COSTRUZIONI DI APPARECCHIATURE CHIMICHE

Gli studenti che presentano il progetto devono svolgere solo gli esercizi n° 1 e 2 (o 3).

Gli studenti che non presentano il progetto devono svolgere tutti e tre gli esercizi.

Esame del 23/02/2011

ESERCIZIO 1

Un silent-block è ottenuto forzando un anello torico di materiale elastomerico ($E = 2.5\text{MPa}$, ν=0.49) avente sezione nominale quadrata ($a = 20\text{mm}$) tra un perno e un anello esterno disposti coassialmente e realizzati in materiale metallico che possono essere considerati infinitamente rigidi. Come mostrato in figura 1, le interferenze radiali sono date da: $\Delta_i = 0.8\text{mm}$ e $\Delta_e = 0.6\text{mm}$.

a) Tracciare l'andamento quotato delle tensioni nell'elastomero dopo il montaggio in funzione della distanza r dall'asse del perno.

Fissato il perno centrale al telaio e assunto un coefficiente di attrito $\mu = 0.75$ tra elastomero e metallo:

b) determinare il massimo momento assiale M_0 che può essere applicato all'anello esterno prima che si verifichi lo slittamento relativo tra anello e perno, indicando la superficie in cui tale slittamento è previsto;
c) con il silent-block sollecitato da un momento assiale di intensità $0.5 \cdot M_0$, determinare la massima forza assiale applicabile all'anello esterno prima dello slittamento.

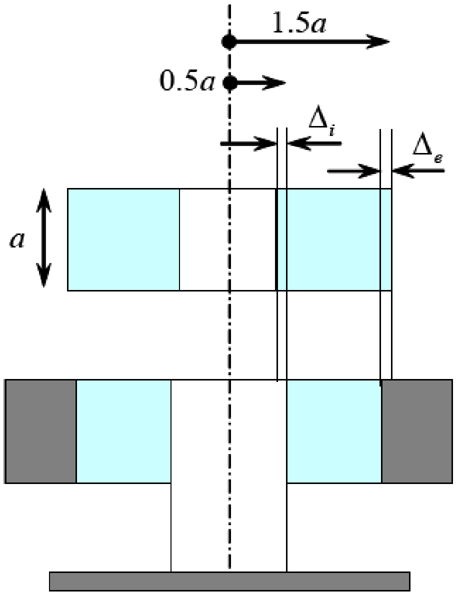


Figura 1

$E := 2.5\cdot MPa$ $\quad \nu := 0.49$ $\quad \Delta_i := 0.8\cdot mm$ $\quad \Delta_e := 0.6\cdot mm$ $\quad a := 20\cdot mm$

$R_i := 0.5\cdot a = 10\cdot mm$ $\quad R_e := 1.5\cdot a = 30\cdot mm$ $\quad \mu := 0.75$

Risposta a)

$p_i := 1 \cdot MPa$ $\qquad\qquad$ $p_e := 1 \cdot MPa$

Given

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

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

$P := \text{Find}(p_i, p_e)$

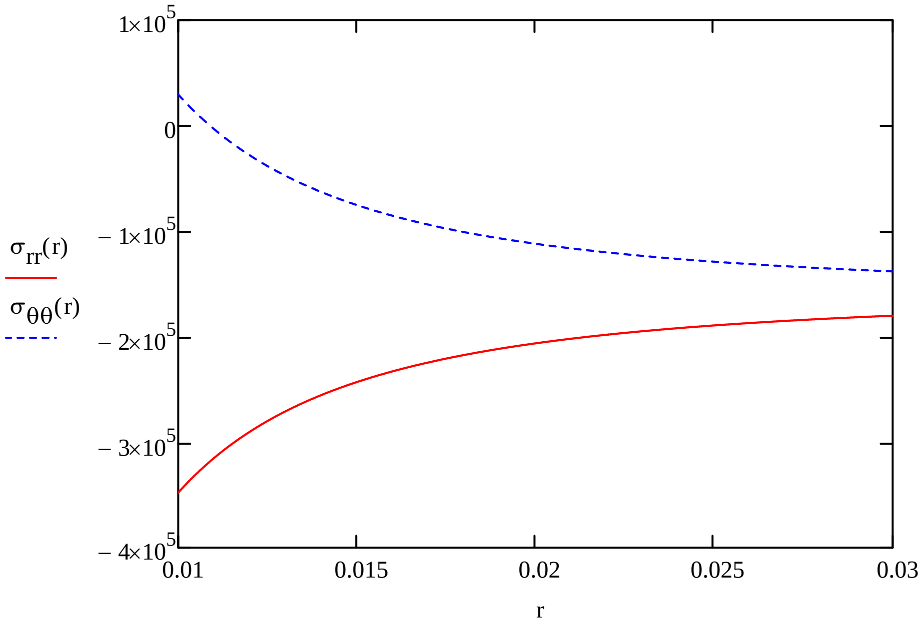
$p_i := P_0 = 0.348 \cdot MPa$

$p_e := P_1 = 0.18 \cdot MPa$

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

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

$r := R_i, R_i + 0.01 \cdot mm .. R_e$



Risposta b)

$M_{mxi} := \mu \cdot p_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_i^{\,2} \cdot a = 3.281 \cdot N \cdot m$ Momento trasmissibile

$M_{mxe} := \mu \cdot p_e \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_e^{\,2} \cdot a = 15.292 \cdot N \cdot m$

Risposta c)

$$\tau_z := \frac{0.5 \cdot M_{mxi}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^{\,2} \cdot a} = 0.131 \cdot MPa$$

$$\tau_a := \left[\sqrt{\left(\mu \cdot p_i\right)^2 - \tau_z^{\,2}} \right] = 0.226 \cdot MPa$$

$F_{amx} := \tau_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot a = 284.1\ N$

ESERCIZIO 2

Il recipiente cilindrico in pressione mostrato in Figura 2 reca una saldatura circonferenziale a piena penetrazione a metà della sua lunghezza.
Il peso complessivo del recipiente e del suo contenuto è pari a W.
Si conduca la verifica della saldatura.
Dati:

- L = 4500 mm
- p = 1 MPa - pressione interna
- W = 450 kN – peso complessivo
- sp = 5 mm - spessore recipiente
- Φ = 1500 mm
- $\sigma_{amm,base}$ = 240 MPa – tensione ammissibile materiale base
- f = 1 - efficienza della saldatura

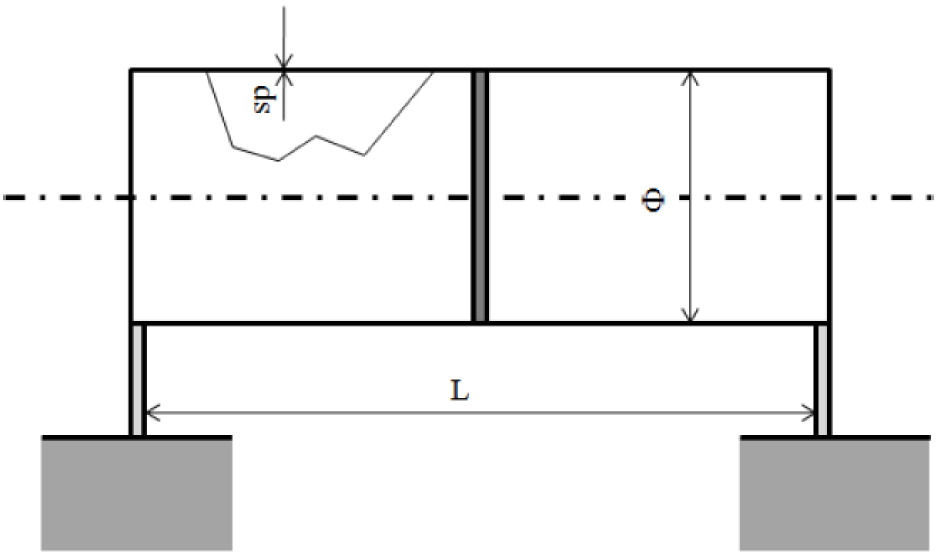


Figura 2

$\phi := 1500 \cdot mm$ $sp := 5 \cdot mm$ $L := 4500 \cdot mm$ $W := 450 \cdot kN$

$p := 1 \cdot MPa$ $\sigma_{amm} := 240 \cdot MPa$ $f := 1$

Caratteristiche sezione

$$J_x := \pi \cdot \frac{\left[\phi^4 - (\phi - 2 \cdot sp)^4\right]}{64} = 6.561 \times 10^{-3} m^4$$

Momento flettente massimo

$$M_{max} := \frac{1}{8} \cdot W \cdot L$$

Tensioni

$$\sigma_{ortM} := \frac{M_{max}}{J_x} \cdot \frac{\phi}{2} = 28.936 \cdot MPa$$

Tensione da momento (ortogonale)

$$\sigma_{ortp} := \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}}{\pi \cdot \phi \cdot sp} = 75 \cdot MPa$$

Tensione da pressione (ortogonale)

$$\sigma_{parp} := p \cdot \frac{\phi}{2 \cdot sp} = 150 \cdot MPa$$

Tensione da pressione (parallela)

Verifica

$$\sigma_{eq} := \sqrt{\left(\sigma_{ortp} + \sigma_{ortM}\right)^2 + \sigma_{parp}{}^2 - \sigma_{parp} \cdot \left(\sigma_{ortp} + \sigma_{ortM}\right)}$$

$\sigma_{eq} = 133.088 \cdot MPa$ $<$ $\sigma_{amm} \cdot f = 240 \cdot MPa$

ESERCIZIO 3

La tubazione mostrata in Fig. 3 opera ad una temperatura di 550°C, alla quale le tensioni assiali agenti per una lunghezza della tubazione pari ad L_0 sono nulle.
A causa di un cedimento vincolare, la tubazione viene obbligata, al tempo $t_0=0$, ad allungarsi della quantità ΔL, mentre la temperatura si mantiene costante.
Per la suddetta tubazione:

- si calcoli la tensione assiale agente nel tubo al tempo t_0
- si calcoli la tensione assiale agente nel tubo al tempo $t_F=5000$ ore.
- si conduca la verifica contro la rottura per creep, facendo uso del valore medio (aritmetico) di tensione agente nell'intervallo t_0-t_F.

Dati:

- $L_0 = 6$ m
- $\Delta L = 10$ mm
- sp = 10 mm - spessore tubazione
- $\Phi = 1000$ mm – diametro tubazione
- E=150000 MPa – modulo di Young del materiale della tubazione a 550 °C
- $\frac{d\varepsilon}{dt} = 5.078 \cdot 10^{-18} \cdot \sigma^{3.545}$ velocità di creep secondario (legge di Norton) del materiale della tubazione (tensioni in MPa, risultato in 1/s)
- $T_R = \left(\frac{450}{\sigma}\right)^9$ tempo a rottura per creep del materiale della tubazione a 550°C (tensioni in MPa, risultato in ore)

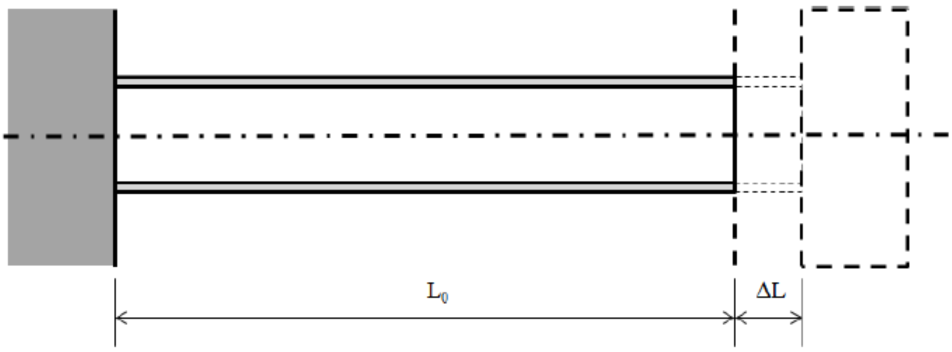


Figura 3

$L_0 := 6000 \cdot mm$ $\quad h := 3600 \cdot s$ $\quad \Delta L := 10 \cdot mm$

$\phi := 1000 \cdot mm$

$sp := 10 \cdot mm$ $\quad n := 3.545$ $\quad B := 5.078 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{1}{s}$

$E_{young} := 150000 \cdot MPa$ $\quad C := 450$ $\quad n_R := 9$

Tensione al tempo t=0

$$\sigma_0 := \frac{\Delta L}{L_0}\cdot E_{young} = 250\cdot MPa$$

Tensione dopo 5000 h

$$t_h := 0, 100 .. 5000\cdot 3600$$

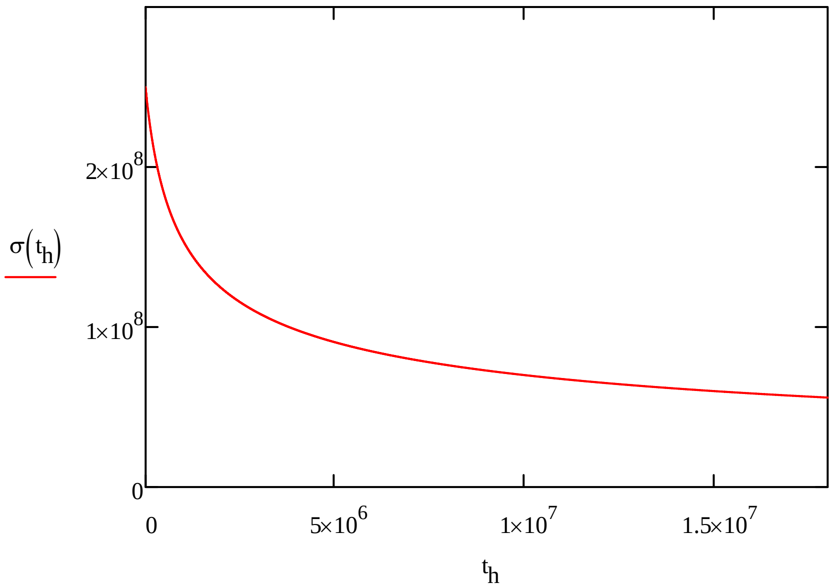
$$\sigma(t_h) := \left[\left(\frac{\sigma_0}{1\cdot MPa}\right)^{1-n} + (n-1)\cdot B\cdot\left(\frac{E_{young}}{1\cdot MPa}\right)\cdot t_h\cdot s\right]^{\frac{1}{1-n}}\cdot MPa$$

$$\sigma(5000\cdot 3600) = 55.919\cdot MPa$$

Verifica a rottura

$$\sigma_{med} := \frac{\sigma(0) + \sigma(5000\cdot 3600)}{2} = 152.96\cdot MPa$$

$$5000\cdot h < \left(\frac{C}{\frac{\sigma_{med}}{MPa}}\right)^{n_R}\cdot hr = 1.651\times 10^4\cdot hr$$



$$\frac{\ln\left(\frac{9.45}{4.64}\right)}{\ln\left(\frac{550}{450}\right)} = 3.545$$

$$B := e^{\left(\ln\left(9.45\cdot 10^{-5}\right) - n\cdot\ln(550)\right)} = 1.823 \times 10^{-14}$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma(0) + \sigma(5000\cdot 3600)}{2} = 152.96\cdot\mathrm{MPa}$$

$$t_R := \left(\frac{450}{\frac{\sigma_m}{1\cdot\mathrm{MPa}}}\right)^9 = 1.651 \times 10^4$$