

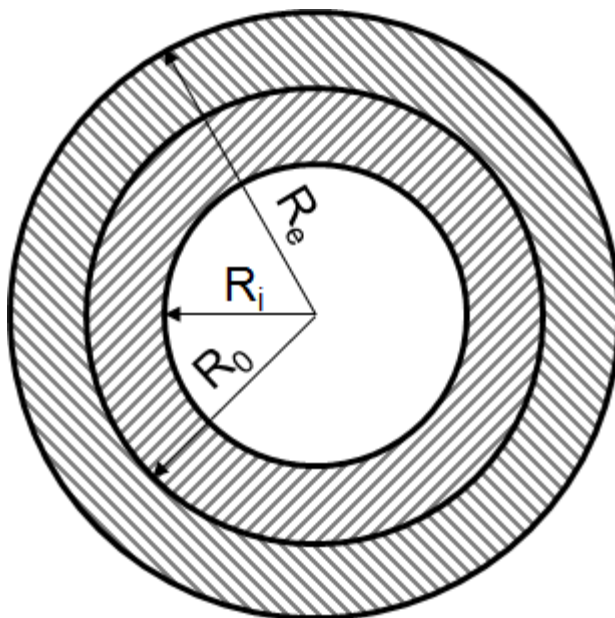
**COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE**  
**ESAME DEL 01/09/2015**

**Esercizio 1**

E' dato il recipiente chiuso agli estremi di Fig. 1.1, costituito da due cilindri forzati, quello interno in acciaio inox, quello esterno in acciaio ferritico, con interferenza radiale al montaggio  $i_1$ .

Il recipiente è soggetto, in esercizio, ad un incremento di temperatura  $\Delta T_1$  rispetto al valore di montaggio ed ad una pressione interna  $p_1$ . Si valuti:

1. l'andamento delle tensioni in esercizio in funzione della coordinata radiale
2. il coefficiente di sicurezza del recipiente rispetto allo snervamento



$$R_{1e} := 2 \cdot m$$

$$R_{1o} := 1.75 \cdot m$$

$$R_{1i} := 1.5 \cdot m$$

$$E_{inox} := 210000 \cdot MPa$$

$$E_{ferr} := 210000 \cdot MPa$$

$$\nu := 0.3$$

$$p_1 := 12.5 \cdot MPa$$

$$i_1 := 1 \cdot mm$$

$$\Delta T_1 := 200 \cdot ^\circ$$

Fig. 1.1

$$\sigma_{y\_inox} := 350 \cdot MPa$$

$$\alpha_{inox} := 1.8 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{^\circ}$$

Tensione snervamento e coefficiente dilatazione termica inox

$$\sigma_{y\_ferr} := 500 \cdot MPa$$

$$\alpha_{ferr} := 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{^\circ}$$

Tensione snervamento e coefficiente dilatazione termica ferritico

### Quesito 1

$$i_{1e} := i_1 + \Delta T_1 \cdot (\alpha_{\text{inox}} - \alpha_{\text{ferr}}) \cdot R_{10} = 3.1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad \text{Interferenza in esercizio}$$

$$p_c := \frac{i_{1e}}{\left[ \left( \frac{1-\nu}{E_{\text{ferr}}} \cdot \frac{R_{10}^3}{R_{1e}^2 - R_{10}^2} + \frac{1+\nu}{E_{\text{ferr}}} \cdot \frac{R_{10} \cdot R_{1e}^2}{R_{1e}^2 - R_{10}^2} \right) - \left( \frac{1-\nu}{E_{\text{inox}}} \cdot \frac{R_{10}^3}{R_{10}^2 - R_{1i}^2} - \frac{1+\nu}{E_{\text{inox}}} \cdot \frac{R_{1i}^2 \cdot R_{10}}{R_{10}^2 - R_{1i}^2} \right) \right]}$$

$$\sigma_{rr_c}(r) := \begin{cases} \left[ \frac{p_c \cdot R_{10}^2}{R_{10}^2 - R_{1i}^2} \cdot \left( 1 - \frac{R_{1i}^2}{r^2} \right) \right] & \text{if } R_{1i} \leq r < R_{10} \\ \left[ \frac{p_c \cdot R_{10}^2}{R_{1e}^2 - R_{10}^2} \cdot \left( 1 - \frac{R_{1e}^2}{r^2} \right) \right] & \text{if } R_{10} \leq r \leq R_{1e} \\ 0 \cdot \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\theta\theta_c}(r) := \begin{cases} \left[ \frac{p_c \cdot R_{10}^2}{R_{10}^2 - R_{1i}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_{1i}^2}{r^2} \right) \right] & \text{if } R_{1i} \leq r < R_{10} \\ \left[ \frac{p_c \cdot R_{10}^2}{R_{1e}^2 - R_{10}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_{1e}^2}{r^2} \right) \right] & \text{if } R_{10} \leq r \leq R_{1e} \\ 0 \cdot \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{rr_p}(r) := \begin{cases} \left[ \frac{p_1 \cdot R_{1i}^2}{R_{1e}^2 - R_{1i}^2} \cdot \left( 1 - \frac{R_{1e}^2}{r^2} \right) \right] & \text{if } R_{1i} \leq r \leq R_{1e} \\ 0 \cdot \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases}$$

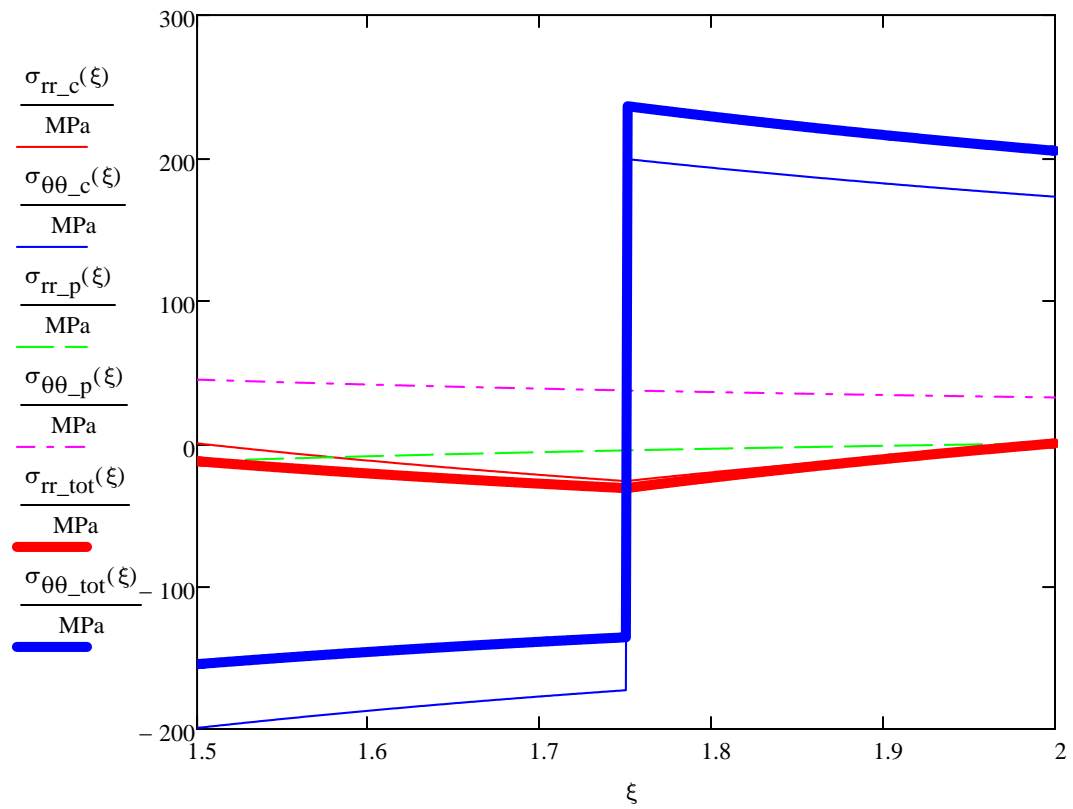
$$\sigma_{\theta\theta\_p}(r) := \begin{cases} \frac{p_1 \cdot R_{1i}^2}{R_{1e}^2 - R_{1i}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_{1e}^2}{r^2} \right) & \text{if } R_{1i} \leq r \leq R_{1e} \\ 0 \cdot \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{zz\_p}(r) := p_1 \cdot \frac{R_{1i}^2}{R_{1e}^2 - R_{1i}^2}$$

$$\sigma_{rr\_tot}(r) := \sigma_{rr\_c}(r) + \sigma_{rr\_p}(r)$$

$$\sigma_{\theta\theta\_tot}(r) := \sigma_{\theta\theta\_c}(r) + \sigma_{\theta\theta\_p}(r)$$

$$\xi := R_{1i}, R_{1i} + 0.001 \cdot m \dots R_{1e}$$



## Quesito 2

$$\sigma_{\text{eq\_max\_inox}} := \left| \sigma_{\theta\theta\_tot}(R_{1i}) - \sigma_{rr\_tot}(R_{1i}) \right| = 142.143 \cdot \text{MPa}$$

$$\varphi_{\text{inox}} := \frac{\sigma_{y\_inox}}{\sigma_{\text{eq\_max\_inox}}} = 2.462$$

$$\sigma_{\text{eq\_max\_ferr}} := \left| \sigma_{\theta\theta\_tot}(R_{1o}) - \sigma_{rr\_tot}(R_{1o}) \right| = 267.569 \cdot \text{MPa}$$

$$\varphi_{\text{ferr}} := \frac{\sigma_{y\_ferr}}{\sigma_{\text{eq\_max\_ferr}}} = 1.869$$

## Esercizio 2

Condurre la verifica ad attrito della giunzione bullonata posta all'esternità della struttura mostrata in Fig. 2.1.

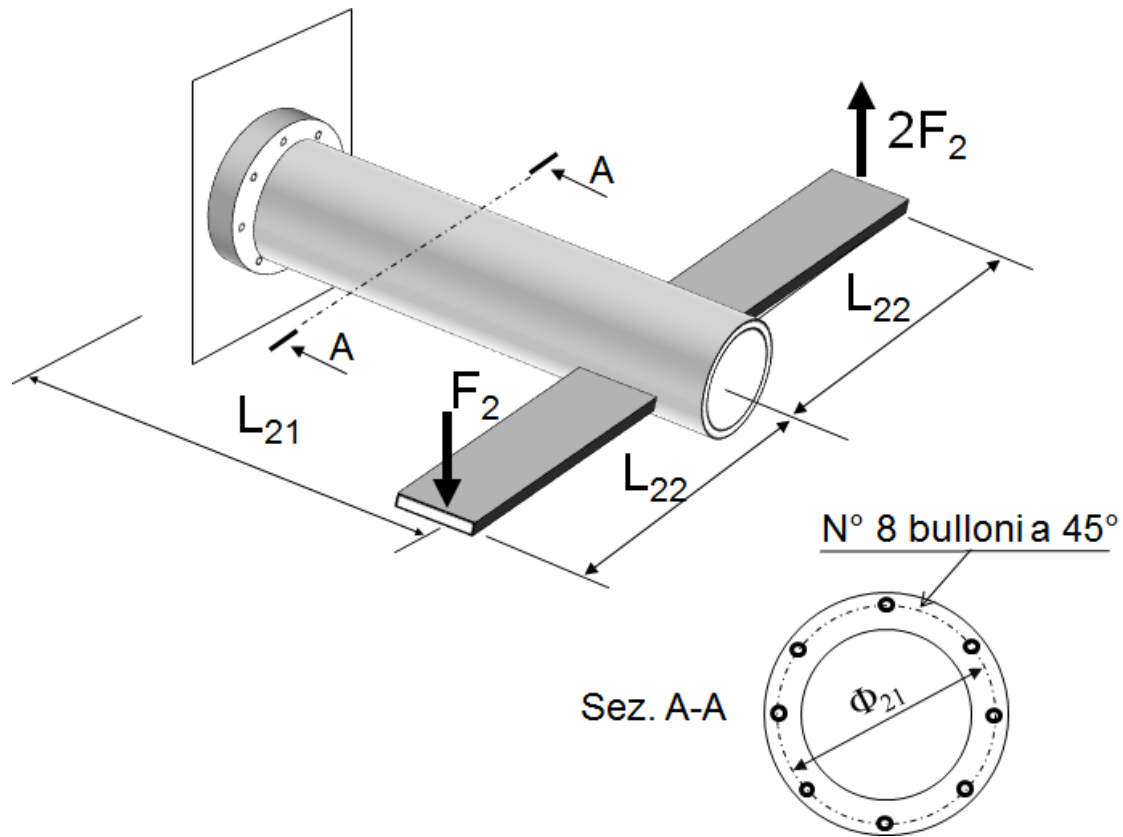


Fig. 2.1

$$F_2 := 5 \cdot \text{kN} \quad L_{21} := 2 \cdot \text{m} \quad L_{22} := 0.45 \cdot \text{m} \quad \Phi_{21} := 180 \cdot \text{mm}$$

$$f_2 := 0.3 \quad \text{Coefficiente di attrito}$$

$$\phi_{2b} := 10 \cdot \text{mm} \quad \text{Diametro bullone}$$

$$\sigma_{\text{amb}} := 1500 \cdot \text{MPa} \quad \text{Tensione ammissibile bullone}$$

$$\varphi_2 := 1.5 \quad \text{Coefficiente di sicurezza richiesto}$$

Momenti e forze di taglio agenti sui giunti

$$M_{z1} := F_2 \cdot (L_{22} + 2 \cdot L_{22}) = 6.75 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{x2} := F_2 \cdot (L_{21} - 2 \cdot L_{21}) = -1 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$F_{Y2} := -F_2 = -5 \times 10^3 \text{ N}$$

Caratteristiche bullone

$$N_{02} := 0.8 \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{2b}^2}{4} \cdot \sigma_{\text{ambb}} = 94.248 \cdot \text{kN}$$

Forze di taglio sui bulloni

$$T_{Y2} := \frac{F_{Y2}}{8} = -625 \cdot \text{N} \quad T_{Z2} := \frac{M_{z1} \cdot \frac{\Phi_{21}}{2}}{8 \cdot \left(\frac{\Phi_{21}}{2}\right)^2} = 9.375 \times 10^3 \text{ N}$$

$$T_2 := T_{Y2} + T_{Z2} = 8.75 \cdot \text{kN}$$

$$N_2 := \frac{|M_{x2}| \cdot \frac{\Phi_{21}}{2}}{4 \cdot \left(\frac{\Phi_{21}}{2\sqrt{2}}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\Phi_{21}}{2}\right)^2} = 2.778 \times 10^4 \text{ N}$$

Verifica

$$T_2 = 8.75 \cdot \text{kN} < \frac{f_2 \cdot (N_{02} - N_2)}{\varphi_2} = 13.294 \cdot \text{kN} \quad \text{OK}$$

$$N_2 = 27.778 \cdot \text{kN} < \frac{0.8 \cdot N_{02}}{\varphi_2} = 50.265 \cdot \text{kN} \quad \text{OK}$$

### Esercizio 3

La struttura mostrata in Fig. 3.1 rappresenta schematicamente un generatore eolico che ruota a velocità angolare  $\Omega_3$ .

Condurre la verifica a fatica a vita infinita delle 4 pale in acciaio di sezione rettangolare, considerando gli effetti della velocità di rotazione e del peso proprio.

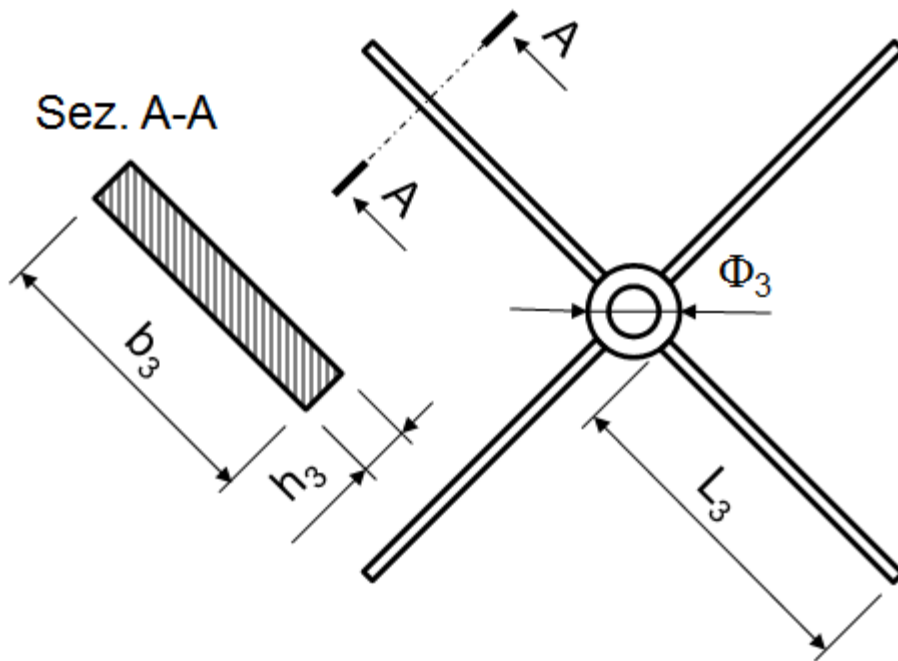


Fig. 3.1

$$\Phi_3 := 1.8 \cdot \text{m}$$

$$L_3 := 8 \cdot \text{m}$$

$$b_3 := 0.5 \cdot \text{m}$$

$$h_3 := 0.05 \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{s3} := 800 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{\text{lim}3} := 850 \cdot \text{MPa}$$

$$\rho_3 := 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Omega_3 := 15 \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

$$M_{3p} := L_3 \cdot b_3 \cdot h_3 \cdot \rho_3 = 1.57 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$W_p := M_{3p} \cdot g = 1.54 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{3c} := M_{3p} \cdot \left( \frac{L_3 + \Phi_3}{2} \right) \cdot \Omega_3^2 = 1.731 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_{3x} := W_p \cdot \frac{L_3}{2} = 6.159 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$A_3 := b_3 \cdot h_3 = 2.5 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$J_{x3} := \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12} = 5.208 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$\sigma_{3m} := \frac{F_{3c}}{A_3} = 69.237 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\max\_x} := \frac{M_{3x}}{J_{x3}} \cdot \frac{h_3}{2} = 295.612 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{\text{nom}} := 2 \cdot \sigma_{\max\_x} = 591.223 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{\text{eq}} := \Delta\sigma_{\text{nom}} \cdot \frac{\sigma_{s3}}{\sigma_{s3} - \sigma_{3m}} = 647.239 \cdot \text{MPa}$$



$$\bar{\sigma} = 26.436 \cdot \text{MPa}$$