COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE
ESAME DEL 29/01/2015

Esercizio 1

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

Si conduca:

1. la verifica di resistenza per il valore di interferenza minimo ammesso
2. la verifica di resistenza per il valore di interferenza massimo ammesso

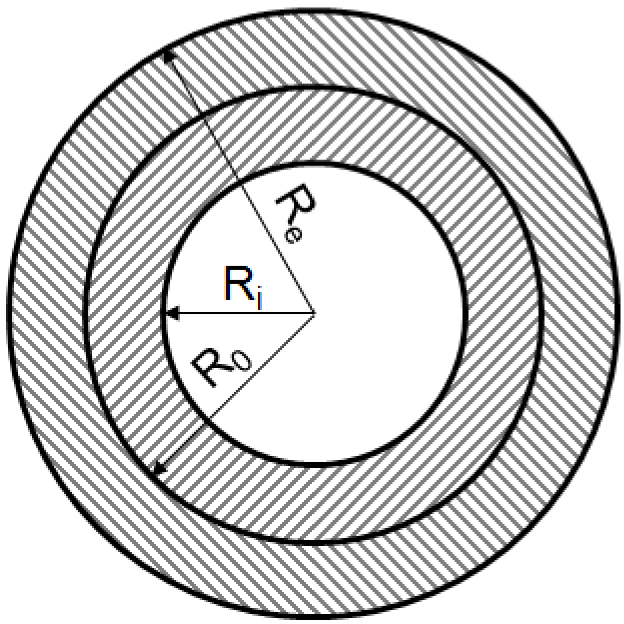


Fig. 1.1

$E := 210000MPa$ $\quad \nu := 0.3$ $\quad \sigma_{amm} := 400 \cdot MPa$ $\quad p_0 := 150 \cdot MPa$

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

$i_{min} := 0.02 \cdot mm$ $\quad i_{max} := 0.04 \cdot mm$

Si ricordano, se ritenute utili, le espressioni generali 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. e della relazione tra interferenza e pressione di contatto

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

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

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

Quesito 1

La pressione di contatto che si produce con l'interferenza minima è data da:

$$p_{cmin} := \frac{E\cdot\left(R_e^2 - R_c^2\right)\cdot\left(R_c^2 - R_i^2\right)}{2\cdot R_c^3\cdot\left(R_e^2 - R_i^2\right)}\cdot i_{min} = 16.653\cdot MPa$$

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

Tensioni dovute al forzamento

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

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

$$\sigma_{idT\_f\_min}(r) := \max\left(\left|\sigma_{\theta\theta f\_min}(r) - \sigma_{rrf\_min}(r)\right|, \left|\sigma_{\theta\theta f\_min}(r)\right|, \left|\sigma_{rrf\_min}(r)\right|\right)$$

Tensioni dovute alla pressione interna

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

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

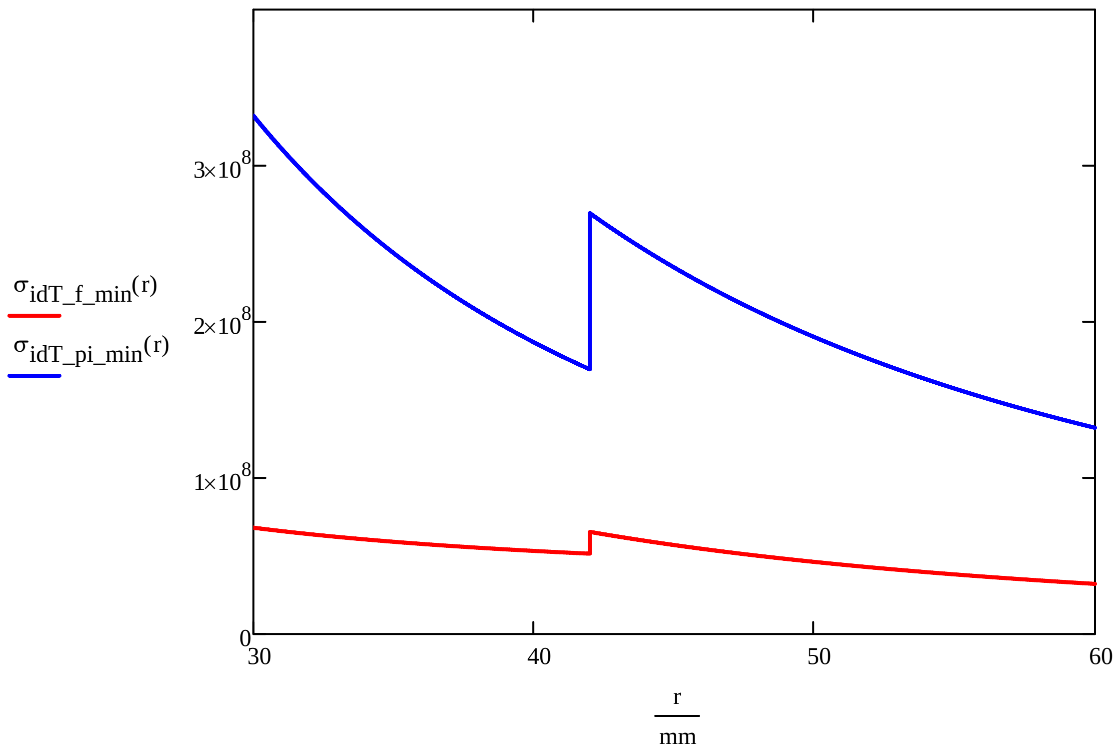
Tensioni totali

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

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

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

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



$$\sigma_{idT\_pi\_min}(R_i) = 332 \cdot MPa \quad < \quad \sigma_{amm} = 400 \cdot MPa$$

Quesito 2

La pressione di contatto che si produce con l'interferenza massima è data da:

$$p_{cmax} := \frac{E\cdot\left(R_e^2 - R_c^2\right)\cdot\left(R_c^2 - R_i^2\right)}{2\cdot R_c^3\cdot\left(R_e^2 - R_i^2\right)}\cdot i_{max} = 33.306\cdot MPa$$

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

Tensioni dovute al forzamento

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

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

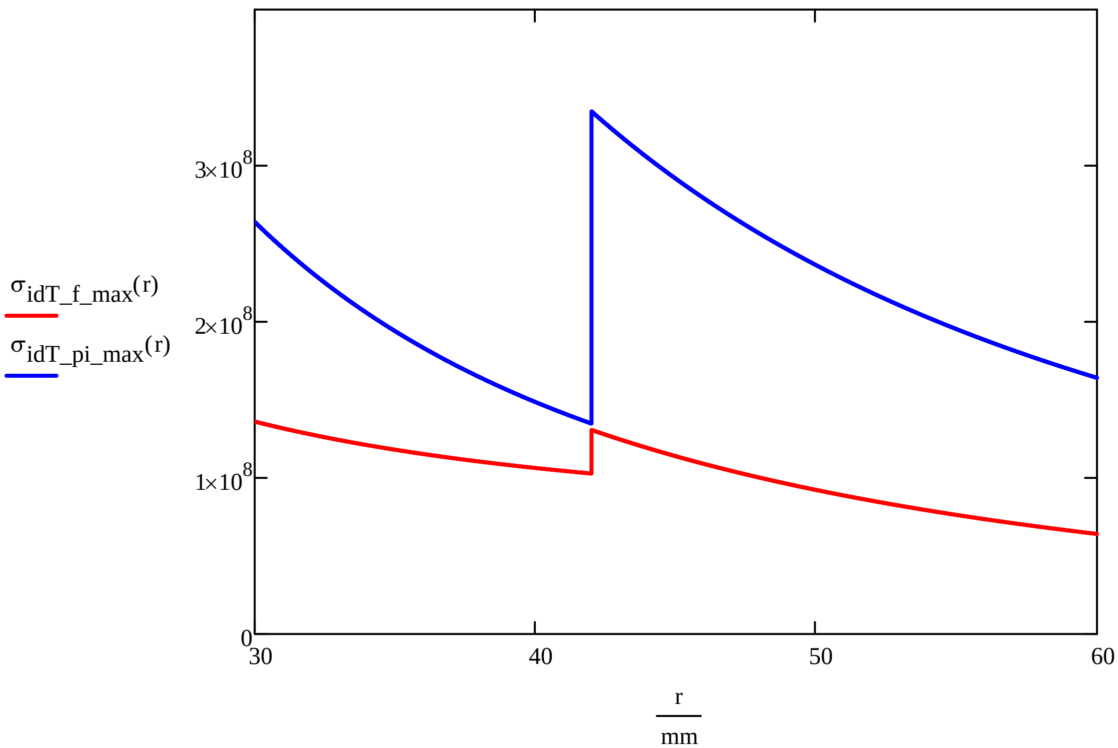
$$\sigma_{idT\_f\_max}(r) := \max\left(\left|\sigma_{\theta\theta f\_max}(r) - \sigma_{rrf\_max}(r)\right|, \left|\sigma_{\theta\theta f\_max}(r)\right|, \left|\sigma_{rrf\_max}(r)\right|\right)$$

Tensioni totali

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

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

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



$\sigma_{idT\_pi\_max}(R_c) = 334.694 \cdot MPa$ < $\sigma_{amm} = 400 \cdot MPa$

Esercizio 2

Il recipiente in acciaio mostrato in Fig. 2.1 è appoggiato agli estremi a 2 selle, sollecitato da un carico uniformemente distribuito w_2 ed internamente pressurizzato con pressione p_2. Il recipiente presenta una saldatura longitudinale controllata con sistema US avente la soglia di POD al 90% per una frattura semiellttica con b=a=1 mm.
Quale deve essere la tenacità minima del materiale, considerando che la frattura possa giacere in corrispondenza della saldatura sul piano "x-y" oppure sul piano "y-z"?

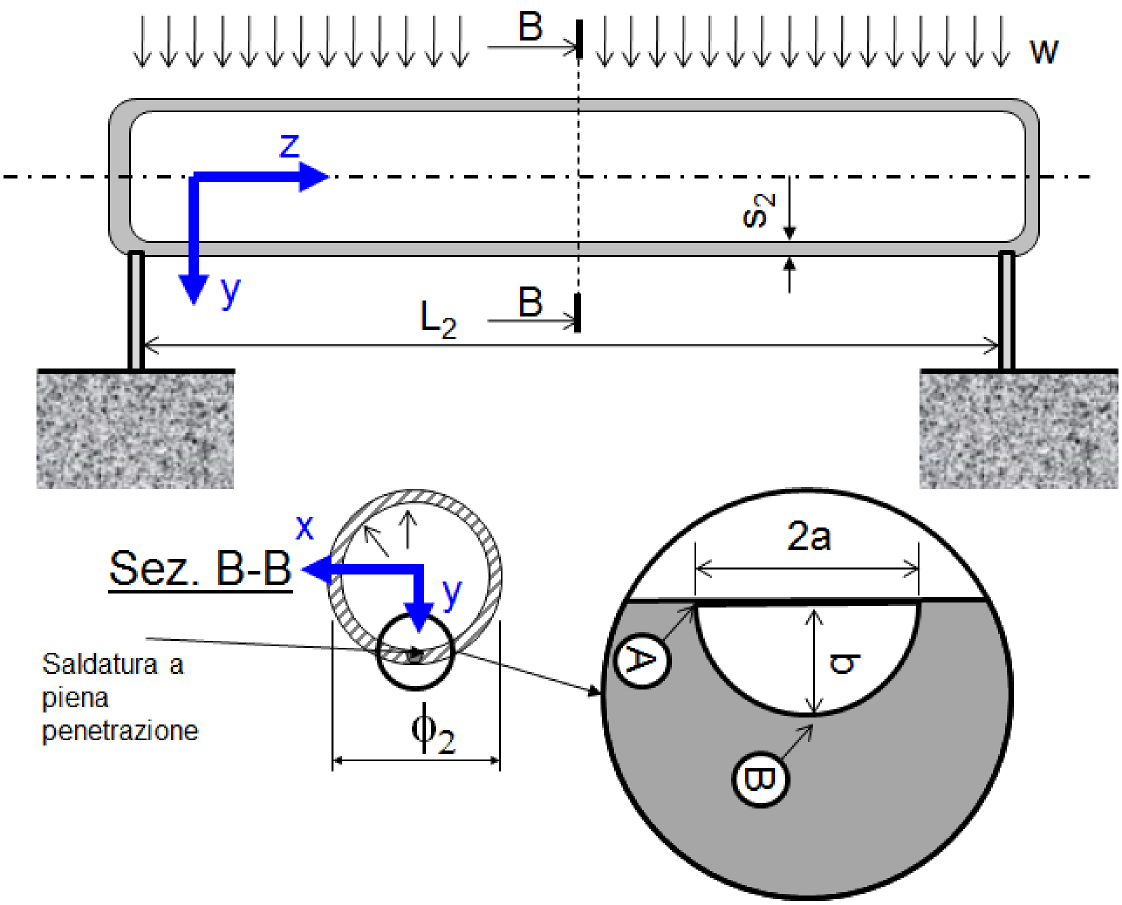


Fig. 2.1

$s_2 := 5 \cdot mm$ $\quad \Phi_2 := 1000 \cdot mm$ $\quad L_2 := 5 \cdot m$ $\quad a_2 := 1 \cdot mm$ $\quad b_2 := 1 \cdot mm$

$w_2 := 100 \cdot \frac{N}{mm}$ $\quad p_2 := 5 \cdot MPa$

$\beta_A := 1$ $\quad \beta_B := 1.12$ $\quad$ Fattori correttivi per calcolo K_I

Momento flettente massimo (da modello trave appoggiata):

$$M_2 := \frac{w_2 \cdot L_2^{\,2}}{8} = 3.125 \times 10^5 \cdot N \cdot m$$

Momento di inerzia sezione

$$J_2 := \frac{\pi \cdot \left[\left(\Phi_2 + s_2\right)^4 - \left(\Phi_2 - s_2\right)^4\right]}{64} = 1.964 \times 10^9 \cdot mm^4$$

Tensioni nominali

$$\sigma_{zz} := \frac{M_2}{J_2} \cdot \frac{\Phi_2}{2} + \frac{p_2 \cdot \Phi_2}{4 \cdot s_2} = 329.575 \cdot MPa$$

$$\sigma_{\theta\theta} := \frac{p_2 \cdot \Phi_2}{2 \cdot s_2} = 500 \cdot MPa$$

Calcolo tenacità minima richiesta

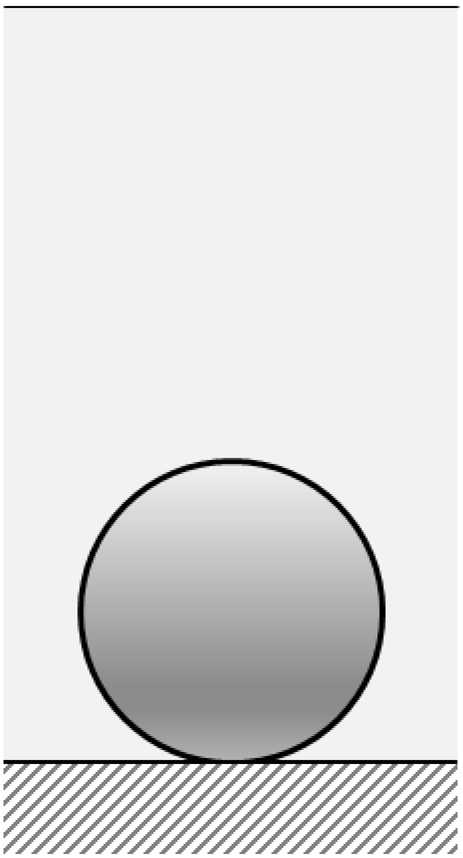
La situazione più critica si verifica per una frattura giacente sul piano "y-z", dato che la tensione $\sigma_{\theta\theta}$ è maggiore della σ_{zz}.
Inoltre, è sufficiente considerare il punto B, in quanto $\beta_B > \beta_A$.

$$K_{IC\_min} := \sigma_{\theta\theta} \cdot \beta_B \cdot \sqrt{\pi \cdot b_2} = 31.388 \cdot MPa \cdot \sqrt{m}$$

Esercizio 3

Una sfera cava in piombo, mostrata nella Figura 3.1, è immersa in acqua alla temperatura ambiente ed internamente pressurizzata alla pressione p_3.

Il materiale della sfera subisce creep a temperatura ambiente (sono forniti i parametri della relativa legge di Norton).
Calcolare il tempo necessario perché la sfera riemerga, trascurando gli effetti della deformazione da creep sullo stato di tensione interno alla sfera stessa e le variazioni di volume dovute alla deformazione elastica.



$R_3 := 1 \cdot m$ Raggio esterno della sfera

$s_3 := 35 \cdot mm$ Spessore della sfera

$p_3 := 0.5 \cdot bar$

$\rho_3 := 11340 \cdot \frac{kg}{m^3}$ Densità Pb

$B_3 := 8.02 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{s}$

$n_3 := 2.5$

$\frac{d}{dt}\varepsilon := B \cdot \sigma^n$

Parametri legge di Norton: (velocità di deformazione in s^{-1}, tensione in MPa)

$$\rho_{H2O} := 1000 \cdot \frac{kg}{m^3}$$ Densità acqua

$$\sigma := \frac{p_3 \cdot \left(R_3 - \frac{s_3}{2}\right)}{2 \cdot s_3} = 0.702 \cdot MPa$$ Tensione nella sfera

$$V_3 := \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot \left[\left(R_3\right)^3 - \left(R_3 - s_3\right)^3\right] = 0.425 \cdot m^3$$ Volume iniziale materiale sfera

$$W_s := V_3 \cdot \rho_3 = 4.815 \times 10^3 \, kg$$ Massa della sfera

$$V_{lim} := \frac{W_s}{\rho_{H2O}} = 4.815 \cdot m^3$$ Volume richiesto per il galleggiamento

$$R_{lim} := \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_{lim}}{4 \cdot \pi}} = 1.048 \, m$$ Raggio esterno richiesto per galleggiamento

$$\varepsilon_{lim} := \frac{R_{lim} - R_3}{R_3} = 0.048$$ Deformazione

$$t_{emer} := \frac{\varepsilon_{lim}}{B_3 \cdot \left(\frac{\sigma}{MPa}\right)^{n_3}} = 3.991 \cdot hr$$ Tempo per l'emersione