

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Aerospaziale



**Politecnico  
di Torino**

# Costruzione di motori per aeromobili

## Esercitazioni

### **Docenti**

prof. Botto Daniele  
prof. Firrone Christian Maria

### **Studenti**

Doronzo Francesco  
Messina Francesco  
Uva Maria Laura

Anno Accademico 2024-2025

# Indice

<b>1</b>	<b>Esercitazione 2 - Collegamenti filettati 1</b>	<b>2</b>
1.1	Scelta della vite . . . . .	2
1.2	Serraggio . . . . .	3
1.3	Deformabilità . . . . .	3
1.3.1	Diagramma di forzamento . . . . .	4
1.3.2	Diagramma di forzamento con ripartizione . . . . .	4
1.4	Verifica . . . . .	5
1.4.1	Verifica statica . . . . .	6
1.4.2	Verifica a fatica . . . . .	6

# Capitolo 1

## Esercitazione 2 - Collegamenti filettati 1

L'obiettivo è quello di scegliere una vite di collegamento stantuffo/asta per il cilindro idraulico schematizzato in figura 1.1. In seguito si deve verificare la sicurezza rispetto a snervamento e fatica.

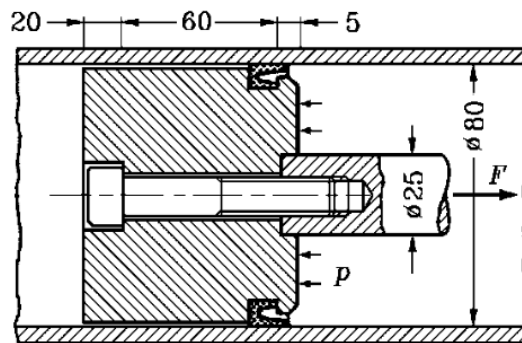


Figura 1.1: Insieme cilindro-stantuffo

### 1.1 Scelta della vite

Per calcolare il carico a cui è soggetta la vite si è dovuta calcolare l'area della testa del pistone su cui agisce la pressione, ovvero una corona circolare di superficie pari a  $4535.7 \text{ mm}^2$ . Moltiplicando il massimo della pressione (5.5 MPa) per l'area si è ottenuto un carico massimo pari a 24946.2 N  $\approx$  25000 N. Il carico è poi stato aumentato dei seguenti passi:

- 1 passo (carichi assiali dinamici applicati concentricamente);
- 1 passo (serraggio con chiave dinamometrica).

Si è arrivati quindi ad una carica di riferimento di 63000 N ed è stata scelta la classe di viti più performante (12.9), in modo da avere viti strette e lunghe  $\rightarrow$  **VITE M12**

Dalla classe si possono conoscere le tensioni di rottura e snervamento della vite:

$$\sigma_R = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ MPa} \quad \text{carico di rottura}$$

$$R_{p0.2} = 0.9 \cdot \sigma_R = 1080 \text{ MPa} \quad \text{carico di scostamento dalla proporzionalità}$$

## 1.2 Serraggio

Per il calcolo della tensione limite al montaggio si usa la formula

$$\sigma_M = \frac{0.9R_{p0.2}}{\sqrt{1+3k^2}} \quad (1.1)$$

con  $k$  calcolato dalla relazione

$$k = \frac{d_2}{2} \left( \frac{\mu_G}{\cos\beta'} + \frac{P}{\pi d_2} \right) \frac{1}{\frac{2d_3}{8}} = 0.2735$$

dove:

- $d_2 = 11.188 \text{ mm}$
- $d_3 = 10.466 \text{ mm}$
- $\beta' = 30^\circ$
- $P = 1.25 \text{ mm}$  (passo fine)
- $\mu_G = \mu_K = 0.08$

Si ottiene quindi  $\sigma_M = 878.40 \text{ MPa}$ . Moltiplicando quest'ultimo per l'area minima della sezione trasversale del bullone (area di nocciolo  $A_3$ ) si ottiene  $F_{M,MAX} = 75569.08 \text{ N}$ .

Il momento di serraggio da prescrivere è

$$M_A = \frac{d_2}{2} \left( \frac{\mu_G}{\cos\beta'} + \frac{P}{\pi d_2} + \frac{D_{k,m}}{d_2} \mu_K \right) F_M = 100937.27 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (1.2)$$

con

$$D_{k,m} = \frac{d_{k,MAX} + d_{foro}}{2} = 15.5 \text{ mm}$$

dove  $d_{foro}$  è pari a 13 mm, ovvero il diametro nominale della vite incrementato di un millimetro.

## 1.3 Deformabilità

La cedevolezza della vite è la somma dei contributi delle differenti sezioni:

$$\delta_i = \frac{l_i}{E_i \cdot A_i} \quad (1.3)$$

$$\delta_s = \delta_{sk} + \delta_1 + \delta_{GM} + \delta_{Gew} \quad (1.4)$$

con

- $l_{sk} = 0.4 \cdot d_{nom}$  lunghezza trave-equivalente della testa della vite
- $l_g = 0.5 \cdot d_{nom}$  lunghezza trave-equivalente dei filetti della vite ingaggiati
- $l_m = 0.4 \cdot d_{nom}$  lunghezza trave-equivalente dei filetti della madrevite ingaggiati
- $l_{tot} = 80 \text{ mm}$  lunghezza totale della vite
- $b = 36 \text{ mm}$  lunghezza della parte filettata della vite
- $l_1 = l_{tot} - b = 44 \text{ mm}$  lunghezza della parte non filettata della vite
- $l_{Gew} = 23.5 \text{ mm}$  lunghezza della parte filettata della vite non ingaggiata
- $E = 210 \text{ GPa}$  modulo di Young dell'acciaio
- $A_N = \frac{\pi}{4} d_{nom}^2 = 113.10 \text{ mm}^2$  area nominale

- $A_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2 = 86.03 \text{ mm}^2$  area di nocciolo

La lunghezza complessiva della vite è stata scelta in base a considerazioni geometriche (ovvero le dimensioni del sistema pistone - stantuffo) più la lunghezza tale per cui 10 filetti siano ingaggiati nella madrevite.

Si ottengono quindi le cedevolezza della vite e del pezzo:

$$\delta_s = 3.890 \times 10^{-6} \text{ mm/N}$$

$$\delta_p = 5.40 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$$

### 1.3.1 Diagramma di forzamento

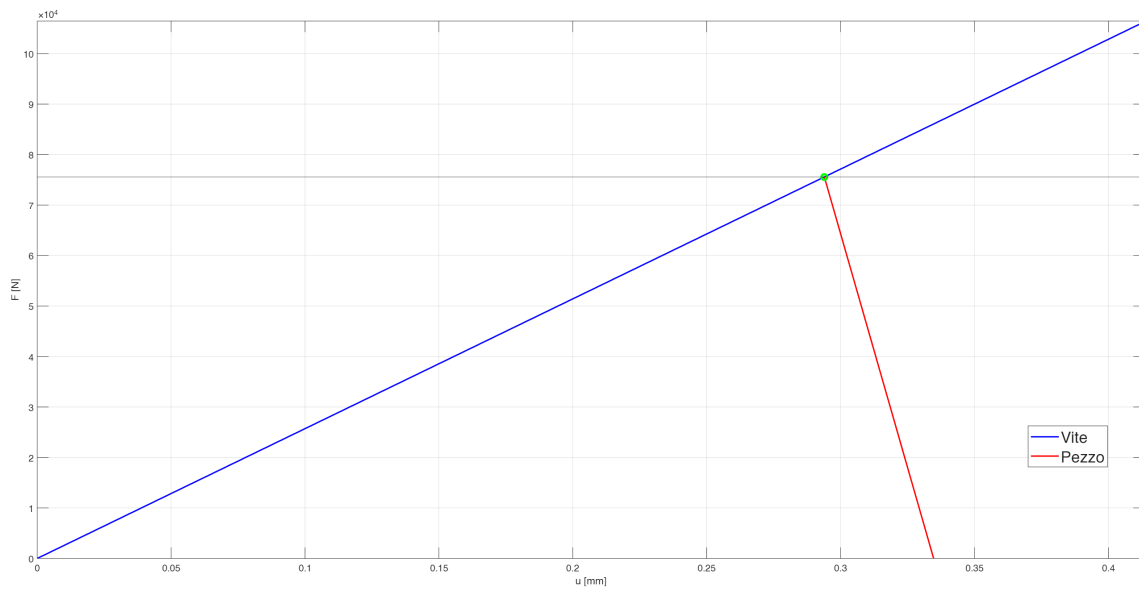


Figura 1.2: Diagramma di forzamento

### 1.3.2 Diagramma di forzamento con ripartizione

Per il calcolo del fattore di ripartizione ci serviamo della seguente relazione:

$$n = \frac{\delta_{pk}}{\delta_p} \quad (1.5)$$

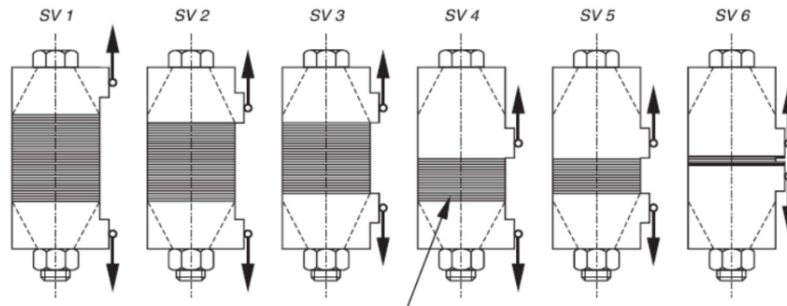


Figura 1.3: Tipi di collegamento.

$l_A/h$	0,00				0,10				0,20				$\geq 0,30$			
$a_k/h$	0,00	0,10	0,30	$\geq 0,50$	0,00	0,10	0,30	$\geq 0,50$	0,00	0,10	0,30	$\geq 0,50$	0,00	0,10	0,30	$\geq 0,50$
SV 1	0,70	0,55	0,30	0,13	0,52	0,41	0,22	0,10	0,34	0,28	0,16	0,07	0,16	0,14	0,12	0,04
SV 2	0,57	0,46	0,30	0,13	0,44	0,36	0,21	0,10	0,30	0,25	0,16	0,07	0,16	0,14	0,12	0,04
SV 3	0,44	0,37	0,26	0,12	0,35	0,30	0,20	0,09	0,26	0,23	0,15	0,07	0,16	0,14	0,12	0,04
SV 4	0,42	0,34	0,25	0,12	0,33	0,27	0,16	0,08	0,23	0,19	0,12	0,06	0,14	0,13	0,10	0,03
SV 5	0,30	0,25	0,22	0,10	0,24	0,21	0,15	0,07	0,19	0,17	0,12	0,06	0,14	0,13	0,10	0,03
SV 6	0,15	0,14	0,14	0,07	0,13	0,12	0,10	0,06	0,11	0,11	0,09	0,06	0,10	0,10	0,08	0,03

Figura 1.4: Tabella di valori del fattore di ripartizione

Il sistema in esame è vicino allo standard SV6 di figura 1.3; interpolando i dati della tabella in figura 1.4 si è ottenuto un fattore di ripartizione

$$n = 0.144$$

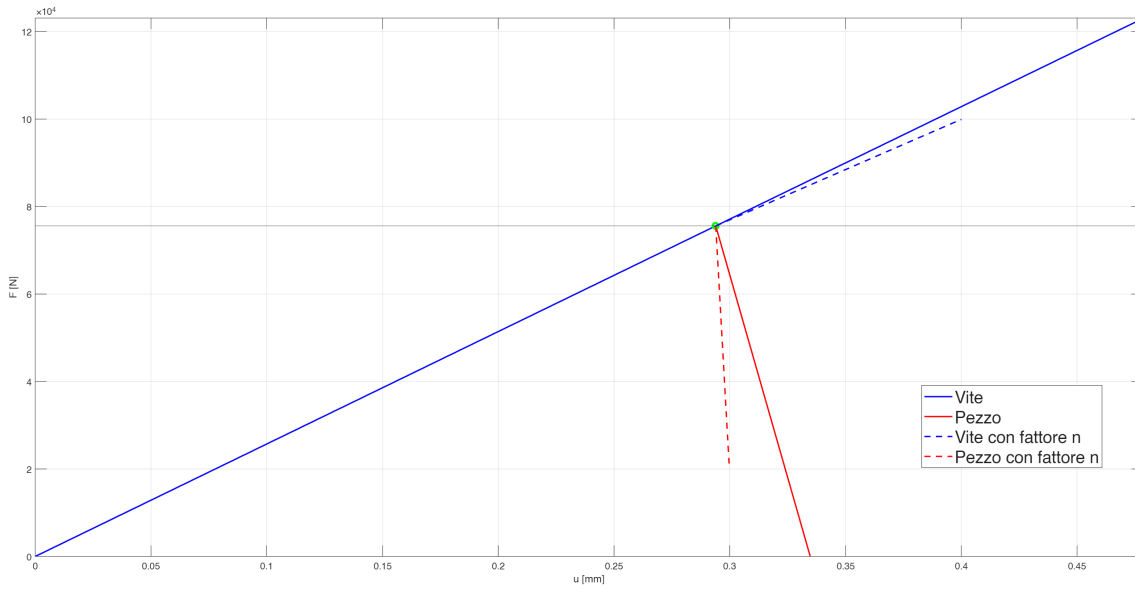


Figura 1.5: Diagramma di forzamento con fattore di ripartizione.

## 1.4 Verifica

Prima di iniziare la verifica, si calcola la forza minima (precarico residuo sul pezzo) sotto la quale non si desidera scendere in esercizio, pari a

$$F_{Kerf} = p_{min} \cdot A_{contatto} = 3.78 \times 10^3 N$$

La perdita di interferenza, pari a

$$\Delta i = 3 + 2.5 + 1.5 = 7 \mu m$$

ci permette di calcolare l'allentamento nel tempo, la quota di carico esterno sulla vite e la quota di carico esterno sul pezzo

$$\Delta F_s = \frac{\Delta i}{\delta_s + \delta_p} = 1.58 \times 10^3 N$$

$$F_{SA} = F_A \frac{\delta_p}{\delta_s + \delta_p} = 438.42 N$$

$$F_{PA} = F_A \frac{\delta_s}{\delta_s + \delta_p} = 24507.78 N$$

### 1.4.1 Verifica statica

Per la verifica statica si impone la seguente condizione:

$$\sigma_{SA} \leq 0.1 \cdot R_{p0.2} \quad (1.6)$$

Sapendo che

$$\sigma_{SA} = \frac{F_{SA}}{A_{min}} = 5.1 \text{ MPa}$$

abbiamo che la condizione è rispettata

$$5.1 \text{ MPa} \leq 1080 \text{ MPa}$$

### 1.4.2 Verifica a fatica

In questo caso la condizione da imporre è:

$$\sigma_a \leq 0.9 \cdot \sigma_m \quad (1.7)$$

con

$$\sigma_m = \sigma_{M,max} + \frac{\sigma_{SA}}{2} = 880.95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{SA}}{2} = 2.55 \text{ MPa}$$

Anche questa condizione risulta rispettata:

$$2.55 \text{ MPa} \leq 792.86 \text{ MPa}$$

Inoltre si è calcolato il rapporto  $\frac{\sigma_m}{R_{p0.2}} = 0.816$ , ottenendo un risultato che rientra nella fascia in cui ci si aspetta di trovarsi nel diagramma di Haigh, ossia quella tra il 70-90% di  $R_{p0.2}$ .