## *COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE*
## *ESAME DEL 12/06/2013*

### *Esercizio 1*

Il recipiente cilindrico mostrato in Figura 1.1 (Φ=1 m, spessore h=0.5 mm) è riempito sino all'altezza indicata con un liquido di densità ρ=1.8 kg/dm$^3$ e sostenuto da una gonna cilindrica appoggiata a terra. La camera vuota all'estremità superiore del recipiente è pressurizzata con gas alla pressione p.

Il recipiente è costruito in comune acciaio da costruzioni (E=210 GPa, ν=0.3, $\sigma_{amm}$=125 MPa).

Trascurando gli effetti locali ed il peso proprio del recipiente:

1. calcolare la massima pressione imponibile nella camera vuota superiore
2. con il valore di pressione di cui al punto 1, tracciare i diagrammi quotati delle caratteristiche di sollecitazione membranali nelle parti cilindriche del recipiente e della gonna
3. sempre con il valore di pressione di cui al punto 1, calcolare di quanto varia il diametro del recipiente ad un'altezza dal fondo dello stesso pari a 0.5 Φ.

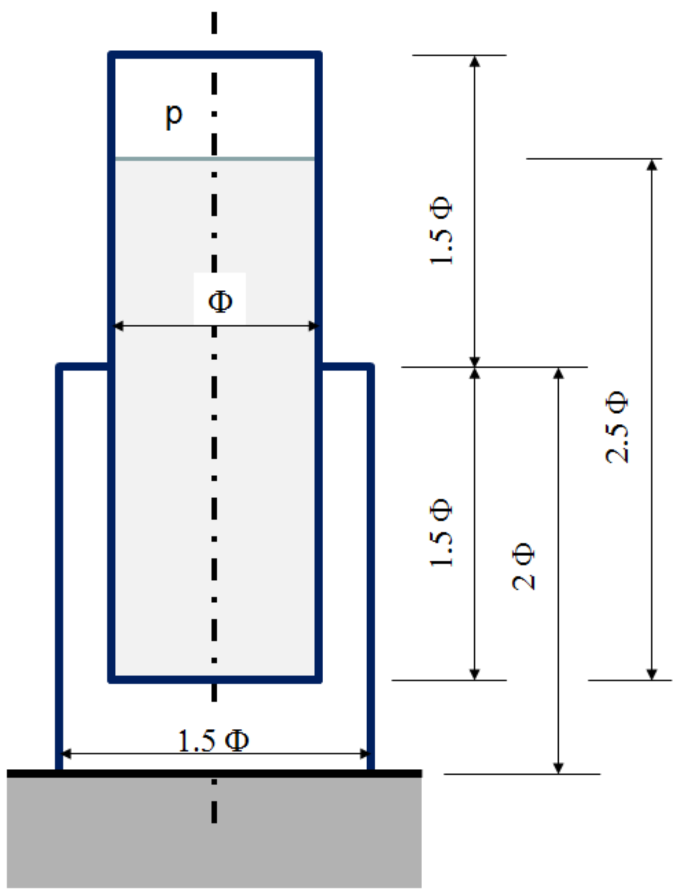



Fig. 1.1

$E := 210000 \cdot MPa \qquad \nu := 0.3 \qquad \Phi := 1000 \cdot mm \qquad \rho := 1.8 \cdot \frac{kg}{l}$

$H_0 := 2.5 \cdot \Phi = 2.5 \times 10^3 \cdot mm \qquad \Phi_2 := 1.5 \cdot \Phi = 1.5 \times 10^3 \cdot mm \qquad h := 0.5 \cdot mm \qquad \sigma_{amm} := 125 \cdot MPa$

**Quesito 1**

Caratteristiche memebranali nel recipiente (1) e nella gonna (2)

$$N_{\varphi 1}(s) := \begin{cases} \dfrac{(\rho \cdot g \cdot H_0 + p) \cdot \pi \cdot \left(\dfrac{\Phi}{2}\right)^2}{\pi \, \Phi} & \text{if } 0 \cdot mm < s < 1.5 \cdot \Phi \\ \dfrac{p_0 \cdot \Phi}{4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{\theta 1}(s) := \begin{cases} \left[\left[\rho \cdot g \cdot (H_0 - s) + p\right] \cdot \dfrac{\Phi}{2}\right] & \text{if } 0 < s < h_0 \\ \dfrac{p \cdot \Phi}{2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tensione ideale massima

$$\sigma_{id} := (\rho \cdot g \cdot H_0 + p_0) \cdot \frac{\Phi}{2 \cdot h}$$

$$p_0 := \sigma_{amm} \cdot \frac{2 \cdot h}{\Phi} - \rho \cdot g \cdot H_0 = 0.081 \cdot MPa$$

massima pressione imponibile nella camera superiore

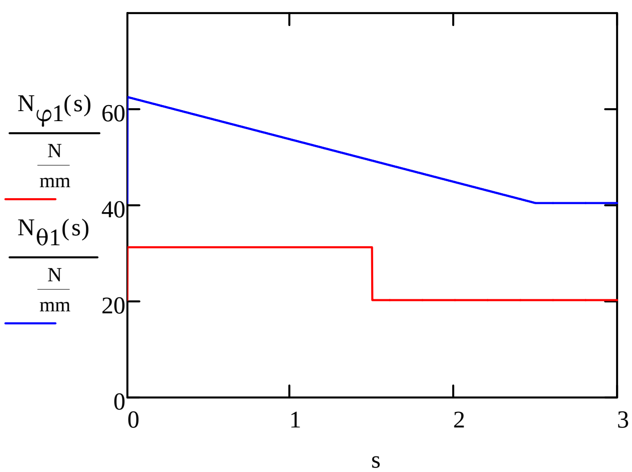
## *Quesito 2*

Diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione mebranali

$$s := 0\cdot mm, 1\cdot mm .. 3\cdot\Phi$$

$$N_{\varphi 1}(s) := \begin{cases} \dfrac{(\rho\cdot g\cdot H_0 + p_0)\cdot\pi\cdot\left(\dfrac{\Phi}{2}\right)^2}{\pi\,\Phi} & \text{if } 0\cdot mm < s < 1.5\cdot\Phi \\ \dfrac{p_0\cdot\Phi}{4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{\theta 1}(s) := \begin{cases} \left[\left[\rho\cdot g\cdot(H_0 - s) + p_0\right]\cdot\dfrac{\Phi}{2}\right] & \text{if } 0\cdot mm < s < H_0 \\ \dfrac{p_0\cdot\Phi}{2} & \text{otherwise} \end{cases}$$




$$N_{\varphi 2} := -\frac{(\rho\cdot g\cdot H_0)\cdot\Phi_2}{4} = -16.549\cdot\frac{N}{mm}$$

$$N_{\theta 2} := 0$$

## *Quesito 3*

$$\varepsilon_\theta := \frac{N_{\theta 1}(0.5\cdot\Phi) - \nu\cdot N_{\varphi 1}(0.5\cdot\Phi)}{h\cdot E} = 4.639\times 10^{-4}$$

$$\Delta\Phi := \varepsilon_\theta\cdot\Phi = 0.464\cdot mm$$

## *Esercizio 2*

Il braccio di torsione mostrato in Figura 2.1 ($\Phi$=1 m) è sollecitato da una forza che varia ciclicamente con valore massimo pari a 7.5 kN e valore minimo pari a zero.
La molla è costruita in acciaio al carbonio (E=210 GPa, $\nu$=0.3, $\sigma_s$=450 MPa), la cui curva S-N è mostrata nella stessa Figura.
Condurre la verifica a fatica a vita infinita della molla (consistente nel solo tubo), facendo uso della relazione di Von Mises per determinare i dati di resistenza a torsione.

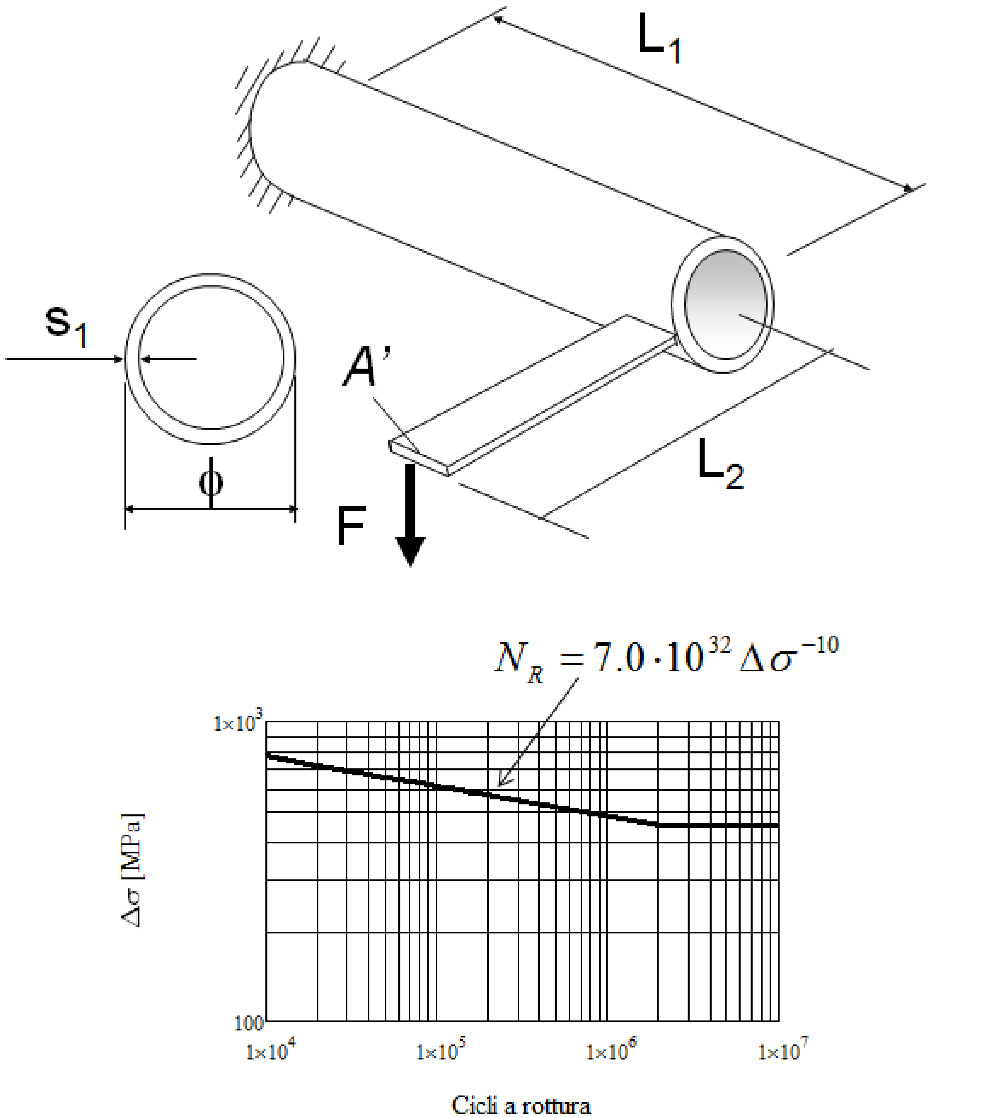



Fig. 2.1

$L_1 := 1200 \cdot mm$ $\quad$ $L_2 := 500 \cdot mm$ $\quad$ $F_0 := 7.5 \cdot kN$

$s_1 := 4 \cdot mm$ $\quad$ $\phi := 120 \cdot mm$ $\quad$ $\sigma_s := 450 \cdot MPa$

Dati materiale

$$\tau_s := \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} = 259.808 \cdot \text{MPa} \qquad \Delta\sigma_{lim} := \left(\frac{2 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^{32}}\right)^{-0.1} \cdot \text{MPa} = 451.239 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\tau_{lim} := \frac{\Delta\sigma_{lim}}{\sqrt{3}} = 260.523 \cdot \text{MPa}$$

Calcolo caratteristiche sollecitazione massime nel tubo

$$T_y := F_0 = 7.5 \cdot \text{kN}$$

$$M_x := F_0 \cdot L_1 = 9 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_z := F_0 \cdot L_2 = 3.75 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Caratteristiche sezione tubolare

$$A_0 := \frac{\pi}{4} \cdot \left[\phi^2 - \left(\phi - 2 \cdot s_1\right)^2\right] = 1.458 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$J_x := \frac{\pi}{64} \cdot \left[\phi^4 - \left(\phi - 2 \cdot s_1\right)^4\right] = 2.455 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$J_p := 2 \cdot J_x$$

Calcolo tensioni

$$\sigma_{max} := \frac{M_x}{J_x} \cdot \frac{\phi}{2} = 219.98 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{max} := \frac{M_z}{J_p} \cdot \frac{\phi}{2} = 45.829 \cdot \text{MPa}$$

Parametri cicli fatica

$\Delta\sigma := \sigma_{max} = 219.98 \cdot MPa$

$\Delta\tau := \tau_{max} = 45.829 \cdot MPa$

$\sigma_m := \dfrac{\sigma_{max}}{2} = 109.99 \cdot MPa$

$\tau_m := \dfrac{\tau_{max}}{2} = 22.915 \cdot MPa$

$$\Delta\sigma_{eff} := \frac{\Delta\sigma \cdot \sigma_s}{\sigma_s - \sigma_m} = 291.142 \cdot MPa$$

$$\Delta\tau_{eff} := \frac{\Delta\tau \cdot \tau_s}{\tau_s - \tau_m} = 50.262 \cdot MPa$$

Verifica

$$\left(\frac{\Delta\sigma_{eff}}{\Delta\sigma_{lim}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau_{eff}}{\Delta\tau_{lim}}\right)^2 = 0.454$$

<1 OK

### *Esercizio 3*

Il recipiente in pressione orizzontale (in tre parti unite da flangie con bulloni) mostrato in Figura 3.1 è soggetto ad una pressione interna di 1.5 MPa ed al peso proprio (trascurare il contributo delle flange e dei fondi). Il recipiente è costruito in vetroresina ($\rho$=1.75 kg/dm$^3$) ed ha uno spessore di 4 mm.

Condurre la verifica ad attrito dei giunti bullonati garantendo un coefficiente di sicurezza 1.5, dati:

- $\phi_b$=8 mm (diametro bullone)
- $\sigma_b$= 800 MPa (tensione ammissibile materiale bullone)
- f = 0.3 (coefficiente di attrito)
- L = 5 m (lunghezza tratto recipiente)

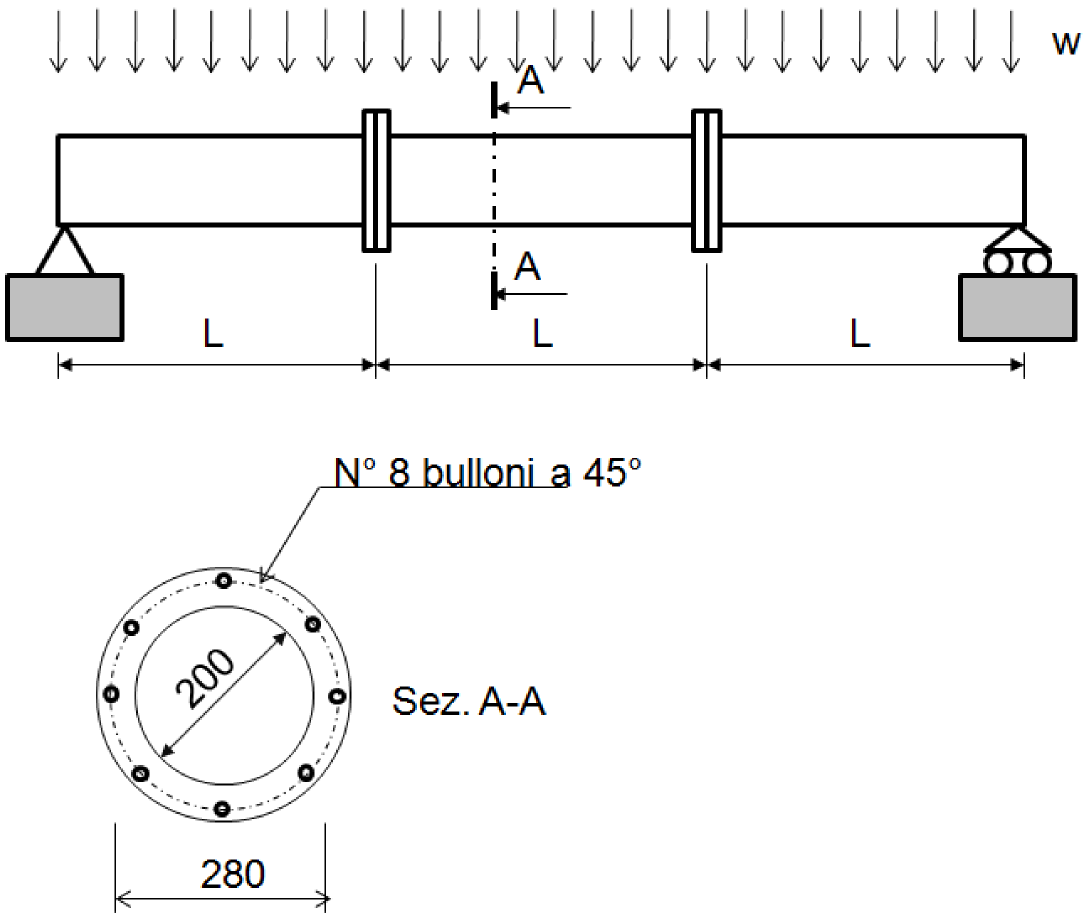



Fig. 3.1

$L_0 := 5000 \cdot mm$ $\quad d := 200 \cdot mm$ $\quad \rho := 1.75 \cdot \frac{kg}{l}$ $\quad p_0 := 1.5 \cdot MPa$

$\phi_b := 8 \cdot mm$ $\quad f := 0.3$

$sp := 4 \cdot mm$ $\quad \psi := 1.5$ $\quad \sigma_b := 800 \cdot MPa$ $\quad d_b := 280 \cdot mm$

Grandezze calcolate

$$w := \pi\cdot\frac{\left[(d + 2\cdot sp)^2 - d^2\right]}{,}\cdot\rho\cdot g = 43.995\cdot\frac{N}{m}$$ forza peso per unità di lunghezza

$$A_b := \frac{\pi\cdot\phi_b^{\,2}}{4} = 50.265\cdot mm^2$$ sezione bullone

$$N_0 := \sigma_b\cdot A_b = 4.021\times 10^4\,N$$ Preserraggio bullone

Forze e momenti da trasmettere da parte del giunto

$$M_x := \frac{w\cdot 3\cdot L_0}{2}\cdot L_0 - w\cdot L_0\cdot\frac{L_0}{2} = 1.1\times 10^3\cdot N\cdot m$$

$$F_y := \frac{w\cdot 3L_0}{2} - w\cdot L_0 = 109.986\,N$$

$$F_z := p_0\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4} = 4.712\times 10^4\,N$$

Forze agenti sui bulloni

$$T_y := \frac{F_y}{8} = 13.748\,N$$ Azione di taglio sui bulloni

$$J_b := 2\cdot\left(\frac{d_b}{2}\right)^2 + 4\cdot\left(\frac{d_b}{2\sqrt{2}}\right)^2$$ Modulo di inierzia a flessione del giunto

$$N_x := \frac{M_x}{J_b}\cdot\frac{\Phi}{2} = 7.014\times 10^3\,N$$ Azione normale sul bullone dovuta a Mx

$$N_z := \frac{F_z}{8} = 5.89\times 10^3\,N$$ Azione normale sul bullone dovuta a Fz

$$N_b := N_z + N_x = 1.29\times 10^4\,N$$ Azione normale totale

Verifica

$N_b = 1.29 \times 10^4\,N$ < $0.8 \cdot N_0 = 3.217 \times 10^4\,N$

$T_y = 13.748\,N$ < $T_{amm} := \dfrac{f \cdot (N_0 - N_b)}{\psi} = 5.461 \times 10^3\,N$