COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE
ESAME DEL 13/09/2016

Esercizio 1

E' dato il recipiente costruito con due strati forzati in acciaio ed internamente pressurizzato mostrato in sezione nella Fig. 1.1:

1. Si conduca la verifica di resistenza per il valore di interferenza dato
2. Si calcoli il valore della forza assiale necessaria per realizzare il montaggio

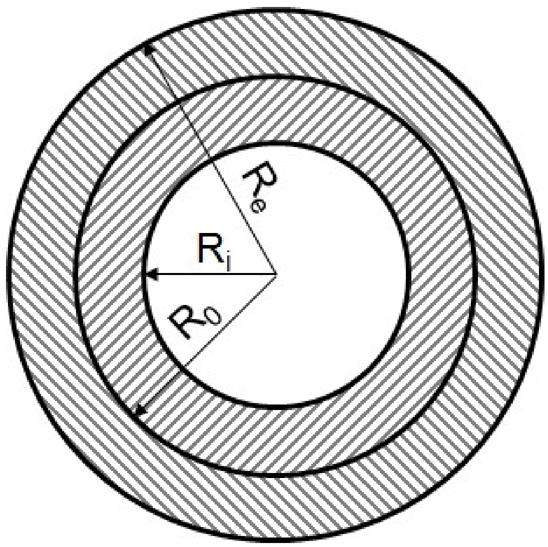


Fig. 1.1

$E := 210000 \cdot MPa$ $\quad \nu := 0.3$ $\quad \sigma_{amm} := 350 \cdot MPa$ $\quad p_0 := 150 \cdot MPa$

$R_c := 42 \cdot mm$ $\quad R_i := 30 \cdot mm$ $\quad R_e := 60 \cdot mm$ $\quad s_{p1} := 10 \cdot mm$

$i_0 := 0.03 \cdot mm$ $\quad f := 0.3$ $\quad L_0 := 100 \cdot mm$ Lunghezza

Si ricordano, se ritenute utili, le espressioni generali dello spostamento radiale e delle tensioni per il cilindro di raggio interno R_i, raggio esterno R_e soggetto ad una pressione interna p_i ed esterna p_e.

$$u(r) := \frac{1-\nu}{E} \cdot \frac{p_i \cdot R_i^2 - p_e \cdot R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} \cdot r + \frac{1+\nu}{E} \cdot \frac{R_i^2 \cdot R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} \cdot \frac{(p_i - p_e)}{r}$$

$$\sigma_{rr} := \frac{p_i \cdot R_i^2 - p_e \cdot R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} - \frac{R_i^2 \cdot R_e^2}{r^2} \cdot \frac{(p_i - p_e)}{R_e^2 - R_i^2}$$

$$\sigma_{\theta\theta} := \frac{p_i \cdot R_i^2 - p_e \cdot R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} + \frac{R_i^2 \cdot R_e^2}{r^2} \cdot \frac{(p_i - p_e)}{R_e^2 - R_i^2}$$

Quesito 1

La pressione di contatto che si produce è data da:

$$p_c := \frac{E\cdot\left(R_e^2 - R_c^2\right)\cdot\left(R_c^2 - R_i^2\right)}{2\cdot R_c^3\cdot\left(R_e^2 - R_i^2\right)}\cdot i_0 = 24.98\cdot \mathrm{MPa}$$

L'andamento di tensione prodotto dal forzamento è dato da:

Tensioni dovute al forzamento

$$\sigma_{rrf}(r) := \begin{cases} \left[-\left[\dfrac{p_c\cdot R_c^2}{R_c^2 - R_i^2}\cdot\left(1 - \dfrac{R_i^2}{r^2}\right)\right]\right] & \text{if } r < R_c \\ \left[\dfrac{p_c\cdot R_c^2}{R_e^2 - R_c^2}\cdot\left(1 - \dfrac{R_e^2}{r^2}\right)\right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\theta\theta f}(r) := \begin{cases} -\left[\dfrac{p_c\cdot R_c^2}{R_c^2 - R_i^2}\cdot\left(1 + \dfrac{R_i^2}{r^2}\right)\right] & \text{if } r < R_c \\ \left[\dfrac{p_c\cdot R_c^2}{R_e^2 - R_c^2}\cdot\left(1 + \dfrac{R_e^2}{r^2}\right)\right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tensioni dovute alla pressione interna

$$\sigma_{rrpi}(r) := \frac{p_0\cdot R_i^2}{R_e^2 - R_i^2}\cdot\left(1 - \frac{R_e^2}{r^2}\right)$$

$$\sigma_{\theta\theta pi}(r) := \frac{p_0\cdot R_i^2}{R_e^2 - R_i^2}\cdot\left(1 + \frac{R_e^2}{r^2}\right)$$

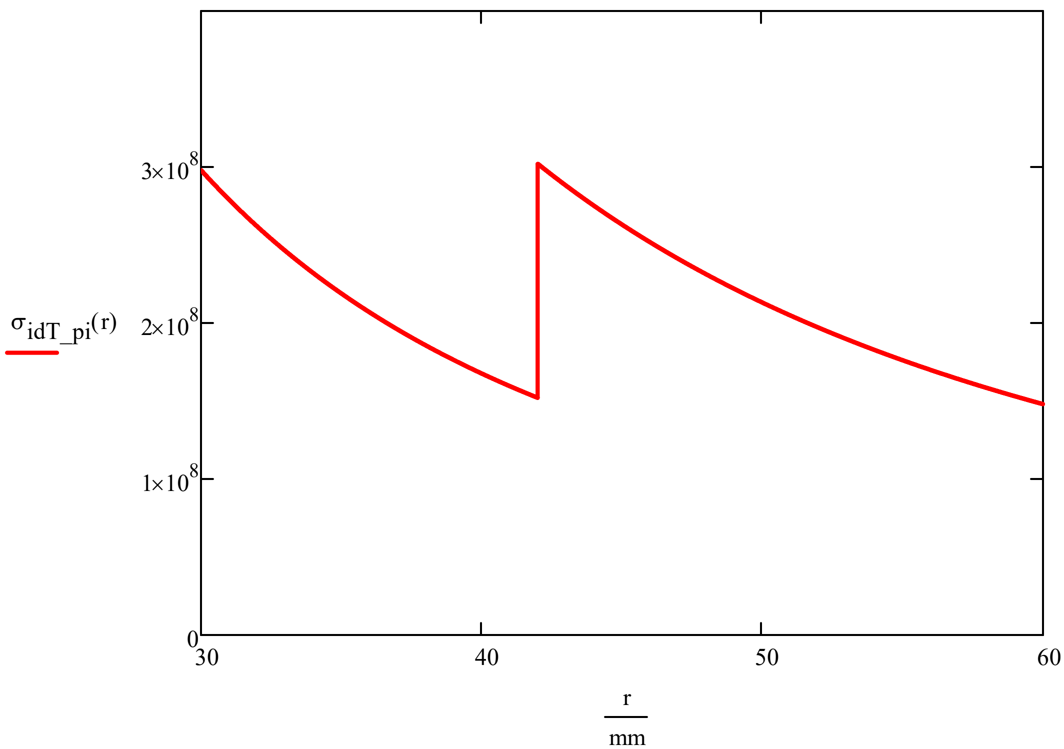
Tensioni totali

$$\sigma_{rrT}(r) := \sigma_{rrpi}(r) + \sigma_{rrf}(r)$$

$$\sigma_{\theta\theta T}(r) := \sigma_{\theta\theta pi}(r) + \sigma_{\theta\theta f}(r)$$

$$\sigma_{idT\_pi}(r) := \max\left(\left|\sigma_{\theta\theta T}(r) - \sigma_{rrT}(r)\right|, \left|\sigma_{\theta\theta T}(r)\right|, \left|\sigma_{rrT}(r)\right|\right)$$

$$r := R_i, R_i + 0.001 \cdot mm .. R_e$$



Si ottengono, quindi i seguenti valori di tensione ideale:

$$\sigma_{idT\_pi}(R_i) = 298\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{idT\_pi}(R_c) = 302.041\,\text{MPa}$$

Quesito 2

Il valore della forza assiale richiesta per il montaggio è dato da :

$$F_a := f \cdot \pi \cdot 2 \cdot R_c \cdot L_0 \cdot p_c = 197.759\ \mathrm{kN}$$

Esercizio 2

La struttura mostrata in Fig. 2.1 è utilizzata per sollevare periodicamente la massa M_0. Il tirante verticale, di sezione rettangolare e spessore s_p, contiene una frattura passante di dimensione iniziale a_0. Approssimando il comportamento del materiale come elastico-perfettamente plastico calcolare il numero di cicli di sollevamento necessario per produrre la rottura del tirante.

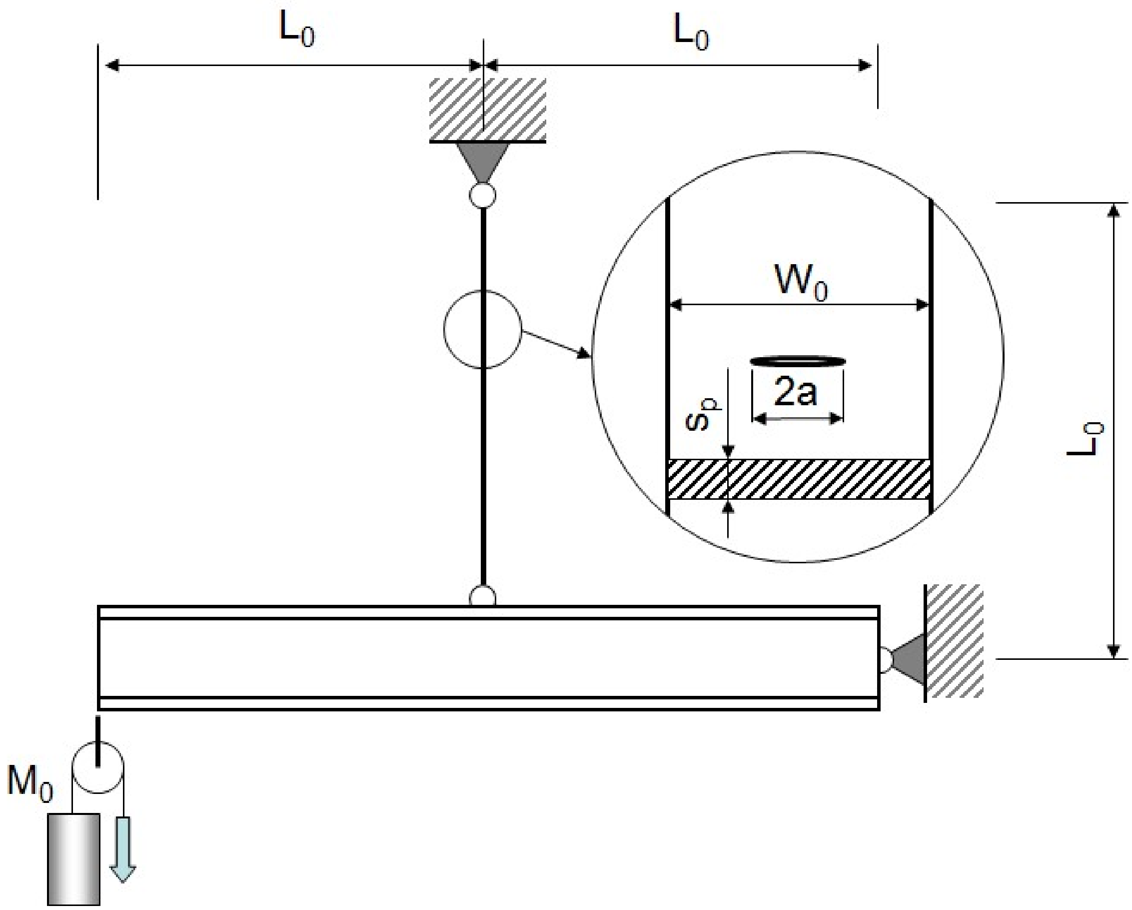


Fig. 2.1

$K_{IC} := 75 \cdot MPa \cdot \sqrt{m}$ Tenacità a frattura $s_{p0} := 10 \cdot mm$

$\sigma_y := 400 \cdot MPa$ Tensione di snervamento/rottura materiale (elastico perfettamente plastico)

$L_0 := 2 \cdot m$ $M_0 := 2 \cdot 10^4 \cdot kg$ $a_0 := 5 \cdot mm$ $W_0 := 300 \cdot mm$

$m_0 := 2$

$\frac{d}{dN} a := C_0 \cdot \Delta K^{m_0}$ Legge di Paris (ΔK in MPa*m^0.5, da/dN in m/ciclo)

$C_0 := 4 \cdot 10^{-10}$

$\beta := 1$ Fattore correttivo per calcolo K_{IC}

Forza agente nel tirante (da equilibrio struttura):

$$F_0 := 4 \cdot M_0 \cdot g$$

Tensioni nominali

$$\sigma_{nom} := \frac{F_0}{W_0 \cdot s_{p0}} = 261.511 \cdot \mathrm{MPa}$$

Dimensione critica difetto

$$a_{finK} := \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{K_{IC}}{\beta \cdot \sigma_{nom}} \right)^2 = 26.181 \cdot \mathrm{mm}$$

$$a_{finp} := \frac{1}{2} \cdot \left(W_0 - \frac{F_0}{\sigma_y \cdot s_{p0}} \right) = 51.933 \cdot \mathrm{mm}$$

$$a_{fin} := \min\left(a_{finK}, a_{finp} \right) = 26.181 \cdot \mathrm{mm}$$

Calcolo numero di cicli a rottura

$$\Delta K_I(a) := \beta \cdot \sigma_{nom} \cdot \sqrt{\pi\, a \cdot m}$$

$$N_R := \int_{\frac{a_0}{m}}^{\frac{a_{fin}}{m}} \frac{1}{4 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta K_I(a)^2} \, da := \int_{a_0}^{a_{fin}} \frac{1}{4 \cdot 10^{-5} \cdot \beta^2 \cdot \left(\sigma_{nom} \right)^2 \cdot \pi \cdot a} \, da$$

$$N_R := \frac{1}{C_0 \cdot \beta^2 \cdot (261.5)^2 \cdot \pi} \ln\left(\frac{a_{fin}}{a_0} \right) = 1.927 \times 10^4$$

Esercizio 3

E' dato l'agitatore ad elica mostrato nella Figura 3.1. La rotazione dell'elica assorbe una coppia costante M_{Z3}, mentre il recipiente è soggetto ad una pressione interna p_3. E' inoltre nota la massa M_{m3} del motore.

Calcolare il valore minimo necessario della tensione ammissibile del materiale del bullone ai fini della trasmissione dei carichi per attrito..

Coefficiente di sicurezza richiesto φ.

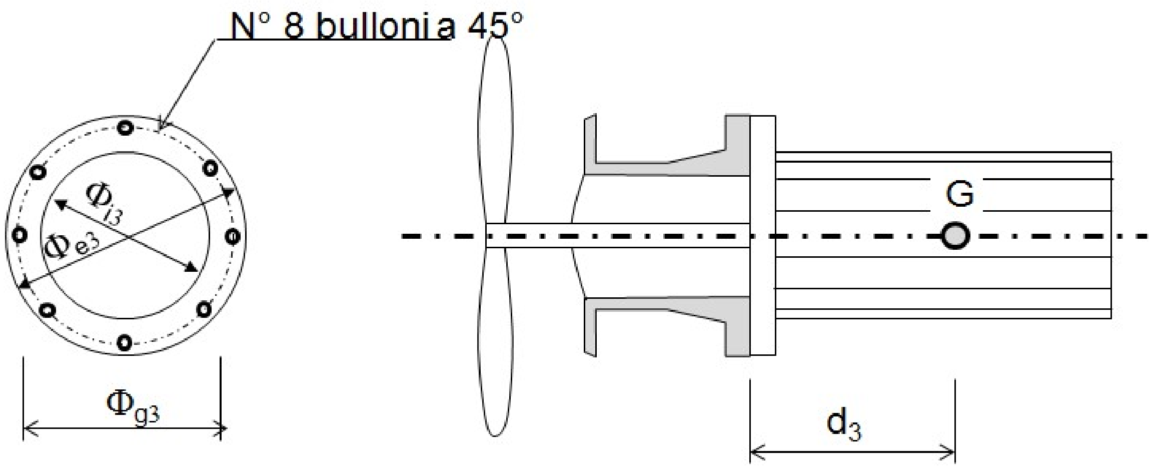


Fig. 3.1

Nota: per porzione di flangia attribuibile ad un bullone si intende il rapporto tra l'area totale della superficie di contatto delle flange ed il numero di bulloni.

Dati:

$d_3 := 300 \cdot mm$ $\quad \Phi_{i3} := 350 \cdot mm$ $\quad \Phi_{e3} := 400 \cdot mm$ $\quad \Phi_{g3} := \dfrac{\Phi_{i3} + \Phi_{e3}}{2} = 375 \cdot mm$

$W_{m3} := 800 \cdot N$ Peso motore

$p_3 := 0.15 \cdot MPa$ $\quad M_{z3} := 150 \cdot N \cdot m$ $\quad n_b := 8$ $\quad f := 0.3$

$\phi_{3b} := 4 \cdot mm$ $\quad \varphi := 4$

Carichi agenti

$F_z := p_3 \cdot \pi \cdot \frac{\Phi_{i3}^{\,2}}{4} = 14.432 \cdot kN$ Forza assiale dovuta alla pressione interna

$F_y := W_{m3}$ Forza di taglio verticale

$M_{z3} = 150 \cdot N \cdot m$ Azione torcente

$M_{y3} := W_{m3} \cdot d_3 = 240 \cdot N \cdot m$ Momento flettente dovuto al peso a sbalzo del motore

Azioni agenti sui bulloni

$$N_{zb} := \frac{M_{y3}}{2 \cdot \left(\frac{\Phi_{g3}}{2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\Phi_{g3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} \cdot \frac{\Phi_{g3}}{2} = 320\,N$$ azione normale massima da My

$N_{Nb} := \frac{F_z}{n_b} = 1.804 \cdot kN$ azione normale da pressione interna

$T_{by} := \frac{F_y}{n_b} = 100\,N$ azione di taglio da peso motore

$T_{bz} := \frac{M_{z3}}{8 \cdot \frac{\Phi_{g3}}{2}} = 100\,N$ azione di taglio da momento z

$N_b := N_{zb} + N_{Nb} = 2.124 \times 10^3\,N$ Azione normale totale

$T_b := T_{by} + T_{bz} = 200\,N$ Azione di taglio totale

Calcolo N0 richiesta

$N_{0min1} := \frac{T_b}{f} + N_b = 2.791 \times 10^3\,N$ Trasmissione taglio per attrito

$N_{0min2} := \frac{N_b}{0.8} = 2.655 \times 10^3\,N$ Limite su azione normale

$$N_{0min} := \max\left(N_{0min1}, N_{0min2}\right) = 2.791 \times 10^{3}\,N$$

Valore minimo richiesto per N0

$$\sigma_{amin} := \frac{N_{0min} \cdot \varphi}{\left(\frac{\pi \cdot \phi_{3b}^{\;2}}{4}\right)} = 888.285 \cdot MPa$$