COSTRUZIONI DI APPARECCHIATURE CHIMICHE

Esame del 27-06-2012

ESERCIZIO 1

Il recipiente in figura 1,1 è ottenuto incollando coassialmente a fondi metallici, che possono essere considerati rigidi, due tubi di PVC ($E = 2.6\text{GPa}$, $\nu = 0.3$ e $\sigma_{am} = 55\text{MPa}$) aventi spessore $h = 2\text{mm}$ e diametri $\phi_1 = 450\text{mm}$, $\phi_2 = 600\text{mm}$ con $l = 4\phi_1$. L'intercapedine tra i due tubi viene collegata a una pompa per il vuoto.

a) Trascurando gli effetti di bordo, determinare il minimo valore p_0 della pressione assoluta sopportabile dal recipiente con un coefficiente di sicurezza $\eta = 5$.

Con la pressione valutata in a):

b) determinare la variazione di diametro del recipiente esterno

c) assumendo i tubi come gusci, fornire le caratteristiche di sollecitazione per entrambi.

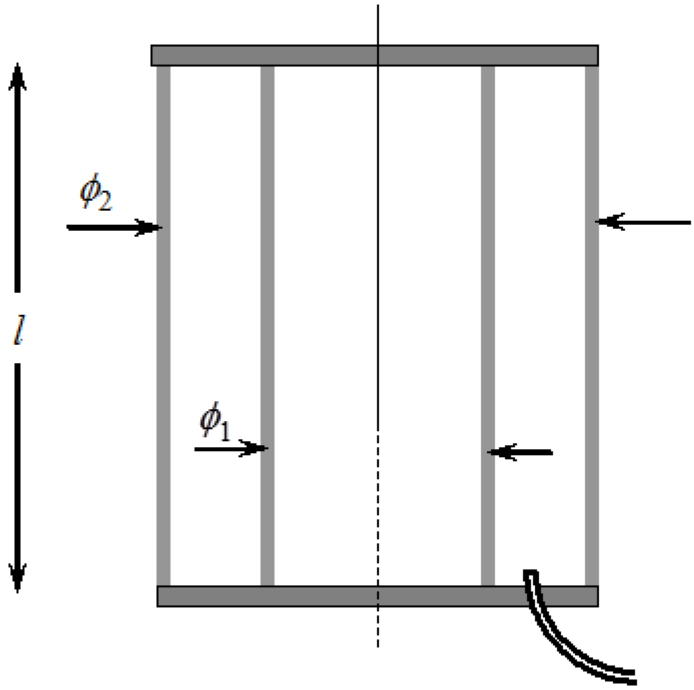


Fig. 1.1

Soluzione

$E := 2.6 \cdot \text{GPa}$ $\quad \nu := 0.3$ $\quad \sigma_{am} := 55 \cdot \text{MPa}$ $\quad \eta := 5$

$h := 2 \cdot \text{mm}$ $\quad \Phi_1 := 450 \cdot \text{mm}$ $\quad \Phi_2 := 600 \cdot \text{mm}$ $\quad l := 4 \cdot \Phi_1 = 1.8 \times 10^3 \cdot \text{mm}$

Risposta a)

$$\sigma_{\theta 2} := -\frac{\Delta p \cdot \Phi_2}{2 \cdot h} \qquad \sigma_{\theta 1} := \frac{\Delta p \cdot \Phi_1}{2 \cdot h}$$

Equilibrio assiale

$$\sigma_{\varphi 1} \Phi_1 \cdot h + \sigma_{\varphi 2} \cdot \Phi_2 \cdot h + \frac{\Delta p}{4} \cdot \left(\Phi_2^{\ 2} - \Phi_1^{\ 2} \right) := 0$$

Uguale deformazione assiale per i due cilindri collegati a piastra rigida

$$\sigma_{\varphi 1} - \nu \cdot \sigma_{\theta 1} := \sigma_{\varphi 2} - \nu \cdot \sigma_{\theta 2}$$

Elaborazioni

$$\sigma_{\varphi 1} := \sigma_{\varphi 2} + \nu \cdot \frac{\Delta p}{2 \cdot h} \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right)$$

$$\left[\sigma_{\varphi 2} + \nu \cdot \frac{\Delta p}{2 \cdot h} \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) \right] \Phi_1 \cdot h + \sigma_{\varphi 2} \cdot \Phi_2 \cdot h + \frac{\Delta p}{4} \cdot \left(\Phi_2^{\ 2} - \Phi_1^{\ 2} \right) := 0$$

$$\sigma_{\varphi 2}(\Delta p) := -\left[\frac{\Delta p}{2} \cdot \frac{\left[\nu \cdot \Phi_1 \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\Phi_2^{\ 2} - \Phi_1^{\ 2} \right) \right]}{\left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) \cdot h} \right]$$

$$\sigma_{\varphi 1}(\Delta p) := \sigma_{\varphi 2}(\Delta p) + \nu \cdot \frac{\Delta p}{2 \cdot h} \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right)$$

$$\sigma_{\theta 2}(\Delta p) := -\frac{\Delta p \cdot \Phi_2}{2 \cdot h} \qquad \sigma_{\theta 1}(\Delta p) := \frac{\Delta p \cdot \Phi_1}{2 \cdot h}$$

Si può notare subito che il coefficiente di proporzionalità tra $\sigma_{\varphi 1}$ e Δp é positivo, mentre quello tra $\sigma_{\varphi 2}$ e Δp é negativo. Si conclude che le tensioni nei due cilindri hanno lo stesso segno e, di conseguenza, la tensione ideale è data dalla più grande delle due tensioni circonferenziali in valore assoluto

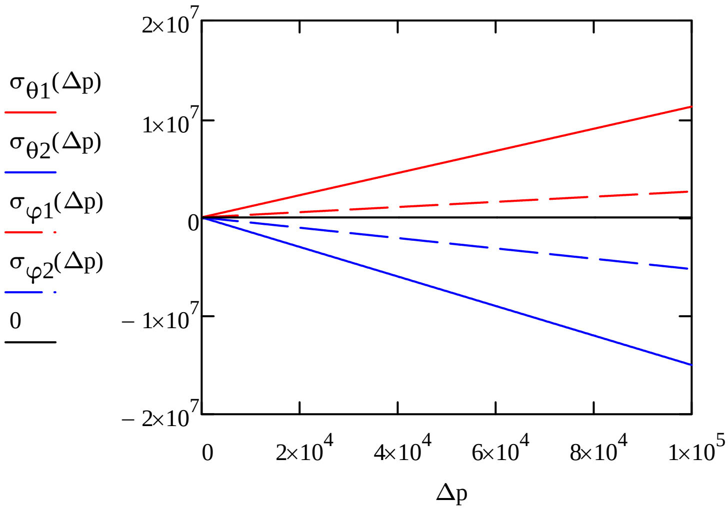
$$\nu \cdot \frac{1}{2 \cdot h} \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\left[\nu \cdot \Phi_1 \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\Phi_2^{\ 2} - \Phi_1^{\ 2} \right) \right]}{\left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) \cdot h} = 26.25$$

$\sigma_{\varphi 1}$ e Δp

$$-\left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\left[\nu \cdot \Phi_1 \cdot \left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\Phi_2^{\ 2} - \Phi_1^{\ 2} \right) \right]}{\left(\Phi_2 + \Phi_1 \right) \cdot h} \right] = -52.5$$

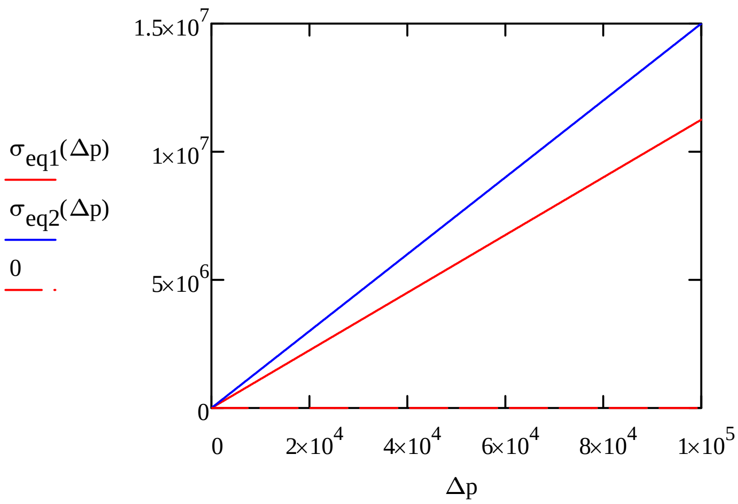
$\sigma_{\varphi 2}$ e Δp

Questo è confermato anche dal grafico seguente:



$$\sigma_{eq1}(\Delta p) := \left|\sigma_{\theta 1}(\Delta p)\right|$$

$$\sigma_{eq2}(\Delta p) := \left|\sigma_{\theta 2}(\Delta p)\right|$$



La tensione ideale massima si verifica nel corpo 2 per cui si ha:

$$\Delta p_{max} := \frac{\sigma_{am} \cdot 2 \cdot h}{\Phi_2 \cdot \eta} = 0.073 \cdot \mathrm{MPa}$$

$$p_{min} := 0.1 \cdot \mathrm{MPa} - \Delta p_{max} = 0.027 \cdot \mathrm{MPa}$$

Risposta b)

$\sigma_{\theta 2}\left(\Delta p_{max}\right) = -11 \cdot MPa$

$\sigma_{\varphi 2}\left(\Delta p_{max}\right) = -3.85 \cdot MPa$

$$\varepsilon_{\theta 2} := \frac{\left(\sigma_{\theta 2}\left(\Delta p_{max}\right) - \nu \cdot \sigma_{\varphi 2}\left(\Delta p_{max}\right)\right)}{E} = -3.787 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\Phi := \Phi_2 \cdot \varepsilon_{\theta 2} = -2.272 \cdot mm$$

Risposta c)

$$N_{\varphi 1} := \sigma_{\varphi 1}\left(\Delta p_{max}\right) \cdot h = 3.85 \cdot \frac{N}{mm}$$

$$N_{\theta 1} := \sigma_{\theta 1}\left(\Delta p_{max}\right) \cdot h = 16.5 \cdot \frac{N}{mm}$$

$$N_{\varphi 2} := \sigma_{\varphi 2}\left(\Delta p_{max}\right) \cdot h = -7.7 \cdot \frac{N}{mm}$$

$$N_{\theta 2} := \sigma_{\theta 2}\left(\Delta p_{max}\right) \cdot h = -22 \cdot \frac{N}{mm}$$

ESERCIZIO 2

Nella Fig. 2.1 è mostrata una trave a sbalzo sostenuta, a metà lunghezza, da un'asta incernierata.
In esercizio l'asta raggiunge una temperatura di circa 600 °C ed è soggetta a fenomeni di creep, con leggi caratterizzate da:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = 5.078 \cdot 10^{-18} \cdot \sigma^{4.08}$$ Legge di Norton

$$T_R = \left(\frac{370}{\sigma}\right)^9$$ tempo a rottura per "creep"

Calcolare dopo quanto tempo l'estremità della trave si sarà abbassata di 10 cm. Verificare inoltre che, in tale tempo, l'asta non pervenga a rottura.
Nelle analisi, si trascuri il peso proprio della trave orizzontale e dell'asta.

Dati:

$L_0 := 10 \cdot m$ $M_0 := 1500 \cdot kg$

$\Phi_0 := 30 \cdot mm$ Diametro asta verticale

$B_0 := 5.078 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{1}{s}$ Coefficienti legge di Norton

$m_0 := 4.08$

$A_R := 370$ Coefficienti legge tempo a rottura per creep

$n_R := 9$

$\Delta L := 10 \cdot cm$ Allungamento ammesso

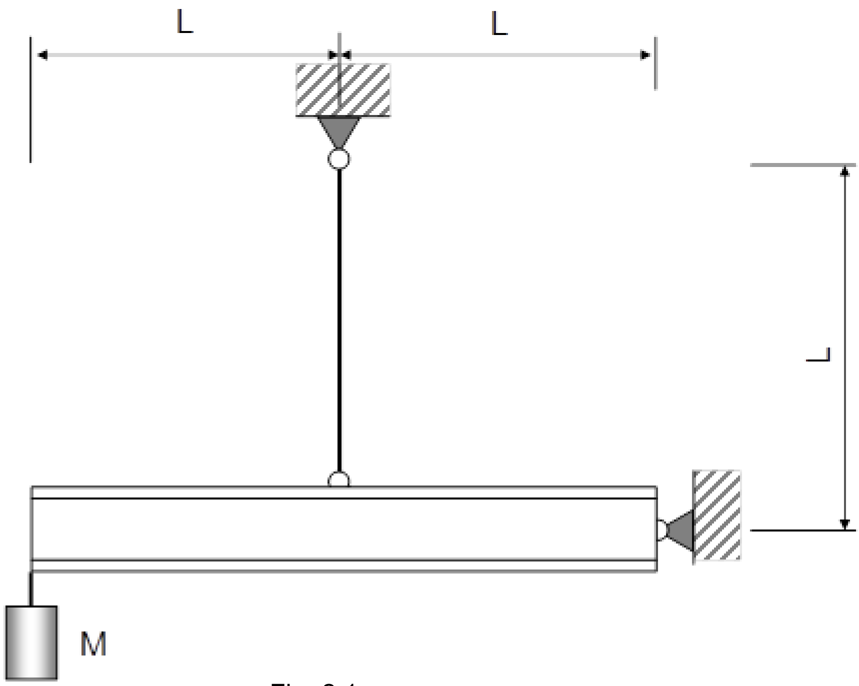


Fig. 2.1

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_0^{\ 2}}{4} = 7.069 \times 10^{-4}\,m^2$$ Area sezione asta

$$N_V := M_0 \cdot g \cdot 2$$ Forza normale asta

$$\sigma_V := \frac{N_V}{A_0} = 41.621 \cdot MPa$$ Tensione asta

$$\varepsilon_p := B_0 \cdot \left(\frac{\sigma_V}{MPa}\right)^{m_0} = 2.053 \times 10^{-11}\,\frac{1}{s}$$ Velocità di creep

$$\Delta t := \frac{\Delta L}{2L_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon_p} = 6.764 \times 10^4 \cdot hr$$ tempo per abbassamento 10 cm

$$T_R := \left[\frac{A_R}{\left(\frac{\sigma_V}{MPa}\right)}\right]^{n_R} = 3.468 \times 10^8$$ verifica a rottura

ESERCIZIO 3

Il tubo in acciaio mostrato in Fig. 3.1 è collegato alla parete con una flangia a quattro bulloni. Esso è soggetto all'azione del solo peso proprio.
Condurre la verifica ad attrito dei bulloni.

Dati

$M_0 := 120 \cdot kg$ $\quad d_1 := 250 \cdot mm$ $\quad d_2 := 300 \cdot mm$

$\Phi_V := 300 \cdot mm$ $\quad \Phi_B := 280 \cdot mm$ $\quad W_M := 180 \cdot kg$

$n_b := 8$ $\quad \Phi_b := 10 \cdot mm$ $\quad \sigma_{bamm} := 550 \cdot MPa$

$\psi := 1.5$ $\quad f_0 := 0.3$

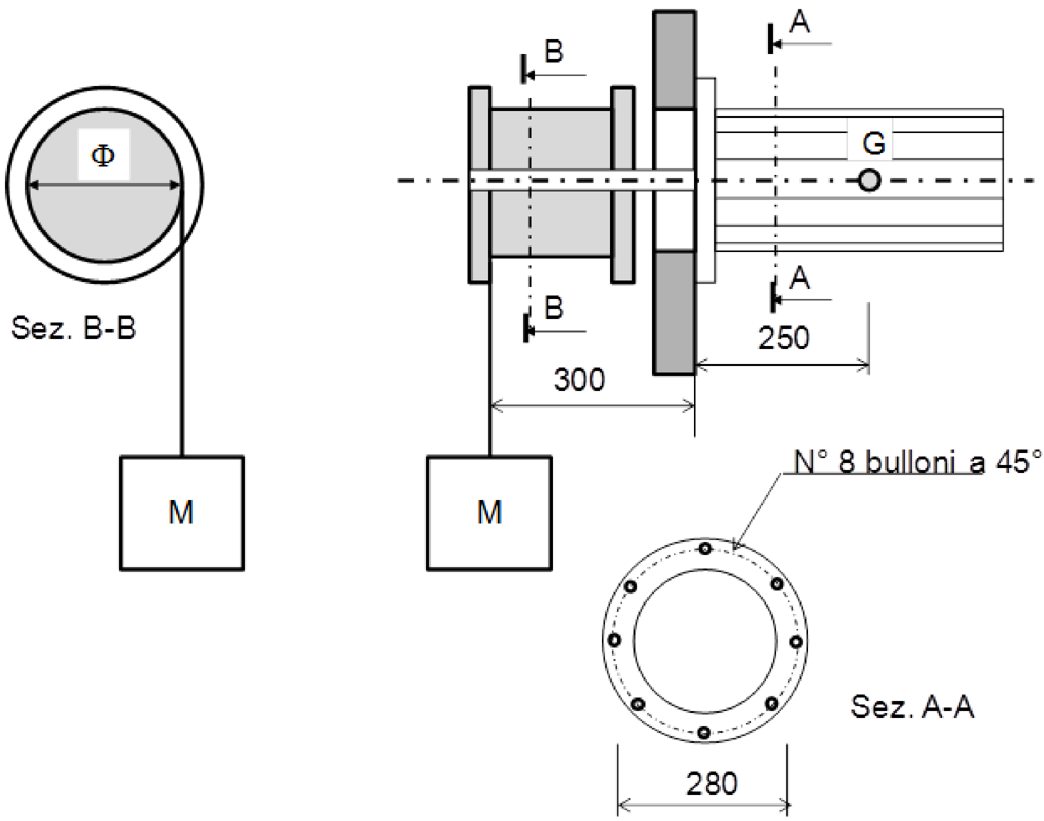


Fig. 3.1

Forze agenti sul giunto

$$F_Y := (M_0 + W_M) \cdot g = 2.942 \times 10^3 \, N$$

$$M_X := M_0 \cdot g \cdot d_2 - W_M \cdot g \cdot d_1 = -88.26 \cdot N \cdot m$$

$$M_Z := M_0 \cdot g \cdot \frac{\Phi_V}{2} = 176.52 \cdot N \cdot m$$

Azioni sui bulloni

$$T_{iY} := \frac{F_Y}{n_b} = 367.749 \, N$$ Taglio da Fy

$$T_{iZ} := \frac{M_Z}{n_b \cdot \frac{\Phi_B}{2}} = 157.607 \, N$$ Taglio da Mz

$$T_i := T_{iY} + T_{iZ} = 525.356 \, N$$ taglio totale

$$N_i := \frac{|M_X| \cdot \frac{\Phi_B}{2}}{\left[4 \cdot \left(\frac{\Phi_B}{2 \cdot \sqrt{2}}\right)^2 + 2 \left(\frac{\Phi_B}{2}\right)^2\right]} = 157.607 \, N$$ Normale da Mx

Dati bullone

$$A_b := \pi \cdot \frac{\Phi_b^{\,2}}{4} = 7.854 \times 10^{-5} \, m^2$$

$$N_0 := 0.8 \cdot \sigma_{bamm} \cdot A_b = 3.456 \times 10^4 \, N$$

Verifica

$N_i = 157.607 \, N$ < $0.8 \cdot N_0 = 2.765 \times 10^4 \, N$ OK

$T_i = 525.356 \, N$ < $\frac{f_0 \cdot (N_0 - N_i)}{\psi} = 6.88 \times 10^3 \, N$ OK