



# 041R - ANALISI DELLE STRUTTURE

## Materiali acciaio Sforzo assiale



***Eccellente rapporto resistenza/peso:***



Strutture resistenti e leggere  
caratterizzate da elevata snellezza → instabilità

Preventivamente ***preparate in officina*** e poi trasferite in  
cantiere per il montaggio  
→ costruzioni a secco



Soggette a ***corrosione***  
(rivestimenti, protezione catodica,  
vernici antiruggine)



Completamente ***smontabili e riciclabili***  
(riuso elementi strutturali – usati come rottami e rifiuti)  
→ sostenibilità  
→ manutenzione



***Non resistenti al fuoco***



(perdita delle caratteristiche meccaniche al crescere della  
temperatura)

# Composizione chimica

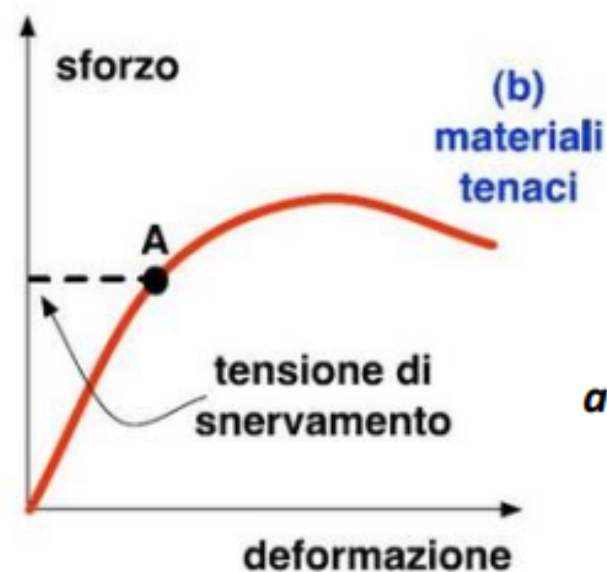
Le caratteristiche chimiche che devono essere rispettate dagli acciai da carpenteria sono riportate nella seguente tabella:

|                      | Grado | Carbonio<br>C (%) | Manganese<br>Mn (%) | Silicio<br>Si (%) | Fosforo<br>P (%) | Zolfo<br>F (%) |
|----------------------|-------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|----------------|
| <b>S235<br/>S275</b> | B     | $\leq 0.24$       |                     |                   | $\leq 0.055$     | $\leq 0.055$   |
|                      | C     | $\leq 0.22$       |                     |                   | $\leq 0.050$     | $\leq 0.050$   |
|                      | D     | $\leq 0.22$       |                     |                   | $\leq 0.045$     | $\leq 0.045$   |
| <b>S355</b>          | B     | $\leq 0.26$       | $\leq 1.6$          | $\leq 0.60$       | $\leq 0.050$     | $\leq 0.050$   |
|                      | C     | $\leq 0.24$       | $\leq 1.6$          | $\leq 0.60$       | $\leq 0.050$     | $\leq 0.050$   |
|                      | D     | $\leq 0.22$       | $\leq 1.6$          | $\leq 0.60$       | $\leq 0.045$     | $\leq 0.045$   |

Il carbonio eleva la resistenza e riduce la duttilità e la saldabilità del materiale, pertanto gli acciai da costruzione (acciai da carpenteria) devono essere caratterizzati da un basso tenore di carbonio ( $0.10\% < C < 0.30\%$ ).

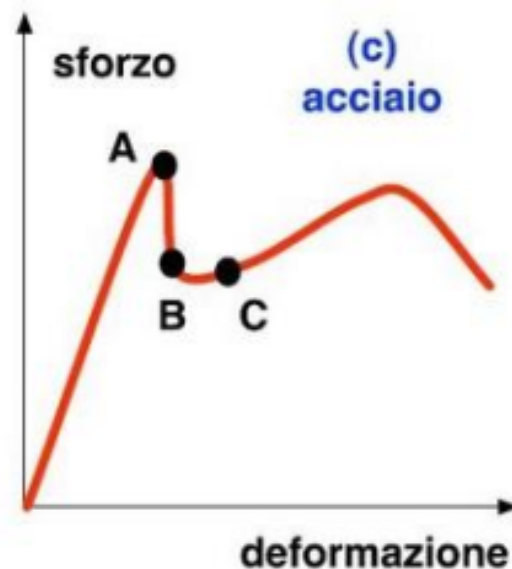
# Duttilità (di materiale)

*Ceramica, ghisa,  
vetro, ecc.*



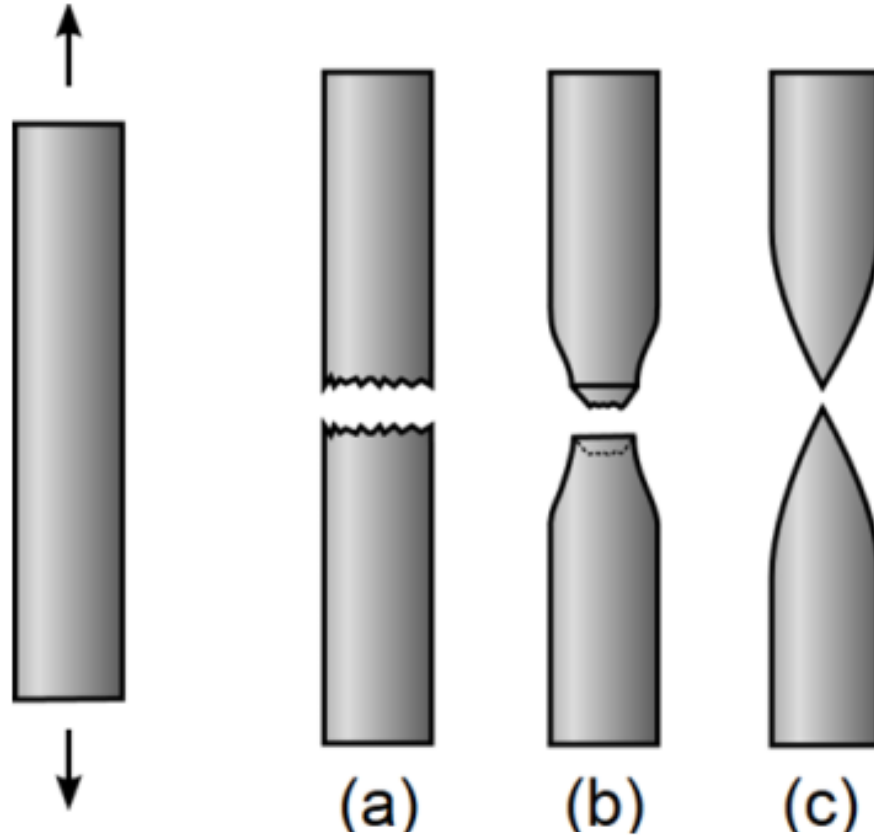
*Acciai  
ad alto contenuto di carbonio*

*Acciai a basso  
contenuto di carbonio,  
rame, alluminio, ecc.*



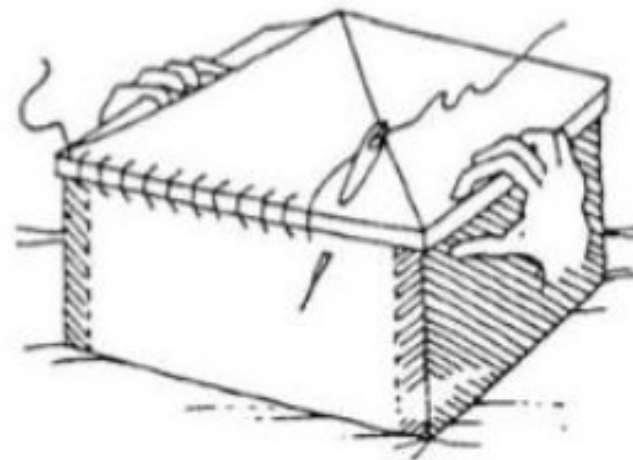
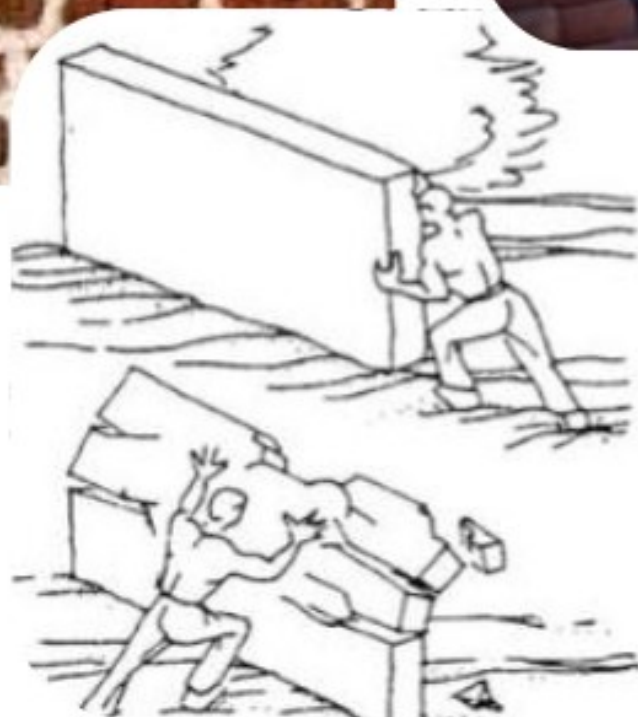
# Duttilità (di materiale)

- ✓ è una proprietà che indica la **capacità di un materiale di deformarsi plasticamente prima di giungere a rottura**, cioè la **capacità di sopportare deformazioni plastiche**
- ✓ Un corpo è tanto più duttile quanto maggiore è la deformazione plastica raggiunta prima della rottura





**Muratura**





**Legno**

Compressione parallela



Compressione ortogonale



Trazione parallela



Trazione ortogonale



Taglio



Taglio per rotolamento





# CENNI STORICI



Inizialmente viene introdotto come **rinforzo di murature**, di archi e volte (catene, bolzoni, chiavi metalliche)



All'inizio dell'Ottocento inizia un processo di rapido progresso nella siderurgia.

L'era dell'acciaio tuttavia ha inizio nella **seconda metà dell'ottocento**: l'impiego di **altiforni** e l'uso del **carbon coke** (carbone ottenuto mediante un processo di "distillazione distruttiva" del carbon fossile - ad opera di Abram Darby), in sostituzione del carbone vegetale (ottenuto per combustione dalla legna e con maggiore potere calorico), consente produzione importante di materiale.

Parallelamente fiorisce l'attività teorica e si perfezionano gli strumenti di calcolo: nasce la scienza delle costruzioni.

La richiesta di grandi quantitativi di ferro per la realizzazione di profili per le **rotaie**, per la realizzazione di **grandi coperture** delle stazioni ferroviarie, per i **ponti**, e di strutture stagne a guscio degli **scafi**, comportò un notevole **impulso e sviluppo dell'industria siderurgica** che in quegli anni introdusse importanti innovazioni:

**1835 - Produzione industriale delle travi** → sostituzione degli impalcati lignei con strutture in laterizio e acciaio.





Nel medio-evo e rinascimento viene lavorato dai mastri ferrai per ottenere ferri battuti decorativi

Si introducono poi per la realizzazione di ponti in America le **strutture reticolari in ferro (ferri tondi) e legno.**



1852 Bollman Bridge (USA)

# 1851 Crystal Palace



# 1883 Brooklyn Bridge (USA) - 1825m



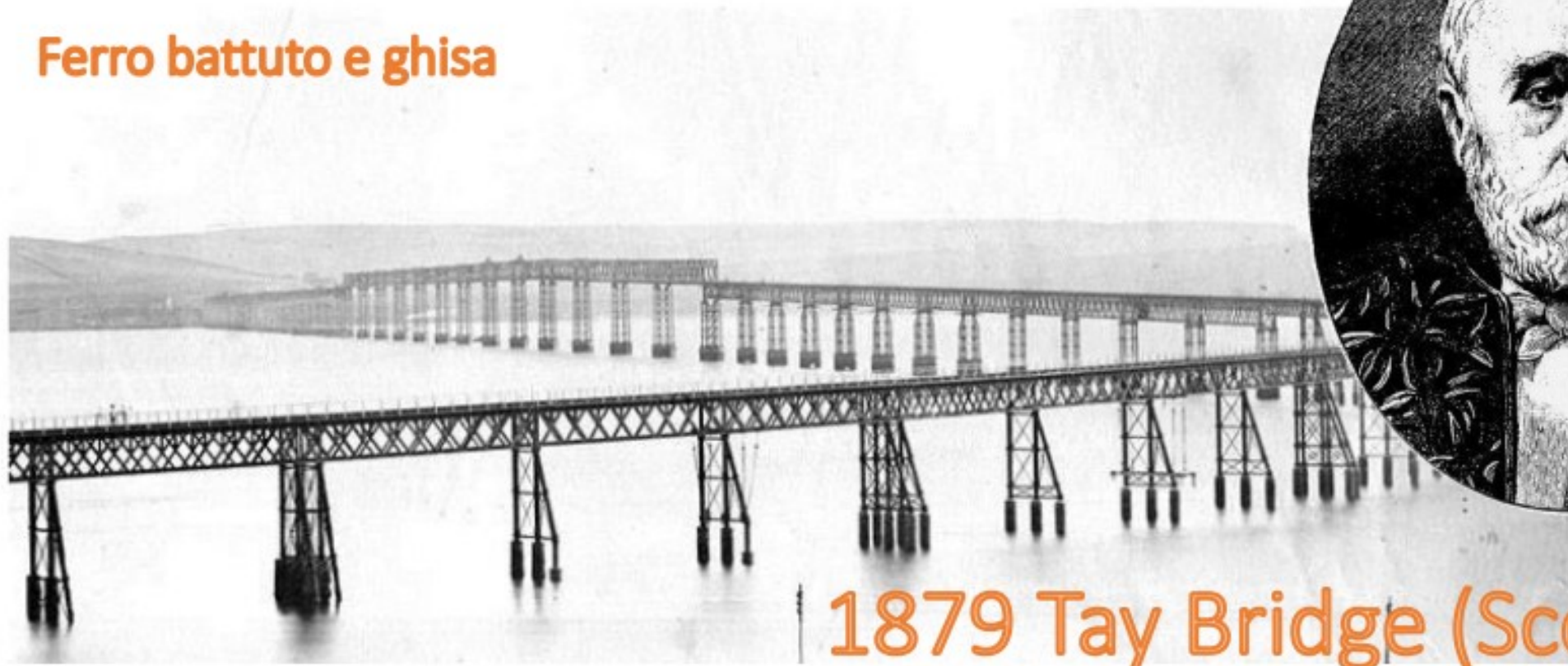
Il **XIX secolo** segna la nascita della teoria dell'elasticità e la derivazione di molte delle principali soluzioni elastiche associate ad importanti fenomeni fisici:

Nel 1850 il matematico e ingegnere francese **De Saint-Venant** sviluppò il tema della flessione di travi soggette a carichi trasversali.

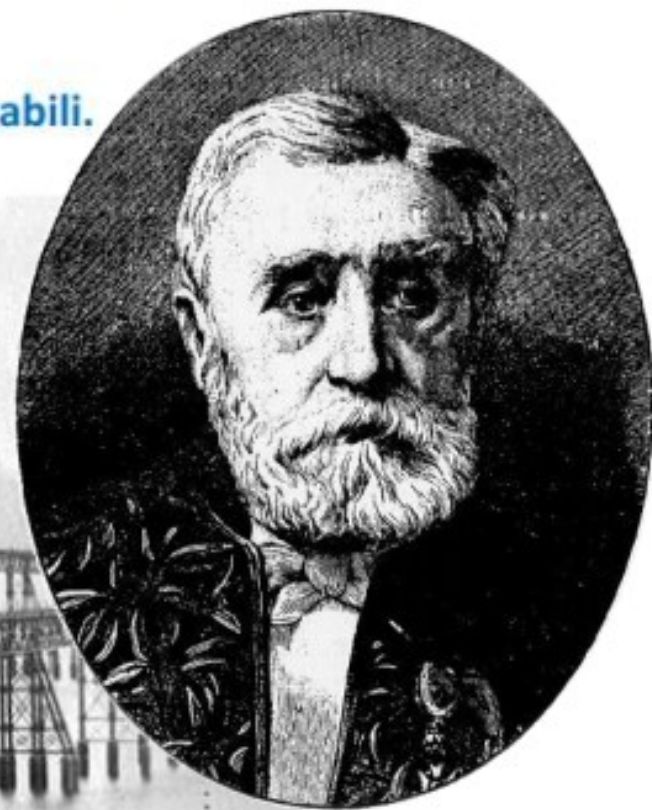
Non si aveva conoscenza di fenomeni di instabilità. I progetti si basavano prevalentemente sulle intuizioni di tecnici i quali avevano affinato le conoscenze con l'esperienza di precedenti realizzazioni.

Studi sull'instabilità avviati in seguito a numerosi crolli apparentemente inspiegabili.

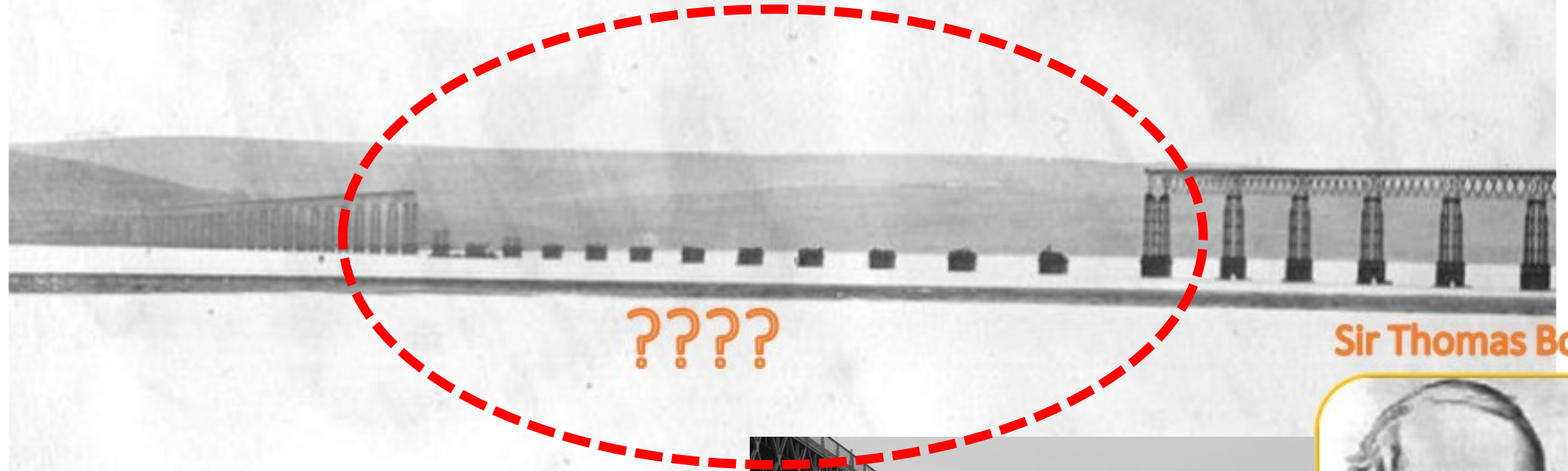
**Ferro battuto e ghisa**



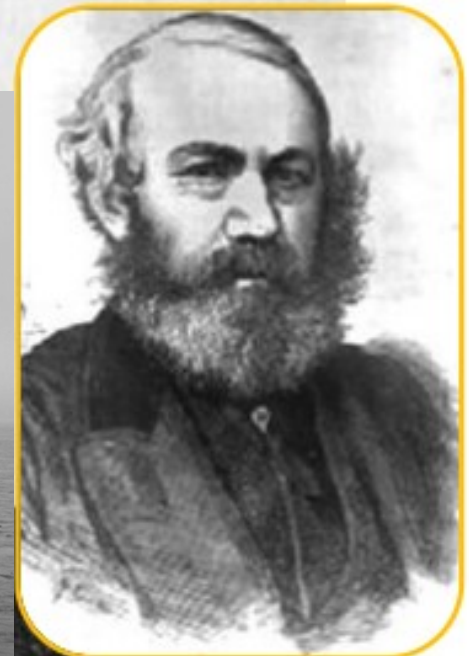
**1879 Tay Bridge (Scozia)**



# 1879 Tay Bridge (Scozia)



Sir Thomas Bouch



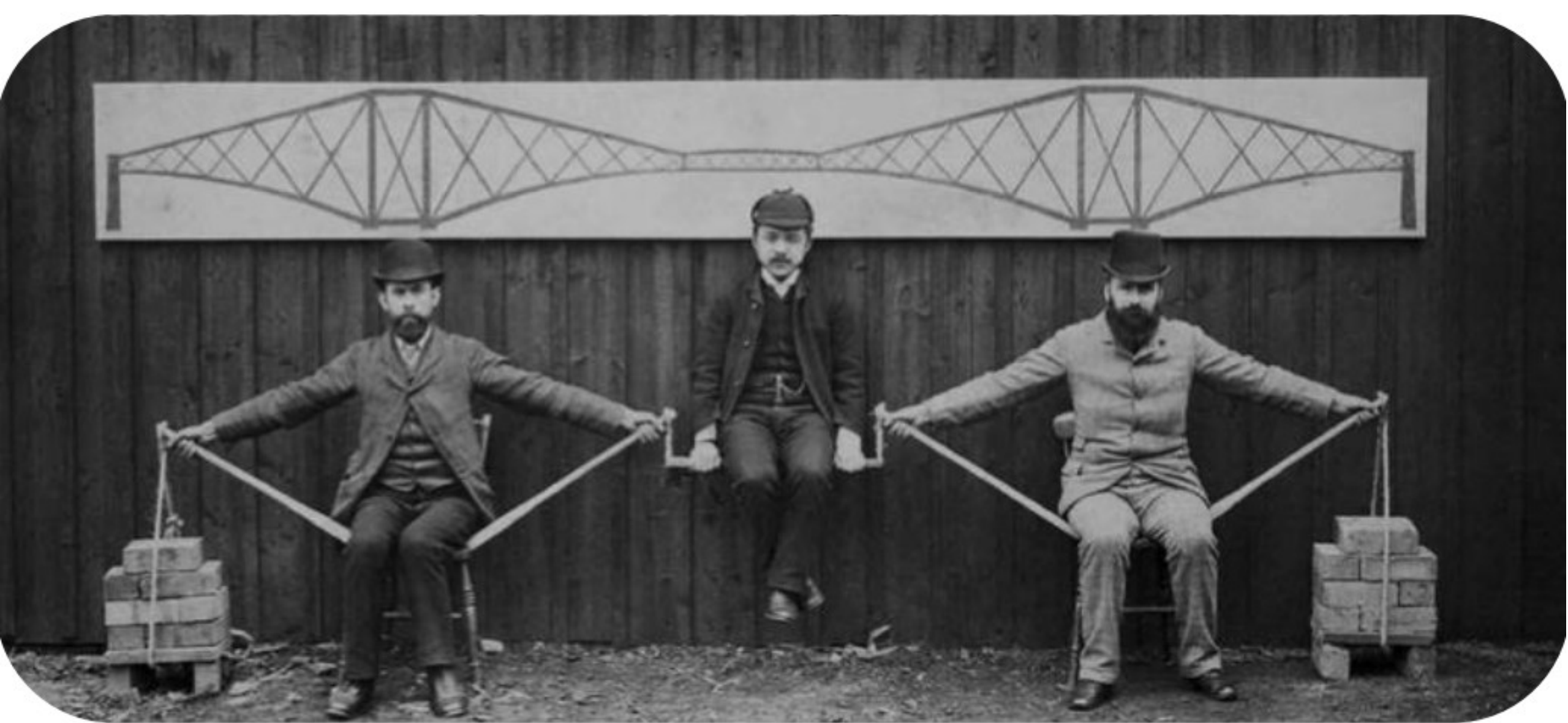
materiale di bassa qualità  
errori progettuali (carico da  
vento)  
fenomeni di fatica



prima struttura importante in acciaio  
4 torri (104m di altezza)



1890 Firth of Forth Bridge (Scozia) - 2528m



## 1890 Firth of Forth Bridge (Scozia) - 2528m



**Durabilità**

**Qualità**

**Ingombro ridotto**

**Grandi luci**

**Prefabbricabilità**

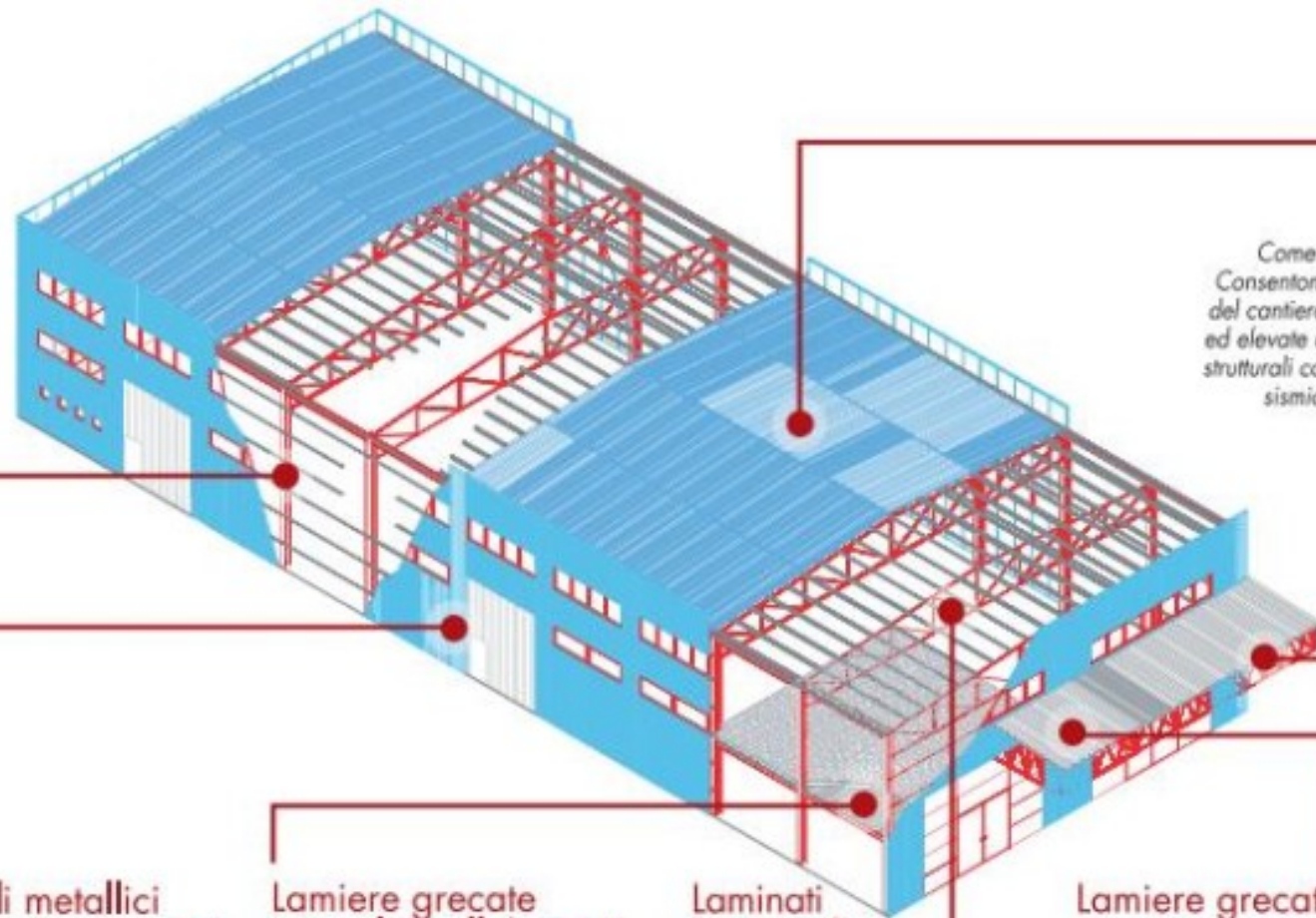
**Rapidità costruttiva**

**Risparmio fondazionale**

**Resistenza e leggerezza => capacità sismica**

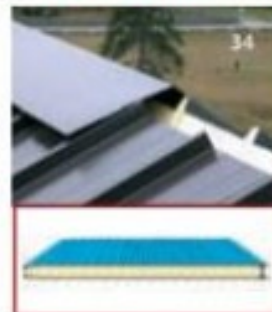
**etc.**

# Elementi



Pannelli metallici coibentati per coperture

Come per le pareti.  
Consentono produttività del cantiere, basso peso ed elevate caratteristiche strutturali contro il rischio sismico, durabilità.



Profili Laminati



Pannelli metallici coibentati per pareti



Lamiere grecate per solai collaboranti



Laminati Mercantili



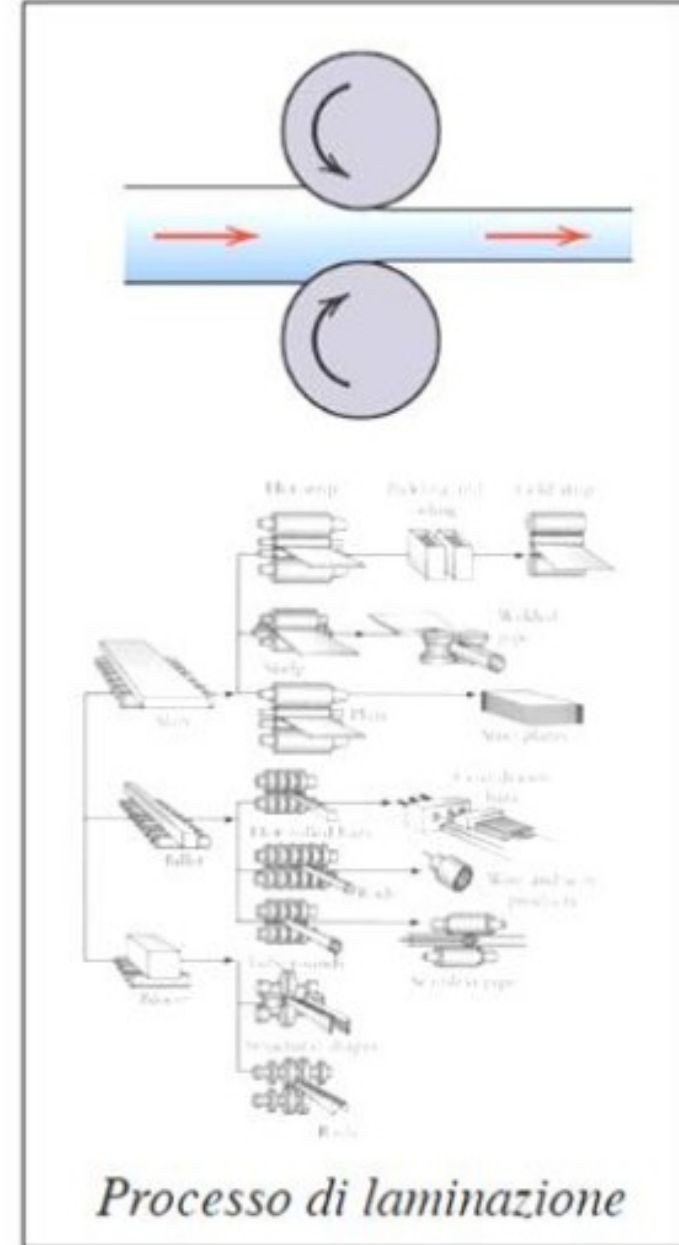
Lamiere grecate per rivestimenti

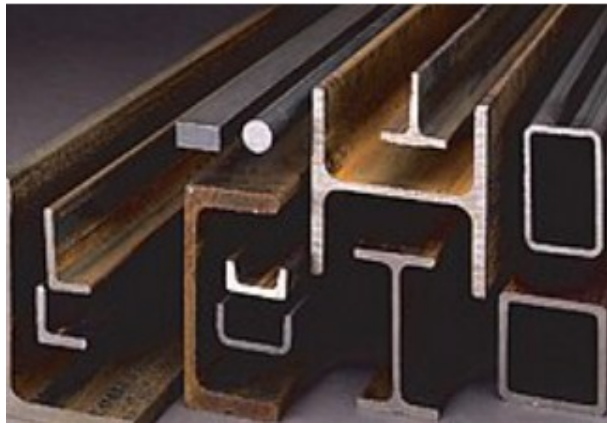


Tubolari

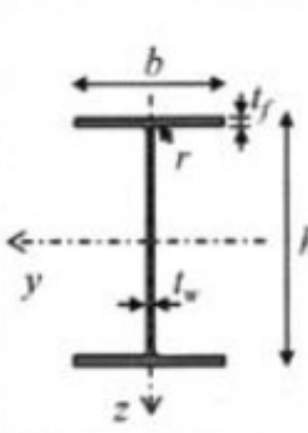
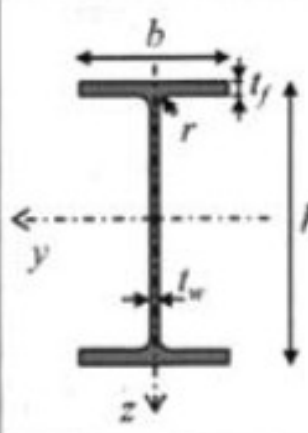
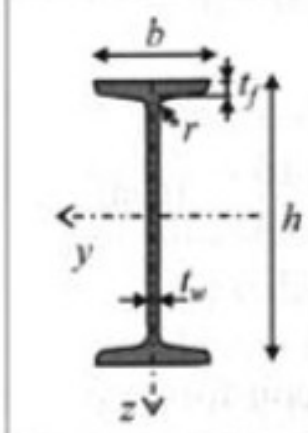
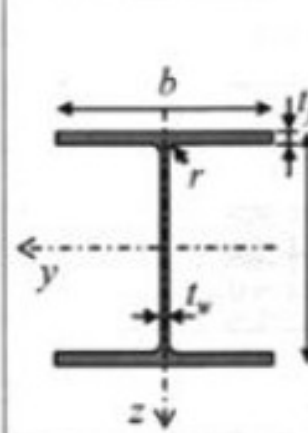
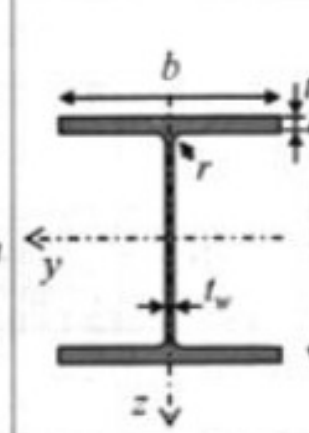
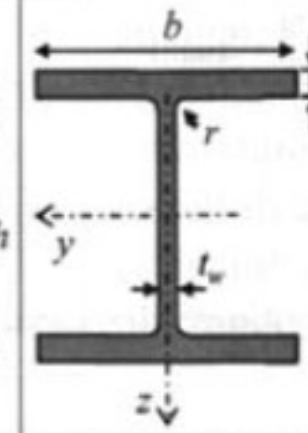


|                                                                | Prodotti                                                                                                                                                                                         | Processi di lavorazione                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laminati piani e coils<br>(prodotti piani)                     |  <p>Lamiere<br/>(<math>t &gt; 3 \text{ mm}</math>)</p> <p>Lamierini<br/>(<math>t \leq 3 \text{ mm}</math>)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminazione a caldo</li> <li>• Laminazione a freddo</li> </ul>                                        |
| Profilati laminati a caldo<br>(prodotti lunghi, prodotti cavi) |  <p>HE, HD, HP    IPE    UPN, UPE</p>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminazione a caldo</li> </ul>                                                                        |
| Profilati cavi                                                 |  <p>OHS    RHS</p>                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminazione a caldo</li> <li>• Piegatura a freddo</li> <li>• Saldatura</li> </ul>                     |
| Profilati per composizione saldata                             |  <p>IFB    SFB    Alveolato Arcelor</p>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminazione a caldo con saldatura</li> </ul>                                                          |
| Profilati formati a freddo                                     |  <p>Lamiere grecate    Profilati a Z o C</p>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piegatura a freddo</li> <li>• Profilatura</li> <li>• Pressopiegatura</li> <li>• Stampaggio</li> </ul> |





I profili *laminati a caldo* sono i più utilizzati per realizzare *travi*, *colonne* ed elementi di *controvento*. Le sezioni più utilizzate sono a doppio T ad ali strette o larghe. Queste sezioni risultano particolarmente efficienti quando l'elemento è sollecitato a flessione.

| IPE A<br>Alleggerito ( $t$ ridotti)                                                | IPE                                                                                | IPN<br>Ad ali rastremate                                                            | $h$<br>(mm) | HE A-AA<br>Alleggerito ( $t$ ridotti)                                                | HE                                                                                   | HEM<br>Rinforzato ( $t$ increm.)                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |             |  |  |  |
| 78+597                                                                             | 80+750                                                                             | 80+600                                                                              |             | 96+990                                                                               | 100+1000                                                                             | 120+1008                                                                             |

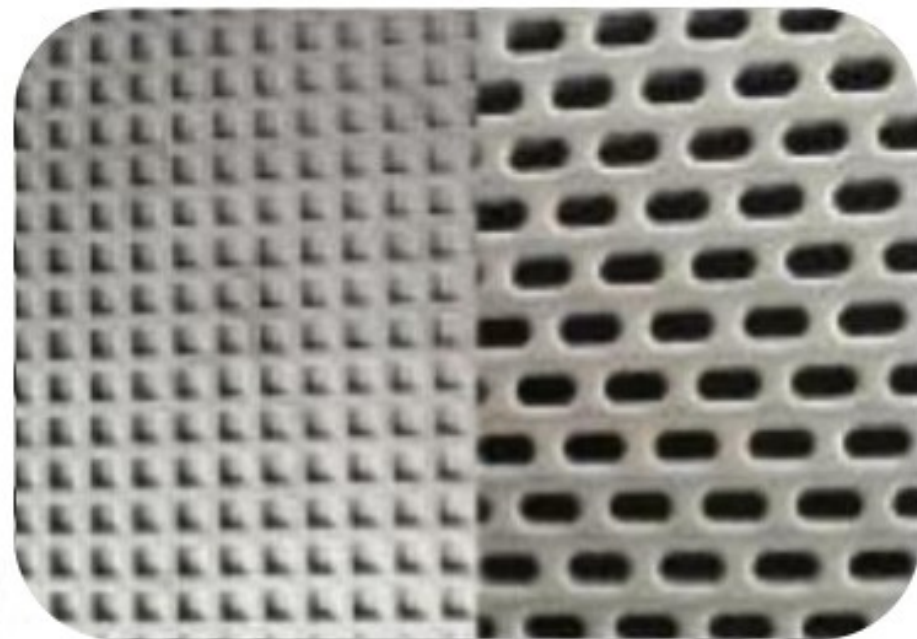
# LAMIERE

ACCIAIO STRUTTURALE

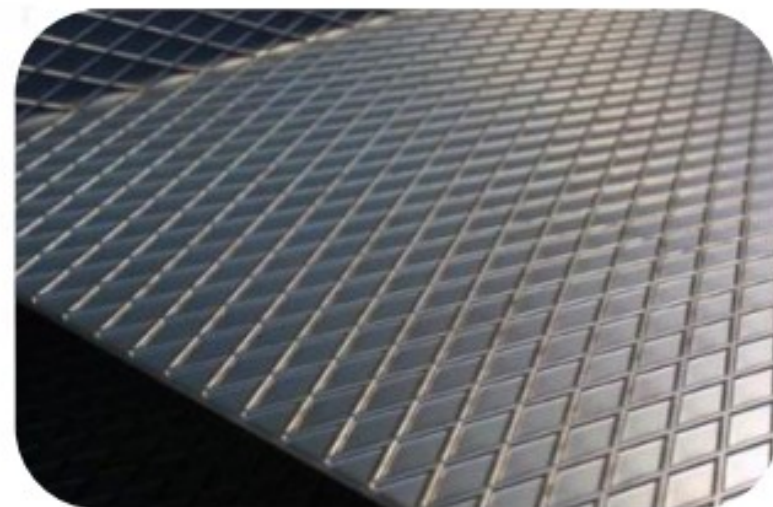




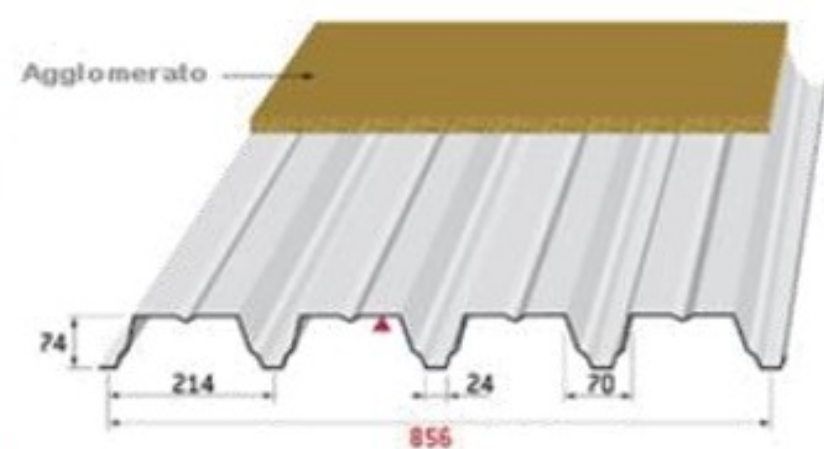
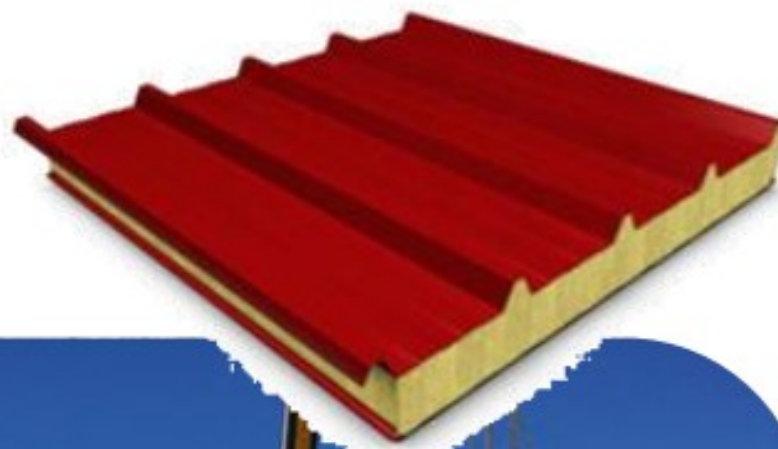
Rotoli



Lamiere grecate  
 $\approx 0.5\text{mm}$



# Edifici “a secco”



ACCIAIO STRUTTURALE

# TEORIA DELLA TRAVE

## IL PROBLEMA DI SAINT-VENANT

- ✓ Nell'ambito della meccanica strutturale, si è soliti studiare il comportamento di un solido elastico, omogeneo, isotropo e di forma cilindrica, ossia un solido che possiamo chiamare, almeno per la sua forma, **trave**
- ✓ Il problema matematico comunemente noto come **“teoria della trave”** è stato impostato e risolto da Adhémar Jean-Claude Barré, conte di Saint-Venant, nella famosa memoria “De la torsion des prismes” presentata all'Accademia delle Scienze di Parigi nel 1853



*Adhémar-Jean-Claude Barré  
de Saint-Venant  
(Villiers-en-Bière, 23 agosto 1797 -  
Saint-Ouen, 6 gennaio 1886)*

- ✓ Il metodo proposto dal Saint-Venant, ingegnere civile e professore di meccanica all'École des Ponts et Chaussées, per risolvere il problema unisce al **rigore matematico** l'**intuizione** dell'ingegnere. Egli dette l'avvio ad uno dei capitoli più suggestivi della **Scienza delle Costruzioni**, proponendo una soluzione che si rivelava sbalorditiva per la portata pratica della congettura (*postulato*) a giustificazione del procedimento proposto
- ✓ Il **modello**, sebbene possa apparire piuttosto lontano dalla realtà, è un valido strumento in grado di descrivere **il comportamento di molte travi reali**

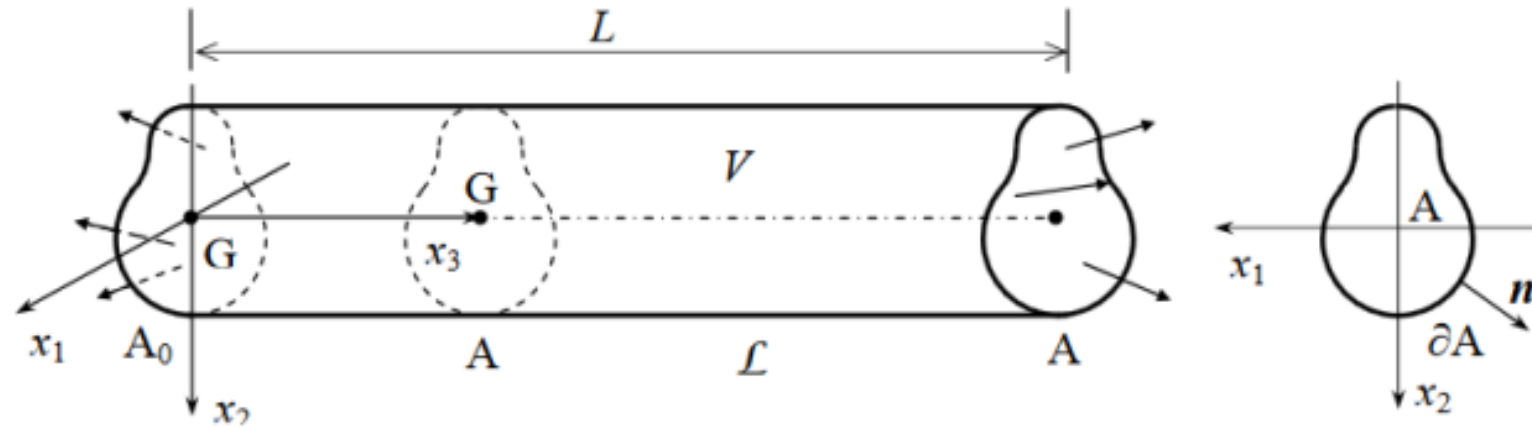
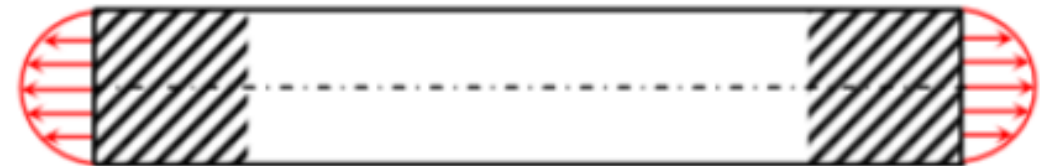
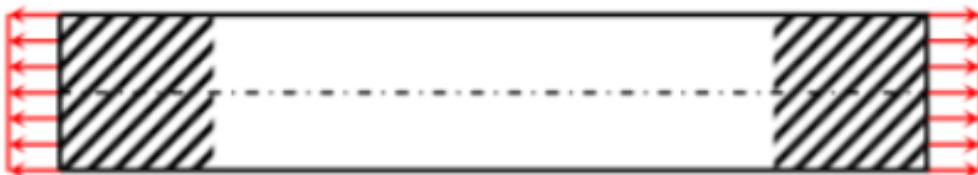


Fig. 1. Trave del De Saint-Venant di sezione costante ad asse rettilineo,

✓ Il principio di Saint-Venant può essere così enunciato:

*“due distribuzioni di forze superficiali staticamente equivalenti (con la stessa risultante e lo stesso momento risultante), agenti sulla stessa porzione di superficie di un corpo, producono gli stessi effetti in punti sufficientemente distanti dalla zona di applicazione delle forze”*

**OSSERVAZIONE** => Non è necessario imporre una particolare distribuzione di forze superficiali sulle basi caricate, ma è sufficiente far riferimento solo alla risultante  $R$  e al momento risultante  $M$  di tale distribuzione. La soluzione corrispondente risulta valida per tutte le distribuzioni di forze superficiali aventi stessa risultante  $R$  e stesso momento risultante  $M$



# CASI FONDAMENTALI

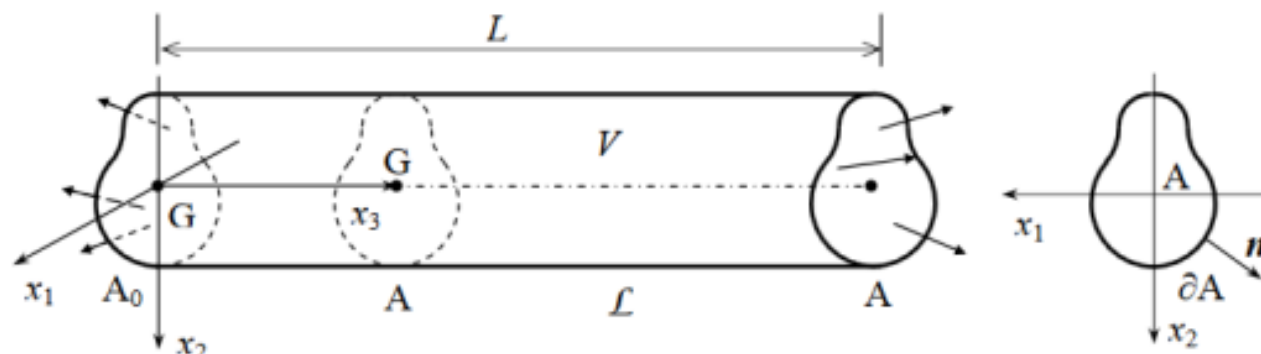
- ✓ Poiché le equazioni che descrivono il **problema elastico** sono **lineari**, risulta valido il **principio di sovrapposizione degli effetti**, per cui è possibile studiare separatamente l'effetto di ciascuna componente di  $R$  e di  $M$
- ✓ Ciò consente di suddividere lo **studio del caso generale di sollecitazione** nella **somma** dei seguenti **quattro casi fondamentali**:

**SFORZO ASSIALE**

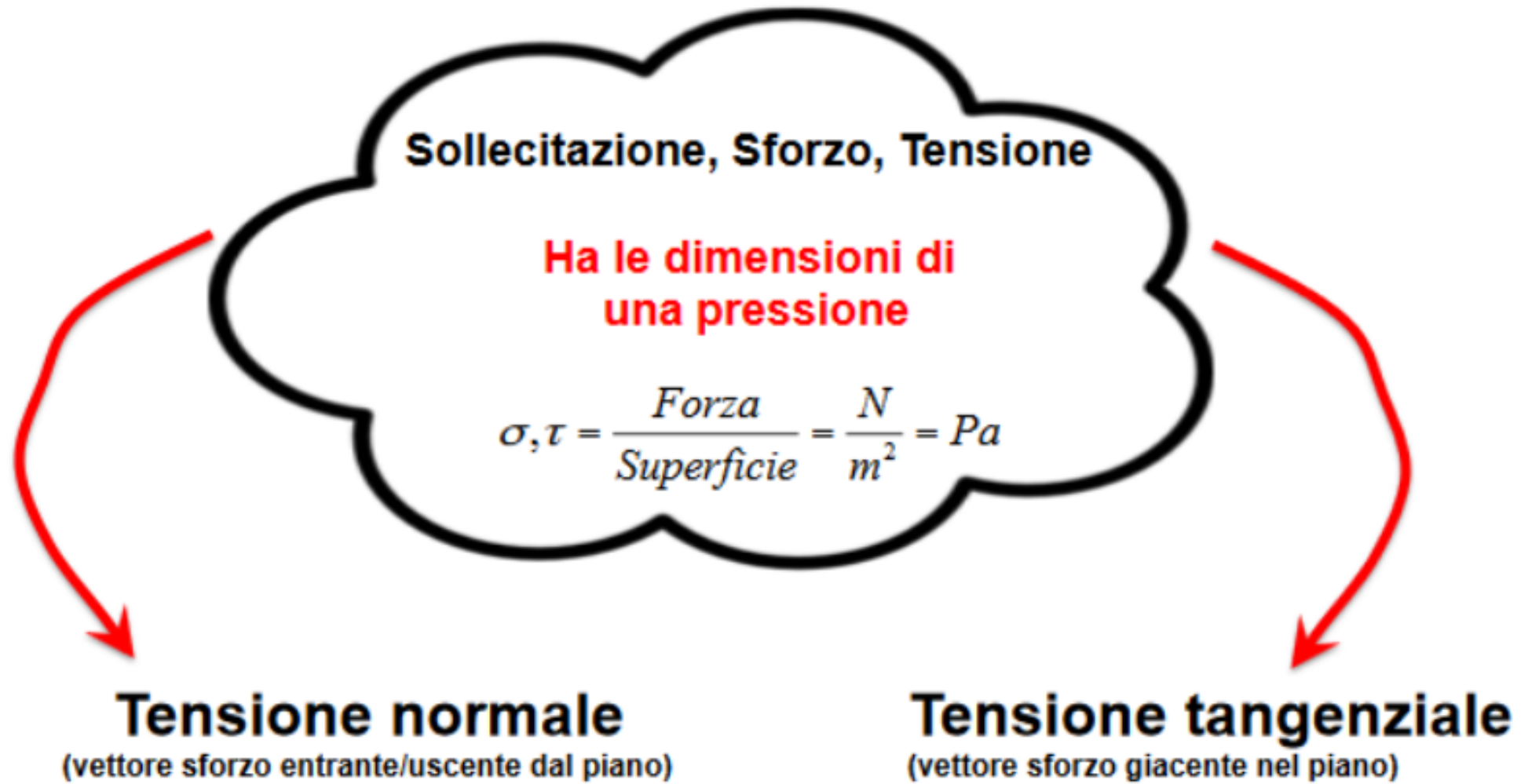
**FLESSIONE SEMPLICE**

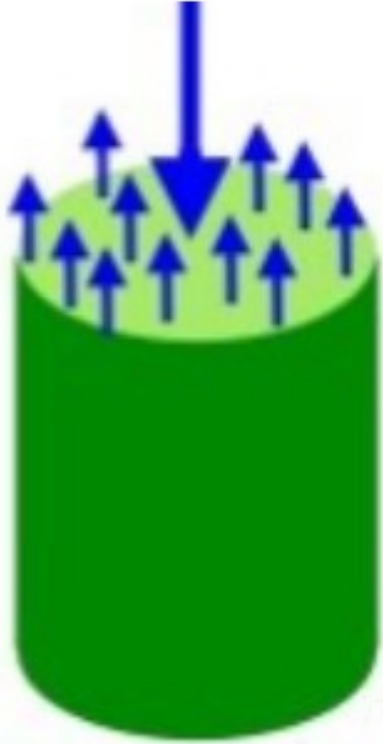
**TAGLIO**

**TORSIONE**



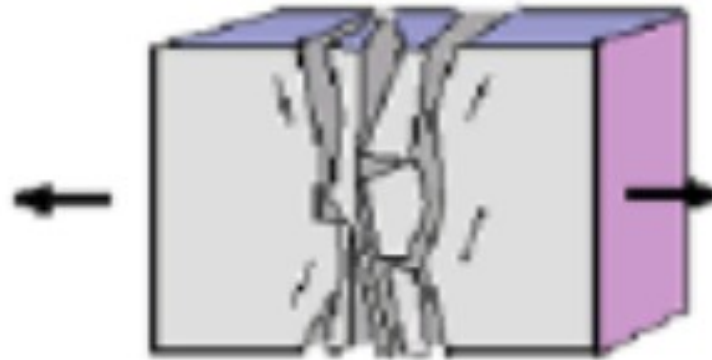
**Tensioni e deformazioni**



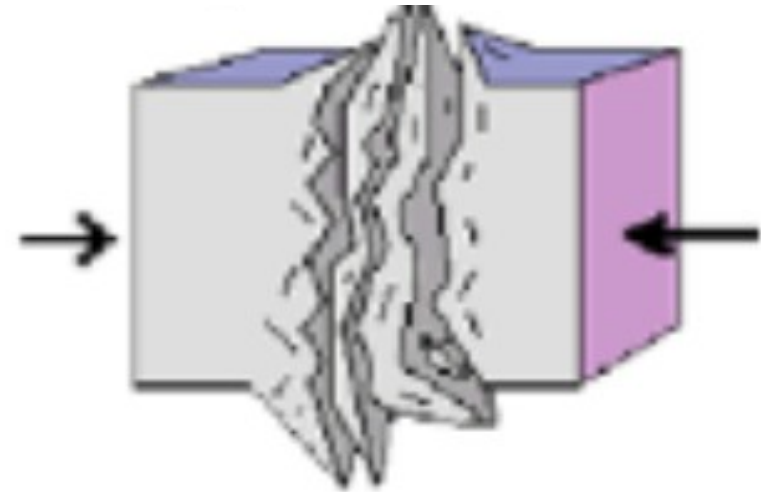


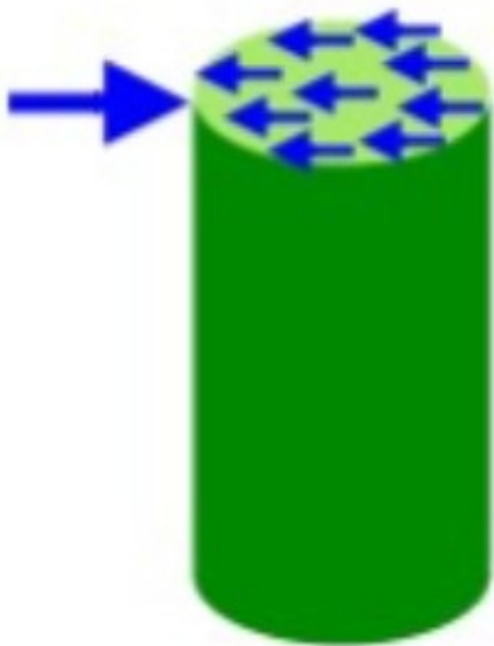
**Sforzi NORMALI:** Positivo se USCENTE dalla superficie (trazione) Negativo se ENTRANTE (compressione)

**TRAZIONE**



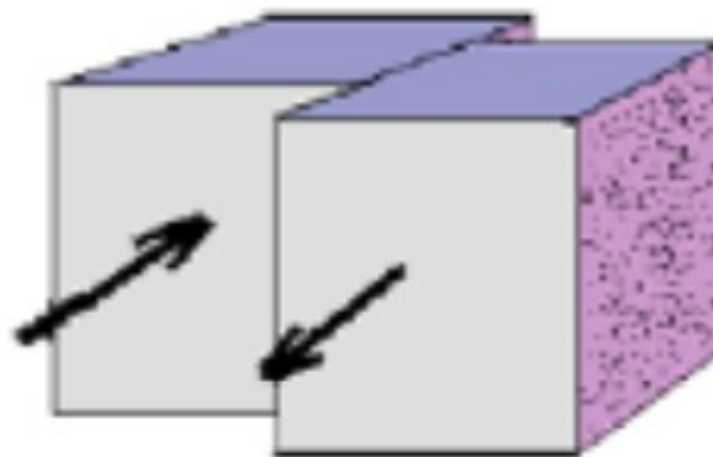
**COMPRESSIONE**



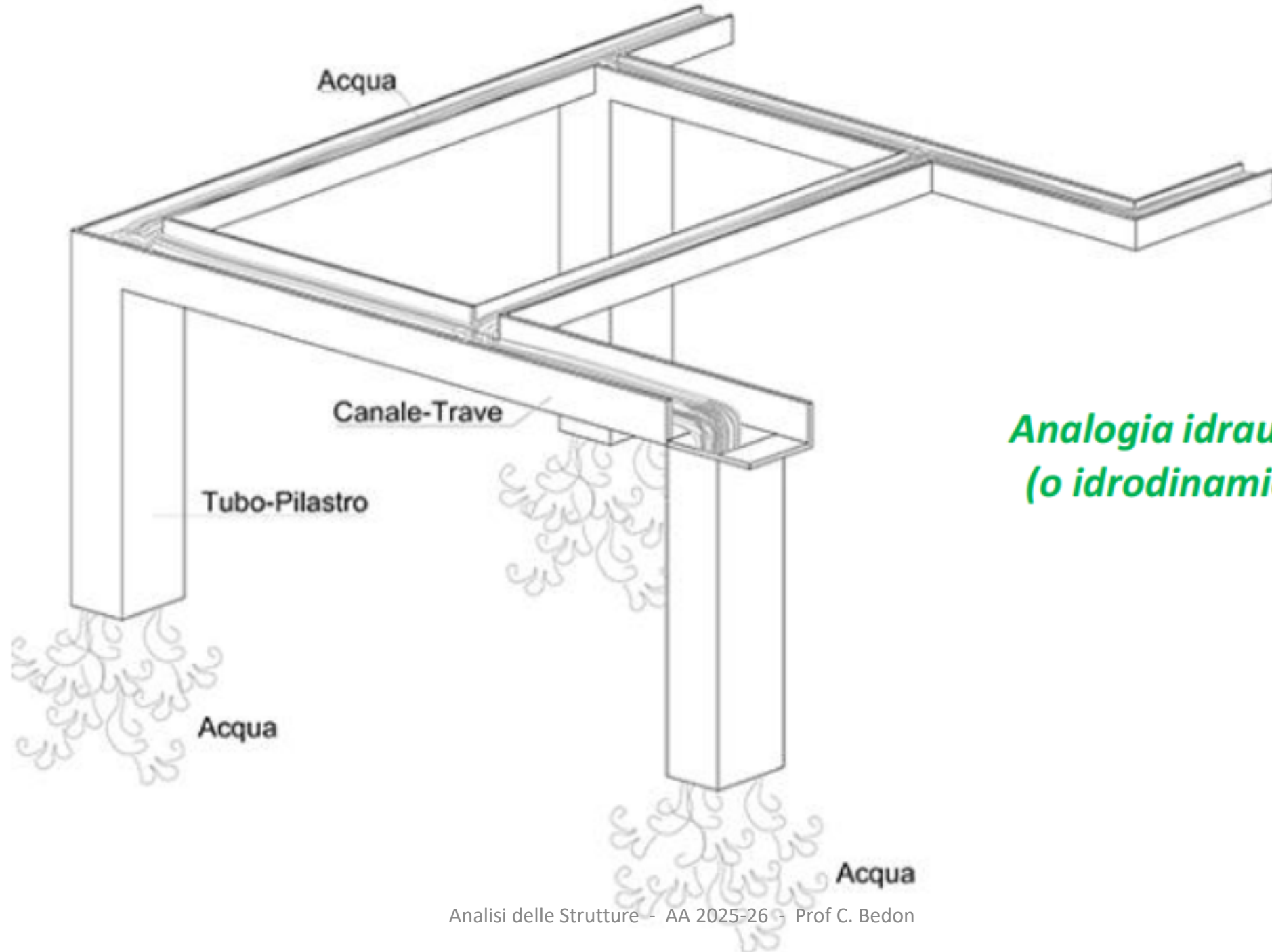


**Sforzi TANGENZIALI:** Positivo se tende a far ruotare la superficie in senso ORARIO, Negativo se tende a far ruotare la sezione in senso ANTIORARIO

**TAGLIO**



# IL PROBLEMA DI SAINT-VENANT



*Analogia idraulica  
(o idrodinamica)*

# TEORIA DELLA TRAVE



✓ **SFORZO ASSIALE**

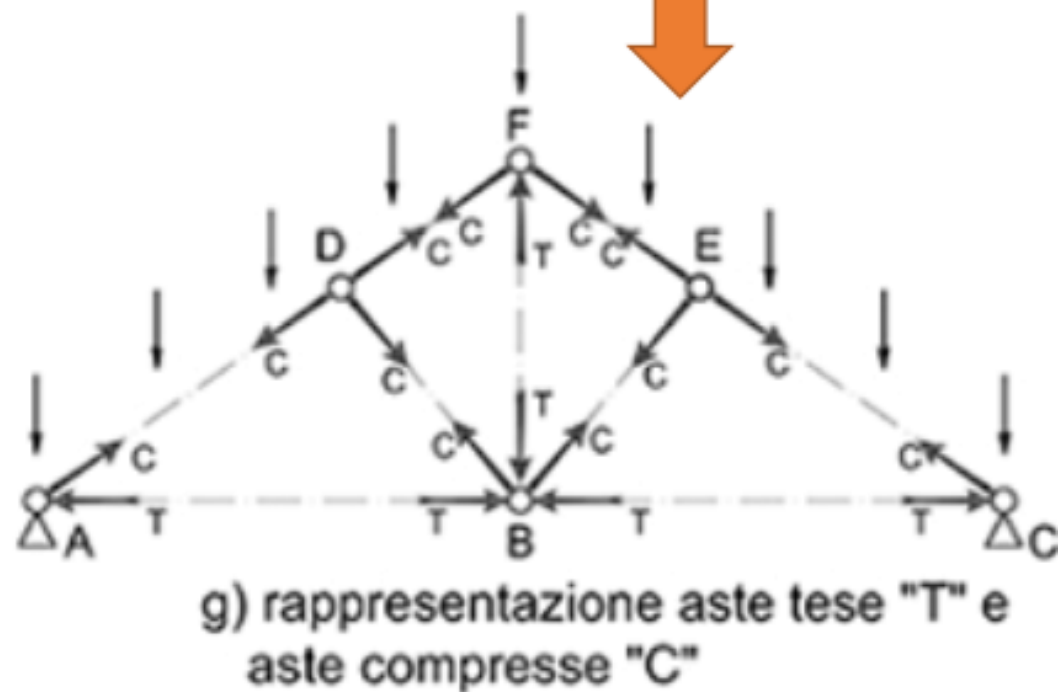
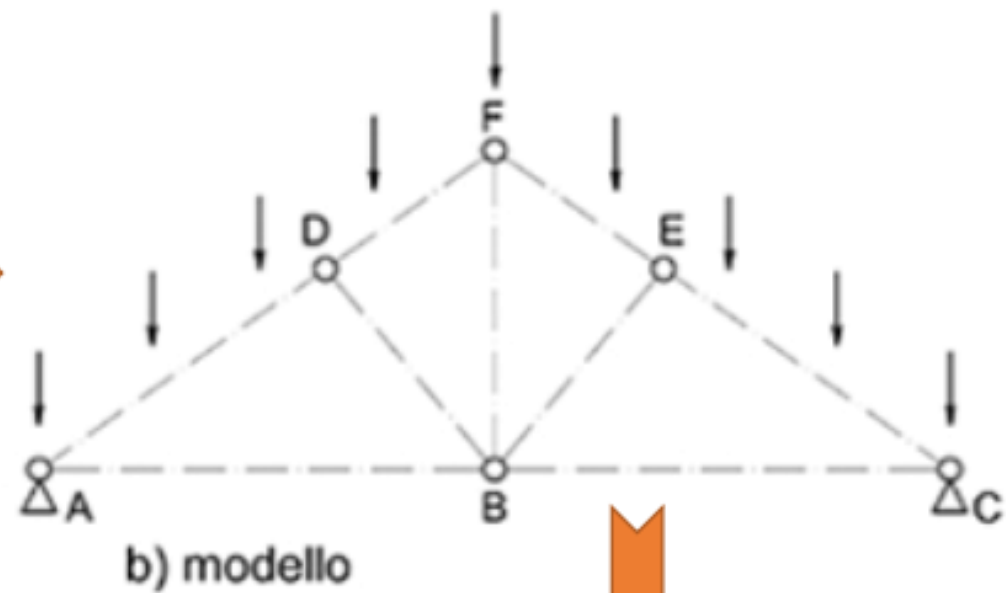
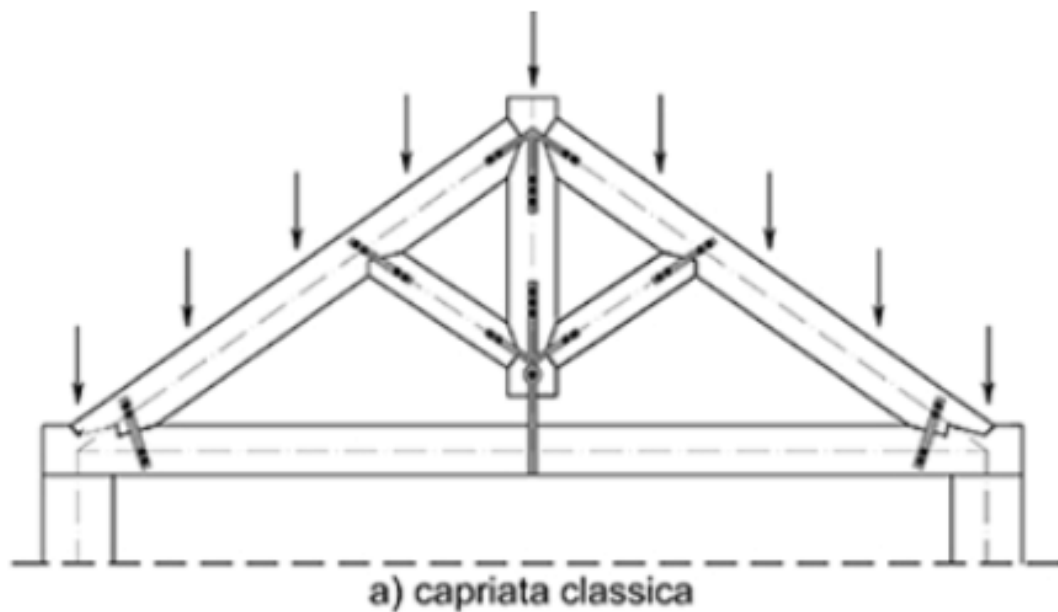
✓ FLESSIONE SEMPLICE

✓ TAGLIO

✓ TORSIONE



# SFORZO ASSIALE



# SFORZO ASSIALE



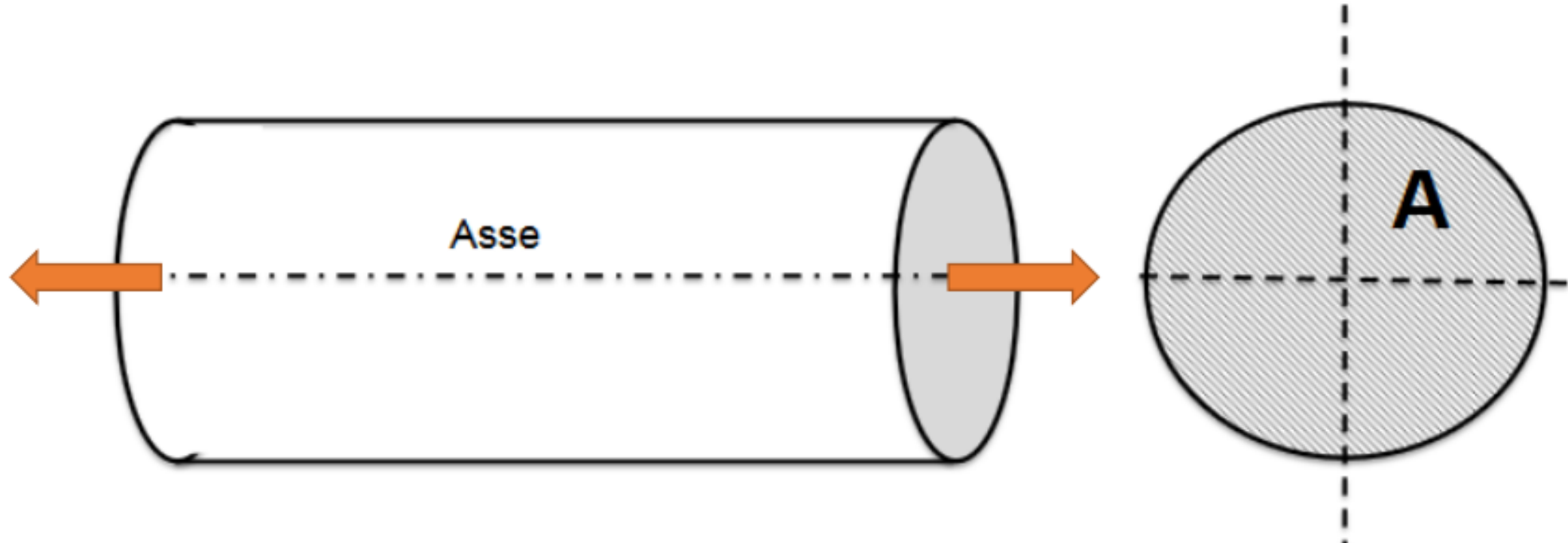
# SFORZO ASSIALE



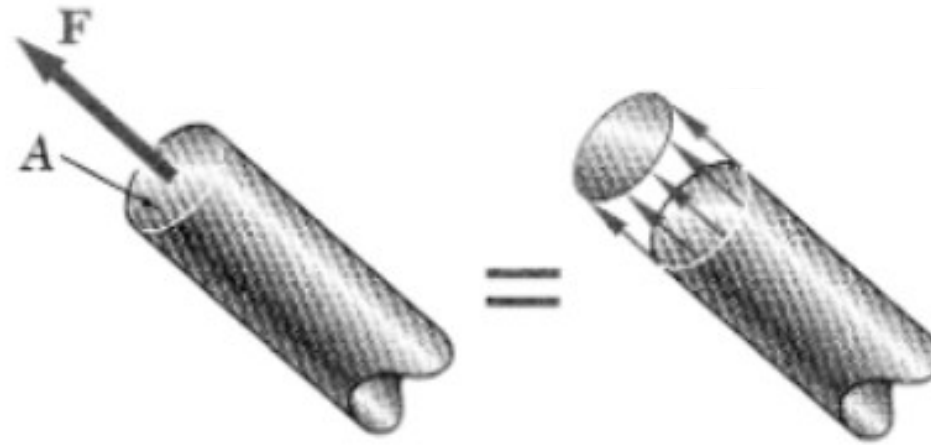
# SFORZO ASSIALE



- Per determinare in che modo si esprime lo stato di sollecitazione **nel caso di sola azione normale**, prendiamo in esame un solido ad asse rettilineo e sezione costante, caratterizzato da una dimensione prevalente rispetto alle altre due
- Il solido si caratterizza attraverso tre entità:
  - 1) L'asse baricentrico,
  - 2) La forma della sezione
  - 3) L'area della sezione

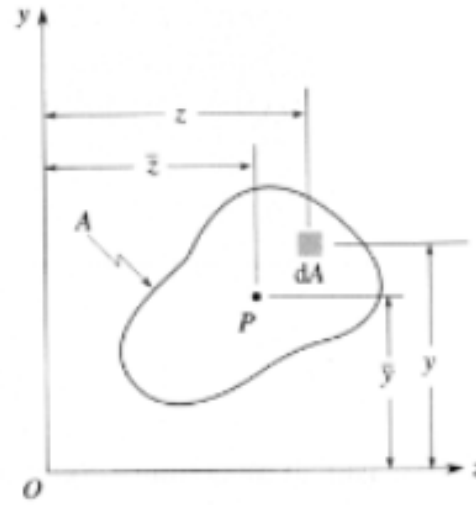
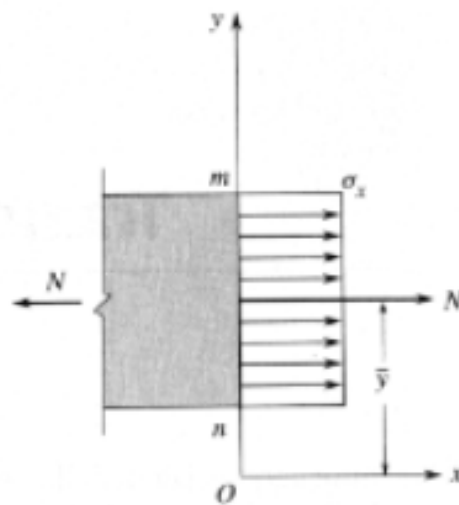


# SFORZO ASSIALE



- È intuitivo che, **a parità di forza applicata, un aumento della sezione del componente** (dove per sezione si intende l'area della superficie ottenuta “tagliando” l'asta con un piano perpendicolare al suo asse), **è garanzia di una maggior “resistenza” al carico applicato**
- La forza per unità di area, ossia l'intensità delle forze distribuite su una certa sezione, è chiamata **“tensione” o “stress”** e di solito viene indicata con la lettera greca  $\sigma$ .

- Se il materiale è omogeneo lo sforzo normale **N** si **distribuisce uniformemente in tutte le aree elementari**  $da$  della sezione, interessando in eguale misura tutte le ideali fibre disposte parallelamente all'asse **x** della trave, e dando origine a tensioni unitarie  $\sigma_x$  normali alla sezione trasversale **A**
- Il valore di  $\sigma_x$  si ricava imponendo che la risultante della distribuzione (uniforme) della sollecitazione sulla superficie di area **A** sia uguale all'azione interna **N**



$$\int_A \sigma_x dA = N$$



da cui, essendo  $\sigma_x$  costante

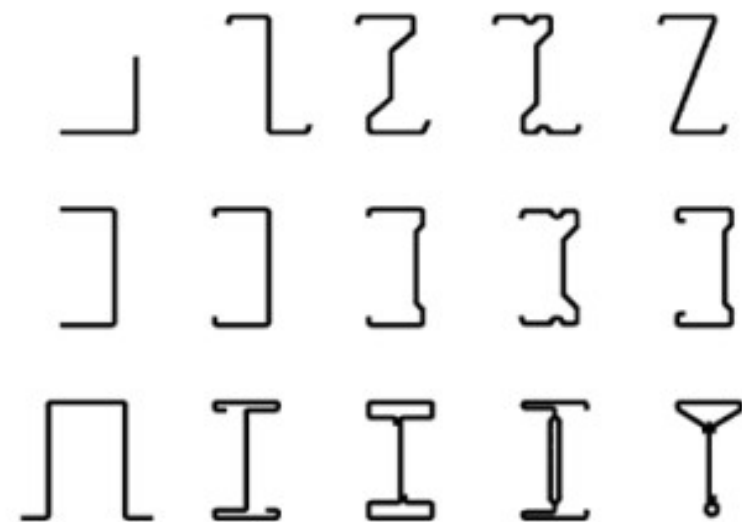
$$\sigma_x \cdot \int_A dA = N \Rightarrow \sigma_x \cdot A = N \Rightarrow \sigma_x = \frac{N}{A}$$

- È chiaro che **in condizioni di puro sforzo assiale**, l'azione interna è uguale alla **forza esterna applicata**

# SFORZO ASSIALE

*Dato  $N$  di progetto,  
a parità di area  $A$ ,  
la tensione normale  $\sigma$  è uguale  
e uniformemente distribuita  
nella sezione*

$$\sigma = N/A$$



a) Single open sections



b) Open built-up sections



c) Closed built-up sections

# SFORZO ASSIALE



a) corda tesa



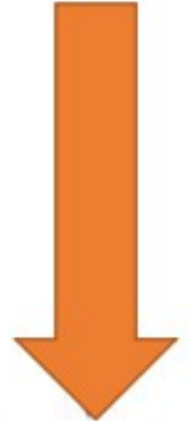
b) tappo sughero compresso



c) filo di ferro teso



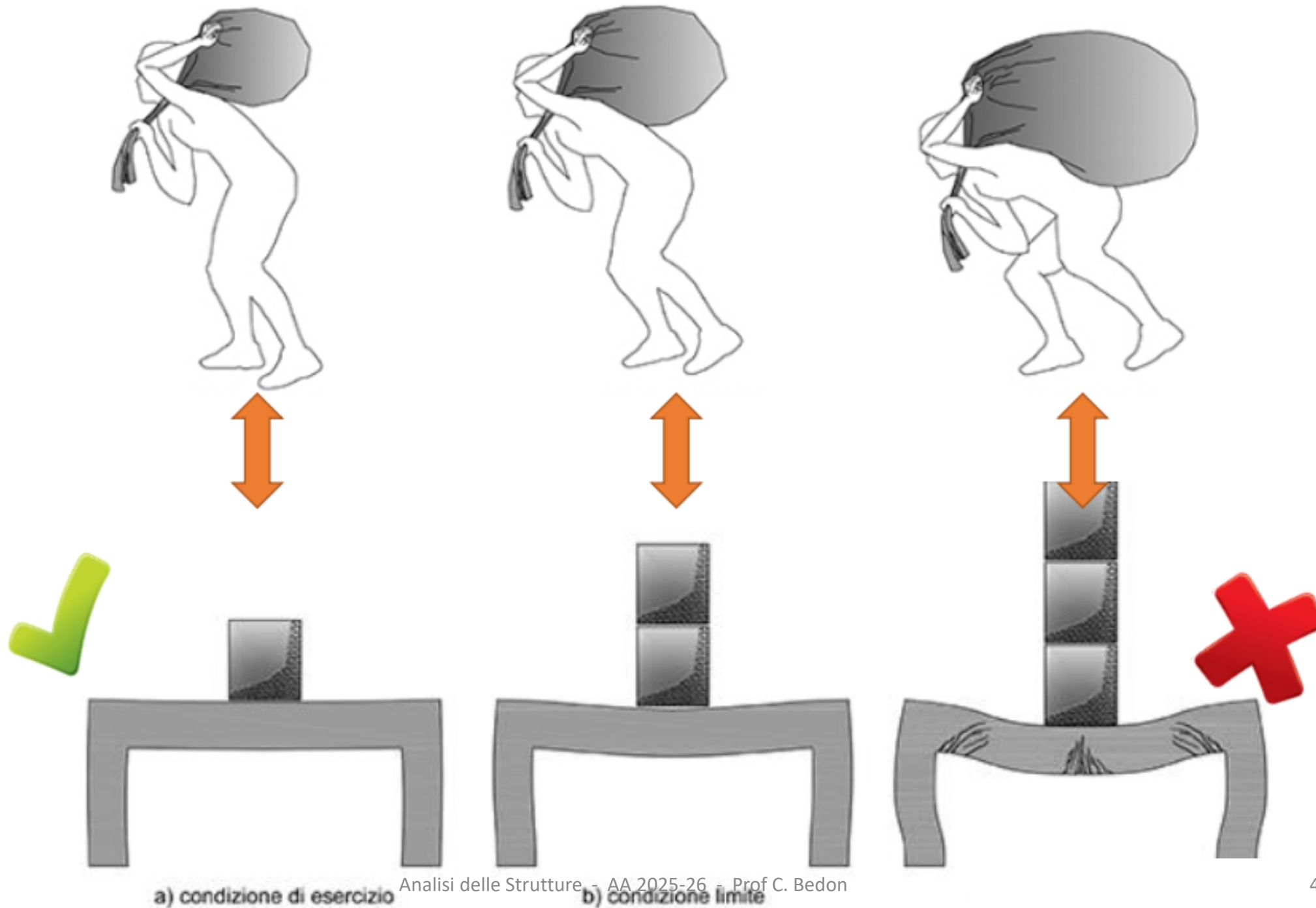
d) mattone compresso



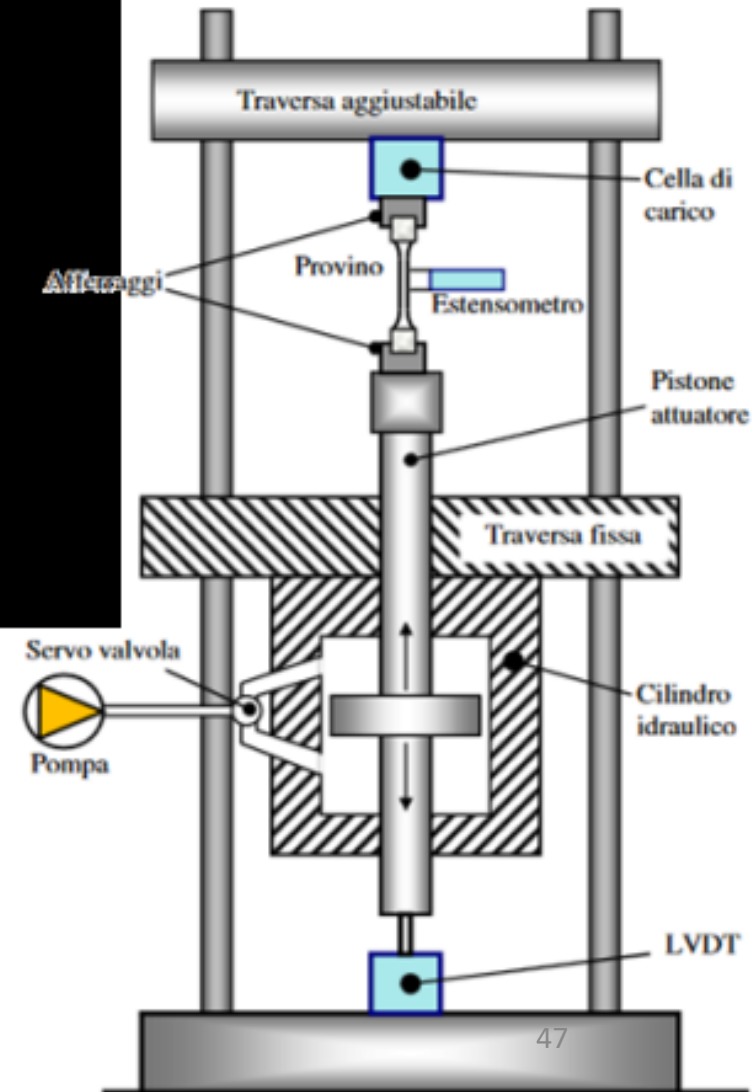
resistenza crescente

**Tensione sollecitante < Resistenza del materiale**

# SFORZO ASSIALE



# Tensile Test Stainless Steel Specimen



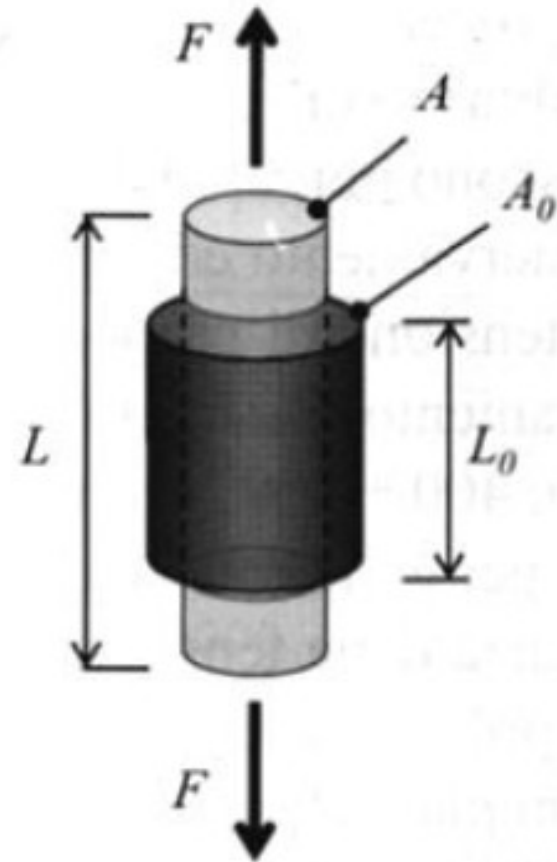
Parametri misurati (ingegneristici)

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Tensione

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

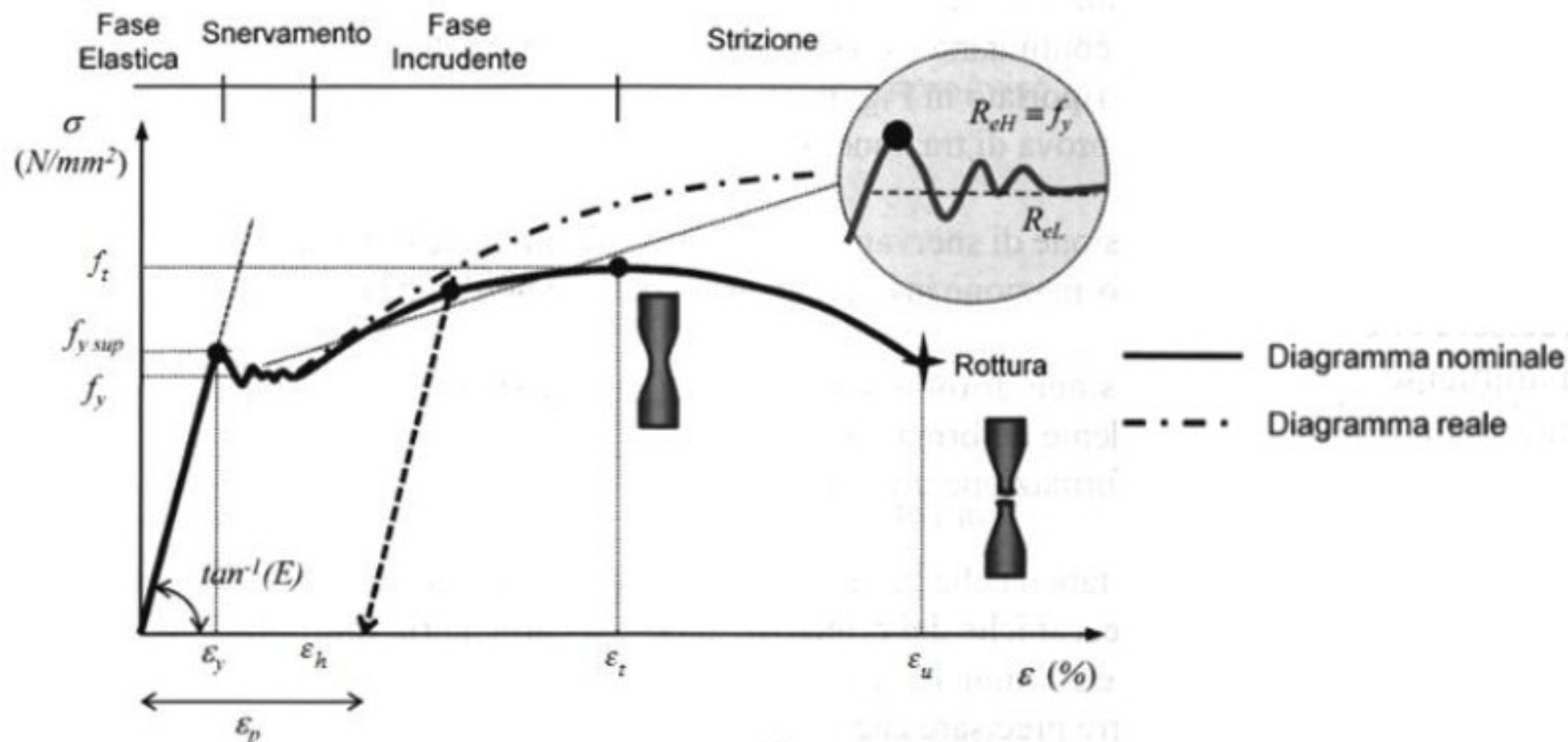
Deformazione



$A_0$  : Area iniziale del campione testato

$\Delta L$  : Allungamento: differenza tra la lunghezza iniziale  $L_0$  e quella attuale  $L$

La tensione di snervamento varia tra 235 e 355 MPa per gli acciai al carbonio unificati, tra 400 e 800 MPa per gli acciai microlegati a elevato limite elastico, tra 350 e 400 MPa per gli acciai bassolegati autopassivanti.



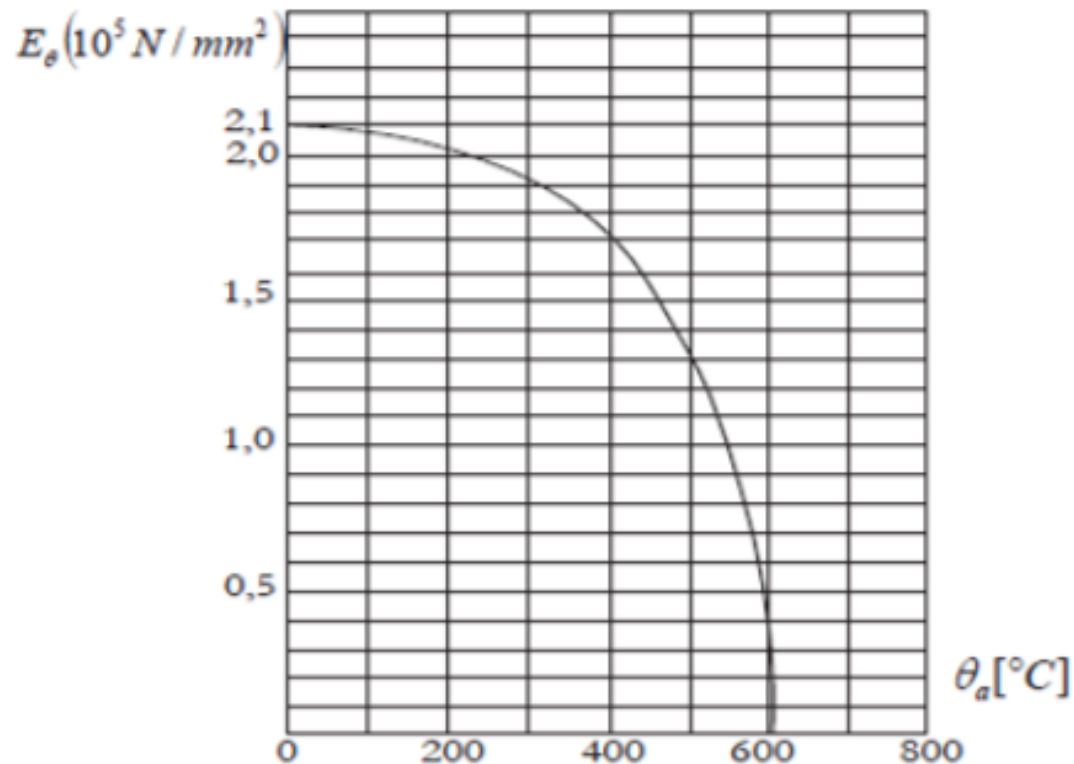
La fase di incrudimento termina quando viene raggiunta la tensione di rottura  $f_t$ . La corrispondente deformazione  $\epsilon_t$  oscilla tra 20 e 25% per gli acciai al carbonio unificati, tra 15 e 20% per gli acciai microlegati a elevato limite elastico, tra 20 e 30% per gli acciai bassolegati protettivi.

In definitiva, dalla prova di trazione si determinano:

- la tensione di snervamento  $f_y$  e la corrispondente deformazione  $\varepsilon_y$ ;
- la deformazione in cui inizia l'incrudimento  $\varepsilon_h = 12 \sim 15 \varepsilon_y$ ;
- la tensione di rottura  $f_t$  e la corrispondente deformazione  $\varepsilon_t$ ;
- la deformazione ultima  $\varepsilon_u$ .

Nella seguente tabella sono riportati i valori di riferimento delle proprietà meccaniche degli acciai da carpenteria forniti dalla normativa, misurati a temperatura ambiente.

| Proprietà                     | Acciai da carpenteria |        |        |
|-------------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                               | S235                  | S275   | S355   |
| $f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 235                   | 275    | 355    |
| $f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 360                   | 430    | 510    |
| $f_{tk}/f_{yk}$               | 1,53                  | 1,56   | 1,436  |
| $\varepsilon_t$               | 24-28                 | 21-24  | 20-22  |
| $E$ (N/mm <sup>2</sup> )      | 210000                | 210000 | 210000 |



Nella figura a sinistra è riportato l'andamento del modulo elastico E al variare della temperatura

Per  $\theta_a > 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $E_\theta$  non è definito.

### Costanti elastiche

|                                    |                                                          |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Densità                            | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$                             |
| Coefficiente di Poisson            | $\nu = 0.3$                                              |
| Modulo di elasticità normale       | $E = 210000 \text{ MPa}$                                 |
| Modulo di elasticità tangenziale   | $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$                                 |
| Coefficiente di espansione termica | $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$ |



| MATERIALE                                                               | $E$ [GPa] | $\sigma_r$ [MPa]   |                           | $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ] | $T_f$ [°C]            | $\nu$     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|
| Diamante                                                                | 1.000     | 750                |                           | 3,515                       |                       | 0,1       |
| Acciai                                                                  | 190÷215   | 200÷2.500          |                           | 7,87                        | 1.530                 | 0,28÷0,3  |
| Ghise                                                                   | 170÷190   | 100÷700            |                           | 7,87                        | 1.530                 | 0,28÷0,3  |
| Leghe di nichel                                                         | 177       | 480÷750            |                           | 8,90                        | 1.453                 | 0,34      |
| Leghe di titanio                                                        | 85÷130    | 270÷1.450          |                           | 4,51                        | 1.668                 | 0,36      |
| Leghe di rame (Ottoni)                                                  | 120÷150   | 240÷400            |                           | 8,96                        | 1.083                 | 0,35      |
| Leghe di rame (Bronzi)                                                  | 100       | 300÷760            |                           | 8,96                        | 1.083                 | 0,35      |
| Leghe di alluminio                                                      | 70÷80     | 140÷550            |                           | 2,70                        | 660                   | 0,35      |
| Leghe di magnesio                                                       | 40÷45     | 150÷380            |                           | 1,74                        | 650                   | 0,29      |
| Ceramici                                                                | 60÷70     | trazione<br>50÷580 | compressione<br>560÷3.500 | 2,4÷5,8                     | 700÷2.800             | 0,18÷0,22 |
| Plastiche                                                               | 0,1÷6,0   | 10÷200             |                           | 0,9÷2                       | 110÷640               | 0,33÷0,34 |
| Elastomeri                                                              | 0,01÷0,1  | 9÷25               |                           |                             | T esercizio<br>80÷250 |           |
| Resine poliuretatiche, viniliche<br>epossidiche, fenoliche, siliconiche | 3,0÷5,0   | 25÷100             |                           |                             | 110÷640               | 0,33÷0,37 |
| Fibre<br>vetro, carbonio, boro, kevlar                                  | 70÷400    | 2.300÷3.800        |                           | 1,7÷2,6                     |                       | 0,2÷0,35  |
| Composito resina e fibre                                                | 45÷320    | 1.100÷1.700        |                           | 1,3÷2                       |                       | 0,25÷0,34 |
| Composito resina e fibre +                                              | 1,2÷11    | 30÷45              |                           |                             |                       |           |
| Legno Longitudinale                                                     | 6÷16      | trazione<br>40÷200 | compressione<br>20÷100    | 0,3÷1                       | -                     | 0,29 LR   |
| Legno Radiale +                                                         | 0,5÷1     | 3,5÷5              |                           |                             | -                     | 0,02 RL   |

RIEPILOGO:

$$1) \sigma = \frac{N}{A}$$

Sollecitazione come rapporto tra carico e area della sezione

$$2) \varepsilon = \frac{\delta}{L} \Rightarrow \delta = \varepsilon \cdot L$$

Deformazione come rapporto tra allungamento e lunghezza iniziale

$$3) \sigma = E \cdot \varepsilon$$

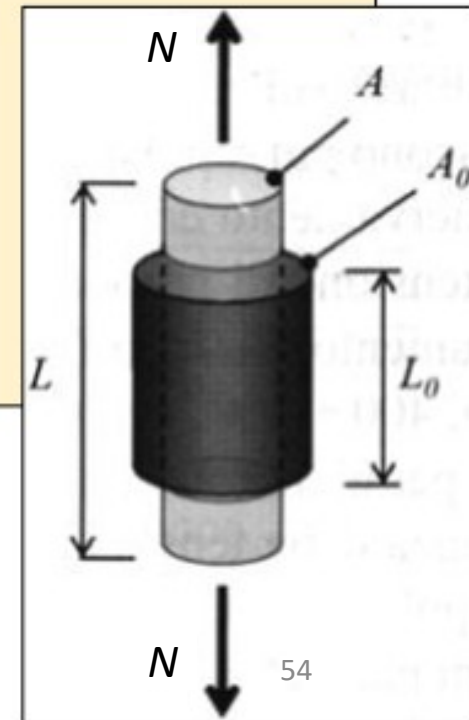
Legge di Hooke (proporzionalità tra sforzi e deformazioni)

Dalla relazione (3) ricaviamo la deformazione  
Sostituiamo all'espressione dello sforzo la (1)

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{EA}$$

Sostituiamo questa relazione nella (2) ottenendo

$$\delta = \frac{NL}{EA}$$



In un **solido prismatico**, la deformazione in senso assiale non è l'unica conseguenza causata dallo sforzo di trazione, infatti la struttura tende anche a **contrarsi** in direzione trasversale



È dunque possibile calcolare una **deformazione trasversale** definita dal rapporto tra dimensione iniziale e finale della sezione in direzione perpendicolare all'asse longitudinale

$$\epsilon_{tr} = \frac{\delta_{tr}}{L_{tr}}$$

- La deformazione trasversale è proporzionale alla deformazione assiale e ha lo stesso valore in qualunque punto del solido elastico, **a patto che questo sia omogeneo**, cioè possieda uguali proprietà in tutti i suoi punti
- Se, poi, il materiale è anche **isotropo**, cioè possiede proprietà meccaniche indipendenti dalla direzione considerata, il rapporto tra la deformazione trasversale e quella assiale prende il nome di **coefficiente di Poisson**.

$$\nu = \left| \frac{\epsilon_{tr}}{\epsilon_{lo}} \right|$$

*Valori tipici del coefficiente di Poisson per metalli sono nell'ordine di 0.25-0.35*

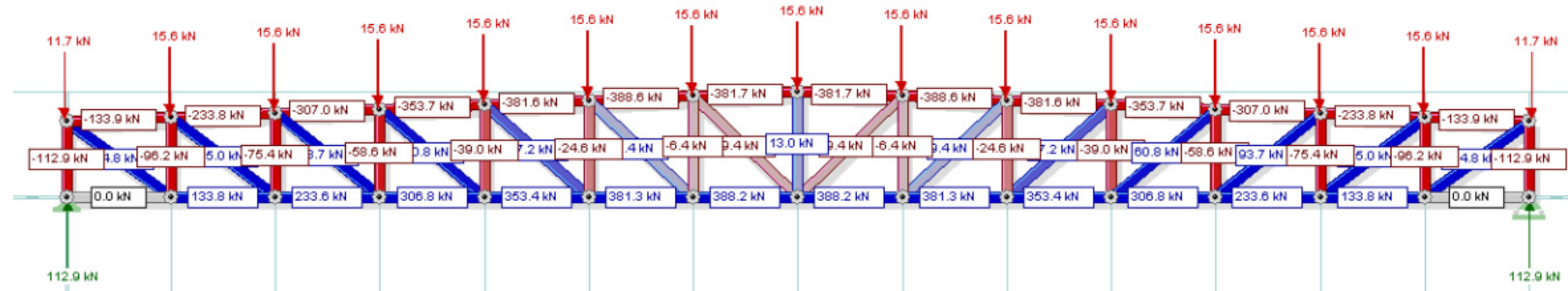
# SFORZO ASSIALE

| materiale              | coefficiente di Poisson | materiale    | coefficiente di Poisson |
|------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| <i>metalli e leghe</i> |                         | <i>altri</i> |                         |
| ferro, acciai          | 0,285-0,290             | granito      | 0,10-0,20               |
| ghisa                  | 0,22-0,30               | marmo        | 0,22-0,33               |
| rame                   | 0,25-0,38               | calcestruzzo | 0,12-0,16               |
| bronzo                 | 0,31                    | vetro        | 0,25                    |
| ottone                 | 0,30-0,40               |              |                         |
| alluminio              | 0,34                    |              |                         |

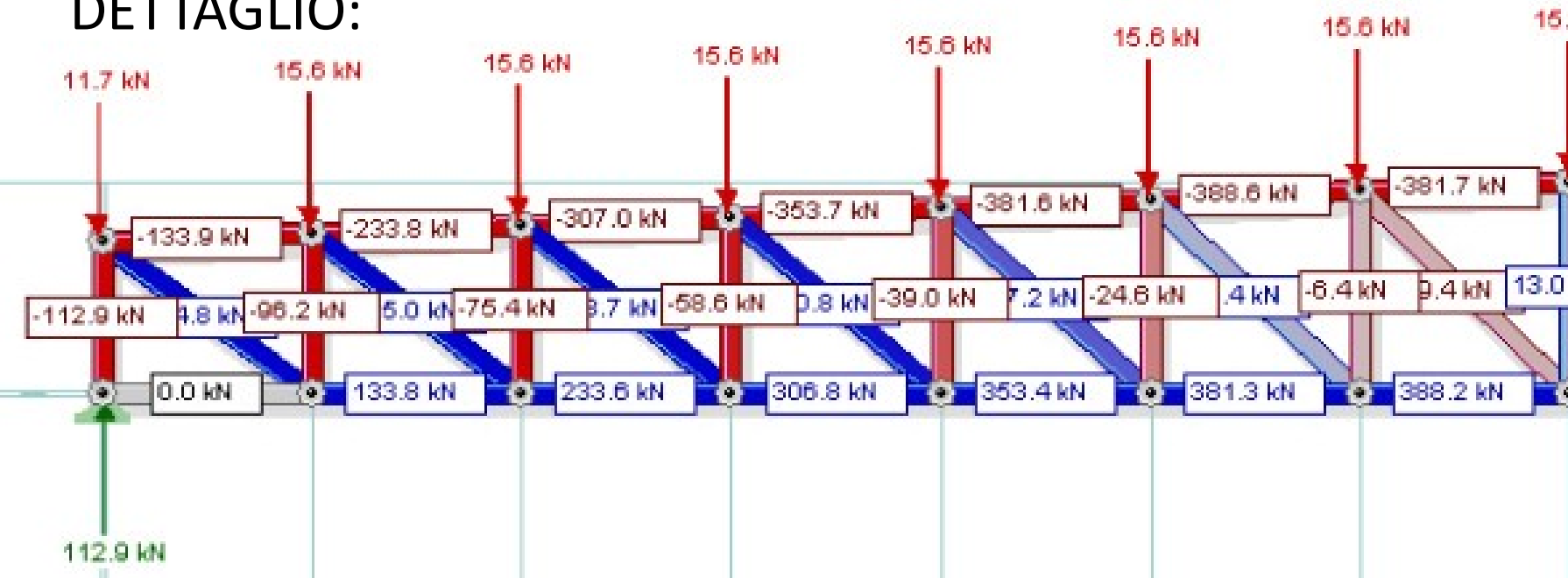
$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$



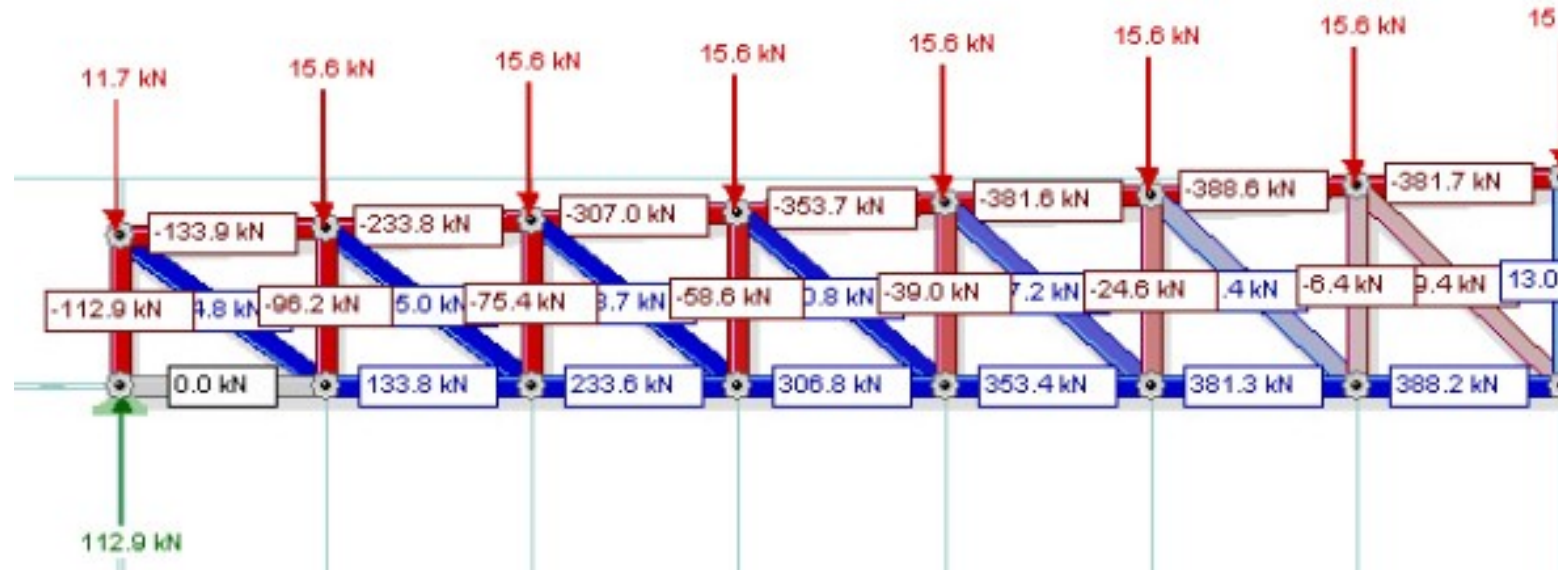
# ESEMPIO: CAPRIATA



## DETTAGLIO:



Rosso= compressione  
Blu= trazione



Il predimensionamento delle aste si esegue in base alle azioni di progetto già calcolate dalla risoluzione dello schema statico assegnato:

$$A_{\min} = N_{\max} / \sigma_y$$

➡ Scelta del profilo

