

## COSTRUZIONI DI APPARECCHIATURE CHIMICHE

Esame del 13-09-2012

### ESERCIZIO 1

Il recipiente rappresentato in sezione in figura 1.1, con raggi  $R_2 = 2R_1 = 90\text{mm}$  è ottenuto incollando coassialmente a fondi rigidi due tubi di PVC ( $E=2.5\text{GPa}$ ,  $\nu=0.34$ ,  $\alpha = 70 \mu\epsilon \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\sigma_{\text{am}}=45\text{MPa}$ ) aventi spessore  $h=6\text{mm}$ . Nella parte interna viene immesso gradualmente gas alla temperatura di  $80^\circ\text{C}$ . Trascurando gli effetti locali e considerando che nella fase di immissione l'intercapedine d'aria tra i tubi isola termicamente il tubo esterno, alla fine del riempimento determinare:

- la massima pressione  $p_{\text{max}}$  del gas in MPa,
- il corrispondente stato di tensione nel tubo esterno,
- la variazione della distanza dei fondi rispetto al valore all'inizio del riempimento.

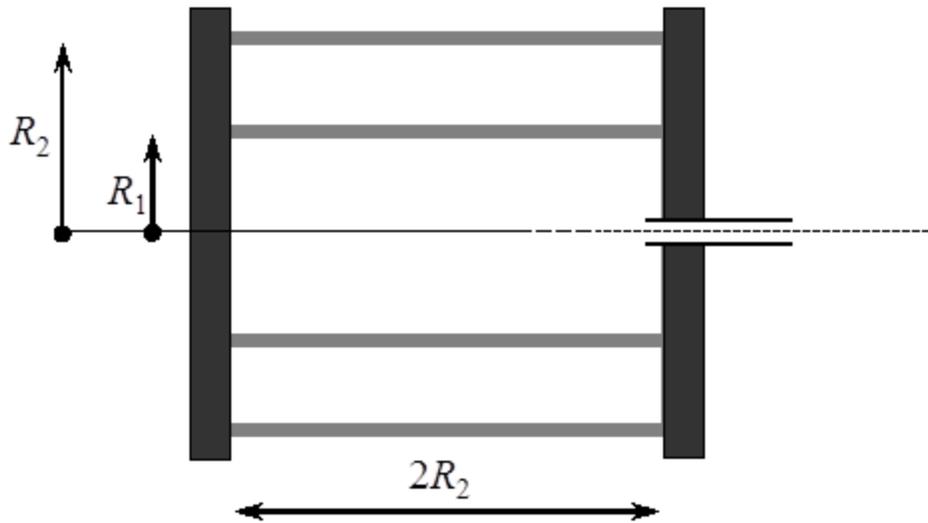


Fig. 1.1

$$R_1 := 90 \cdot \text{mm}$$

$$R_2 := 2 \cdot R_1 = 180 \cdot \text{mm} \quad h := 6 \cdot \text{mm}$$

$$L_0 := 2 \cdot R_2 = 360 \cdot \text{mm}$$

$$E := 2.5 \cdot \text{GPa}$$

$$\nu := 0.34$$

$$\alpha := 7 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{^\circ}$$

$$\sigma_{\text{am}} := 45 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta T := 80 \cdot ^\circ$$

Risposta a)

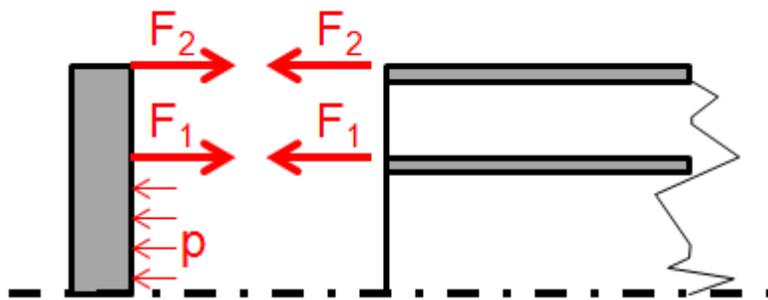
La massima pressione ammissibile per il gas si può determinare facendo l'ipotesi preliminare, da verificare a posteriori, che la tensione assiale agente sul cilindro 1, dipendente dall'effetto della temperatura (contributo negativo) e della pressione interna (contributo positivo) sia complessivamente positiva.

In tal caso si ha:

$$\sigma_{id} := \sigma_{\theta 1} \blacksquare$$

$$p_0 := \frac{\sigma_{am} \cdot h}{R_1} = 3 \cdot \text{MPa}$$

Dette  $F_1$  ed  $F_2$  le forze assiali agenti sui due cilindri, positive se di trazione, si impone l'equilibrio dei fondi stessi tenendo conto anche della pressione del gas e si applica inoltre la condizione che l'allungamento dei due cilindri sia uguale (in quanto fissati a fondi rigidi):



$$F_1 + F_2 - p \cdot \pi \cdot R_1^2 := 0 \blacksquare$$

$$\alpha \cdot \Delta T \cdot L_0 + \frac{F_1 \cdot L_0}{2\pi \cdot R_1 \cdot h \cdot E} - \frac{\nu \cdot p \cdot R_1 \cdot L_0}{h \cdot E} := \frac{F_2 \cdot L_0}{2\pi \cdot R_2 \cdot h \cdot E} \blacksquare$$

$$F_2 := -F_1 + p \cdot \pi \cdot R_1^2 \blacksquare$$

$$\alpha \cdot \Delta T \cdot L_0 - \frac{\nu \cdot p \cdot R_1 \cdot L_0}{h \cdot E} + \frac{F_1 \cdot L_0}{2\pi \cdot R_1 \cdot h \cdot E} + \frac{F_1 \cdot L_0}{2\pi \cdot R_2 \cdot h \cdot E} - \frac{p \cdot \pi \cdot R_1^2 \cdot L_0}{2\pi \cdot R_2 \cdot h \cdot E} := 0 \blacksquare$$

$$F_1 := \frac{p_0 \cdot \pi \cdot \frac{R_1^2}{R_2} + 2\pi \nu \cdot p_0 \cdot R_1 - \alpha \cdot \Delta T \cdot 2 \cdot \pi \cdot h \cdot E}{\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = 2.839 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{Positiva OK}$$

$$\sigma_{z1} := \frac{F_1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot h} = 8.367 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\theta 1} := \frac{p_0 \cdot R_1}{h} = 45 \cdot \text{MPa}$$

Risposta b)

$$F_2 := -F_1 + p_0 \cdot \pi \cdot R_1^2 = 4.795 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\sigma_{z2} := \frac{F_2}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot h} = 7.067 \cdot \text{MPa}$$

Risposta c)

$$\epsilon_{z2} := \frac{\sigma_{z2}}{E} = 2.827 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{z1} := \frac{\sigma_{z1}}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_{\theta 1}}{E} + \alpha \cdot \Delta T = 2.827 \times 10^{-3}$$

Verifica che la deformazione nei due cilindri è uguale

$$\Delta L := \epsilon_{z2} \cdot L_0 = 1.018 \cdot \text{mm}$$

## ESERCIZIO 2

Data la struttura mostrata in Fig. 2.1, utilizzata per sollevare ripetutamente dei carichi, condurre la verifica delle saldature longitudinali a piena penetrazione utilizzate per realizzare la trave principale.

Dati:

- $L = 5000$  mm
- $M = 500$  Kg
- $b = 120$  mm
- $h = 140$  mm
- $s = 10$  mm
- $\sigma_{amm} = 520$  MPa (tensione ammissibile materiale base)
- $f=0.9$  efficienza della saldatura

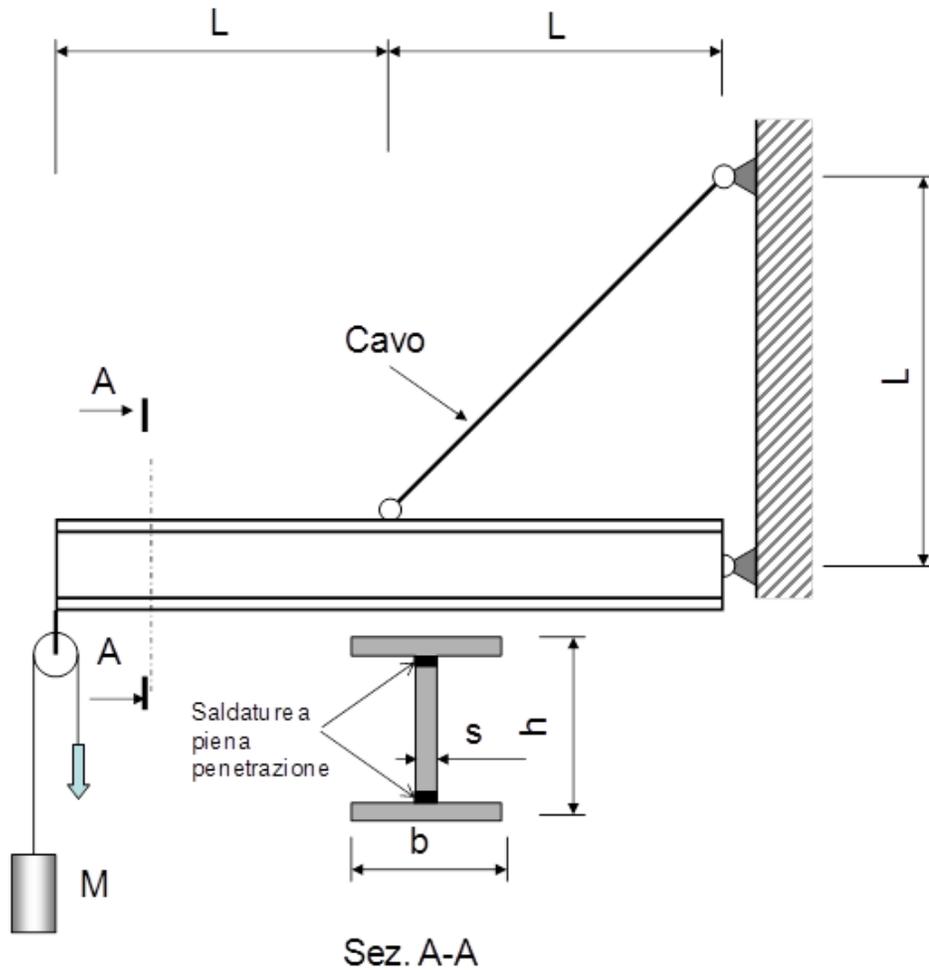


Fig. 2.1

$$L_0 := 5000 \cdot \text{mm} \quad M := 500 \cdot \text{kg} \quad \sigma_{\text{amm}} := 520 \cdot \text{MPa} \quad f := 0.9$$

$$h := 140 \cdot \text{mm} \quad b := 120 \cdot \text{mm} \quad s := 10 \cdot \text{mm}$$

### Carichi

$$P := 2 \cdot M \cdot g = 9.807 \times 10^3 \text{ N}$$

### Caratteristiche sezione

$$J_x := \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{(b - s) \cdot (h - 2 \cdot s)^3}{12} = 1.16 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$A := s \cdot (h - 2 \cdot s) = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

### Caratteristiche sollecitazione

$$N := 0 \cdot \text{N}$$

$$M_f := P \cdot L_0 \quad \text{Momento massimo}$$

$$N_T := -2 \cdot P \quad \text{Forza Normale}$$

### Tensioni

$$\sigma := \frac{M_f}{J_x} \cdot \frac{h}{2} + \left| \frac{N_T}{A} \right| = 312.235 \cdot \text{MPa} \quad \text{Flessione}$$

$$\tau := \frac{P}{A} = 8.172 \cdot \text{MPa} \quad \text{Taglio (approssimata)}$$

### Verifica

$$\sigma_{\text{eq}} := \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 312.555 \cdot \text{MPa} < \sigma_{\text{amm}} \cdot f = 468 \cdot \text{MPa}$$

### ESERCIZIO 3

La paletta per turbina schematicamente illustrata in Fig. 3.1 è montata, tramite un codolo cilindrico, su di un disco pale che ruota alla velocità  $n$  attorno al proprio asse.

La paletta opera in condizioni di funzionamento continuo alla temperatura di  $800^{\circ}\text{C}$ , nelle quali è soggetta, tra l'altro, ad una forza trasversale dovuta al fluido  $F_a$  mostrata nella figura.

Tale forza oscilla nel tempo in maniera periodica tra 750 ed 850 N.

Si chiede di verificare a fatica il codolo della paletta.

Dati:

- $L = 60 \text{ mm}$ ,  $b = 30 \text{ mm}$ ,  $h = 5 \text{ mm}$  (dimensioni paletta)
- $\Phi = 10 \text{ mm}$ ,  $H = 30 \text{ mm}$  (dimensioni codolo)
- $n = 3000 \text{ giri/min}$ ,  $R = 500 \text{ mm}$  (dati disco pale)
- $\rho = 8400 \text{ kg/m}^3$
- $\sigma_s = 750 \text{ MPa}$  (tensione snervamento materiale)
- $L_a = 30 \text{ mm}$
- $\Delta\sigma_{amm} = 350 \text{ MPa}$  (range di tensione ammissibile a fatica)

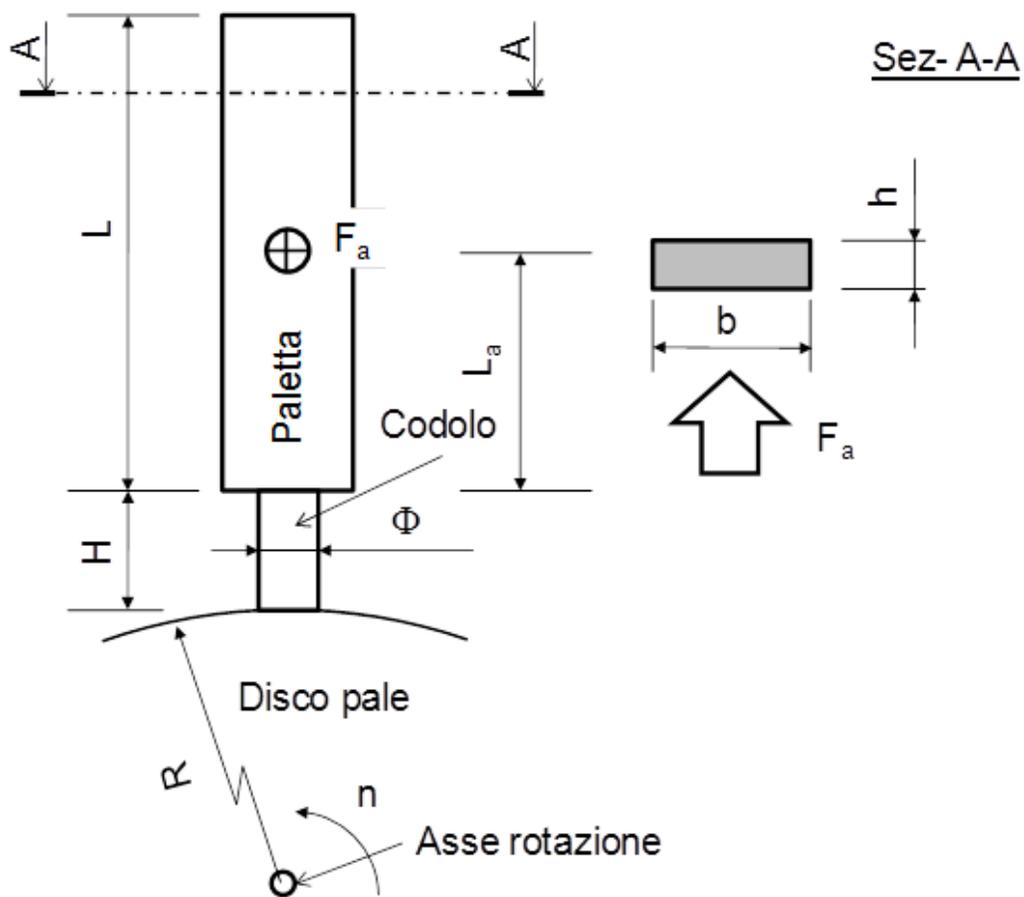


Fig. 3.1

$$R_0 := 500 \cdot \text{mm} \quad L_0 := 60 \cdot \text{mm} \quad \Phi_0 := 10 \cdot \text{mm} \quad b := 30 \cdot \text{mm} \quad h := 5 \cdot \text{mm}$$

$$H_p := 30 \cdot \text{mm}$$

$$n := 3000 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad T_0 := 800 \cdot ^\circ \quad \Delta\sigma_{\text{amm}} := 350 \cdot \text{MPa}$$

$$E_y := 220000 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_s := 750 \cdot \text{MPa} \quad \rho := 8400 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_{\text{max}} := 850 \cdot \text{N}_{[\text{unit}]} \quad F_{\text{min}} := 750 \cdot \text{N}_{[\text{unit}]}$$

Grandezze derivate

$$F_{\text{am}} := \frac{F_{\text{max}} + F_{\text{min}}}{2} = 800 \text{ N} \quad \text{Forza applicata media}$$

$$F_{\text{aa}} := \frac{F_{\text{max}} - F_{\text{min}}}{2} = 50 \text{ N} \quad \text{Forza applicata alternata}$$

$$L_a := \frac{L_0}{2} \quad \text{Lunghezza applicazione forza}$$

$$\Omega_0 := n \cdot 2 \cdot \pi = 314.159 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{Velocità angolare}$$

Forze applicate

$$F_c := \rho \cdot b \cdot h \cdot L_0 \cdot \Omega_0^2 \cdot \left( \frac{L_0}{2} + R_0 + H_p \right) = 4.178 \times 10^3 \text{ N}$$

Parametri ciclo di fatica (Verifica sul codolo)

$$\sigma_m := \frac{F_c}{\left( \frac{\pi \cdot \Phi_0^2}{4} \right)} + \frac{F_{\text{am}} \cdot (L_a + H_p)}{\left( \frac{\pi \cdot \Phi_0^4}{64} \right)} \cdot \frac{\Phi_0}{2} = 542.125 \cdot \text{MPa} \quad \text{Tensione media}$$

$$\Delta\sigma := \frac{2F_{\text{aa}} \cdot (L_a + H_p)}{\left( \frac{\pi \cdot \Phi_0^4}{64} \right)} \cdot \frac{\Phi_0}{2} = 61.115 \cdot \text{MPa} \quad \text{Ampiezza ciclo}$$

Verifica

$$\Delta\sigma_{\text{eq}} := \Delta\sigma \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_s - \sigma_m} = 220.501 \cdot \text{MPa} \quad < \quad \Delta\sigma_{\text{amm}} = 350 \cdot \text{MPa}$$