



**Università**  
degli Studi di Cassino

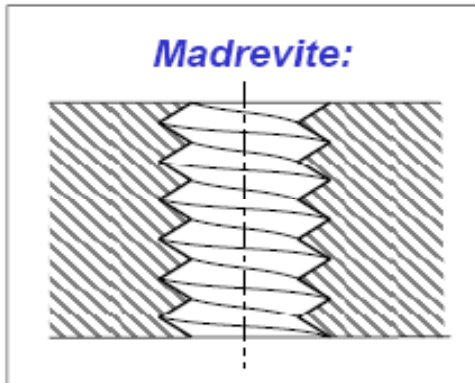
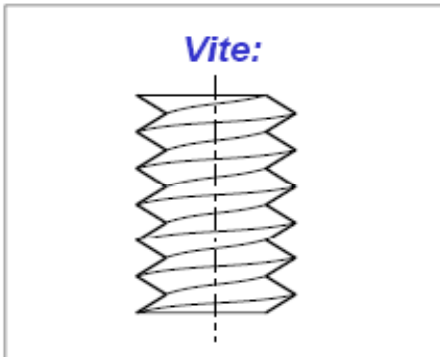
# Giunzioni Bullonate

Ing. Luca Esposito

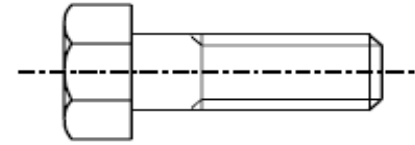
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica  
III° anno

A.A. 2009-2010

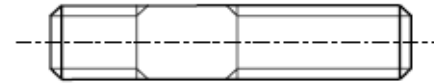
# Nomenclatura



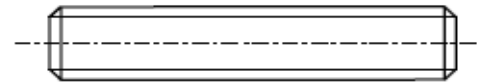
**Viti mordenti**



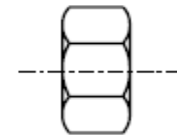
**Viti prigioniere  
(prigionieri)**



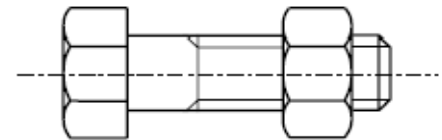
**Barre filettate**



**Dadi**



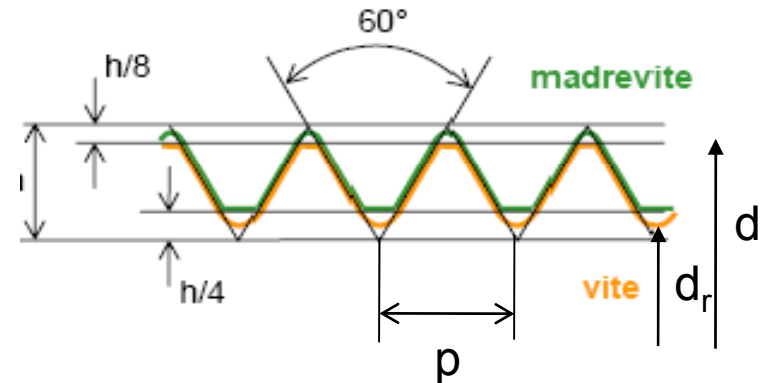
**Bulloni  
(vite + dado)**



# Filettatura e Classe di resistenza

Le filettature usate per i collegamenti sono le triangolari (ISO, Uni, Whitworth, Gas);

Le rettangolari, le trapezoidali e a denti di sega sono usate prevalentemente per le viti di manovra.



## Classe di resistenza (o classe SAE)

Due numeri separati da un punto; Il primo dei due rappresenta 1/10 della tensione di rottura; Il secondo è il rapporto tra snervamento e rottura moltiplicato x 10

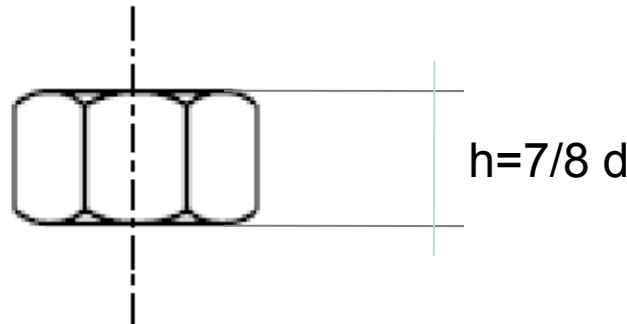
Negli eurocodici (EC) si considerano tutte le classi SAE comprese tra la 4.8 e la 10.9

Esempio : 4.8  $\left\{ \begin{array}{l} f_{uk} = 400MPa \\ f_{yk} = 320MPa \end{array} \right.$

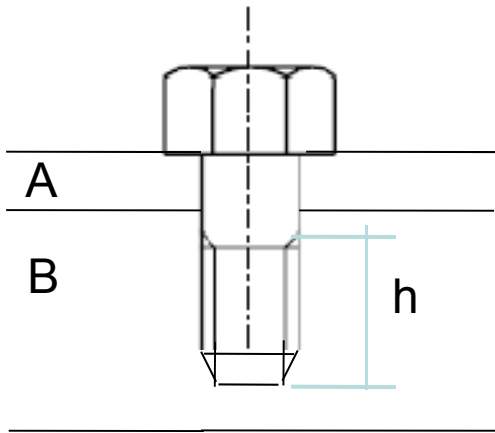
10.9  $\left\{ \begin{array}{l} f_{uk} = 1000MPa \\ f_{yk} = 900MPa \end{array} \right.$

# Osservazioni

- 1) Un collegamento bullonato può lavorare a trazione, taglio, flessione o torsione
  - È preferibile che lavori a trazione
  - Il taglio è accettabile purché il piano di taglio non interessi la parte filettata
  - La flessione deve essere sempre evitata
  - La torsione è presente solo in fase di serraggio
- 2) Il Dado è generalmente di materiale più scadente rispetto alla vite
- 3) I bulloni unificati hanno una altezza che scongiura lo strappamento cioè la rottura a taglio dei filetti



# Verifica allo strappamento

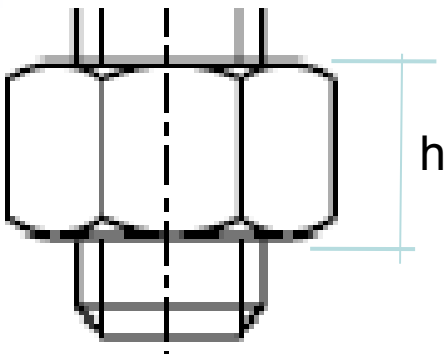


Se l'altezza della madrevite  $h$  non è ben dimensionata può accadere che si rompano i filetti della madrevite o della vite prima che si snervi a trazione il gambo della vite.

La rottura a taglio dei filetti avviene lungo una superficie cilindrica pari a:

$$\pi \cdot d \cdot h \cdot 0.75$$

dove lo 0.75 tiene conto che non tutti i filetti sono in presa



La forza necessaria a tranciare i filetti della madrevite sarà :

$$F_t = \frac{\sigma_y^M}{\sqrt{3}} \cdot (\pi \cdot d \cdot h \cdot 0.75)$$

# Verifica allo strappamento

La forza necessaria a snervare completamente la vite sarà:

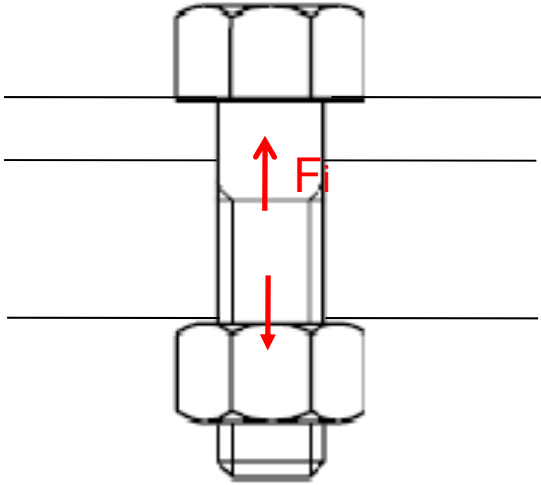
$$F_s = \sigma_y^V \cdot \left( \frac{\pi \cdot (0.9d)^2}{4} \right)$$

dove lo 0.9 tiene conto dello diametro ridotto del nocciolo della vite

Uguagliando  $F_t$  e  $F_s$  si ricava il minimo valore di  $h$  richiesto.

$$\text{Se } \sigma_y^V = \sigma_y^M \quad h \geq 0.47d$$

# Forza di precarico nei bulloni

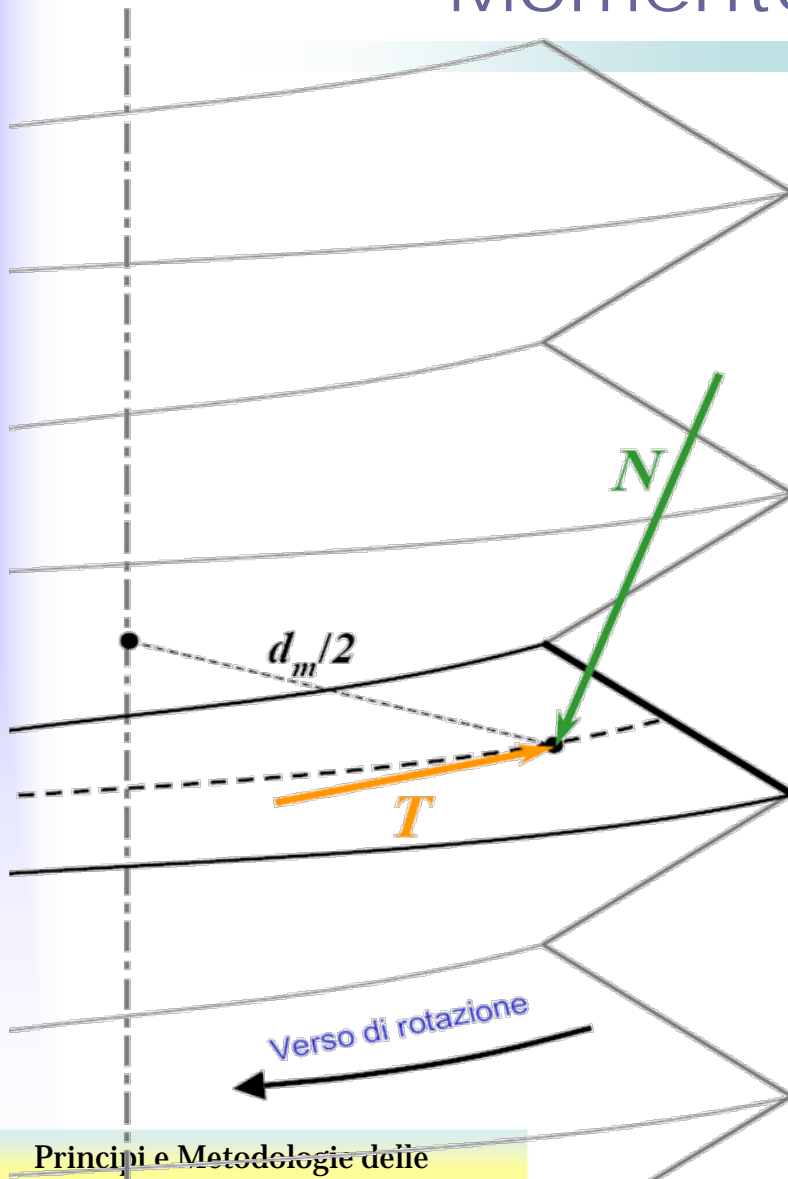


Dare un precarico serve a:

- Porre gli elementi in compressione affinché non abbiano movimenti relativi
- Creare forze di attrito tra le parti limitando lo slittamento relativo
- Diminuire l'ampiezza di sollecitazione a fatica sul bullone

- La forza di precarico si trasferisce al bullone mediante una coppia di serraggio.
- La forza di precarico non deve indurre nella vite una tensione superiore alla tensione limite di precarico ( $S_p$ ).
- La  $S_p$  si trova tabellata in funzione della classe di resistenza del bullone. In alternativa si può utilizzare il valore:  $S_p = 0.7 \div 0.9 \sigma_y$

# Momento di serraggio



L'insieme delle forze scambiate tra vite e madrevite durante l'avvitamento può essere studiato pensando tali carichi agenti solo sull'elica media del filetto e composti da due sole azioni:

- la forza  $N$ , diretta secondo la normale alla superficie di interfaccia
- la forza  $T$ , dovuta all'attrito radente, diretta secondo la tangente all'elica media in verso tale da opporsi alla rotazione relativa vite-madrevite.

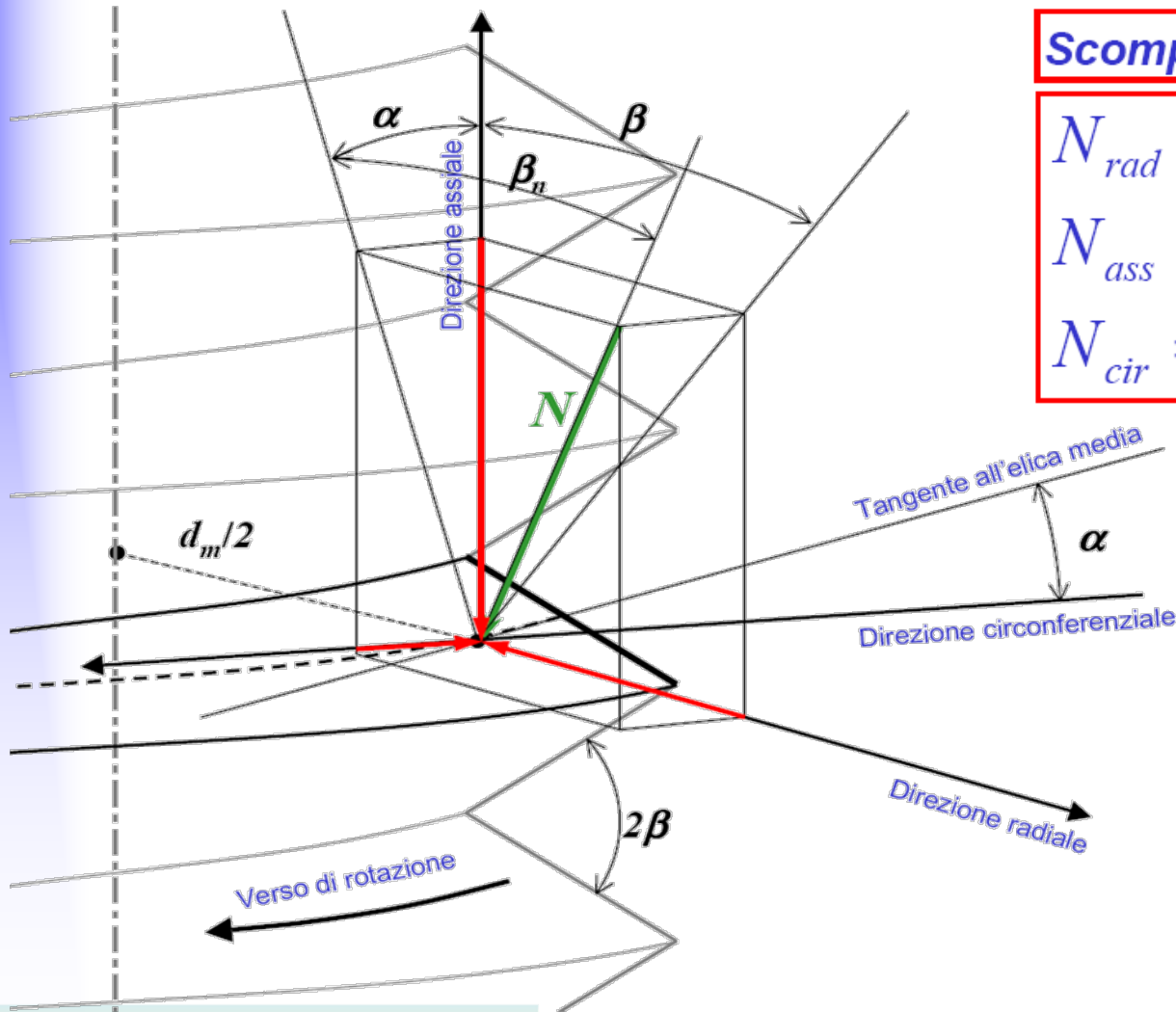
Le componenti  $T$  ed  $N$  sono legate dalla relazione:

$$T = f N$$

dove  $f$  è il coefficiente di attrito radente che normalmente vale  $0.15 \sim 0.2$



# Momento di serraggio



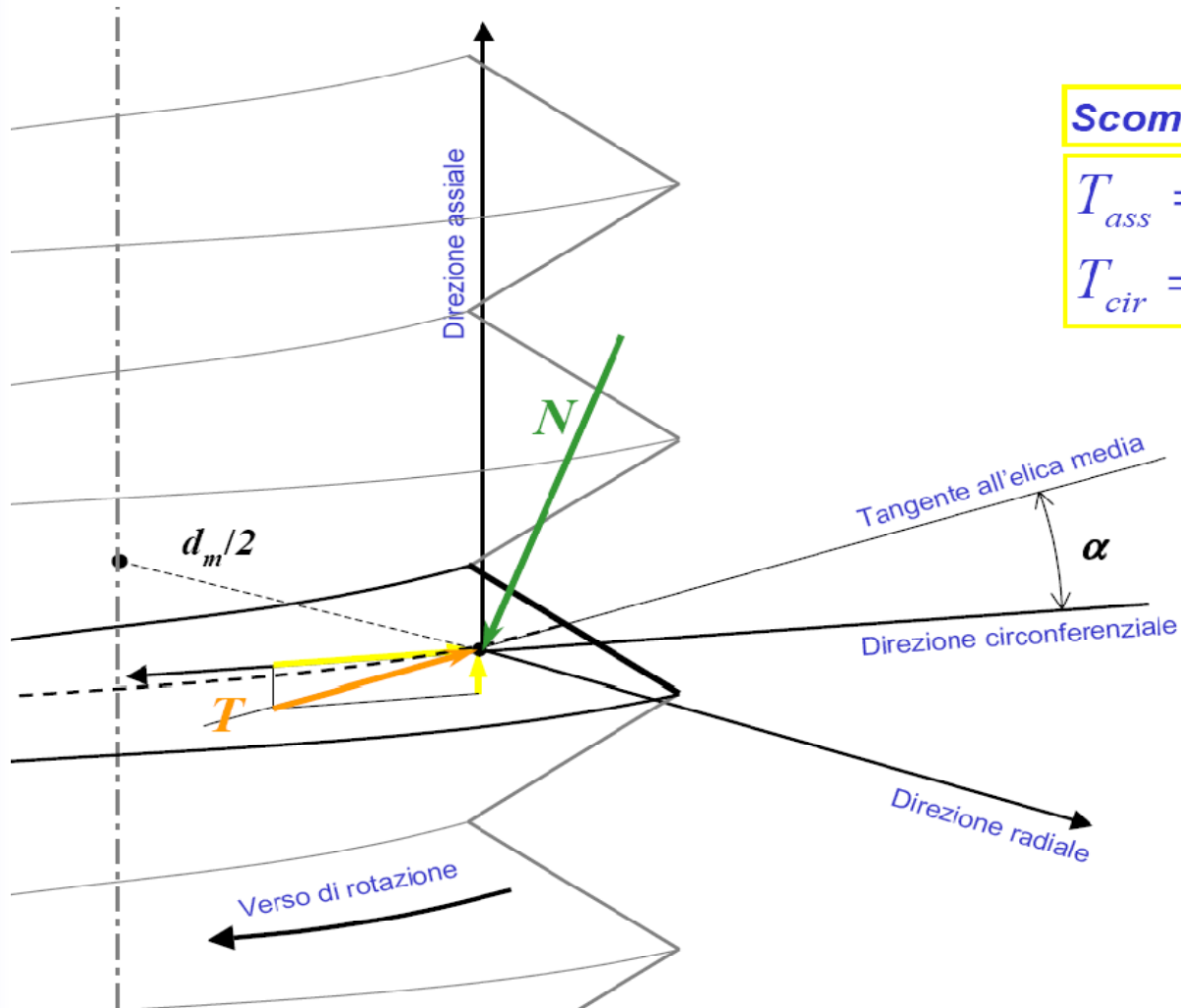
## Scomposizione di $N$ :

$$N_{rad} = -N \sin \beta_n$$

$$N_{ass} = -N \cos \beta_n \cos \alpha$$

$$N_{cir} = -N \cos \beta_n \sin \alpha$$

# Momento di serraggio



**Scomposizione di  $T$ :**

$$T_{ass} = T \sin \alpha$$

$$T_{cir} = -T \cos \alpha$$

# Momento di serraggio

Indicando con  $R_{ass}$  e  $R_{cir}$  le risultanti secondo le direzioni assiale e circonferenziale delle forze studiate, potremo scrivere:

$$R_{ass} = N_{ass} + T_{ass} = -N \cos \beta_n \cos \alpha + T \sin \alpha$$

$$R_{cir} = N_{cir} + T_{cir} = -N \cos \beta_n \sin \alpha - T \cos \alpha$$

Sostituendo a  $T$  l'espressione  $fN$ , potremo ricavare dalle equazioni precedenti la seguente relazione tra  $R_{ass}$  e  $R_{cir}$ :

$$R_{cir} = R_{ass} \frac{\cos \beta_n \sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \beta_n \cos \alpha - f \sin \alpha}$$

# Momento di serraggio

Sebbene  $\beta_n$  sia esprimibile in funzione di  $\alpha$  e  $\beta$ :

$$\tan \beta_n = \tan \beta \cos \alpha$$

molto spesso si considera accettabile porre  $\beta_n = \beta$ .

Dalle relazione precedente segue immediatamente il legame tra il momento di serraggio  $M_1$  ed il carico assiale sulla vite  $R_{ass}$ :

$$M_1 = R_{cir} \frac{d_m}{2} = R_{ass} \frac{d_m}{2} \frac{\cos \beta \sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \beta \cos \alpha - f \sin \alpha}$$

Infine, considerando l'interazione tra la testa della vite e la sua superficie di appoggio avremo anche il contributo  $M_2$ :

$$M_2 = \frac{f R_{ass} D_m}{2}$$

dove  $D_m$  è il diametro medio della testa della vite.

# Momento di serraggio

Per una vite **ISO M10** a cui si vuole dare una forza di serraggio di **20 kN** sarà necessario applicare la somma dei momenti  $M_1$  ed  $M_2$  così calcolati:

$$\alpha \cong 2.73^\circ$$

$$\beta = 30^\circ$$

$$d_m \cong 9 \text{ mm}$$

$$D_m \cong 13 \text{ mm}$$



$$M_1 = R_{ass} \frac{d_m \cos \beta \sin \alpha + f \cos \alpha}{2 \cos \beta \cos \alpha - f \sin \alpha} \cong 22.5 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{f R_{ass} D_m}{2} \cong 22 \text{ Nm}$$

## Procedura semplificata

$$M_t = Q \cdot F_i \cdot d$$

$$Q = 0.15 \div 0.2$$

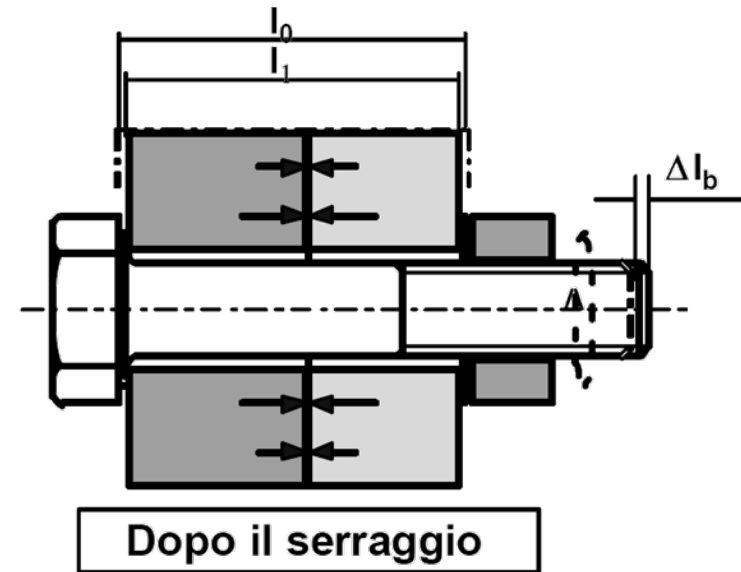
N.B.

- Tipicamente il precarico si rilassa del 10% 20% in tempi brevi
- Le chiavi dinamometriche hanno margini di incertezza piuttosto alti

# Triangolo di serraggio

## L'avvitamento del bullone (serraggio) provoca:

- uno schiacciamento  $\Delta l_c$  delle piastre e di eventuali guarnizioni;
- un allungamento  $\Delta l_b$  del fusto del bullone;
- deformazioni minori del dado e della testa del bullone.
- La somma delle deformazioni di serraggio è detta **interferenza**.





# Triangolo di serraggio

## Effetti di forze esterne assiali

- **Si modifica lo stato iniziale di preserraggio.**
- **Se le forze esterne tendono a separare le piastre la capacità di trasmettere forze trasversali per attrito o di fare tenuta si riduce**
- **Esiste un valore critico della forza esterna per cui queste capacità si annullano.**

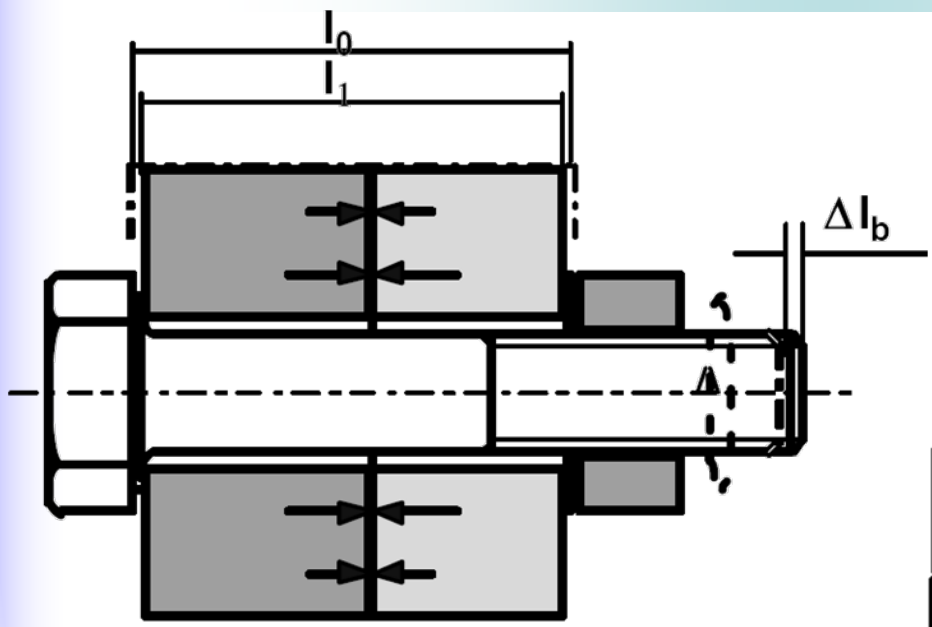
## Triangolo di serraggio

**Se dopo il serraggio viene applicato un carico esterno di trazione  $F_e$  si ha:**

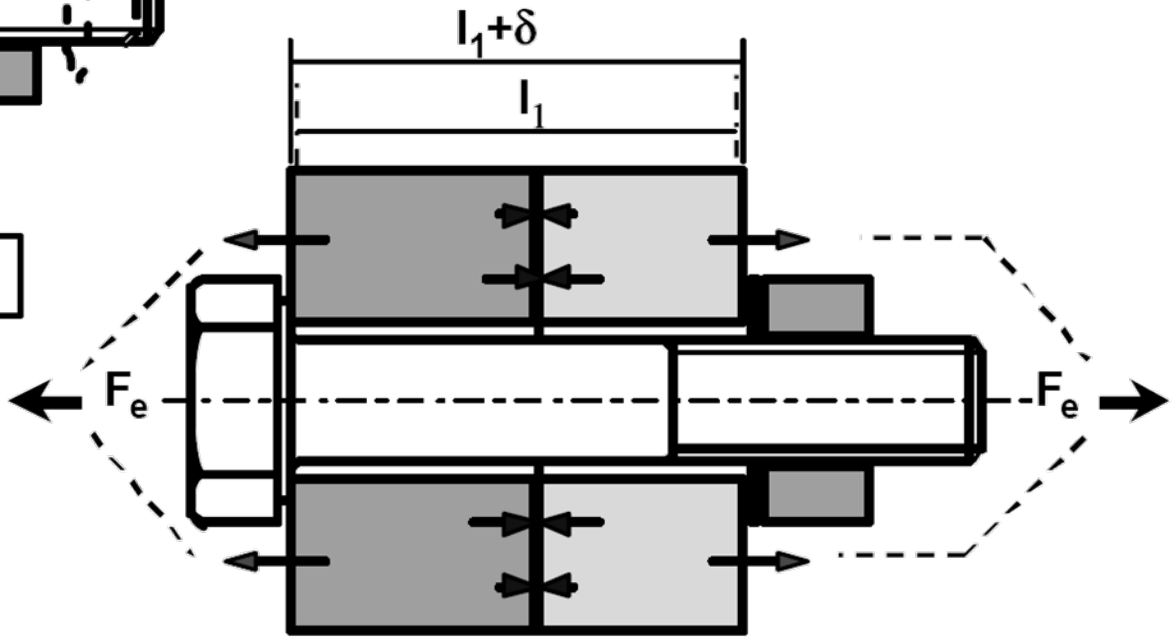
- un ulteriore allungamento  $\delta$  del bullone;
- una riduzione dello schiacciamento delle piastre pari a  $\delta$  ;
- un aumento della forza agente sul bullone fino al valore  $F_b$  ;
- una riduzione della compressione delle piastre, fino al valore  $F_c$ .



# Triangolo di serraggio



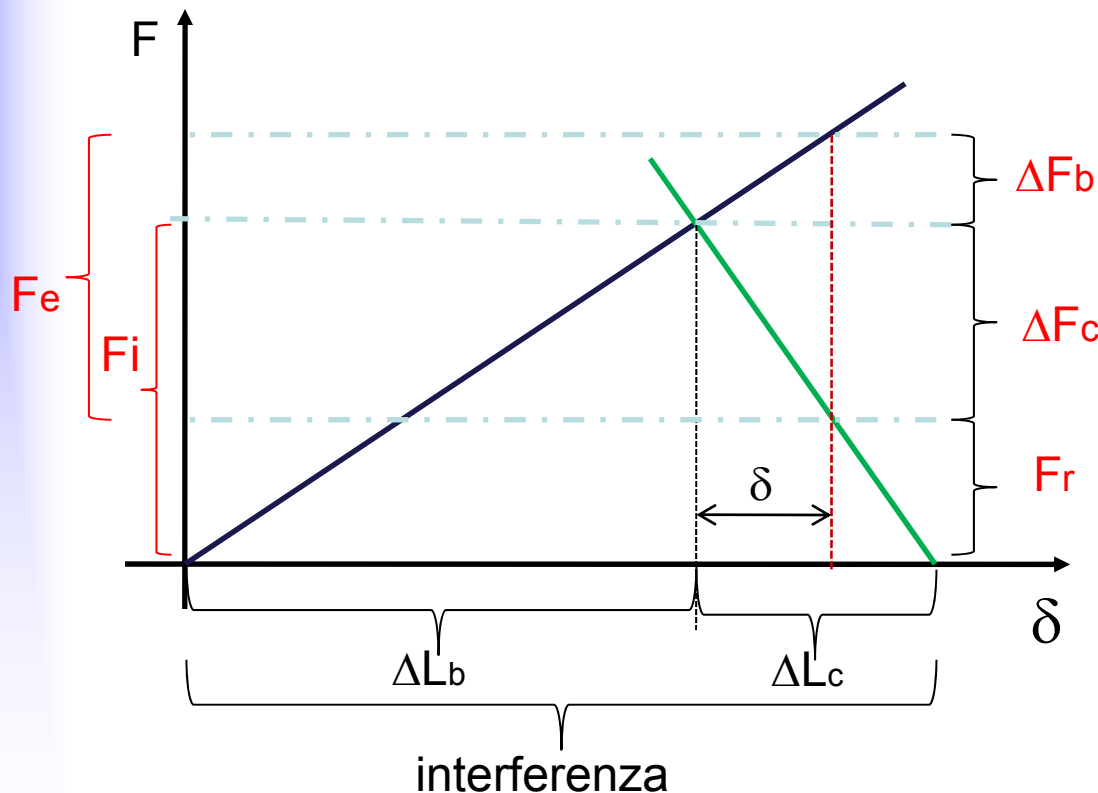
Dopo il serraggio



Con forza esterna di distacco

# Triangolo di serraggio

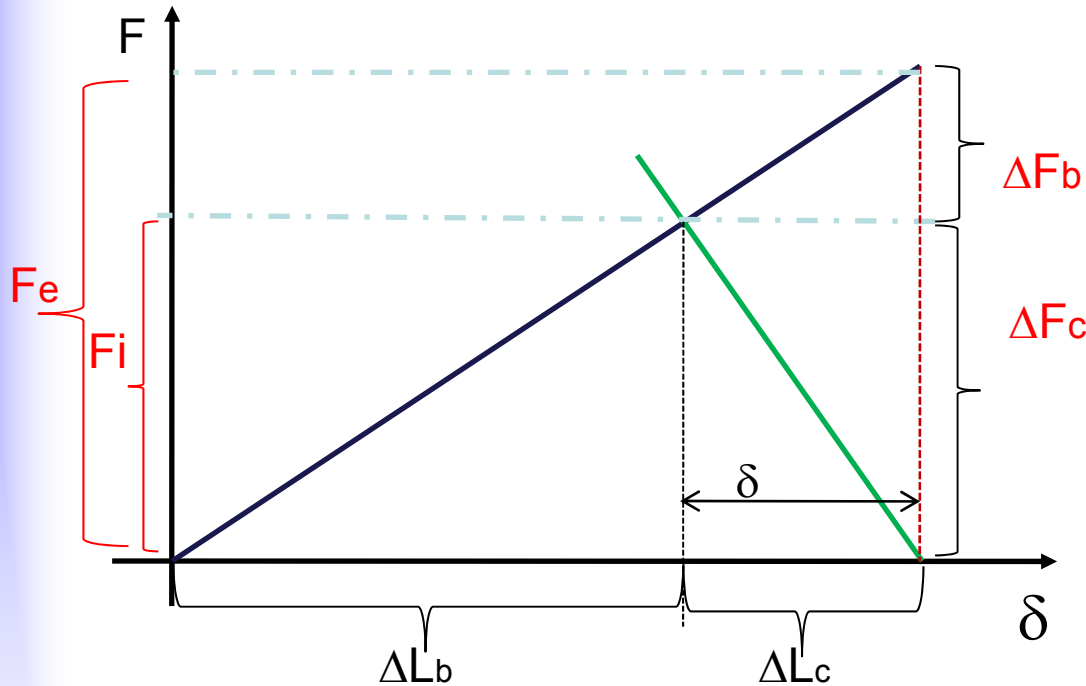
Rappresentazione grafica delle forze in gioco e punto di lavoro della giunzione bullonata



$F_r$  è la forza residua di compressione degli elementi collegati dopo l'applicazione di un carico esterno  $F_e$  che provoca un ulteriore allungamento  $d$  del bullone e una variazione di forza  $\Delta F_b$  e  $\Delta F_c$  rispettivamente del bullone e degli elementi

$$F_r = \Delta F_c - F_i$$

# Triangolo di serraggio



La separazione degli elementi avviene quando  $F_r$  si annulla cioè quando la forza esterna è sufficientemente grande da annullare il precarico  $F_i$

Per ottenere una relazione progettuale dobbiamo esprimere  $F_r$  in funzione di grandezze note ( $k_b, k_c, F_e, F_i$ )

## Triangolo di serraggio

**Per l'equilibrio le variazioni delle forze sul bullone e sulle piastre devono verificare la:**

$$F_e = \Delta F_b + \Delta F_c$$

**Tra la deformazione  $\delta$  e le forze vale la:**

$$\Delta F_b = k_b \cdot \delta \quad ; \quad \Delta F_c = k_c \cdot \delta$$

**ove  $k_b$  e  $k_c$  rappresentano le rigidzze del bullone e delle piastre.**

## Triangolo di serraggio

**Dalle relazioni precedenti si ha:**

$$F_e = (k_b + k_c) \cdot \delta$$

$$\delta = \frac{F_e}{k_b + k_c}$$

**Si noti che, grazie al preserraggio, la rigidezza del collegamento diviene pari alla somma delle due rigidezze.**

## Triangolo di serraggio

**In base alle relazioni precedenti si ottiene:**

$$\Delta F_b = \frac{k_b}{k_b + k_c} F_e; \quad \Delta F_c = \frac{k_c}{k_b + k_c} F_e$$

**Le forze agenti su bullone e piastre saranno:**

$$F_b = F_i + \frac{k_b}{k_b + k_c} F_e = F_i + C \cdot F_e$$

$$F_c = F_i - \frac{k_c}{k_b + k_c} F_e = F_i - (1 - C) F_e = -F_r$$

## Triangolo di serraggio

$$F_r=0 \quad \longrightarrow \quad (1-C)F_e - F_i=0$$

*La forza esterna  $F_e$  diventa una forza di separazione  $F_s$  se soddisfa la relazione:*

$$F_s \geq \frac{F_i}{(1-C)}$$

## Relazioni di progetto

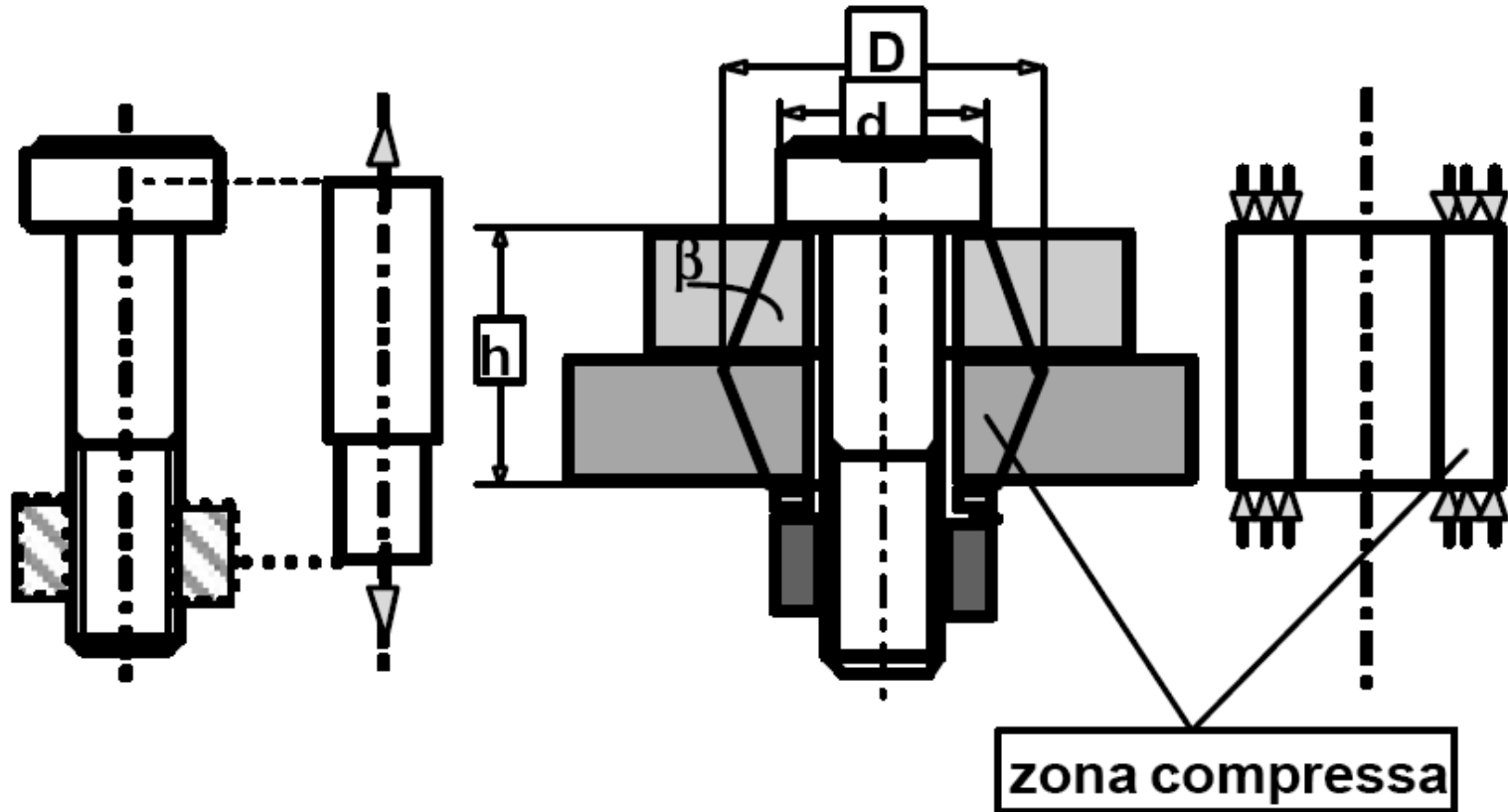
$$n = \frac{F_s}{F_e} = \frac{\alpha \cdot S_p \cdot A_b}{F_e \cdot (1 - C)} \quad \text{Coefficiente di sicurezza}$$

$$A_b = \frac{n \cdot F_e \cdot (1 - C)}{\alpha \cdot S_p} \quad \text{per 1 bullone}$$

$$N \cdot A_b = \frac{n \cdot F_e \cdot (1 - C)}{\alpha \cdot S_p} \quad \text{per N bulloni}$$



# Calcolo delle Rigidezze



**SCHEMATIZZAZIONI**

# Calcolo delle rigidezze

In prima approssimazione si possono calcolare le rigidezze dalle:

$$k_b \cong \frac{E_b A_b}{l} \quad k_c \cong \frac{E_c A_c}{l} \quad \Bigg| \quad \cong \frac{8A_b \cdot E_c}{l}$$

$$A_c \cong \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{d_3 + d_2}{2} \right)^2 - d_1^2 \right]$$

$$C = K_b / (K_b + K_e) \approx 1/9$$

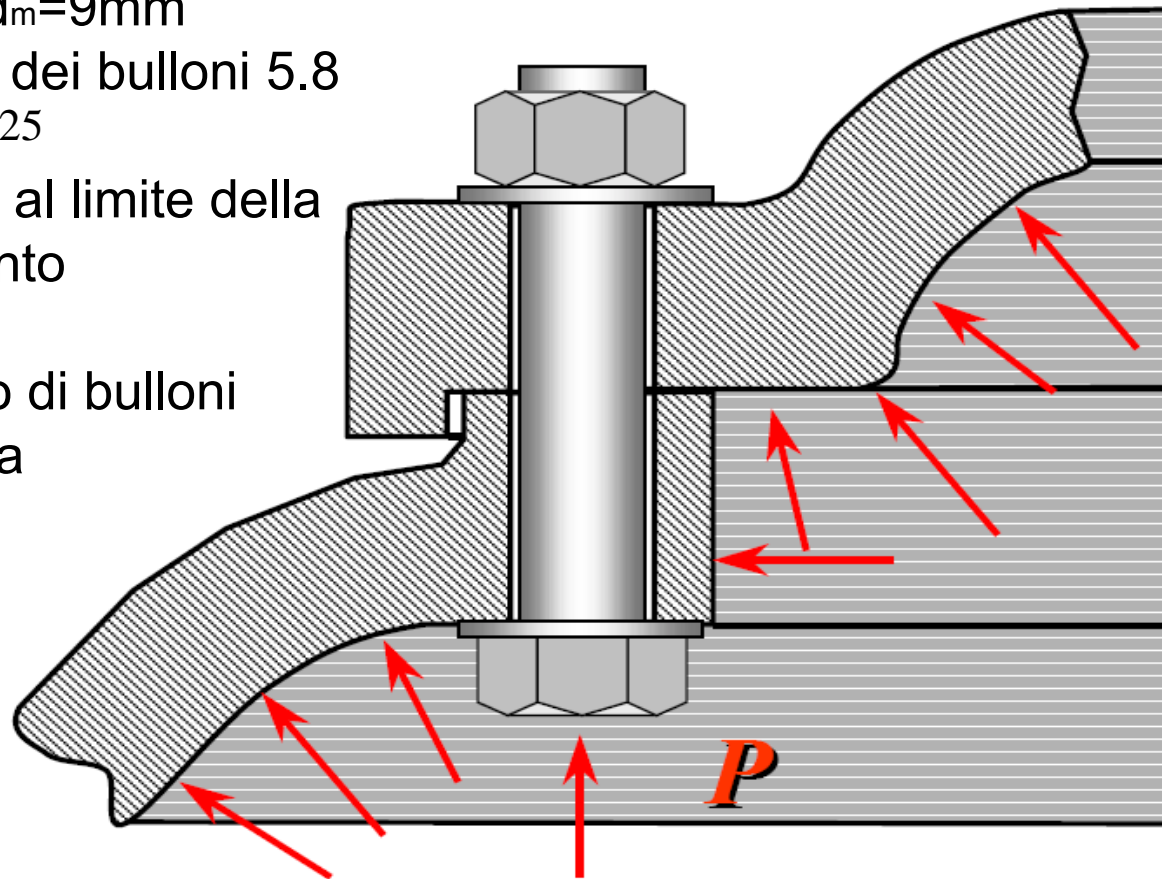
**N.B.:** Si vedano i manuali per una migliore approssimazione

## Esercizio

- Pressione  $p=100$  bar
- Raggio della copertura  $r=100$ mm
- diametro medio viti  $d_m=9$ mm
- Classe di resistenza dei bulloni 5.8
- $\gamma_F = 1.3$   $\gamma_M = 1.25$
- Precarico nei bulloni al limite della tensione di snervamento

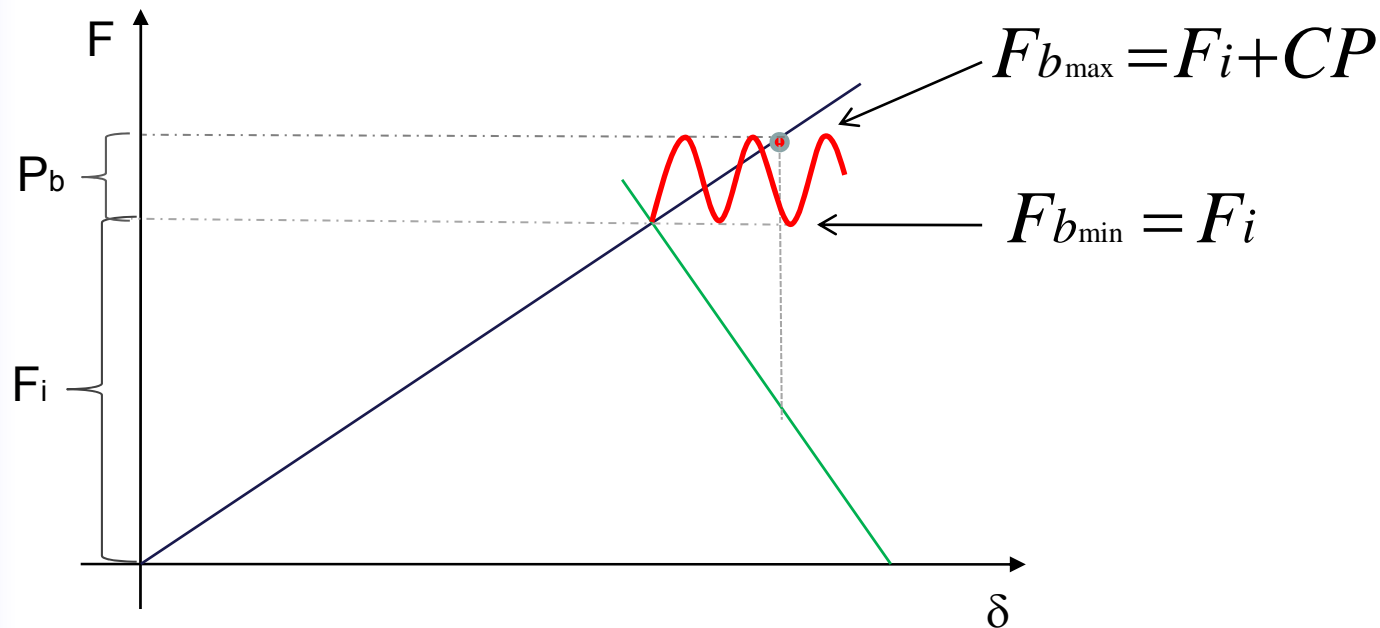
Determinare il numero di bulloni necessari per la tenuta

[N=18]



# Resistenza a fatica

Le giunzioni bullonate possono cedere a fatica per effetto di vibrazioni o carichi pulsanti che si sovrappongono alla forza di precarico ( $F_i$ ).

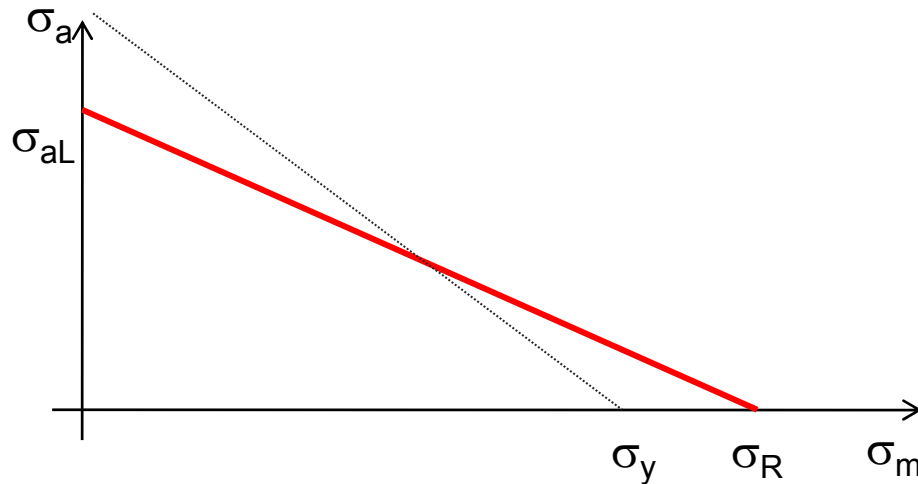


Dell'intero carico  $P$  pulsante dallo zero solo l'aliquota  $P_b = CP$  agirà sul bullone

# Resistenza a fatica

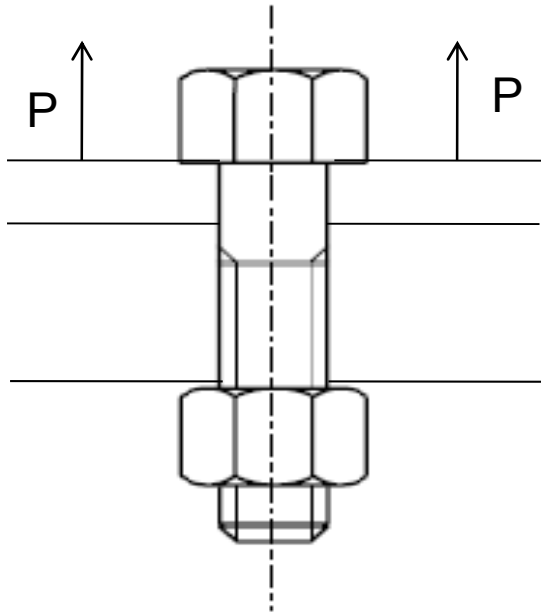
$$\sigma_a = \frac{F_{b_{\max}} - F_{b_{\min}}}{2 \cdot A_t} = \frac{CP}{2 \cdot A_t}$$

$$\sigma_m = \frac{F_{b_{\max}} + F_{b_{\min}}}{2 \cdot A_t} = \frac{2F_i + CP}{2 \cdot A_t} = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP}{2 \cdot A_t} = \sigma_i + \sigma_a$$



L'ampiezza non è funzione del precarico mentre la media cresce al crescere del precarico.  
Il precarico è benefico ma attenzione perché aumentando il precarico riduco il rapporto di carico  $\sigma_a/\sigma_m$

# Esercizio



- Carico  $P$  pulsante dallo zero
- Classe di resistenza del bullone 8.8
- M20

Determinare il carico esterno  $P$  che si può applicare alla giunzione garantendone una vita infinita nelle seguenti condizioni:

- a) Assenza di precarico
- b) Precarico nel bullone al limite della tensione di precarico