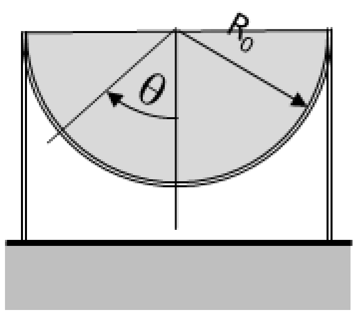
COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE
ESAME DEL 13/01/2014

Esercizio 1

E' dato la condotta idrica semicilindra in acciaio mostrato in Fig. 1.1, di spessore s_p e completamente riempita di un liquido di densità ρ_0, il cui pelo libero è in contatto con l'atmosfera.
La condotta ha lunghezza che può considerarsi infinita rispetto al diametro ed è appoggiato su due sostegni laterali verticali.
Trascurando gli effetti locali, il peso proprio della condotta e considerando nulla la tensione assiale determinare:

- l'andamento della caratteristica di sollecitazione generalizzata membranale circonferenziale nel semicilindro, in funzione dell'angolo θ
- il coefficiente di sicurezza rispetto alla tensione ammissibile

Si consiglia di studiare un tratto di condotta di lunghezza fissata, ad esempio unitaria.



Al fine di facilitare la soluzione, si ricorda che vale la relazione seguente:

$$\int \cos(\varphi)^2 \, d\varphi := \frac{\varphi}{2} + \frac{\sin(2\cdot\varphi)}{4}$$

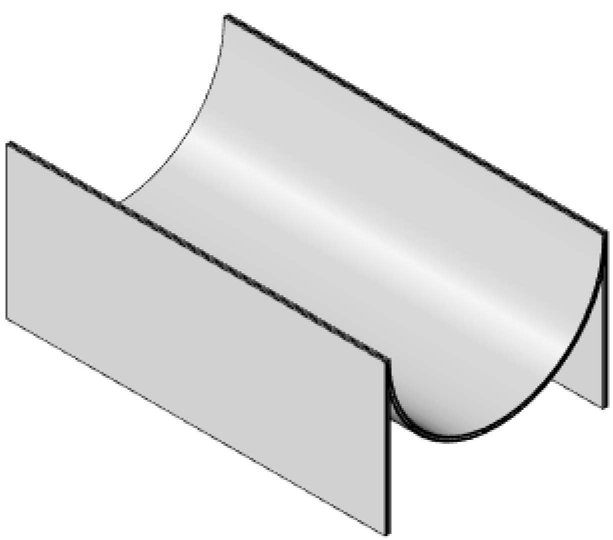


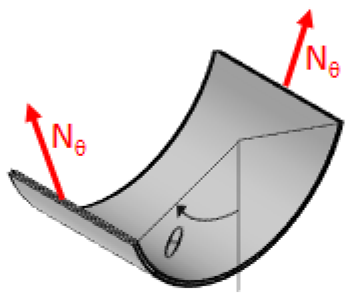
Fig. 1.1

$E := 210000\,MPa$ $\qquad \nu := 0.3$ $\qquad \sigma_{amm} := 25\cdot MPa$ $\qquad$ Dati materiale (acciaio)

$R_0 := 500\cdot mm$ $\qquad s_p := 0.5\cdot mm$ $\qquad \rho_0 := 1000\cdot\frac{kg}{m^3}$

Quesito 1

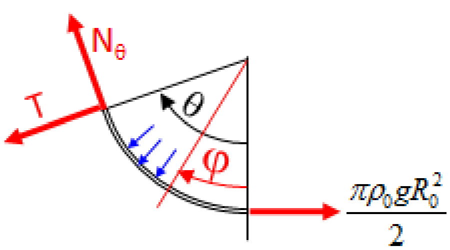
Si considera l'equilibrio verticale di un tratto di cilindro di lunghezza unitaria.



Dall'equilibrio orizzontale di metà guscio, si ricava immediatamente il valore della reazione sul piano

$$R_{PM} := \int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi)\, d\varphi \qquad = \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \left[\left(\left| \frac{\sin(\varphi)^2}{2} \right| \right) \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \quad \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2}$$

In tal modo diviene possibile scrivere le (2) equazioni di equilibrio di una porzione di condotta di lunghezza assiale unitaria ed iniziante sul piano di simmetria:



Si ottiene:

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) - T \cdot \cos(\theta) := \int_0^{\theta} \rho_0 \cdot g \cdot R_0 \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\varphi) \cdot R_0\, d\varphi$$

$$N_\theta \cdot \cos(\theta) + T \cdot \sin(\theta) := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2} - \int_0^{\theta} \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\varphi)\, d\varphi$$

da cui:

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) - T\cdot\cos(\theta) := \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \int_0^\theta \cos(\varphi)^2 \, d\varphi$$

$$N_\theta \cdot \cos(\theta) + T\cdot\sin(\theta) := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2} - \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \int_0^\theta \sin(\varphi)\cdot\cos(\varphi) \, d\varphi$$

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) - T\cdot\cos(\theta) := \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin(2\theta)}{4}\right)$$

$$N_\theta \cdot \cos(\theta) + T\cdot\sin(\theta) := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2} - \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \frac{\sin(\theta)^2}{2}$$

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) - T\cdot\cos(\theta) := \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin(2\theta)}{4}\right)$$

$$T := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2\cdot\sin(\theta)} \cdot \left(1 - \sin(\theta)^2\right) - N_\theta \cdot \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)}$$

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) := \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin(2\theta)}{4}\right) + \left(\frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2\cdot\sin(\theta)} \cdot \cos(\theta)^2 - N_\theta \cdot \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)}\right)\cdot\cos(\theta)$$

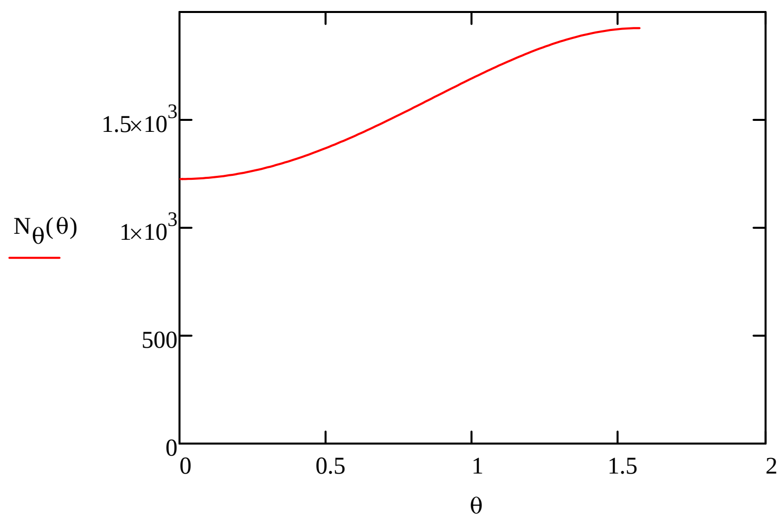
$$T := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2\cdot\sin(\theta)} \cdot \left(1 - \sin(\theta)^2\right) - N_\theta \cdot \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)}$$

$$N_\theta \cdot \sin(\theta) + N_\theta \cdot \frac{\cos(\theta)^2}{\sin(\theta)} := \rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2} \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin(2\theta)}{4}\right) + \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2\cdot\sin(\theta)} \cdot \cos(\theta)^3$$

$$N_\theta \cdot \left(\sin(\theta)^2 + \cos(\theta)^2\right) := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2} \cdot \left(\theta\cdot\sin(\theta) + \frac{\sin(\theta)\cdot\sin(2\theta)}{2} + \cos(\theta)^3\right)$$

$$N_\theta(\theta) := \frac{\rho_0 \cdot g \cdot R_0^{\,2}}{2} \cdot \left(\theta \cdot \sin(\theta) + \frac{\sin(\theta) \cdot \sin(2\theta)}{2} + \cos(\theta)^3 \right)$$

$$\theta := 0, 0.01 .. \frac{\pi}{2}$$



$$\sigma_{\theta 0} := \frac{N_\theta(0)}{s_p} = 2.452 \cdot MPa$$

$$\sigma_{\theta \pi} := \frac{N_\theta\left(\frac{\pi}{2}\right)}{s_p} = 3.851 \cdot MPa$$

$$\varphi := \frac{\sigma_{amm}}{\max\left(\sigma_{\theta 0}, \sigma_{\theta \pi}\right)} = 6.492$$

$$R := \frac{\pi \cdot R_0^{\,2}}{4} \cdot \rho_0 \cdot g = 1.926 \times 10^3 \cdot \frac{N}{m}$$

$$N_\theta\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.926 \times 10^3 \cdot \frac{N}{m}$$

Esercizio 2

Il bullone mostrato nella Fig. 3.1 opera alla temperatura di 600 °C. Esso viene periodicamente serrato, ad intervalli di t_i ore, in modo da produrre una tensione assiale pari all'80% del valore ammissibile.

Assumendo che:

- le flange siano infinitamente rigide
- il danneggiamento da creep si possa calcolare in base al valore di tensione medio aritmetico in ogni intervallo

calcolare quanti serraggi potranno essere effettuati prima che il bullone accumuli un danneggiamento pari o superiore a 0.5

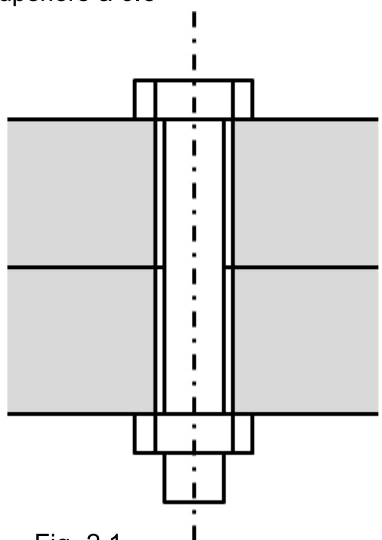


Fig. 2.1

Dati:

$\Phi_b := 20 \cdot mm$ Diametro bullone

$L_b := 120 \cdot mm$ Lunghezza bullone

$\sigma_{bamm} := 350 \cdot MPa$ $E_{young} := 150000 \cdot MPa$ Tensione ammissibile e modulo elastico a 600 °C

$B := 1.08 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{1}{s}$

$n := 4.08$

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

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

$A_R := 550 \cdot MPa$

$m_R := 10$

$T_R := \left(\frac{A_R}{\sigma}\right)^{m_R}$

Tempo a rottura per creep in ore, tensione in MPa

$t_i := 5000 \cdot hr$ Intervalli di serraggio

Dati bullone

$$A_b := \pi \cdot \frac{\Phi_b^{\,2}}{4} = 3.142 \times 10^{-4}\,m^2 \qquad N_0 := \sigma_{bamm} \cdot A_b = 1.1 \times 10^5\,N$$

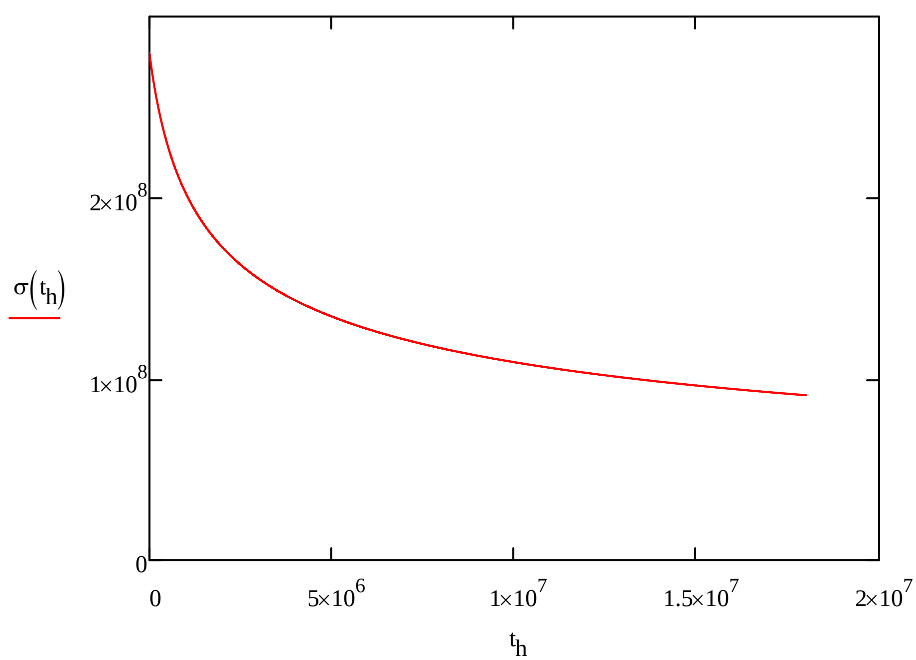
Risposta a)

$$\sigma_0 := 0.8 \cdot \sigma_{bamm} = 280 \cdot MPa$$ Tensione iniziale

$$t_h := 0, 1000 .. \frac{t_i}{hr} \cdot 3600$$

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

$$\sigma\left(\frac{t_i}{s}\right) = 90.932 \cdot MPa$$ Valore tensione a t_i ore



$$\sigma_{med} := \frac{\left(\sigma\left(\frac{t_i}{s}\right) + \sigma_0\right)}{2} = 185.466 \cdot \text{MPa}$$

Tensione media aritmetica

$$T_R := \left(\frac{A_R}{\sigma_{med}}\right)^{m_R} \cdot \text{hr} = 5.26 \times 10^4 \cdot \text{hr}$$

Tempo a rottura con σ_{med}

$$D_C := \frac{t_i}{T_R} = 0.095$$

Danneggiamento in un periodo

$$\frac{0.5}{D_C} = 5.26$$

Periodi per D=0.5

Esercizio 3

Dato il recipiente cilindrico mostrato nella Figura 3.1, verificare la resistenza della saldatura longitudinale a piena penetrazione presente in corrispondenza della generatrice superiore.
Il recipiente è soggetto ad una pressione interna P ed al peso proprio W, da considerarsi uniformemente distribuito sull'intera lunghezza L.

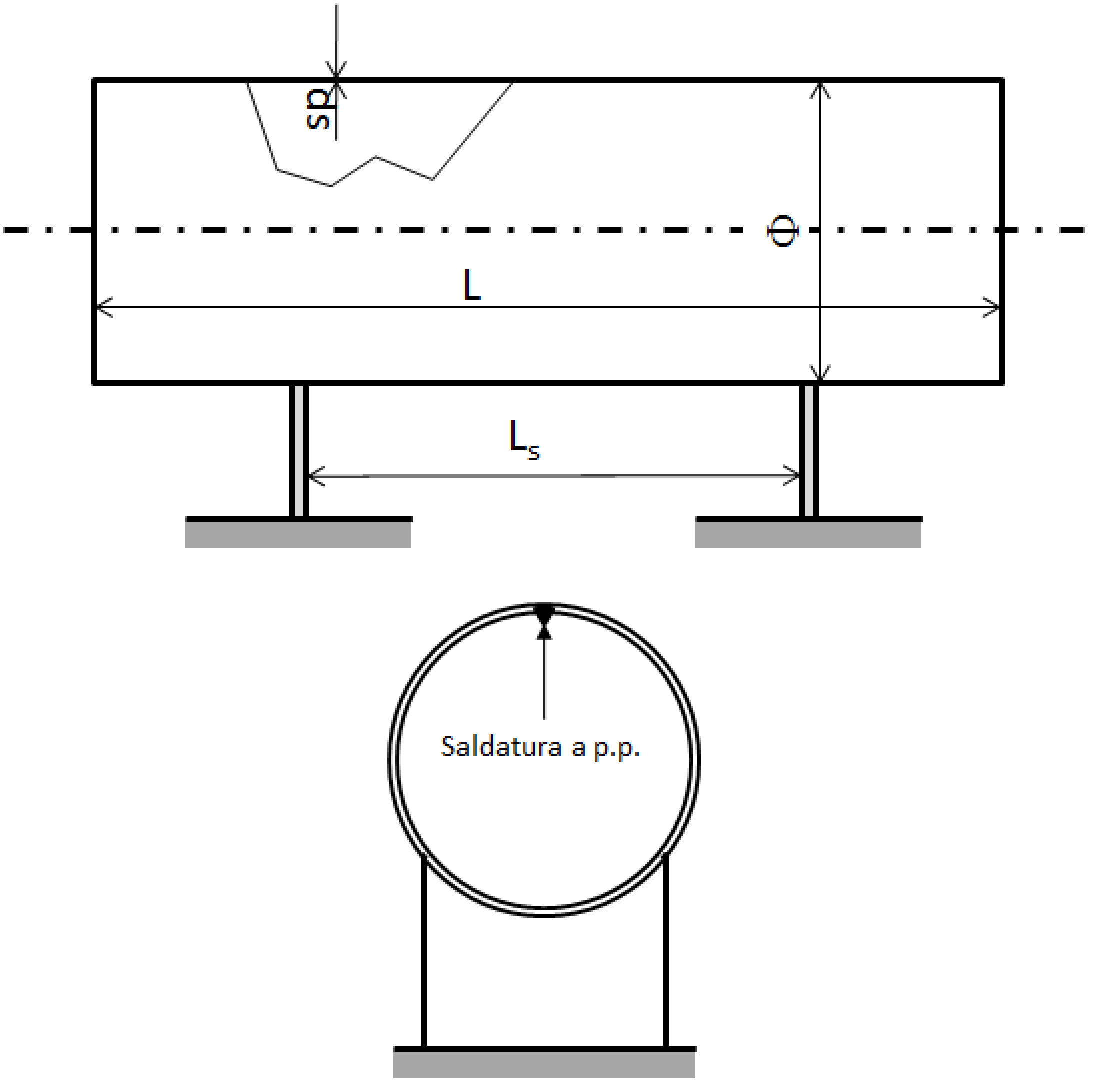


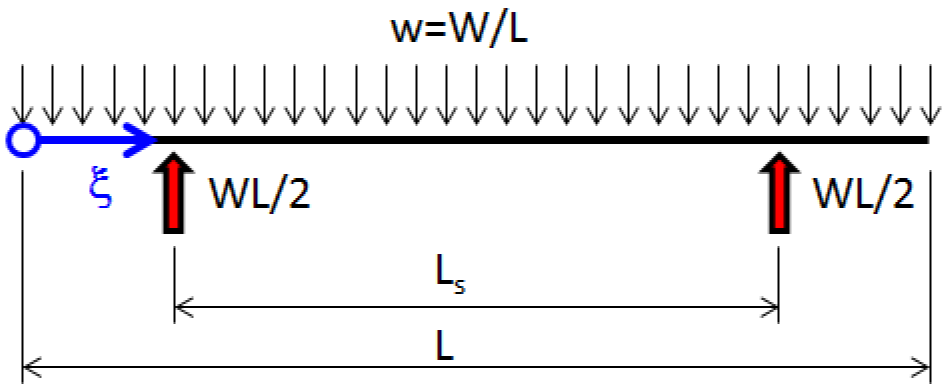
Fig. 3.1

Dati:

$L := 6000 \cdot mm$ $\quad L_s := 3200 \cdot mm$ $\quad \Phi := 1500 \cdot mm$ $\quad s_p := 5 \cdot mm$

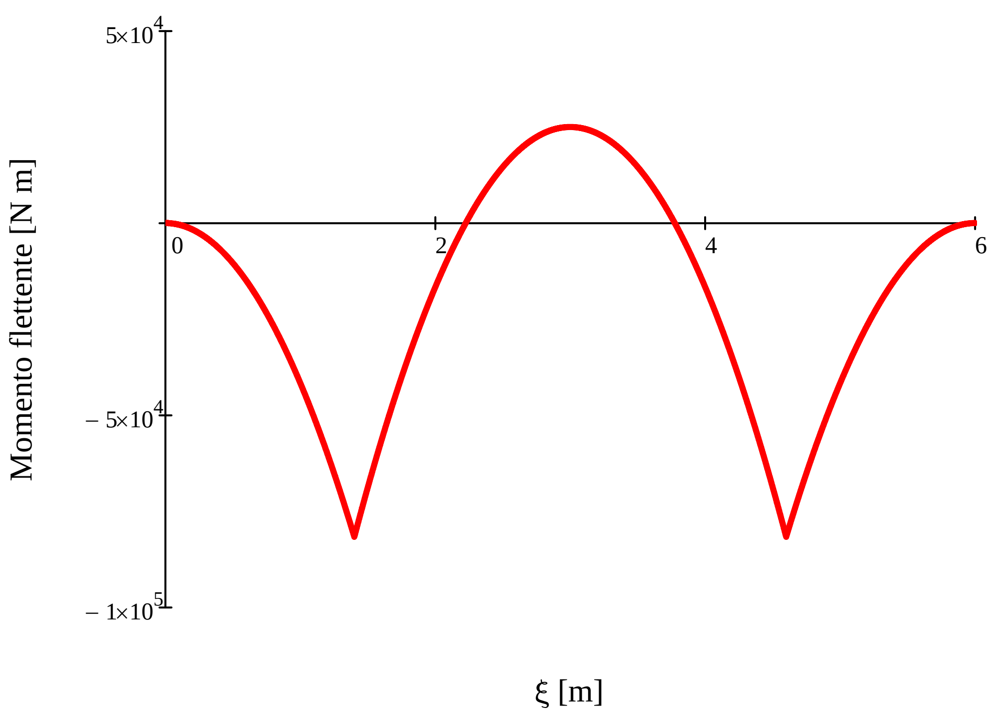
$P := 1 \cdot MPa$ $\quad W := 500 \cdot kN$ $\quad \sigma_{amm} := 150 \cdot MPa$

$f := 1$ Efficienza della saldatura



$\xi := 0\cdot mm, 1\cdot mm .. L$ $\qquad\qquad$ $w := \frac{W}{L} = 83.333\cdot\frac{N}{mm}$

$$M(\xi) := \begin{cases} \left(-w\cdot\frac{\xi^2}{2}\right) & \text{if } 0 \le \xi \le \frac{(L - L_s)}{2} \\ \left[-w\cdot\frac{\xi^2}{2} + \frac{W}{2}\cdot\left[\xi - \frac{(L - L_s)}{2}\right]\right] & \text{if } \frac{(L - L_s)}{2} < \xi \le L - \frac{(L - L_s)}{2} \\ \left[-w\cdot\frac{(L - \xi)^2}{2}\right] & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$M_{max} := \left| M\left(\frac{L - L_s}{2}\right) \right| = 8.167 \times 10^4 \cdot N \cdot m$$

Momento flettente massimo

$$J := \frac{\pi}{64} \cdot \left[\left(\Phi + s_p\right)^4 - \left(\Phi - s_p\right)^4 \right] = 6.627 \times 10^9 \cdot mm^4$$

Momento di inerzia sezione

$$\sigma_{z\_max} := \frac{M_{max}}{J} \cdot \frac{\left(\Phi + \frac{s_p}{2}\right)}{2} = 9.258 \cdot MPa$$

Tensione massima da flessione

$$\sigma_{z\_p} := \frac{P \cdot \Phi}{4 \cdot s_p} = 75 \cdot MPa$$

Tensione assiale da pressione interna

$$\sigma_z := \sigma_{z\_max} + \sigma_{z\_p} = 84.258 \cdot MPa$$

Tensione assiale totale

$$\sigma_\theta := \frac{P \cdot \Phi}{2 \cdot s_p} = 150 \cdot MPa$$

Tensione circonferenziale da pressione interna

Verifica

$$\sigma_{id} := \sqrt{\sigma_z^{\,2} + \sigma_\theta^{\,2} - \sigma_z \cdot \sigma_\theta} = 130.233 \cdot MPa \qquad < \qquad \sigma_{amm} = 150 \cdot MPa$$

$$\int \cos(\varphi)\cdot\sin(\varphi)\,d\varphi$$

$$\frac{\sin(\varphi)^2}{2}$$