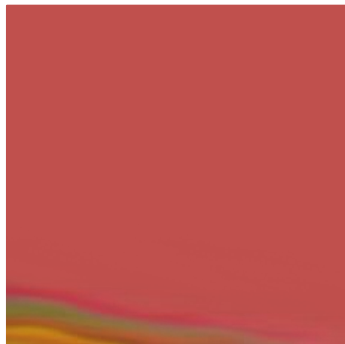
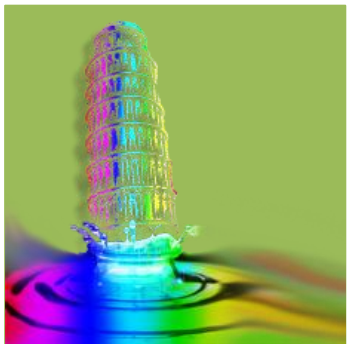
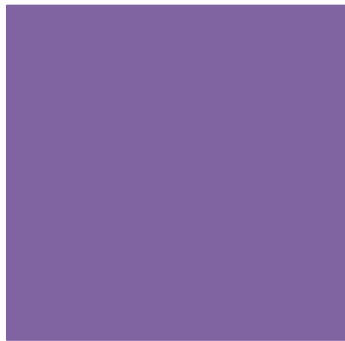




CENTRO E. PIAGGIO
Bioengineering and Robotics Research Center



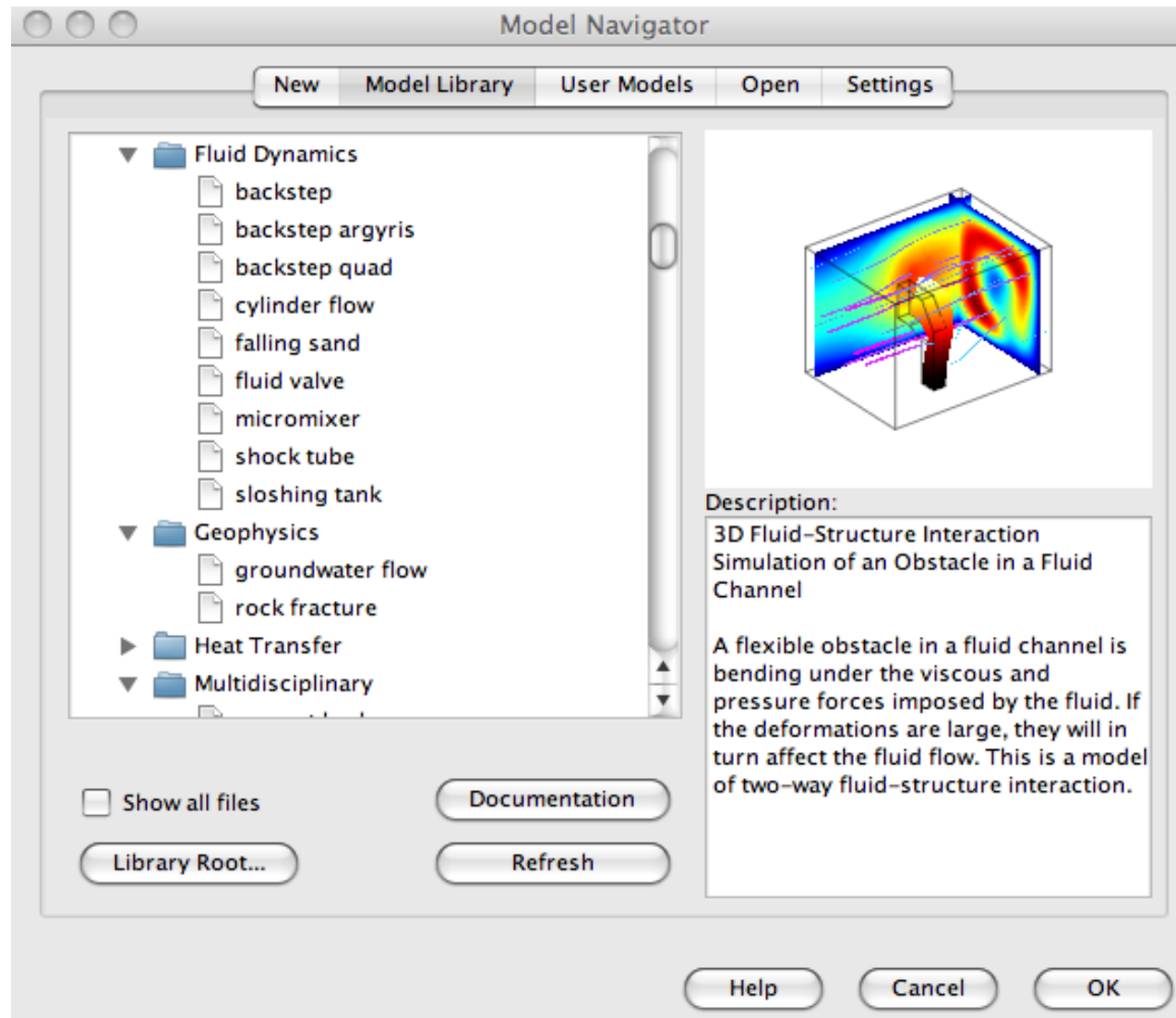
Comsol Multiphysics

Analisi termica

Analisi strutturale

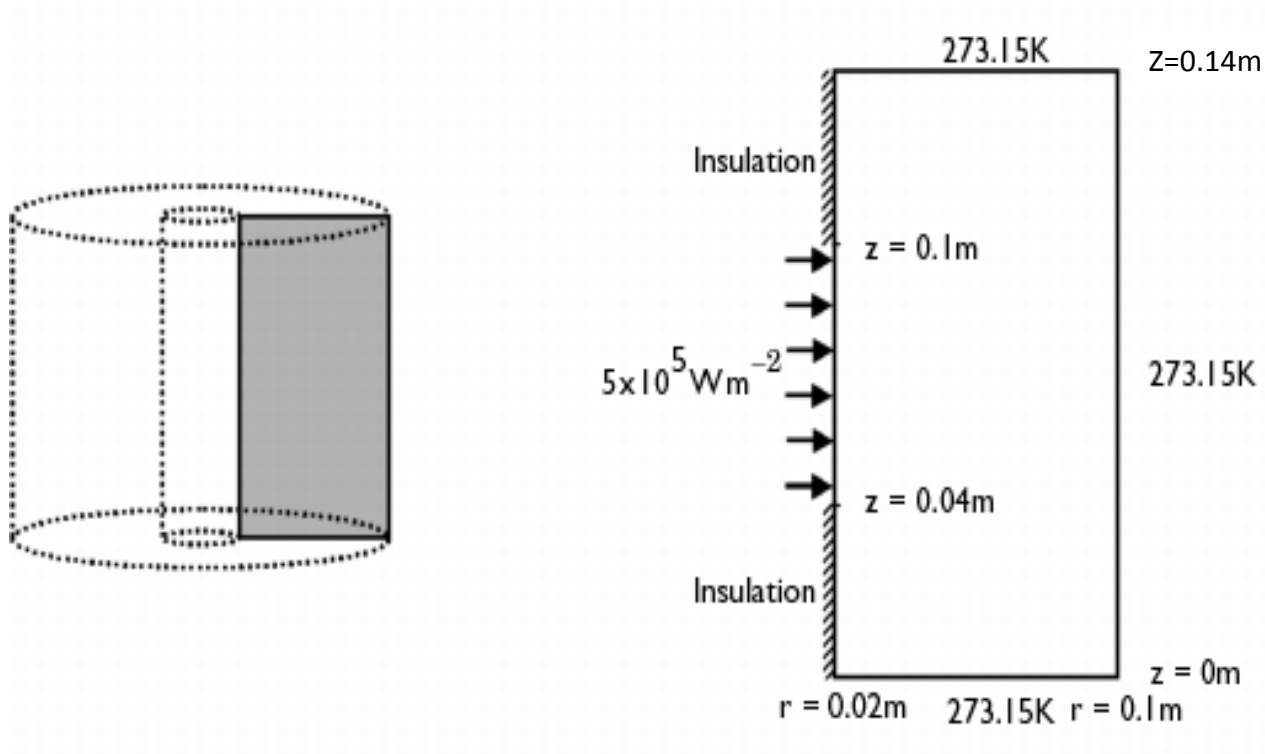
carmelo.demaria@centropiaggio.unipi.it

+ Comsol Multiphysics

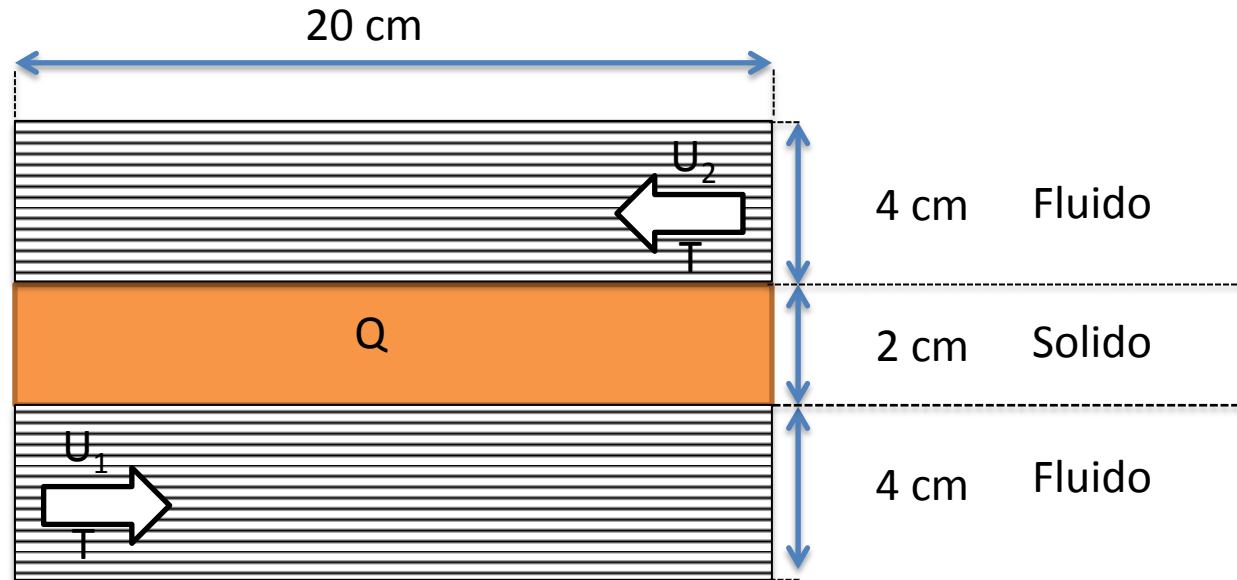


ANALISI TERMICA

+ Esercizio – Conduzione



+ Esercizio: Convezione e conduzione

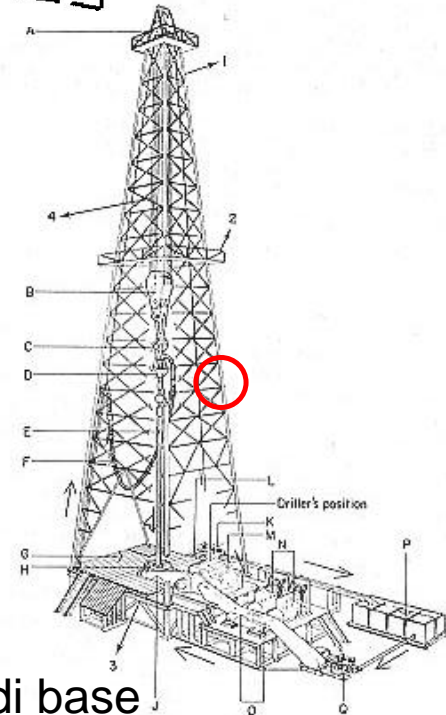
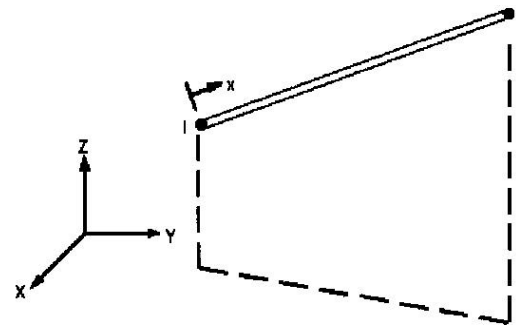


- $Q = \#matricola \text{ (W/m}^3\text{)}$
- $T = \text{temperatura (in gradi centigradi) pari alle ultime due cifre del numero di matricola}$
- Fluido = acqua, profilo laminare
- Solido = ghisa
- Analizzare i casi $U_1 \geq U_2$

ANALISI STRUTTURALE

+ Elemento asta

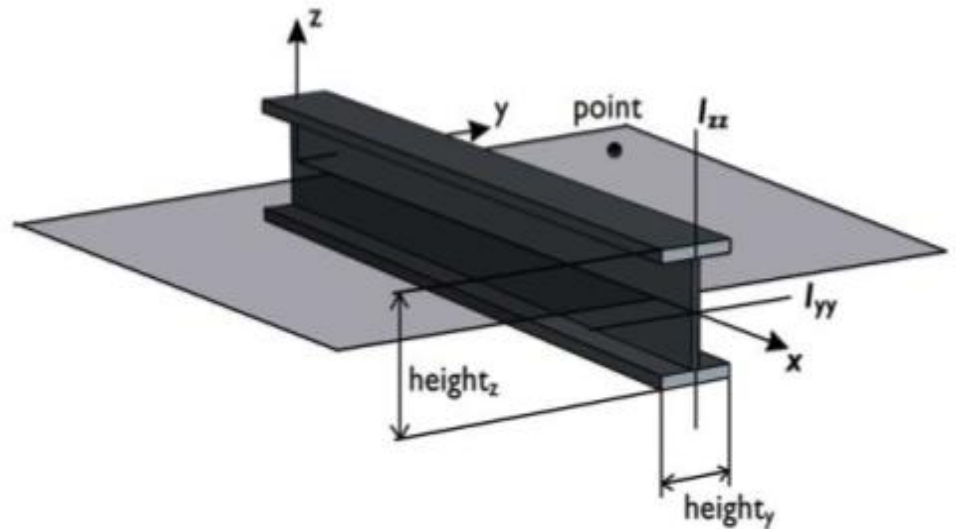
- Travature reticolari piane
- solo sforzo normale
- 2 nodi
- 2 o 3 g.d.l /nodo
- carichi applicabili solo nei nodi
- Car. geometriche: A



Non disponibile nello Structural Mechanics application mode di base

+ Elemento trave

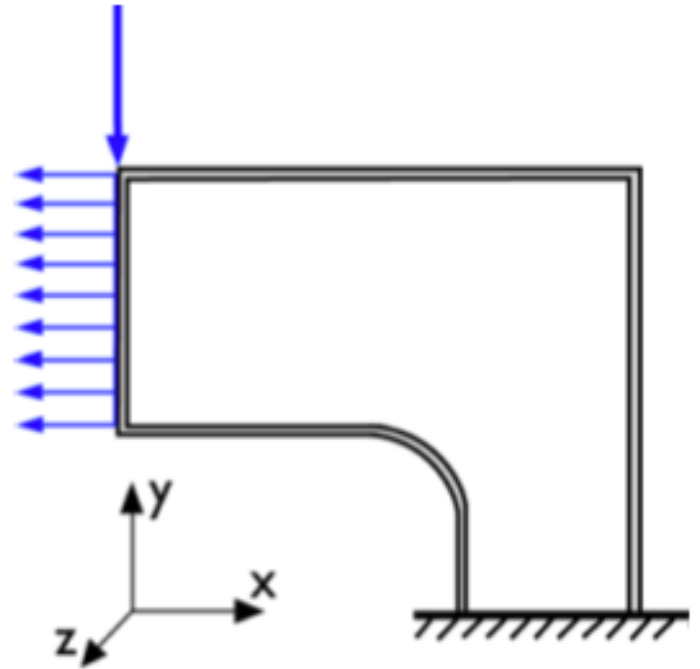
- Equazione della linea elastica
- 2 nodi
- 3 gdl/nodo
- Carichi concentrati e distribuiti
- Caratteristiche geometriche (sezione, momento d'inerzia, ...)



Non disponibile nello Structural Mechanics application mode di base

+ Analisi plane stress

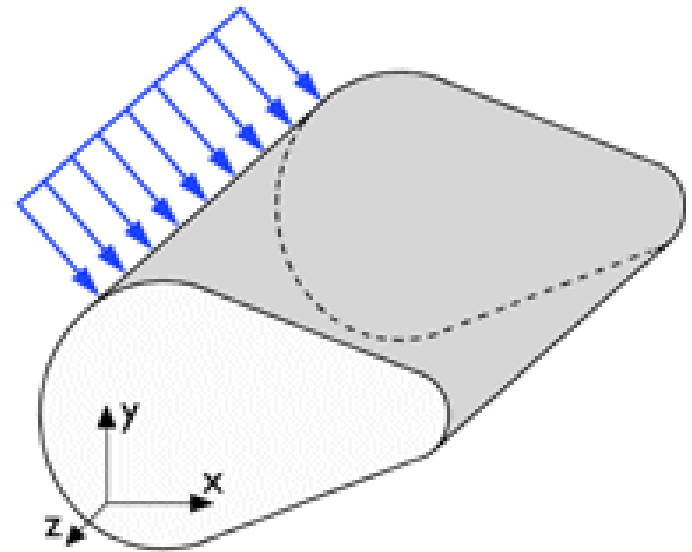
- **Stato piano di tensione**
- una delle componenti principali di tensione è identicamente nulla
- corpo piano, di spessore piccolo rispetto alle altre dimensioni caratteristiche del problema, caricato nel loro piano medio.



Possibilità di inserire lo spessore del corpo

+ Analisi plain strain

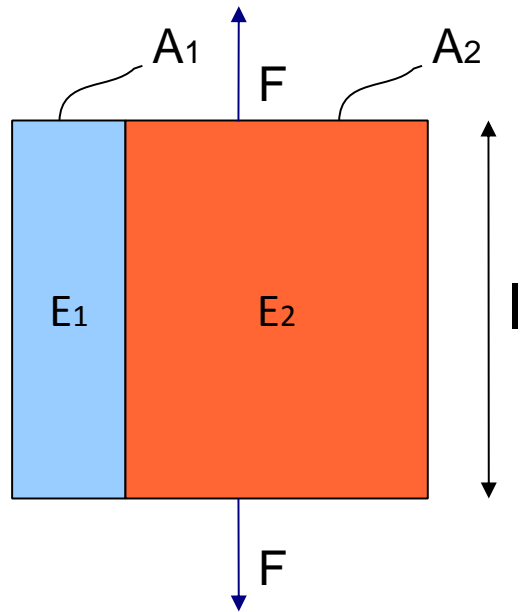
- **Stato piano di deformazione**
- una delle componenti principali di deformazione è identicamente nulla
- corpo piano, di spessore molto grande rispetto alle altre dimensioni caratteristiche del problema, caricato in modo omogeneo lungo lo spessore



Possibilità di inserire lo spessore del corpo

+ Modelli di omogenizzazione

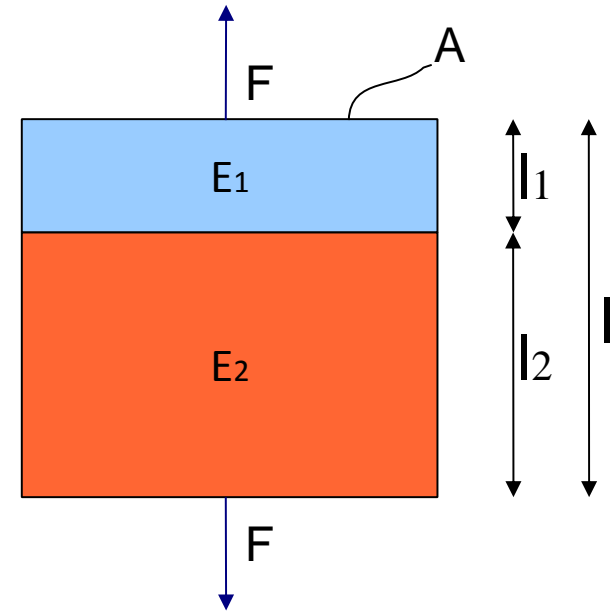
- Modello di Voigt



$$E = E_1 n_1 + E_2 (1 - n_1)$$

$$n_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$$

- Modello di Reuss



$$E = \frac{E_1 E_2}{E_1 (1 - f_1) + E_2 f_1}$$

$$f_1 = \frac{l_1}{l}$$

+ **Esercizio 1**

- Valutare il modulo elastico complessivo dei seguenti corpi della precedente diapositiva con il modello analitico e con quello ad elementi finiti (utilizzare l'analisi plane stress).



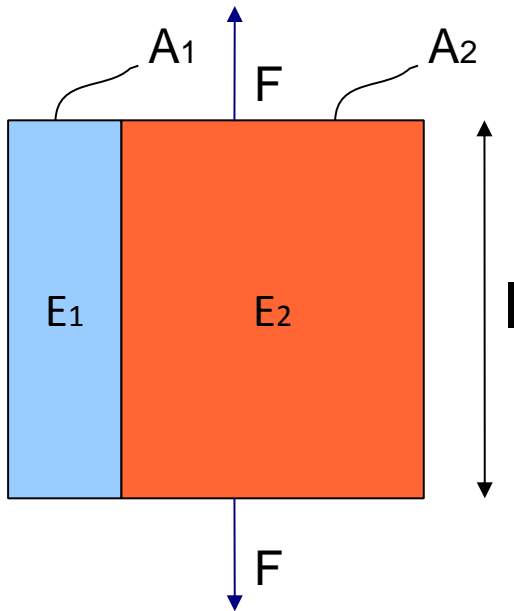
+ Nota esercizio 1

- I modelli di Reuss e Voigt non prendono in considerazione carichi di tipo trasversale. Per introdurre questo concetto è necessario porre il modulo di Poisson pari a 0, in modo tale che deformazioni normale provochino deformazioni (e quindi carichi) trasversali.
- Il carico da imporre nel modello di modello di Voigt (o di isodeformazione) è quello di uno spostamento in direzione normale in modo da avere una isodeformazione su entrambi blocchi.

+ Esempio soluzione esercizio 1 (1/4)



Modello di Voigt



$$E = E_1 n_1 + E_2 (1 - n_1)$$

$$n_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$$

L	= 0.1 m
Spessore	= 0.1 m
A_1	= $0.03 * 0.1 \text{ m}^2 = 0.003 \text{ m}^2$
A_2	= $0.07 * 0.1 \text{ m}^2 = 0.007 \text{ m}^2$
ν_1	= 0.3
ν_2	= 0.7

Se $E_1 = 10 \text{ GPa}$ $E_2 = 100 \text{ GPa}$
 $E = 37 \text{ GPa}$

Per avere una deformazione del -10%
lungo la direzione y devo applicare una
forza pari a =

$$F = (E * \epsilon) * A = 73 \text{ GPa} * (-0.1) * 0.01 \text{ m}^2 = -3.7 * 10^7 \text{ N}$$

+ Esempio soluzione esercizio 1 (2/4)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a Plane Stress (smps) model. A **Boundary Integration** dialog box is open, showing the following configuration:

- Boundary selection:** 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (with 2 and 5 highlighted)
- Expression to integrate:**
 - Predefined quantities: Reaction force y-dir.
 - Expression: RFy_smps
 - Unit of integral: N
 - Compute surface integral (for axisymmetric modes)
- Solution to use:**
 - Solution at time: 0
 - Time: [empty]
 - Solution at angle (phase): 0 degrees
 - Frame: [empty]
- Buttons: Smoothing..., Advanced..., OK, Cancel, Apply, Help

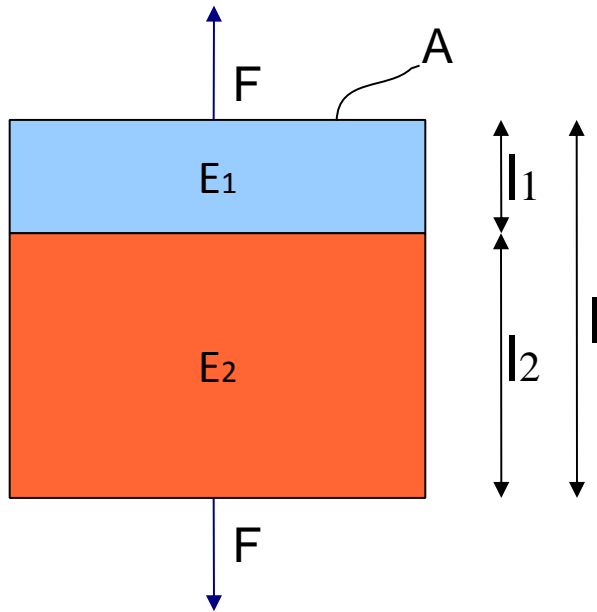
The background shows a 2D plot of a rectangular domain with a grid. A red arrow points from the origin (0,0) to the right edge (0.1,0), and a green arrow points from the origin (0,0) to the top edge (0,0.1). The status bar at the bottom displays the following information:

```
Saved COMSOL Model file: voigt.mph  
Value of sum: 4.468784e-18 [N], Expression: Reaction force x-dir.: RFX_smps, Boundaries: 2, 5  
Value of sum: 3.7e7 [N], Expression: Reaction force y-dir.: RFy_smps, Boundaries: 2, 5
```

+ Esempio soluzione esercizio 1 (3/4)



Modello di Reuss



L	= 0.1 m
Spessore	= 0.1 m
l_1	= 0.03 m
l_2	= 0.07 m
f_1	= 0.3
f_2	= 0.7
A	= $0.1 * 0.1 \text{ m}^2 = 0.01 \text{ m}^2$

Se $E_1 = 10 \text{ GPa}$ $E_2 = 100 \text{ GPa}$
 $E = 13.7 \text{ GPa}$

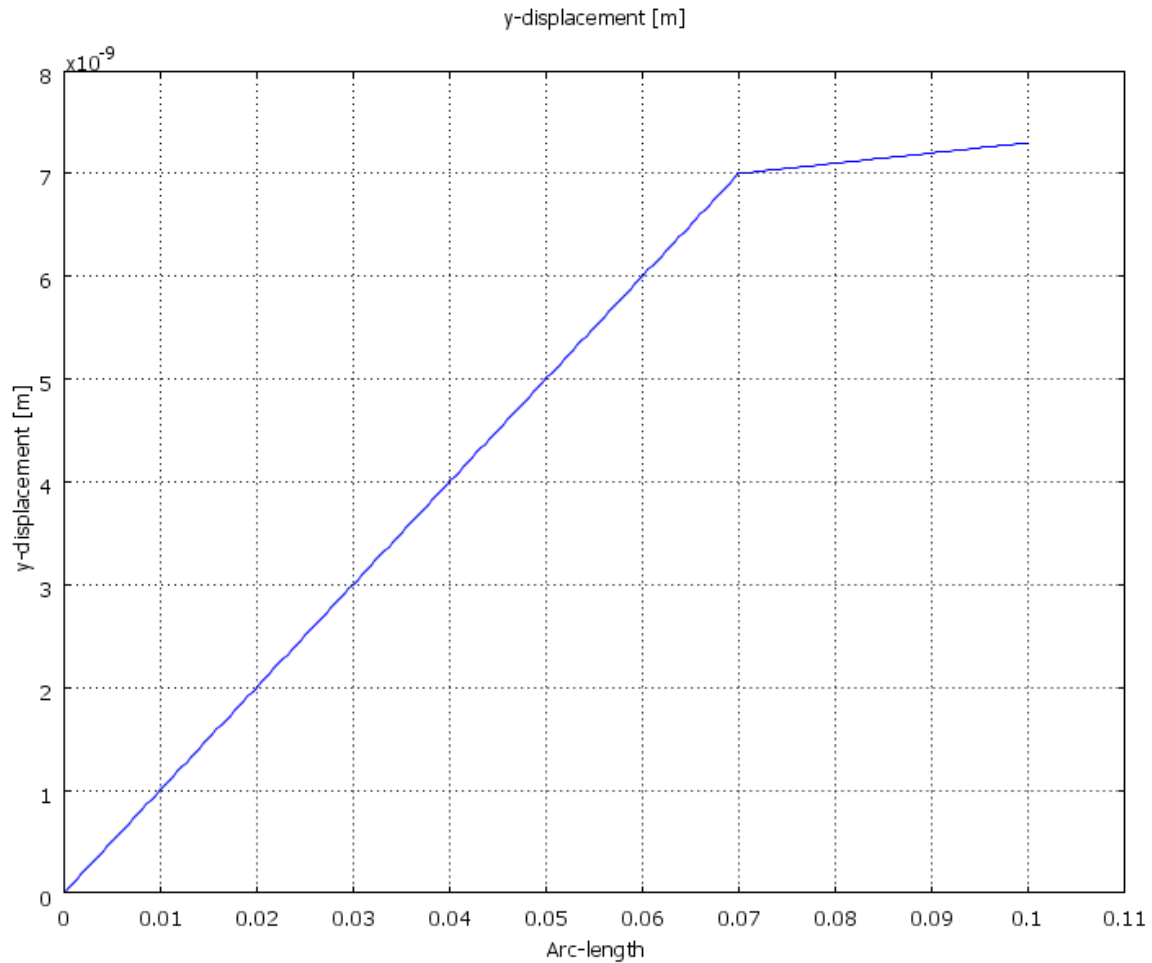
Applicando una forza pressione in direzione y di 1 kPa ottengo uno spostamento totale di

$$\Delta y = 0.1 \text{ m} * (-1 \text{ kPa} / 13.7 \text{ GPa}) = 7.3 * 10^{-9} \text{ m}$$

$$E = \frac{E_1 E_2}{E_1 (1 - f_1) + E_2 f_1}$$

$$f_1 = \frac{l_1}{l}$$

+ Esempio soluzione esercizio 1 (4/4)



Spostamento dell'intera struttura valutato lungo la direzione y

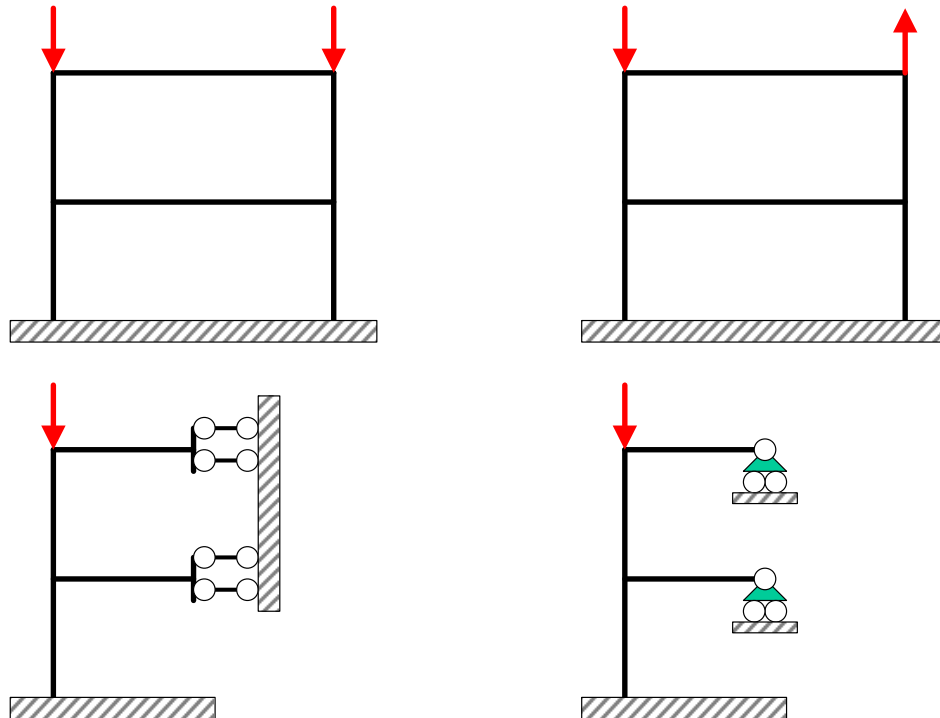
+ Considerazioni di simmetria (1/5)

- L'uso di considerazioni di simmetria consente di ridurre le dimensioni del modello. I più comuni tipi di simmetria sono:
 - Simmetria speculare o di riflessione
 - Simmetria polare o di rotazione



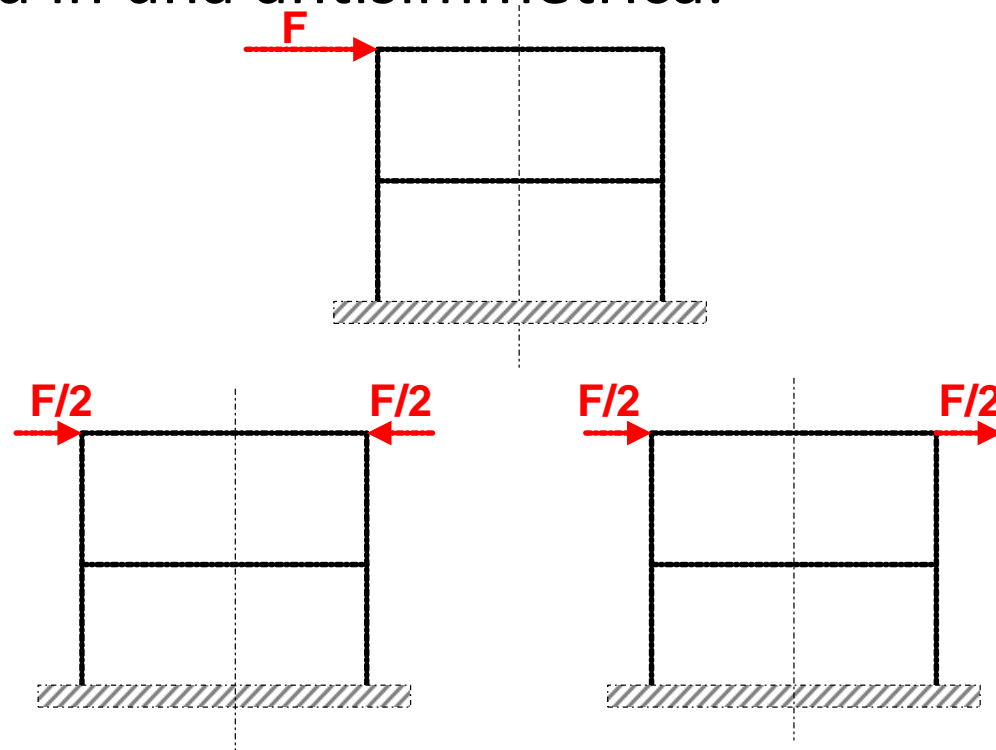
+ Considerazioni di simmetria (2/5)

Sfruttando la simmetria è possibile includere nel modello solo una parte della struttura, sostituendo la parte mancante con opportuni vincoli posti sul piano di divisione



+ Considerazioni di simmetria (3/5)

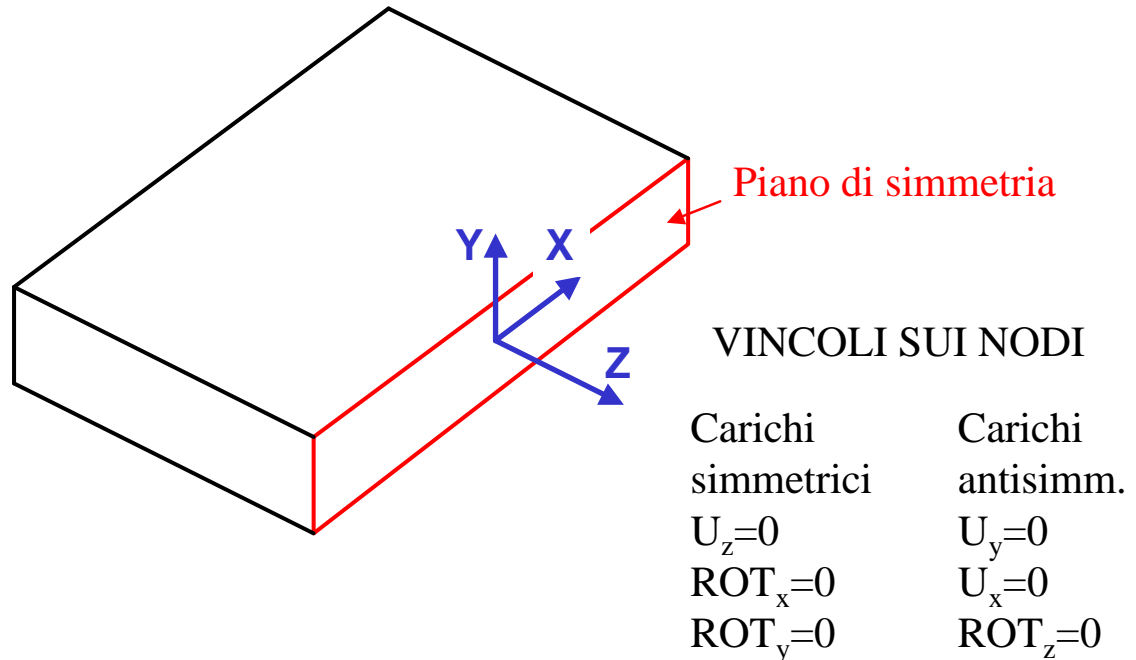
I carichi non devono necessariamente essere simmetrici, dato che una condizione di carico qualsiasi può essere scissa in una componente simmetrica ed in una antisimmetrica.



+ Considerazioni di simmetria (4/5)

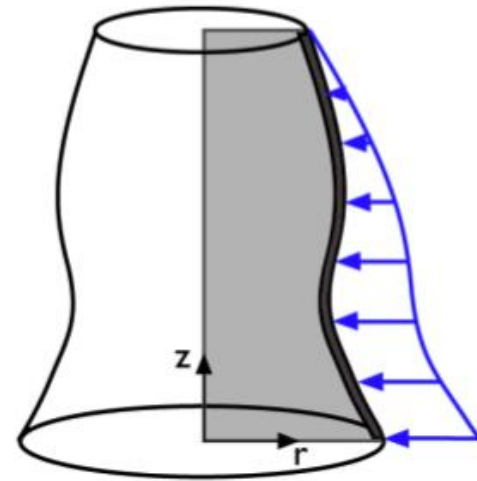


- **Simmetria di riflessione**
- La struttura viene tagliata in corrispondenza del piano di simmetria



+ Considerazioni di simmetria (5/5)

- **Corpi assial-simmetrici**
- Geometria assial-simmetrica (rotazione di una sezione attorno
- Carichi a simmetria cilindrica



- Fissato un sistema di riferimento cilindrico “ r, θ, z ”, per simmetria lo stato di tensione/deformazione risulta indipendente da θ e le componenti di spostamento in direzione circonferenziale (θ) risultano nulle: il problema può di conseguenza essere studiato come piano.

+ Esercizio 2

- Lastra intagliata in trazione
 - Schematizzare la lastra di figura sfruttando i piani di simmetria
 - Misure in mm
 - Spessore: 5 mm
 - Modulo Elastico 10^9 Pa
 - $P = 3000$ Pa

