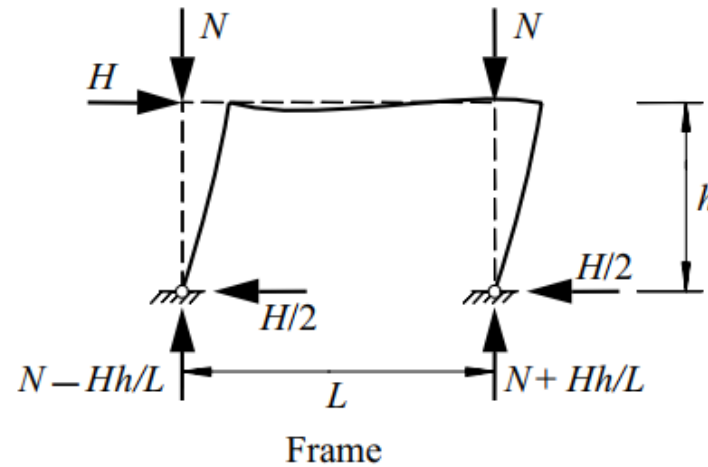
Classificazione



Metodo di analisi

- I **metodi di analisi** che si possono adottare sono:
 - ✓ Analisi **elastica globale** (sempre)
 - ✓ Analisi **plastica globale** (solo con sezioni di classe 1 e 2 e acciaio idoneo)
- **Effetti delle deformazioni:** in genere le sollecitazioni interne possono essere determinate con:
 - ✓ **teoria del I ordine**, usando la geometria iniziale della struttura
 - ✓ **teoria del II ordine**, che si può usare sempreEntrambe le teorie sono inoltre applicabili sia ad analisi elastiche che plastiche
- Da notare che la **teoria del I ordine** può essere usata se:
 - ✓ il telaio è controventato
 - ✓ il telaio può essere considerato a nodi fissi
 - ✓ si usano metodi di progettazione che indirettamente tengano conto degli effetti del II ordine

Metodo di analisi

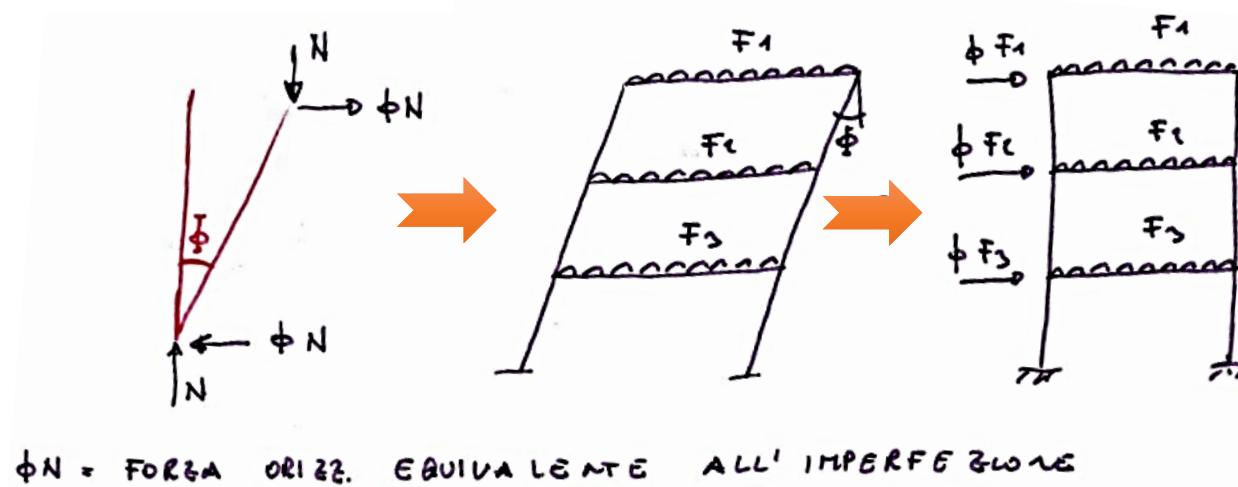


(b) Second-order behaviour

Figure 8.2 First-order analysis and second-order behaviour.

Imperfezioni iniziali

- L'equilibrio viene scritto nella configurazione iniziale indeformata e le imperfezioni vengono messe in conto applicando delle forze laterali ai vari impalcati come in figura (con F_1, F_2, F_3 = forze peso dei piani 1, 2, 3)
- Queste forze andranno applicate in tutte le direzioni orizzontali pertinenti, ma considerandole presenti in una sola direzione per volta



L'analogia è piuttosto evidente quando si esplica l'equilibrio dei singoli piani

Imperfezioni iniziali

- Così come le singole aste compresse devono essere considerate imperfette ai fini della stabilità, secondo l'EC3 anche i telai devono essere considerati come dotati di imperfezioni dovute alla mancanza di verticalità, di rettilineità e alle eccentricità nei collegamenti
- Secondo l'EC3 (5.3.2), in particolare, gli effetti delle imperfezioni devono essere messi in conto tramite una imperfezione laterale iniziale pari a:

$$\Phi = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

con $\varphi_0 = 1/200$ valore base

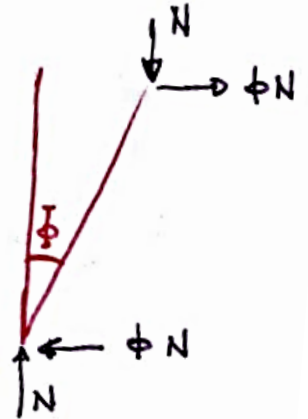
α_h coefficiente di riduzione per l'altezza h applicabile alle colonne: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$
con la limitazione $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$

h è l'altezza della struttura in metri

α_m è il coefficiente di riduzione per il numero di colonne in una fila: $\alpha_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$

m è il numero di colonne in una fila, includendo solo quelle colonne che portano un carico verticale N_{Ed} non minore del 50% del valore medio del carico agente nelle colonne appartenenti al piano verticale considerato

$\phi N h =$ coppia instabilizzante



Stabilità agli spostamenti laterali

- Per stabilire se una struttura è a nodi fissi si opera come segue:

1) si effettua un calcolo elastico del I ordine;

2) si calcola $\frac{V_{sd}}{V_{cr}}$, o in via semplificata $\frac{M^{II}}{M^I} = \left(\frac{V \cdot \delta}{H \cdot h} \right)_{max} *$

V_{sd} = valore di progetto del carico verticale totale (per la condizione di carico in esame)

V_{cr} = valore del carico critico elastico per instabilità laterale del telaio.

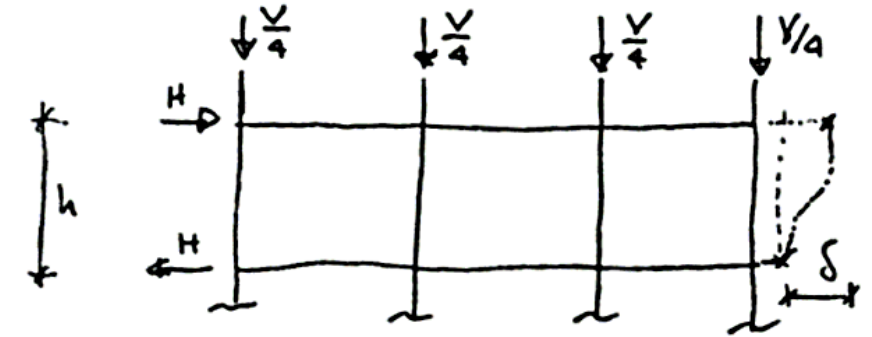
Poiché $V_{cr} = (\lambda_{cr} V_{sd}) \rightarrow \lambda_{cr} \geq 10$

3) se $\frac{V_{sd}}{V_{cr}} > 0.1$, o in modo equivalente $\frac{M^{II}}{M^I} = \left(\frac{V \cdot \delta}{H \cdot h} \right)_{max} > 0.1$, allora la struttura è a nodi spostabili e i momenti del I ordine (e gli sforzi normali associati) devono essere amplificati della quantità $\frac{1}{1 - \frac{V_{sd}}{V_{cr}}}$

- Si noti che questo metodo non è applicabile qualora $\frac{V_{sd}}{V_{cr}} > 0.25$; in tal caso è necessario effettuare un'analisi del II ordine rigorosa o si ridimensiona la struttura, irrigidendola

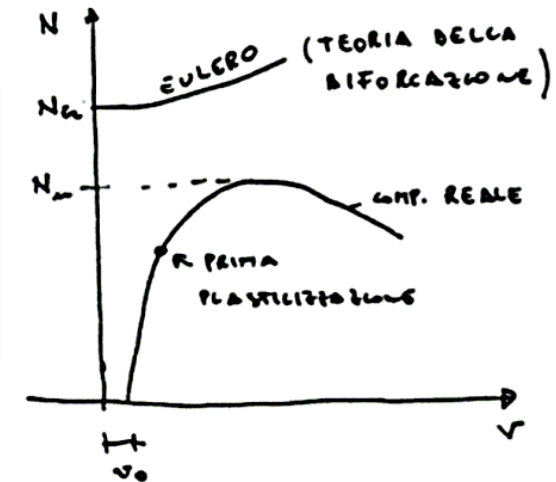
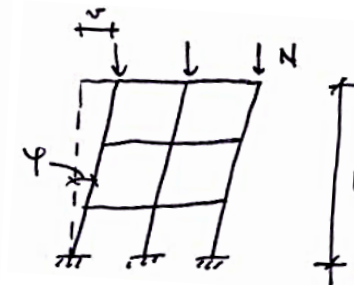
Stabilità agli spostamenti laterali

- * In via semplificata, $\frac{M^{II}}{M^I} = \left(\frac{V \cdot \delta}{H \cdot h} \right)_{max}$
- È necessario verificare che per ogni piano e per ogni combinazione di carico prevista, il rapporto tra l'**effetto secondario** (o effetto $P\Delta$, pari a $V \cdot \delta$, con δ spostamento di piano determinato con analisi elastica) e l'**effetto primario** ($H \cdot h$, con H taglio di piano) sia inferiore a 0.1
- È importante ricordare che esiste una perfetta analogia tra il comportamento di un'asta ed il comportamento di un telaio, sia nel caso questo venga considerato privo di imperfezioni, sia che si consideri il suo comportamento reale. In generale il **carico critico euleriano** è un carico non raggiungibile da una struttura reale per la presenza di imperfezioni geometriche, per la non linearità del materiale (plasticizzazione) e per gli effetti del II ordine dovuti alla presenza dei carichi verticali



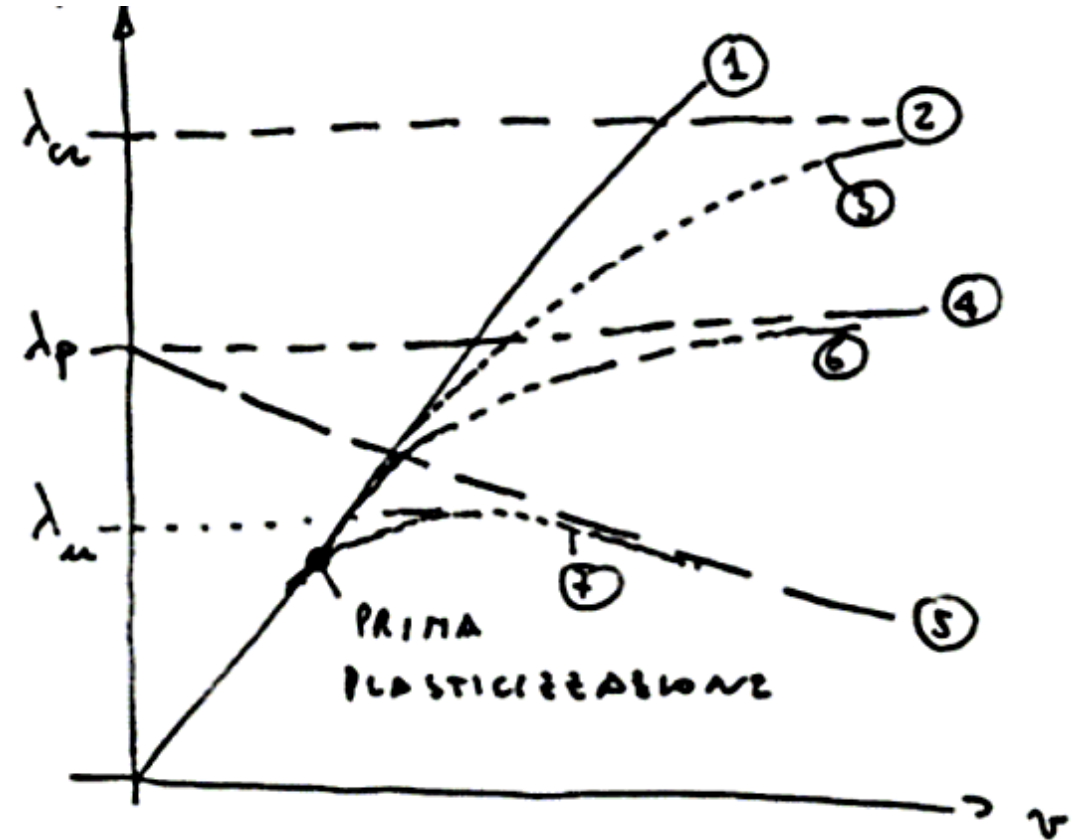
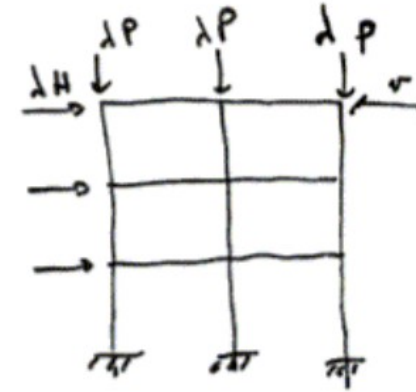
N_{cr} = carico critico di asta / telaio ideale
(privo di imperfezioni)

N_u = carico critico di asta / telaio imperfetto



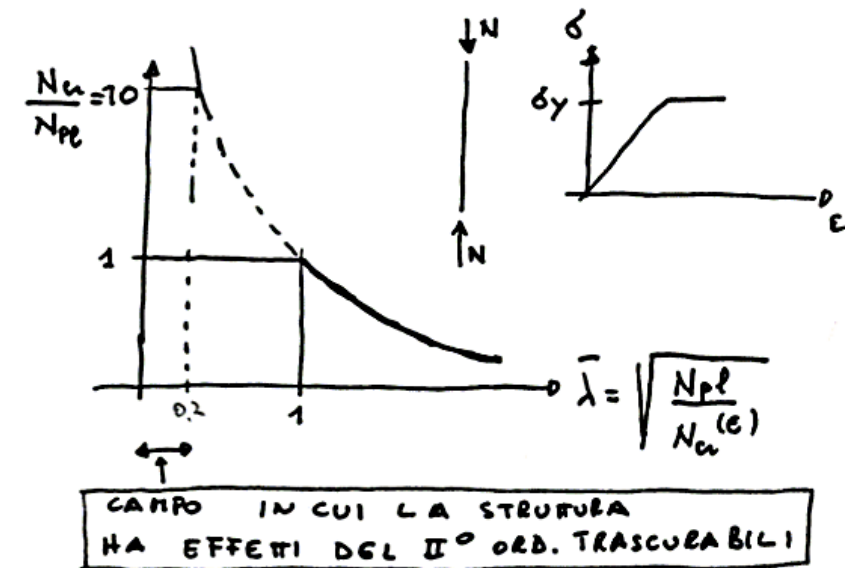
Metodo di analisi

- 1 - **analisi elastica lineare**: struttura indefinitamente elastica, materiali lineari, non si considerano gli effetti del II ordine
- 2 - **determinazione del carico critico euleriano (di biforcazione)** corrispondente a λ_{cr}
- 3 - **analisi elastica non lineare** : considero gli effetti del II ordine ($P - \Delta$) e curva asintotica a (2)
- 4 - **analisi rigido-plastica** con λ_p per formazione meccanismo (calcolo a rottura approssimato)
- 5 - **analisi rigido-plastica** (come (4)) **con effetti del II ordine**: λ_p decresce linearmente
- 6 - **analisi elasto-plastica senza effetti del II ordine**: si creano progressivamente una serie di cerniere plastiche fino al valore asintotico λ_p
- 7 - **analisi elasto-plastica con effetti del II ordine**: più corretta, determina λ_u



Metodo di analisi – Analisi elastica

- Il metodo **7** offre una stima molto buona del carico ultimo che la struttura può sopportare, ma rappresenta sempre un metodo approssimato
- Si può dimostrare che in generale vale per i telai la formula di Rankine: $\frac{1}{\lambda_u} = \frac{1}{\lambda_{cr}} + \frac{1}{\lambda_p}$
- Da questa segue che gli effetti del II ordine sono trascurabili quando $\lambda_{cr} \gg \lambda_p$, allora $\lambda_u \approx \lambda_p$
- Da questa condizione si deduce che la curva **6** e **7** sono sovrapposte. Quindi anche un'analisi elastica del I ordine (**1**) può essere accettabile. Per l'EC3 vale questa condizione se $\lambda_{cr} > 10 \lambda_p$
- Si può inoltre assimilare il comportamento della struttura a quella delle **aste tozze caricate di punta**



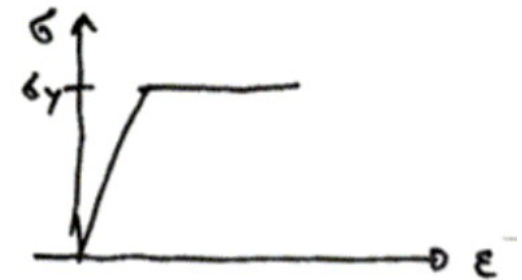
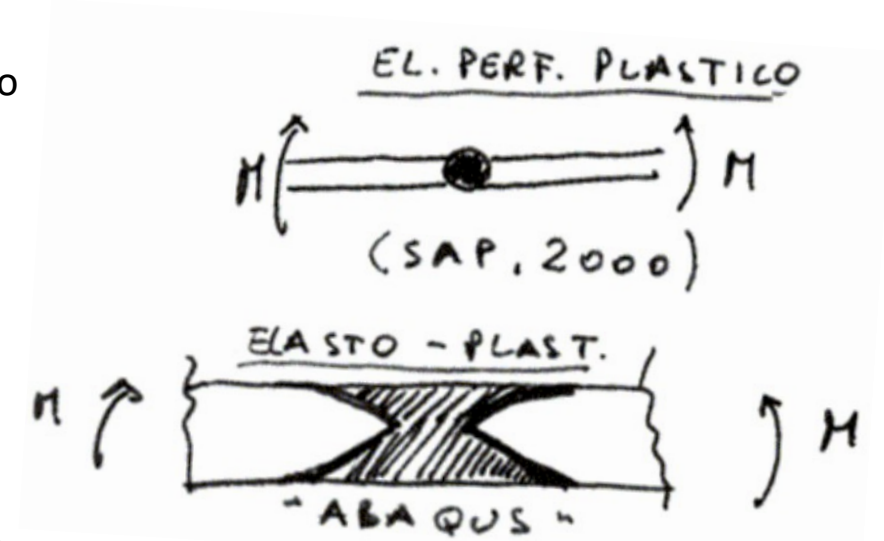
- Si può fare uso del «metodo dei tagli fittizi»

Metodo di analisi – Analisi plastica

- Può essere eseguita se:
 - ✓ Le sezioni sono di classe I o II
 - ✓ I profili sono simmetrici
 - ✓ Non ci sono problemi di instabilità
- È in genere svolta su:
 - ✓ Telai a nodi fissi
 - ✓ Telai controventati con nodi semi-rigidi

Metodo di analisi – Analisi plastica

- L'analisi plastica globale di un telaio può essere svolta considerando:
 - ✓ **Metodi rigido-plastici:** le deformazioni elastiche delle membrature sono trascurate e tutte le deformazioni plastiche sono concentrate nelle cerniere plastiche (calcolo a rottura), con aste indeformabili
 - ✓ **Metodi elasto-plastici**, che si suddividono in:
 - ☐ Metodo di analisi **elastico-perfettamente plastico**
 - ☐ Metodo di analisi **elasto-plastico** (plasticizzazione diffusa e eventuale incrudimento)
- In un'analisi **elastica-perfettamente plastica**, si assume che le sezioni restino elastiche fino a quando non viene raggiunto il momento plastico. Successivamente le sezioni diventano plastiche (in corrispondenza delle cerniere plastiche, descritte per esempio da molle)
- In un'analisi **elasto-plastica**, si assume che le sezioni possano essere descritte da un legame σ – ε di tipo bilineare. E' prevista una modellazione più sofisticata (es. tipo ABAQUS; in questo caso la sezione trasversale rimane elastica fino allo snervamento delle fibre esterne, e all'aumentare di M la plasticizzazione prosegue all'interno della sezione e lungo l'elemento)



Metodo di analisi – Analisi plastica

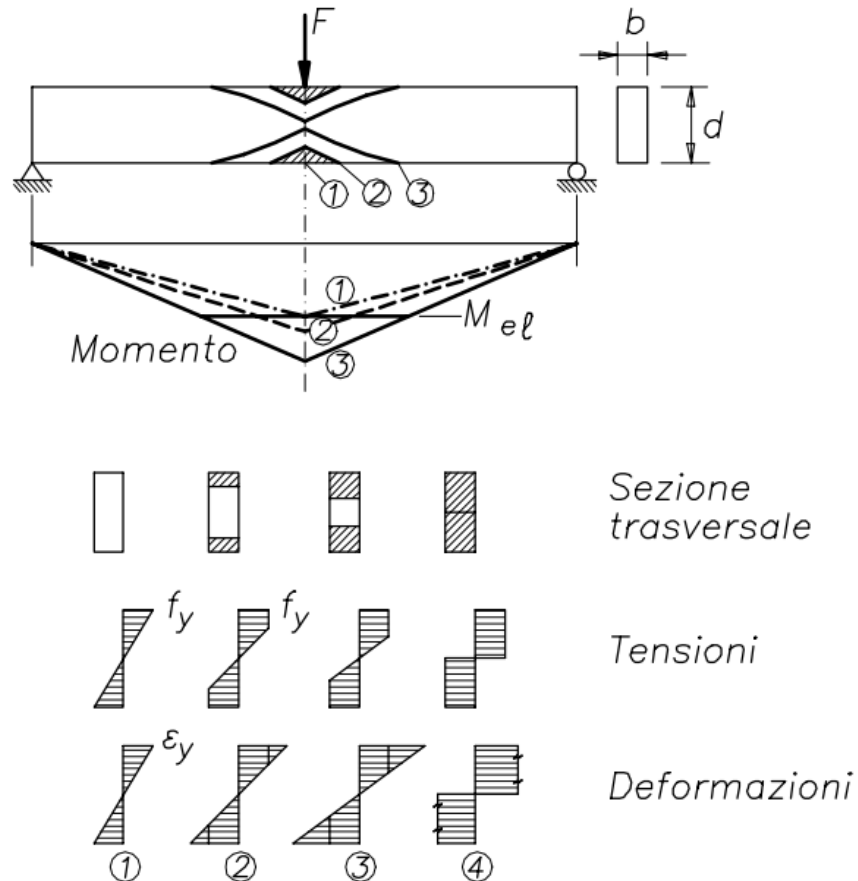


Figura 3.17 Andamento delle tensioni e deformazioni nella sezione di mezzeria di una trave in semplice appoggio.

Metodo di analisi – Analisi plastica

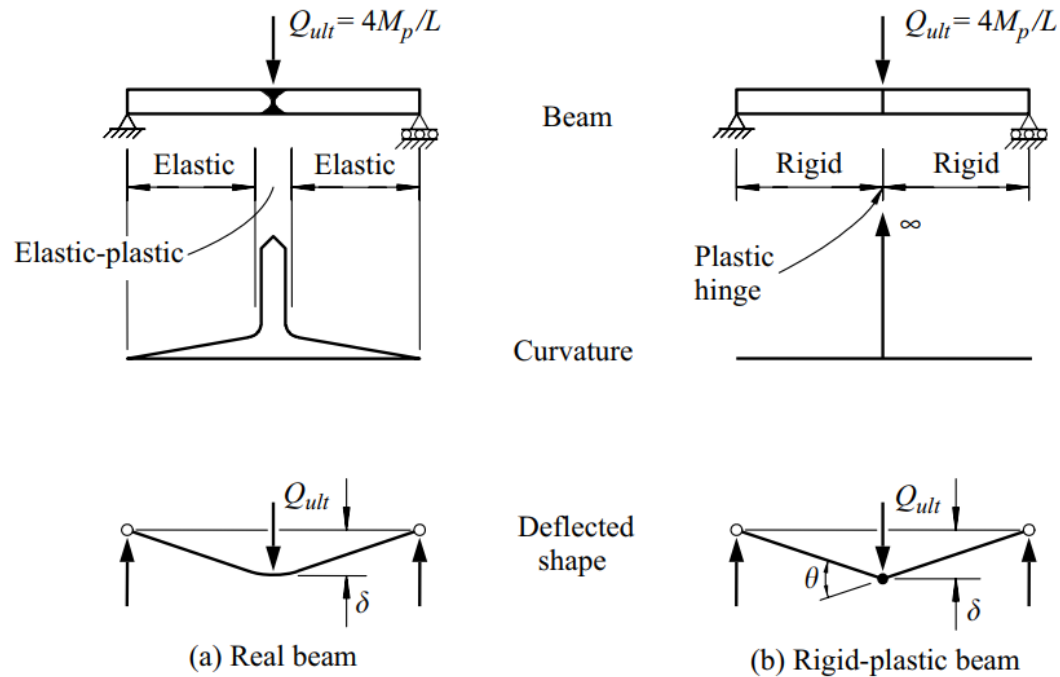


Figure 5.25 Beam with full plastic moment M_p at mid-span.

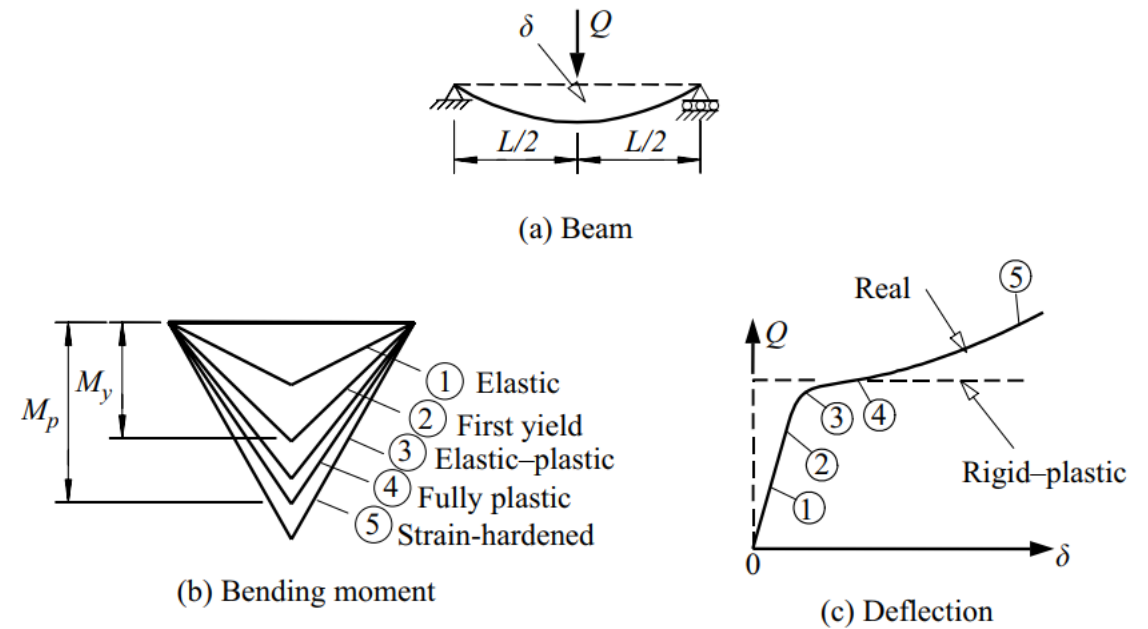


Figure 5.26 Behaviour of a simply supported beam.