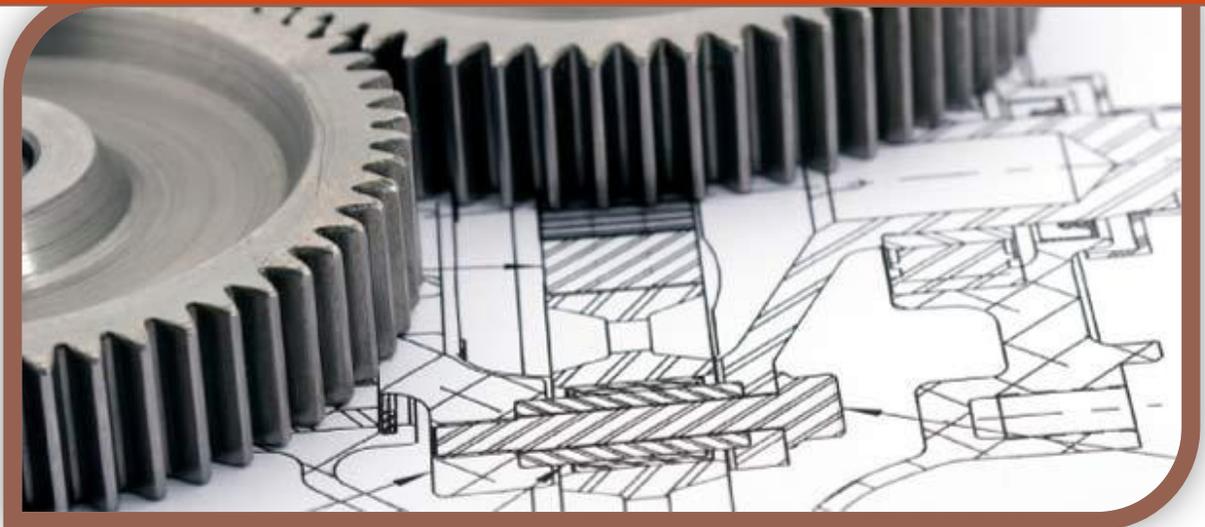


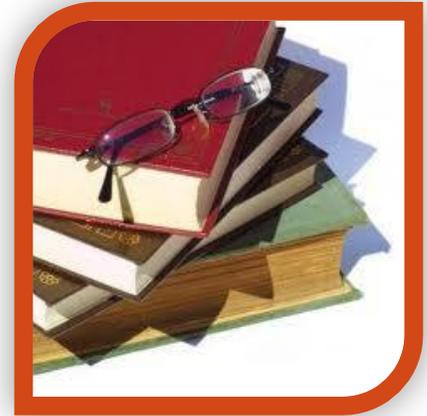
Formulario di Costruzione di Macchine



Versione 3.04
Dipartimento di Ingegneria
Università di Ferrara
09/12/2012
roberto.tovo@unife.it

Introduzione

Questo “Formulario di Costruzione di Macchine” costituisce una raccolta di schemi di riferimento, grafici e formule per le verifiche strutturali richieste nelle esercitazioni e nella verifica scritta dell’esame. Esso non fornisce una trattazione esaustiva o accurata degli argomenti affrontati, quindi non può essere considerato come un testo di riferimento per la preparazione dell’esame. Il formulario è semplicemente una raccolta di formule, dati e suggerimenti allo studente, per la realizzazione dei progetti e delle relazioni di calcolo proposte durante il corso.



Inoltre il presente formulario è l’unico supporto utilizzabile dallo studente durante la prova scritta dell’esame di “Costruzione di Macchine”.

Il presente formulario è disponibile per gli studenti, ma deve essere inteso come uno strumento ad uso interno del corso, non deve essere divulgato e tantomeno commercializzato. Esso contiene anche alcune immagini e tabelle tratte dal testo suggerito per lo studio: Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett: Shigley – Progetto e costruzione di macchine, 2/ed, McGraw Hill. A tale testo, oltre che alle lezioni, si rimanda per approfondimenti e chiarimenti.

Sommario

Torsione	1	g) Effetto Tensione Media	11
<i>Sez. circolare ad asse rettilineo</i>	1	h) Effetto della Storia di carico	12
<i>Sez. non circolari piene</i>	1	Verifica a fatica	12
<i>Sezioni aperte in parete sottile</i>	1	Verifica a fatica in componenti	12
<i>Sezioni chiuse in parete sottile</i>	1	Verifica in presenza di ampiezze variabili	13
Travi ad asse curvilineo	2	Normative tecniche per costruzioni metalliche	14
Membrane Assial-simmetriche	3	Materiali	14
Gusci Spessi	3	Collegamenti filettati	14
1) <i>recipiente con pressione interna:</i>	4	Aspetti generali di viti e bulloni	14
2) <i>Recipiente con pressione esterna</i>	5	Verifica dei Bulloni	15
<i>Forzamento di due dischi</i>	5	Valori Resistenziali dei singoli bulloni	15
3) <i>Dischi in rotazione</i>	6	Bulloni portanti o resistenti a taglio	16
<i>Dischi pieni:</i>	6	a) Resistenza dei bulloni a taglio	16
Verifica di resistenza in componenti meccanici	7	b) Resistenza dei bulloni a trazione:	16
<i>Effetti di concentrazione delle tensioni</i>	7	c) Resistenza dei bulloni a carichi combinati:	16
<i>Verifica a snervamento di componenti</i>	7	Bulloni resistenti ad attrito	17
Criteri di resistenza	7	a) Resistenza dei bulloni a forze sul piano	17
<i>Criterio di Tresca</i>	7	b) Resistenza dei bulloni a carichi combinati	17
<i>Criterio di Von Mises</i>	7	Calcolo delle forze per bullone nei giunti soggetti a momento	17
<i>Criteri di resistenza: sistema non principale</i>	7	a) Giunti sollecitati a Mt	17
Fatica	8	b) Giunti soggetti a Mf	17
<i>Grandezze Fondamentali</i>	8	Giunzioni Saldate	18
<i>Curva di Woehler o SN:</i>	8	Verifica del cordone di saldatura	18
<i>Valori di riferimento</i>	9	Verifica delle giunzioni saldate (con metodo semplificato)	19
<i>Fattori di influenza</i>	9	Verifica a fatica per le strutture saldate	21
a) <i>Rugosità superficiale:</i>	9	Appendici	23
b) <i>Dimensioni Assolute o Scala:</i>	9	Volumi di utilizzo comune :	23
c) <i>Tipologia di carico</i>	10	Geometria delle aree	23
d) <i>Temperatura</i>	10	Coefficienti di concentrazione delle tensioni	25
e) <i>Probabilità di rottura</i>	10		
f) <i>Forma</i>	10		



Torsione

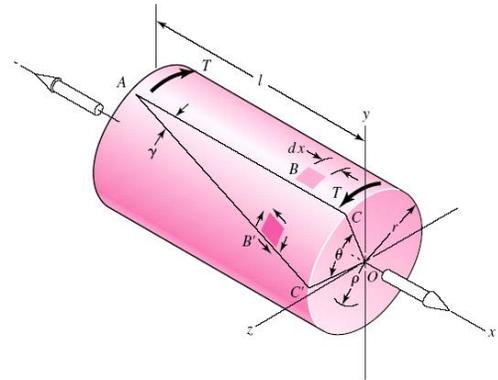
Sez. circolare ad asse rettilineo

stato tensionale:

$$\tau = \frac{M_t}{J_p} \rho; \quad \text{dove: } J_p = \frac{\pi}{2} r^4$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{J_p} r = \frac{2}{\pi} \frac{M_t}{r^3}$$

Freccia rotazionale $f_\theta = \frac{M_t l}{G J_p} [\text{rad}]; \quad \text{con } G = \frac{1}{2} \frac{E}{(1+\nu)}$



Sez. non circolari piene

Sezione ellittica	Sezione rettangolare																		
$\tau_{\max} = \frac{2}{\pi} \frac{M_t}{c^2 b}$ $f_\theta = \frac{c^2 + b^2}{2b^2} \frac{2}{\pi} \frac{M_t \cdot l}{G c^3 b}$ <p>c: semiasse minore b: semiasse maggiore</p>	$\tau_{\max} = \frac{1}{\alpha} \frac{2}{\pi} \frac{M_t}{c^2 b} \cong \frac{M_t}{c^2 b} \left(3 + \frac{1.8}{b/c} \right)$ $f_\theta = \frac{1}{\beta} \frac{2}{\pi} \frac{M_t \cdot l}{G c^3 b}$ <p>c: lato minore b: lato maggiore</p>																		
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>b/c</th> <th>1</th> <th>1.5</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α</td> <td>0.208</td> <td>0.231</td> <td>0.246</td> <td>0.267</td> <td>0.333</td> </tr> <tr> <td>β</td> <td>0.141</td> <td>0.196</td> <td>0.228</td> <td>0.263</td> <td>0.333</td> </tr> </tbody> </table>		b/c	1	1.5	2	3	∞	α	0.208	0.231	0.246	0.267	0.333	β	0.141	0.196	0.228	0.263	0.333
b/c	1	1.5	2	3	∞														
α	0.208	0.231	0.246	0.267	0.333														
β	0.141	0.196	0.228	0.263	0.333														

Sezioni aperte in parete sottile

Si definisce: t = spessore di un tratto rettangolare
 L = lunghezza di un tratto rettangolare
 l = lunghezza della trave

Formula semplificata per sezioni rettangolari a spessore sottile

$$\tau_{\max} = 3 \frac{M_t}{t^2 L} \quad \text{ponendo } J = \frac{1}{3} t^3 L \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{M_t}{J} t$$

Sezioni composte a spessore costante e a spessore variabile

Eq. Generale $J = \sum J_i = \sum \frac{1}{3} t_i^3 L_i; \quad \tau_{\max} = \frac{M_t}{J} t_{\max}; \quad f_\theta = \frac{M_t \cdot l}{G J}$

Per t = costante
$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{\frac{1}{3} t^2 \sum L_i}$$

Sezioni chiuse in parete sottile

Formula di Bredt: tensioni tangenziali
$$\tau = \frac{M_t}{2 A t} \quad \tau_{\max} = \frac{M_t}{2 A t_{\min}}$$

freccia rotazionale t = costante
$$f_\theta = \frac{M_t l}{4 G A^2} \frac{L}{t}$$

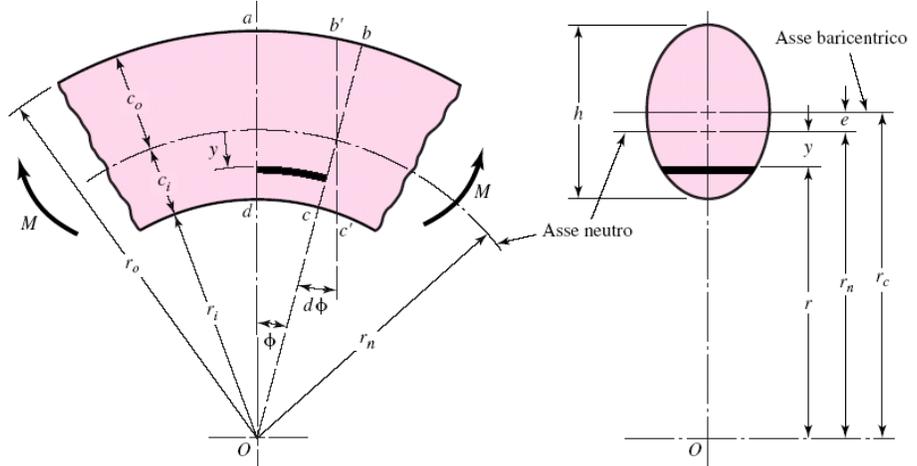
t = variabile
$$f_\theta = \frac{M_t l}{4 G A^2} \sum \frac{L_i}{t_i}$$

dove: A = area descritta dalla linea media
 L = lunghezza della linea media
 t = spessore in un punto generico

Travi ad asse curvilineo

r_c = raggio baricentrico
 r_n = raggio neutro
 r = distanza dal centro di curvatura
 M = Momento flettente
 e = eccentricità = $r_c - r_n$

distanza generica:
 $y = r_n - r$



$\Delta\phi$ = rotazione infinitesima attorno all'asse neutro: $\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{M}{EAe}$

Formula generale dello stato tensionale $\sigma = \frac{M}{Ae} \left(\frac{r_n}{r} - 1 \right)$

Dove il valore dell'eccentricità dipende dalla geometria della sezione e dalla curvatura.
 Si consideri in genere: r_i = raggio interno; r_o = raggio esterno

$r_c = r_i + \frac{h}{2}$ $r_n = \frac{h}{\ln(r_o/r_i)}$	$r_c = r_i + R$ $r_n = \frac{R^2}{2(r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2})}$
$r_c = r_i + \frac{h}{3} \frac{b_i + 2b_o}{b_i + b_o}$ $r_n = \frac{A}{b_o - b_i + [(b_i r_o - b_o r_i)/h] \ln(r_o/r_i)}$	$r_c = r_i + \frac{\frac{1}{2}h^2t + \frac{1}{2}t_o^2(b_i - t) + t_o(b_o - t)(h - t_o/2)}{t(b_i - t) + t_o(b_o - t) + ht}$ $r_n = \frac{t_i(b_i - t) + t_o(b_o - t) + ht_o}{b_i \ln \frac{r_i + t}{r_i} + t \ln \frac{r_o - t_o}{r_i + t_i} + b_o \ln \frac{r_o}{r_o - t_o}}$
$r_c = r_i + \frac{b_i c_1^2 + 2b_o c_1 c_2 + b_o c_2^2}{2(b_o c_2 + b_i c_1)}$ $r_n = \frac{b_i c_1 + b_o c_2}{b_i \ln[(r_i + c_1)/r_i] + b_o \ln[r_o/(r_i + c_1)]}$	$r_c = r_i + \frac{\frac{1}{2}h^2t + \frac{1}{2}t_o^2(b - t) + t_o(b - t)(h - t_o/2)}{ht + (b - t)(t_i + t_o)}$ $r_n = \frac{(b - t)(t_i + t_o) + ht}{b \left(\ln \frac{r_i + t_i}{r_i} + t \ln \frac{r_o}{r_o + t_o} \right) + t \ln \frac{r_o - t_o}{r_i + t_i}}$

Membrane Assial-simmetriche

Si definiscono le seguenti grandezze fondamentali:

- R_m = raggio meridiano; σ_m = tensione meridiana;
- R_t = raggio trasversale; σ_t = tensione trasversale;
- t = spessore del serbatoio; p = pressione interna agente sul serbatoio.

Equazione fondamentale delle membrane assial-simmetrico:
$$\frac{p}{t} = \frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_t}{R_t}$$

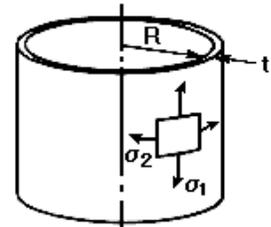
La rimanente equazione si determina dall'equilibrio longitudinale del serbatoio.

Esempi:

a) **sezione cilindrica chiusa:**(recipiente cilindrico con pressione interna)

$R_m = \infty$; $R_t = R$ = raggio del cilindro;

$$\sigma_t = \frac{p \cdot R}{t}; \quad \sigma_m = \frac{p \cdot R}{2t}$$



b) **serbatoio cilindrico, appoggiato sul fondo, contenente liquido**

$R_m = \infty$; $R_t = R$ = raggio del cilindro; z = profondità rispetto al livello del liquido;

$p = z\gamma$ con γ = peso specifico tensioni: $\sigma_t = \frac{p \cdot R}{t}; \quad \sigma_m = 0$

c) **serbatoio appeso**

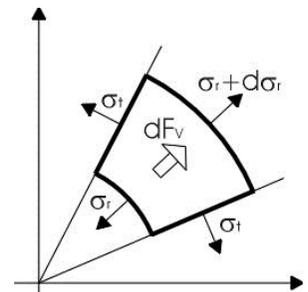
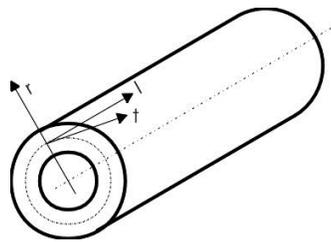
Analogo al caso precedente, con eccezione delle tensioni meridiane e dell'equilibrio longitudinale:

$$\sigma_m = \frac{\gamma h R}{2t} \quad \text{dove } h \text{ è l'altezza totale della colonna fluida}$$

Gusci Spessi

Ipotesi:

- geometria cilindrica a spessore costante;
- σ_L indipendente dalla distanza raggio r .



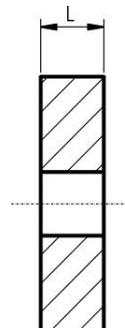
Equazione generale valida per gusci spessi e dischi in rotazione:

$$\begin{cases} \sigma_r = A - \frac{B}{\rho^2} - C\rho^2 \\ \sigma_t = A + \frac{B}{\rho^2} - D\rho^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C = \frac{3+\nu}{8} \sigma_0 \\ D = \frac{3\nu+1}{8} \sigma_0 \\ \sigma_0 = \frac{\gamma}{g} \omega^2 r_e^2 \end{cases}$$

$$\rho = \frac{r}{r_e}$$

$$\beta = \frac{r_i}{r_e}$$



Dove sono definite le seguenti grandezze:

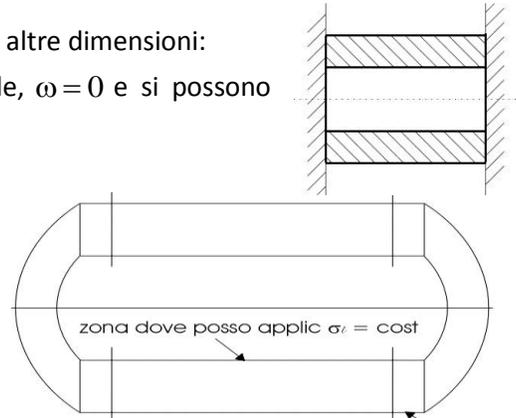
r_e = raggio esterno; A e B costanti (dimensionalmente pressioni) dipendenti dalle condizioni al contorno e indipendenti da ω velocità di rotazione (per i dischi).

Nei dischi la tensione longitudinale $\sigma_1 = 0$ ed L è piccolo rispetto ad altre dimensioni:

Nei recipienti cilindrici, invece, $\sigma_1 = \text{costante}$, L non è trascurabile, $\omega = 0$ e si possono avere i seguenti casi:

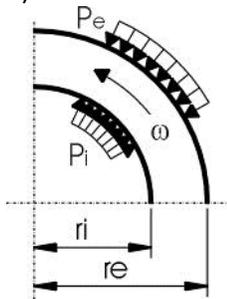
i) recipiente incastrato: $\varepsilon_1 = 0$

ii) Recipiente con fondi di estremità: $\sigma_1 = \cos t \neq 0$



Condizioni al Contorno : per il calcolo di A, B, C, D :

- 1) pressione interna al guscio → tensione radiale : $(p_i) \sigma_r(r_i) = -p_i$
- 2) pressione esterna al guscio → tensione radiale : $(p_e) \sigma_r(r_e) = -p_e$
- 3) con ω si calcolano C e D .



$\sigma_r(r_i) = -p_i$	$\sigma_r(r_i) = 0$	$\sigma_r(r_i) = 0$
$\sigma_r(r_e) = 0$	$\sigma_r(r_e) = -p_e$	$\sigma_r(r_e) = 0$
$\omega = 0$	$\omega = 0$	$\omega \neq 0$
Recip. in press	Tubaz. ad elev profond	disco

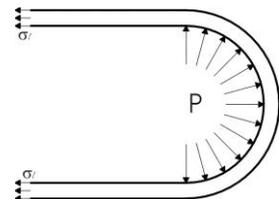
1) recipiente con pressione interna:

Caso con $\omega = 0$:

$$\begin{cases} p_i \neq 0 \\ p_e = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_r(r_i) = -p \\ \sigma_r(r_e) = 0 \end{cases} \Rightarrow A = B = \frac{-p}{1 - \left(\frac{r_e}{r_i}\right)^2} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \sigma_r = p \frac{r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \left[1 - \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right] \\ \sigma_t = p \frac{r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \left[1 + \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right] \end{cases}$$

$$\sigma_1 = \frac{r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} p = A = B = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2}$$



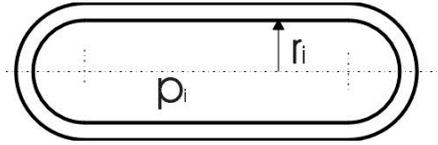
$$\begin{cases} \text{Guest: } \sigma_{id,G} = |\sigma_t - \sigma_r| \\ \text{Von Mises: } \sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 + \sigma_1^2 - \sigma_r \sigma_t - \sigma_r \sigma_1 - \sigma_t \sigma_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_t - \sigma_r) \end{cases}$$

-Recipiente di diametro interno noto e pressione interna nota :

$$\sigma_{id,G} = 2p \frac{r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \geq \sigma_{id,VM}$$

$$\sigma_{id,G} = \frac{2p}{1-\beta^2} \leq \sigma_{amm} \rightarrow \beta = \sqrt{\frac{-2p}{\sigma_{amm}} + 1} \rightarrow r_e = \frac{r_i}{\beta}$$

Per $p > \sigma_{amm} / 2$ non esiste la soluzione aumentando lo spessore.



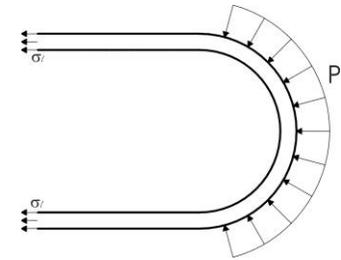
2) Recipiente con pressione esterna

Caso con $\omega = 0$:

$$\begin{cases} p_i = 0 \\ p_e \neq 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_r(r_i) = 0 \\ \sigma_r(r_e) = -p \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = B \left(\frac{r_e}{r_i} \right)^2 \\ B = \frac{p}{r_i^2 - r_e^2} r_i^2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \sigma_r = -p \frac{r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left[1 - \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \\ \sigma_t = -p \frac{r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left[1 + \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \end{cases}$$

$$\sigma_l = -\frac{r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} p = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2}$$

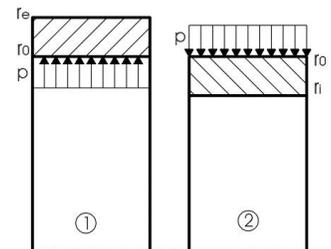


$$\begin{cases} \text{Guest: } \sigma_{id,G} = |\sigma_r - \sigma_t| \\ \text{Von Mises: } \sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 + \sigma_l^2 - \sigma_r \sigma_t - \sigma_r \sigma_l - \sigma_t \sigma_l} = \frac{\sqrt{3}}{2} |\sigma_r - \sigma_t| = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_{id,G} \end{cases}$$

Forzamento di due dischi

grandezze geometriche: δ = interferenza sul raggio
 i_ϕ = interferenza sul diametro

$$\delta = \frac{2pr_0^3}{E} \frac{r_e^2 - r_i^2}{(r_e^2 - r_0^2)(r_0^2 - r_i^2)}; \quad i_\phi = 2\delta$$



Dove "p" è la pressione di contatto.

Coppia trasmissibile:

$$M_t = 2\pi p b \mu r^2$$

Con: "μ" coefficient d'attrito e "b" larghezza del disco.

3) Dischi in rotazione

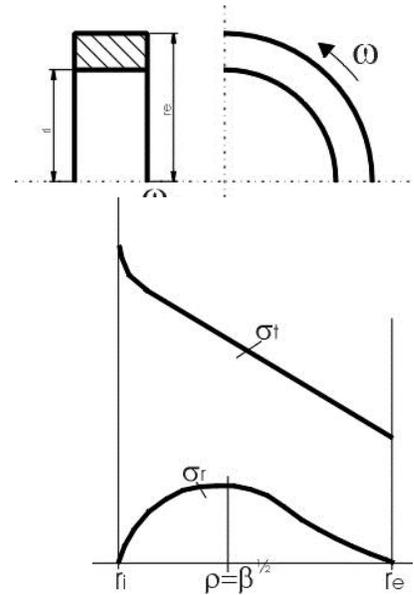
Caso con $\omega \neq 0$ e $\sigma(r_i) = \sigma(r_e) = 0$: (valido solo per dischi, ossia per L piccolo)

$$\text{Condizioni al contorno: } \begin{cases} \sigma_r(r_e) = A - B - C = 0 \\ \sigma_r(r_i) = A - \frac{B}{\rho^2} - C\rho^2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = \beta^2 C \\ A = C(1 + \beta^2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_r = C(1 + \beta^2) - \frac{\beta^2 C}{\rho^2} - C\rho^2 \\ \sigma_t = C(1 + \beta^2) + \frac{\beta^2 C}{\rho^2} - D\rho^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_{id,G} = |\sigma_t - \sigma_r| = \sigma_t \quad \begin{cases} \sigma_t(r_i) = C(2 + \beta^2) - D\beta^2 \\ \sigma_{r,max}(\rho = \sqrt{\beta}) = (1 - \beta)^2 C \end{cases}$$

$$\sigma_0 = \frac{\gamma}{g} \omega^2 r_e^2 = \left[\frac{N}{m^3} \right] \left[\frac{s^2}{m} \right] \left[\frac{rad^2}{s^2} \right] [m^2] = \frac{N}{m^2}$$



Dischi pieni:

Se disco è pieno : $r_i = 0$ quindi $B = 0$;

$$\begin{cases} \sigma_r = A - C\rho^2 \\ \sigma_t = A - D\rho^2 \end{cases}$$

Ed il valore di A dipende dalle condizioni sul bordo esterno

Esempio: Pala di turbina

Forza centrifuga dovuta alla massa "m" delle pale

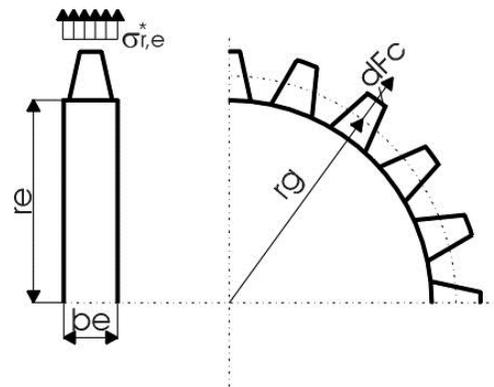
$$F_C = m\omega^2 r_g$$

Pressione (in trazione) sulla superficie esterna

$$\sigma_{r,e} = \frac{F_C}{2\pi r_e b_e} = \chi$$

Lo stato tensionale è il risulta della sovrapposizione di pressione esterna e rotazione:

$$\begin{cases} \sigma_{rT} = \chi + C \left(1 - \left(\frac{r}{r_e} \right)^2 \right) \\ \sigma_{tT} = \chi + C - D \left(\frac{r}{r_e} \right)^2 \end{cases}$$



Verifica di resistenza in componenti meccanici

Effetti di concentrazione delle tensioni

In presenza di variazioni della sezione resistente, l'effetto geometrico induce una concentrazione delle tensioni rispetto a quanto calcolabile con il modello "trave" o altri modelli strutturali semplici.

Siano: *tensioni nominali*: σ_{nom} le tensioni calcolati con modelli in ipotesi di sezione costante (es. trave)

tensioni di picco: σ_p il massimo nella geometria delle tensioni

coefficiente di concentrazione delle tensioni:
$$K_t = \frac{\sigma_p}{\sigma_{nom}}$$

Verifica a snervamento di componenti

Nei confronti della verifica a rottura o snervamento, nei materiali fragili vanno verificati i picchi di tensione, per i materiali duttili la verifica deve essere imposta sulle tensioni nominali, confidando nella redistribuzione dei picchi di tensione:

Fragili	Duttili
$\sigma_p = K_t \sigma_{nom} \leq \frac{S_y}{\gamma}$	$\sigma_{nom} \leq \frac{S_y}{\gamma}$

Dove γ è il coefficiente di sicurezza (o Fattore di progetto).

Criteri di resistenza

Criterio di Tresca

criterio della Massima tensione tangenziale o di Tresca o di Guest

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_L$$

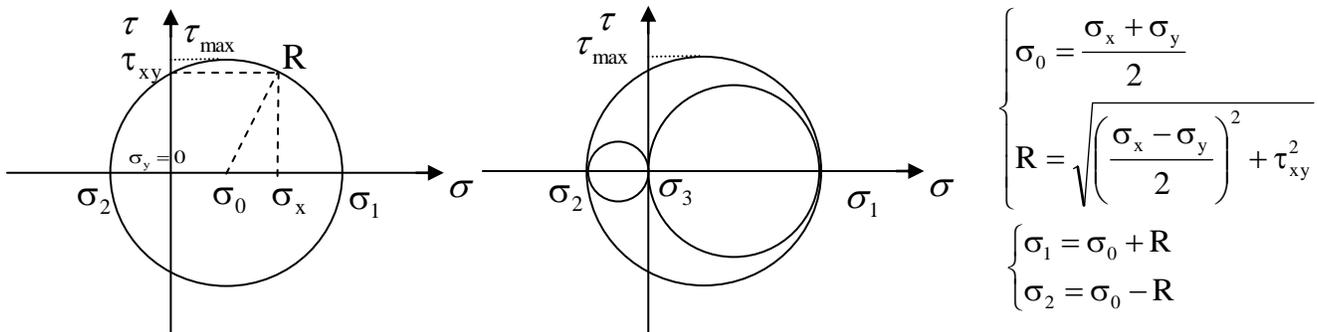
Criterio di Von Mises

Criterio della massima densità di energia di deformazione per variazione di forma (o di Von Mises)

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)} \leq \sigma_L$$

Criteri di resistenza: sistema non principale

Richiami di cerchi di Mohr per stati piano di tensione:



a) per Von Mises: $\sigma_{eq,VM}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2$; se $\sigma_y = 0$ $\sigma_{eq,VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$;

b) per Tresca: se $\sigma_2 < \sigma_3 < \sigma_1$; $\sigma_{eq,G} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$

se $\sigma_3 = \sigma_y = 0$; $\sigma_{eq,G} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$

Fatica

Grandezze Fondamentali

ipotizzando variazioni nel tempo sinusoidali

Andamento temporale: $\sigma(t) = \sigma_m + \sigma_a \sin(\omega t + \varphi)$

Range e ampiezza di tensione: $\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 2\sigma_a = \Delta\sigma$

Rapporto di sollecitazione R:

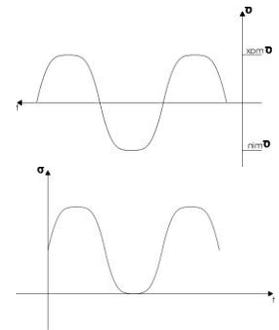
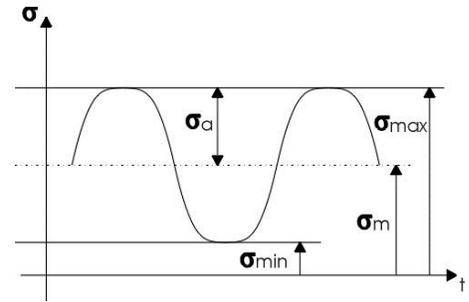
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}; \sigma_{\max} = \frac{2 \cdot \sigma_m}{1 + R}; \sigma_{\max} = \frac{2 \cdot \sigma_a}{1 - R}; \sigma_a = \frac{\sigma_m(1 - R)}{1 + R}$$

Casi Notevoli:

1) **Ciclo Alterno Simmetrico:** $\begin{cases} \sigma_m = 0 \\ R = -1 \end{cases}$

2) **Ciclo Pulsante:**

$$\begin{cases} \sigma_m = \sigma_a \\ \sigma_{\max} = 2\sigma_a \\ \sigma_{\min} = 0 \rightarrow R = 0 \end{cases}$$



Curva di Woehler o SN:

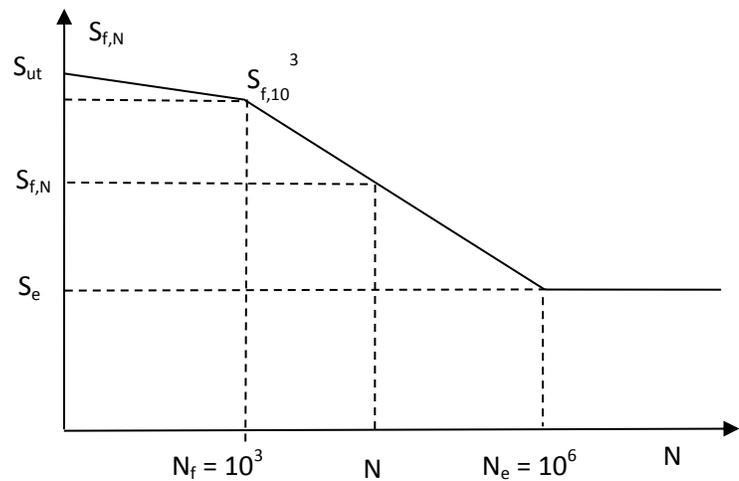
Equazioni del tratto a vita a termine:

$$S_{f,N} = a N^b \quad \text{oppure} \quad S_{f,N} = S_e \left(\frac{N}{10^6} \right)^b$$

Dove:

$$a = \frac{(S_{f,10^3})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{S_{f,10^3}}{S_e}$$



In alternativa è utilizzata anche la seguente notazione:

$$S_{f,N}^k N = S_e^k N_e$$

Dove il valore dell'esponente "k" vale: $k = -1/b = 3 \log(S_{f,10^3}/S_e)$

Valori di riferimento

Resistenza a basso numero di cicli:

$$S_{f,10^3} = f S_{ut}$$

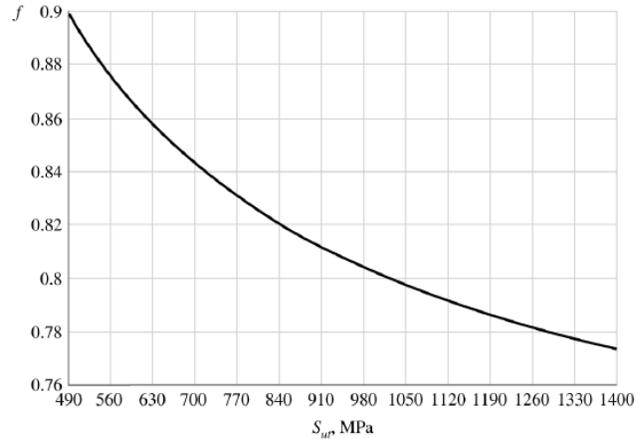
dove: $f = 0,9$ (scelta consigliata)
oppure in accordo alla figura

Resistenza ad alto numero di cicli:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

con: k_i fattori di influenza
 S'_e resistenza del materiale base

$$S'_e = \begin{cases} 0,5S_{ut} & \text{se } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & \text{se } S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$



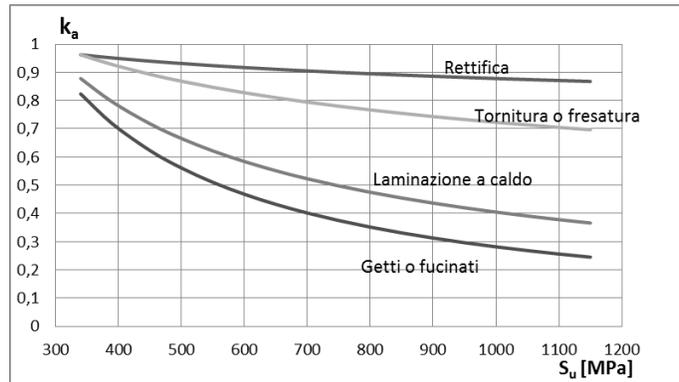
Fattori di influenza

a) Rugosità superficiale:

$$k_a = k_a(R_A, S_u) = c S_u^d$$

$$\text{Rugosità: } R_A = \frac{1}{l_o} \int |y| dx$$

	c	d
Lucidatura o rettifica	1,58	-0,085
Lavorazioni con macchine utensile	4,51	-0,265
Laminazione a caldo	57,1	-0,718
Getti in sabbia o terra, grezzi	272	-0,995



b) Dimensioni Assolute o Scala:

Per flessione rotante su elementi cilindrici:

$$k_b = \begin{cases} 1,24d^{-0,107} & \text{se } 3 < d < 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & \text{se } 51 < d < 250 \text{ mm} \end{cases}$$

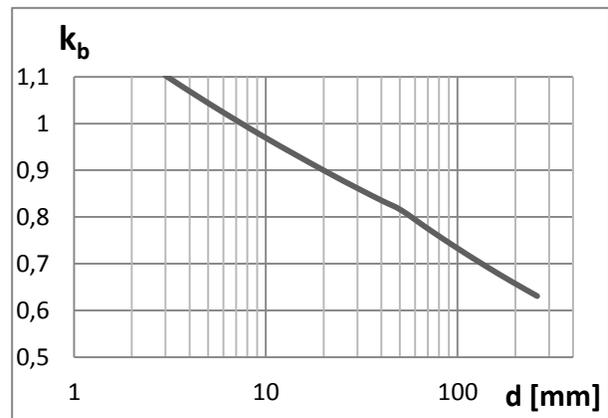
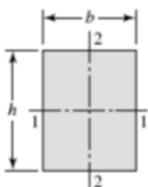
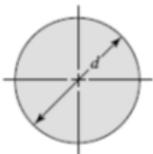
dove "d" è il diametro della sezione resistente

Per trazione: $k_b = 1$

Per flessione alterna, si definisce un diametro equivalente da utilizzare nell'equazione relativa alla flessione rotante.

Cerchio: $d_{eq} = 0,37 d$

Rettangolo: $d_{eq} = 0,81 \sqrt{bh}$



c) Tipologia di carico

Per trazione $k_c = 0,85$
 Per torsione $k_c = 0,59$

d) Temperatura

T	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
k_d	1,000	1,010	1,020	1,025	1,020	1,000	0,975	0,943	0,900	0,843	0,768	0,672	0,549

e) Probabilità di rottura

Per calcoli con probabilità di rottura minore del 50%, si adotta un coefficiente legato all'affidabilità richiesta, dove l'affidabilità è il complemento della probabilità di rottura.

Affidabilità %	50	90	95	99	99,9	99,99	99,999	99,9999
k_e	1,000	0,897	0,868	0,814	0,753	0,702	0,659	0,620

f) Forma

Si definiscono tensioni nominali " σ_{nom} " le tensioni calcolabili con modelli strutturali a sezione resistente costante, in genere la teoria della trave o modelli asta. Il coefficiente di concentrazione delle tensioni è definito come rapporto tra il massimo tensionale dovuto ad un effetto geometrico (σ_p o tensione di picco), rispetto alle tensioni nominali.

$$\text{Coeff d'Intaglio} \begin{cases} K_{t,n} = \frac{\sigma_p}{\sigma_{nom,n}} \text{ su sez netta} \\ K_{t,g} = \frac{\sigma_p}{\sigma_{nom,g}} \text{ su sez lorda} \end{cases}$$

La resistenza a fatica dipende da un valore efficace della tensione σ_{eff} , spesso prossimo, ma inferiore, alla tensione di picco: $\sigma_{eff} = K_f \sigma_{nom}$; dove K_f è il fattore di riduzione della resistenza a fatica.

Il legame tra K_t e K_f dipende dalla geometria (in particolare dal raggio di raccordo ρ) e dal materiale:

$$\text{Coeff di sensibilità : } q = \frac{k_f - 1}{k_t - 1}; \begin{cases} \text{per } \rho > 2\text{mm} \rightarrow q \cong 1 \rightarrow k_t = k_f \\ \text{per } \rho < 2\text{mm} \rightarrow q \rightarrow 0 \end{cases}$$

Dove "q" si può calcolare in base a diverse formule:

Possibilità 1: $q = \frac{1}{1 + \sqrt{a}/\sqrt{\rho}}$

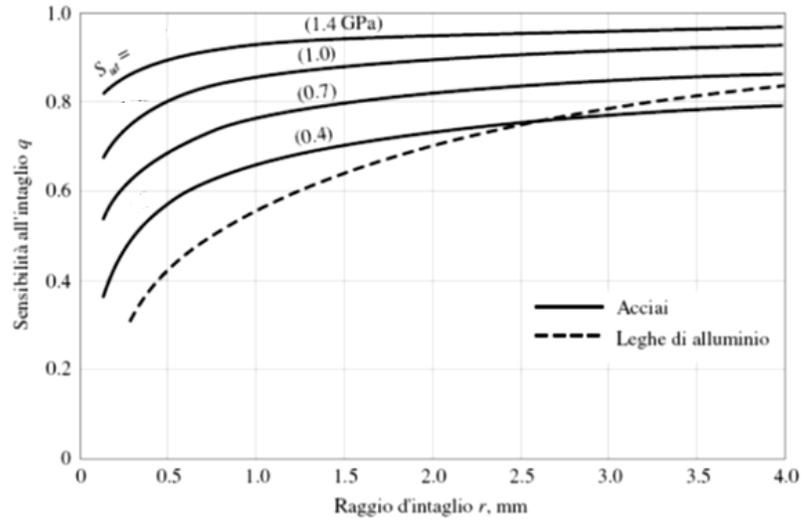
con \sqrt{a} [mm] dipendente dalla geometria e dal carico di rottura del materiale:

Foro trasversale	174 / σ_R [MPa]
Spallamento	139 / σ_R [MPa]
Gola	104 / σ_R [MPa]

Possibilità 2: $q = \frac{1}{1 + a/\rho}$ con a [mm] funzione del carico di rottura del materiale

S_{ut} [MPa]	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
a [mm]	0.42	0.33	0.265	0.212	0.175	0.145	0.117	0.094	0.077	0.065	0.057	0.05	0.043	0.038	0.034

Possibilità 3: vedi grafico



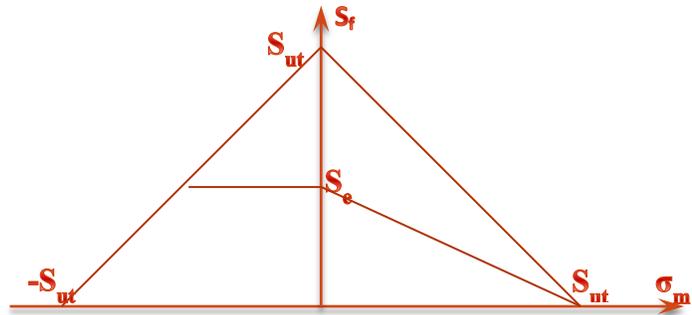
g) Effetto Tensione Media

Diagramma di Haigh

Per sollecitazioni non alterne simmetriche, i valori di riferimento della curva SN divergono:

$$S_e \rightarrow S_{e,m}$$

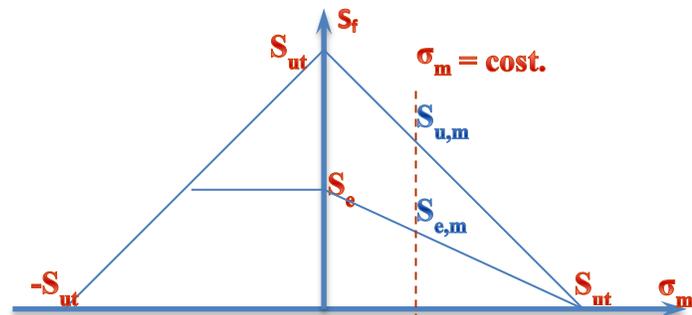
$$S_{ut} \rightarrow S_{u,m}$$



Valori notevoli della curva di Woehler SN nell'ipotesi "tensione media costante":

$$S_{e,m} = S_e \left(1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \right)$$

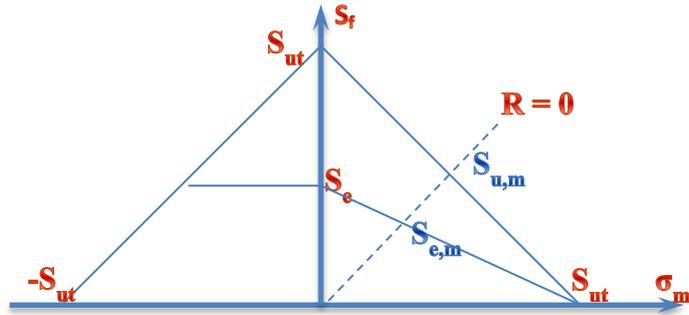
$$S_{u,m} = S_{ut} - \sigma_m$$



Valori notevoli della curva di Woehler SN nell'ipotesi "R=0":

$$S_{e,m} = \frac{S_e S_{ut}}{S_e + S_{ut}}$$

$$S_{u,m} = S_{ut}/2$$



h) Effetto della Storia di carico

i) per $\sigma_{a,i} = \text{costante}$

$$n_{TOT} = \sum_{i=1}^N n_i$$

ii) per $\sigma_{a,i} = \text{variabile}$

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}$$

$$D_{TOT} = \sum_{i=1}^N D_i = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N_i} = 1$$

Verifica a fatica

Definizione dei coefficienti di sicurezza.

Si consideri una condizione di funzionamento con ampiezza e numero di cicli previsti in esercizio pari rispettivamente a: σ_{a0}, n_0

1) se $n_0 = \infty$, ossia progettazione a vita infinita, il coeff. di sicurezza è:

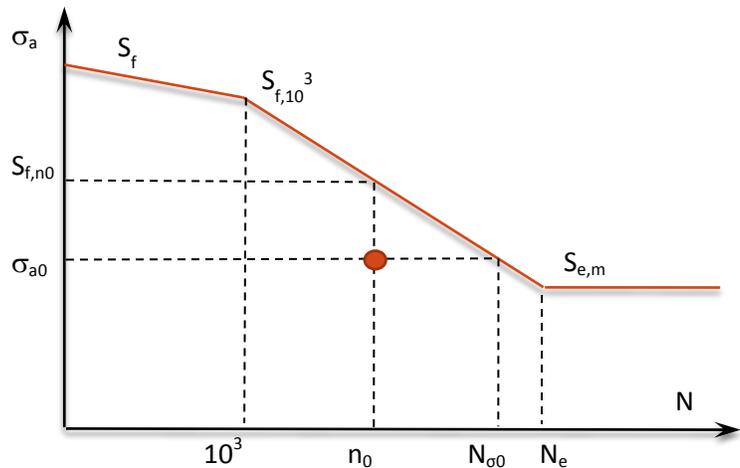
$$\gamma_\sigma = \frac{S_{e,m}}{\sigma_{a0}} \geq 1,5;$$

2) per vita a termine si possono definire due coefficienti di sicurezza:

$$\gamma_\sigma = \frac{S_{n0}}{\sigma_{a0}} \geq 1,5; \quad \gamma_N = \frac{N_{\sigma0}}{n_0};$$

il loro legame è: $\gamma_N^{-b} = \gamma_\sigma; \quad \gamma_N = \gamma_\sigma^k$

con $k=-1/b$. In ogni caso il coefficiente da utilizzare è quello in "tensioni".

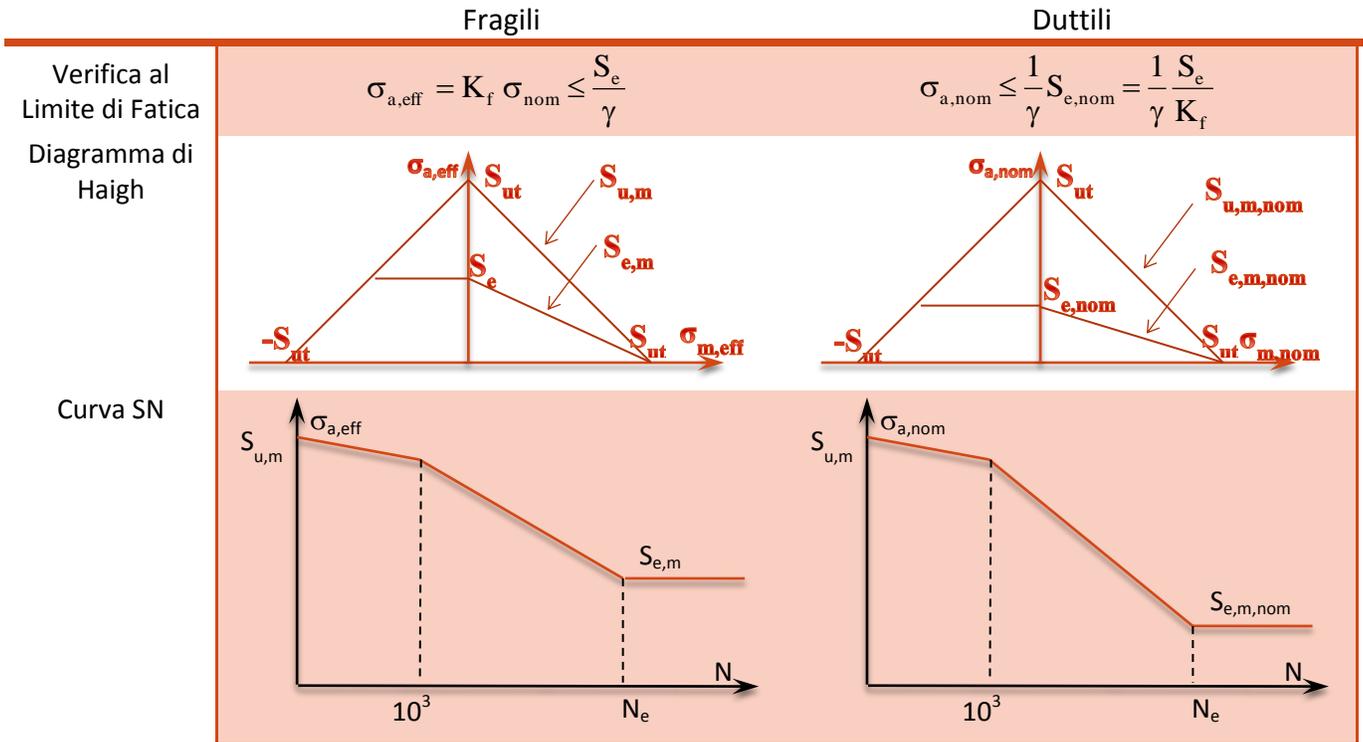


Verifica a fatica in componenti

Come per la verifica statica, anche per la verifica a fatica, i materiali fragili devono essere verificati in termini di tensioni efficaci, prossime alle tensioni di picco, e i materiali duttili possono essere verificati in termini di tensioni nominali, con la differenza che comunque il limite di fatica S_e dipende dalla tensione efficace.

L'utilizzo della verifica per materiali fragili è sempre in vantaggio di sicurezza. L'impiego della verifica in tensioni nominali è comunque indicato per acciai da costruzione.

Le due possibili metodologie di verifica sono:



Verifica in presenza di ampiezze variabili

Danno del blocco i-esimo: $D_L = \frac{n_i}{N_i}$;

danno totale: $D = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i} = 1$

Storia equivalente:

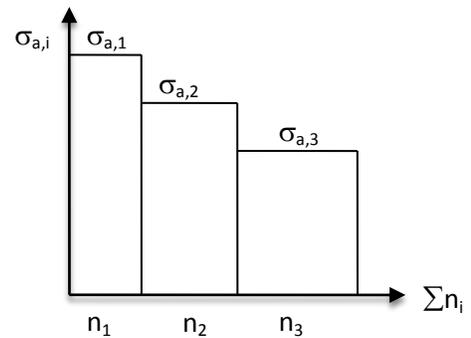
Dalle equazioni precedenti si ricava:

$$\sigma_{a,eq} = \cos t ; n_{eq} = \sum n_i \cdot \left(\frac{\sigma_{a,i}}{\sigma_{a,eq}} \right)^k ;$$

i) se si assume $\sigma_{a,eq} = \sigma_{a,1}$ si determina il numero di cicli

equivalente $n_{eq} = \sum n_i \left(\frac{\sigma_{a,i}}{\sigma_{a,1}} \right)^k$

ii) se si assume $n_{eq} = \sum n_i$ si determina l'ampiezza equivalente



$$\sigma_{a,eq} = \sqrt[k]{\frac{\sum n_i \cdot \sigma_{a,i}^k}{n}}$$

Considerazioni sui coefficienti di sicurezza

$\gamma_N = \frac{N}{n} = \frac{N_{eq}}{n_{eq}} = \frac{1}{D}$ Coefficiente di sicurezza in "cicli"

$\gamma_\sigma = \sqrt[k]{\gamma_N} = \frac{1}{\sqrt[k]{D}}$ Coefficiente di sicurezza in "tensione"

Normative tecniche per costruzioni metalliche

Si riportano indicazioni generali di analisi strutturale di costruzioni metalliche in accordo con la normativa europea in vigore Eurocodice 3 – EN 1993

Materiali

	t < 40 mm		t > 40 mm	
	$S_y - \sigma_s - f_y$	$S_{ut} - \sigma_R - f_u$	$S_y - \sigma_s - f_y$	$S_{ut} - \sigma_R - f_u$
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 420	420	520	390	500
S 460	460	540	430	530

Si usa normalmente la verifica ai coefficienti parziali di sicurezza rispetto alla condizione limite di esercizio che è data dal carico di snervamento:

$$\gamma_s \sigma \leq \frac{f_y}{\gamma_m}$$

Se non precisato diversamente i coefficienti parziali di sicurezza assumono i valori minimi:

$$\gamma_s = 1,5; \gamma_m = 1.$$

In alternativa si può usare la formula semplificata del coefficiente di sicurezza totale:

$$\sigma \leq \frac{f_y}{\nu} \quad \text{dove } \nu = \gamma_s \gamma_m \text{ assume il valore minimo di 1,5 e il rapporto tensione di snervamento diviso 1,5 assume il nome di "tensione ammissibile".}$$

Collegamenti filettati

Aspetti generali di viti e bulloni

Classi	f_u [MPa]	f_y [MPa]
4.6	400	240
4.8	400	320
5.6	500	300
5.8	500	400
6.8	600	480
8.8	800	640
10.9	1000	900

f_u = carico ultimo di rottura

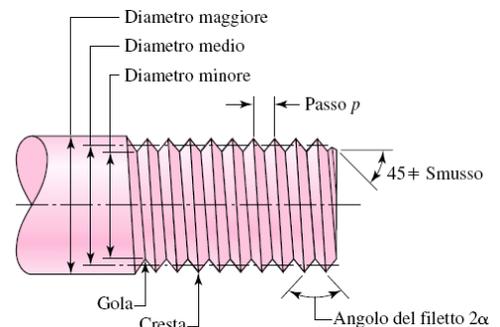
f_y = carico di snervamento

Area Resistente :

$$\begin{cases} d_m = d - 0,649 \cdot p \\ d_n = d - 1,226 \cdot p \end{cases}$$

$$d_{res} = \frac{d_n + d_m}{2}$$

- Dove:
- d = diametro esterno vite
 - p = passo
 - d_m = diametro medio
 - d_n = diametro di nocciolo o diametro minore
 - d_{res} = diametro sezione resistente



Diametro nominale maggiore d	Serie a passo grosso			Serie a passo fine		
	Passo p	Sezione resistente Area A_r	Sezione minima Area A_r	Passo p	Sezione resistente Area A_r	Sezione minima Area A_r
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630

Forza di serraggio: $F_p = \frac{0,7 \cdot f_u \cdot A_{res}}{\gamma_m}$ Con coefficiente parziale $\gamma_m = 1,25$

Coppia di Serraggio : $T_p = 0,2 \cdot F_p \cdot d$

Verifica dei Bulloni

Nei collegamenti bullonati si eseguono le verifiche sulle forze applicate ad ogni singolo bullone. L'eq. di verifica è impostata ai coefficienti parziali di sicurezza:

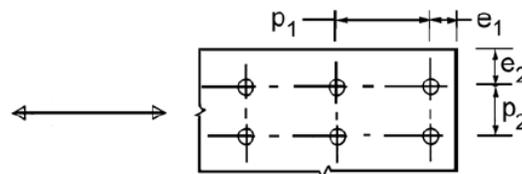
$F_d = \gamma_s F_b \leq F_R = F_R(\gamma_m)$

- Dove:
- F_b forza o risultante di forze sul singolo bullone
 - F_d valori di progetto di forza o risultante di forze sul singolo bullone
 - F_R resistenza di progetto di forza o risultante di forze sul singolo bullone
 - γ_s, γ_m coefficienti parziali di sicurezza

Valori Resistenziali dei singoli bulloni

Prerequisiti dimensionali delle giunzioni

- 1) $2 t_c > 1,25 t$; $t =$ spes giunto
- 2) $p \geq 2,4 d$ $d =$ dian nom ; $t_c =$ spes coprigiun
- 3) $e_1 \geq 1,2 d$
- 4) $e_2 \geq 1,2 d$
- 5) $p \leq \begin{cases} 15 t & \text{giunto a compr.} \\ 25 t & \text{giunto a traz.} \end{cases}$
- 6) $e_2 < 6 t$



Bulloni portanti o resistenti a taglio

a) Resistenza dei bulloni a taglio

Siano n_v = numero viti;

n_{SR} = numero sezioni resistenti

Si calcola la forza per ogni bullone e per ogni sezione resistente; le relative resistenze sono:

$$\text{Resistenza a taglio: } F_{v,R} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A_{Res}}{\gamma_m}$$

Con $\gamma_m = 1,25$

$\alpha_v = 0,6$ per 4.6 ; 5.6 ; 8.8

0,5 per 4.8 ; 5.8 ; 10.9

$$\text{Resistenza a rifollamento: } F_{b,R} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_m}$$

Con $\gamma_m = 1,25$

$$\alpha_b = \min \left\{ 1; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b}}{f_u} \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \right\}$$

Con d_0 = diametro del foro (e assunto pari a d se non eccessivamente diverso)

Resistenza della lamiera a strappo: si esegue la verifica della sezione resistente indebolita dalla presenza dei fori;

Ad esempio, se A_{nt} la sezione resistente a trazione (1 in figura), A_{nv} la sezione resistente a taglio (2 in figura):

$$\text{La resistenza è: } F_{l,R} = \left(A_{nt} + \frac{A_{nv}}{\sqrt{3}} \right) f_y$$

b) Resistenza dei bulloni a trazione:

Si deve valutare la forza resistente per ogni bullone:

$$\text{Resistenza a trazione: } F_{t,R} = \frac{k_2 \cdot A_{res} \cdot f_u}{\gamma_m}$$

Con $\gamma_m = 1,25$

$k_2 = 0,9$

$$\text{Resistenza a punzonamento della lamiera: } F_{p,R} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_m}$$

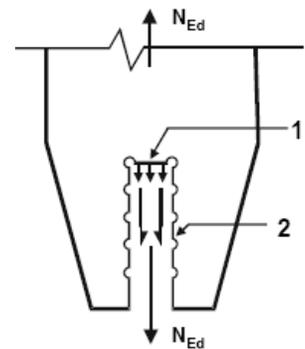
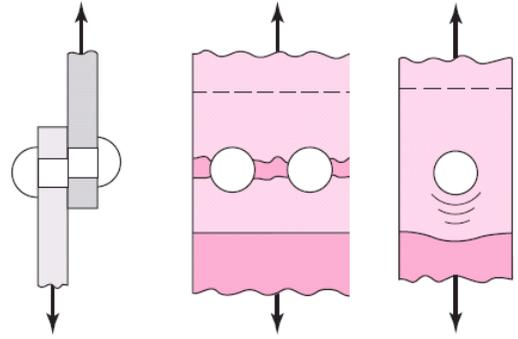
Con $\gamma_m = 1,25$

d_m = diametro di testa o di rondella

c) Resistenza dei bulloni a carichi combinati:

Se agisce un carico normale F_t e un carico di taglio F_v , si calcolano le relative resistenze $F_{t,R}$ e $F_{v,R}$ e si valuta la seguente eq. di verifica:

$$\gamma_s \left[\left(\frac{F_t}{F_{t,R}} \right)^2 + \left(\frac{F_v}{F_{v,R}} \right)^2 \right] \leq 1$$



Bulloni resistenti ad attrito

- si usano bulloni ad alta resistenza;
- le superfici devono essere almeno sgrassate e mediamente scabre.

a) Resistenza dei bulloni a forze sul piano

La forza trasmissibile per attrito per singolo bullone è:

μ	0,3 in genere
μ	0,45 se trattato meccanicamente

$$F_{S,R} = \mu \cdot k_s \cdot \frac{F_p}{\gamma_m}$$

Con: μ = coefficiente d'attrito;

$\gamma_m = 1,25$ coefficiente parziale anti-slittamento.

k_s è un coefficiente di forma dei fori, per fori normali vale 1; per asole normali alla direzione di carico vale 0,7; per asole lungo la direzione di carico vale 0,63.

La forza totale trasmissibile può essere moltiplicata per il numero di sezioni a contatto se il bullone serra più superfici portanti ad attrito n_{SR} .

b) Resistenza dei bulloni a carichi combinati

Se agisce un carico normale F_t e un carico di taglio F_v , innanzitutto si deve verificare: $F_t < F_p$.

Quindi l'equazione generale di verifica ad attrito diviene:

$$F_{S,R} = \mu \cdot k_2 \cdot \frac{F_p - 0,8F_t}{\gamma_m}$$

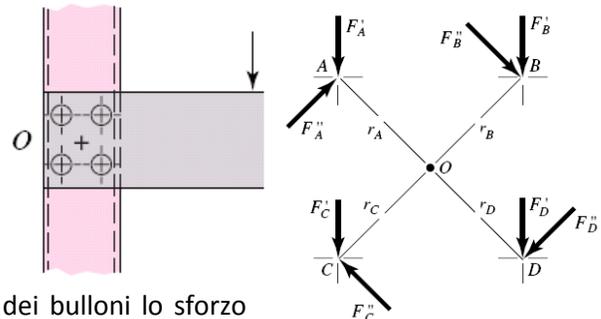
Anche per i giunti resistenti ad attrito è opportuno svolgere le verifiche a strappo della lamiera e a punzonamento.

Calcolo delle forze per bullone nei giunti soggetti a momento

a) Giunti sollecitati a M_t

Il momento torcente si traduce in forze di taglio sui

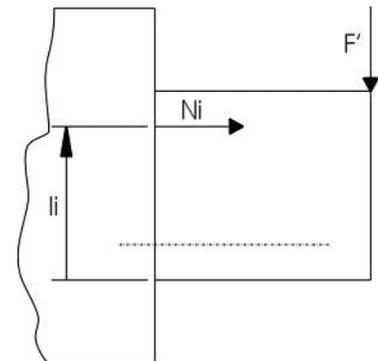
bulloni di entità: $F'_i = \frac{M_t \cdot r_i}{\sum r_i^2}$



b) Giunti soggetti a M_f

si suppongono le piastre giuntate infinitamente più rigide dei bulloni lo sforzo normale per singolo bullone dipende dal momento flettente e dalle distanze dall'ipotetico centro di rotazione relativa delle piastre giuntate:

$$N_i = \frac{M_f \cdot l_i}{\sum l_i^2}$$

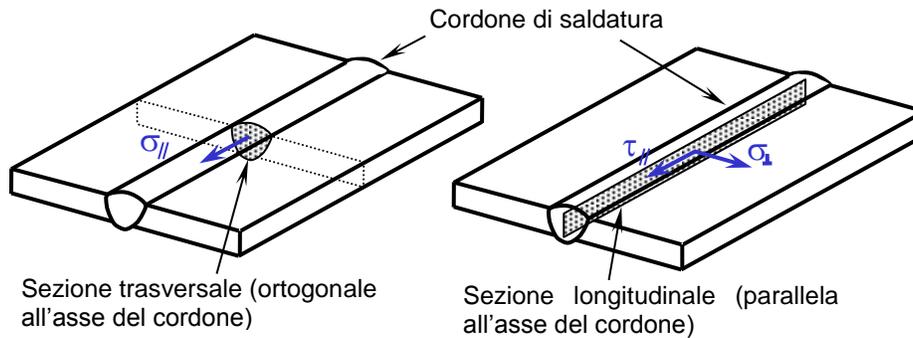


Giunzioni Saldate

Verifica del cordone di saldatura

a) Giunzioni a Completa Penetrazione

Componenti della tensione

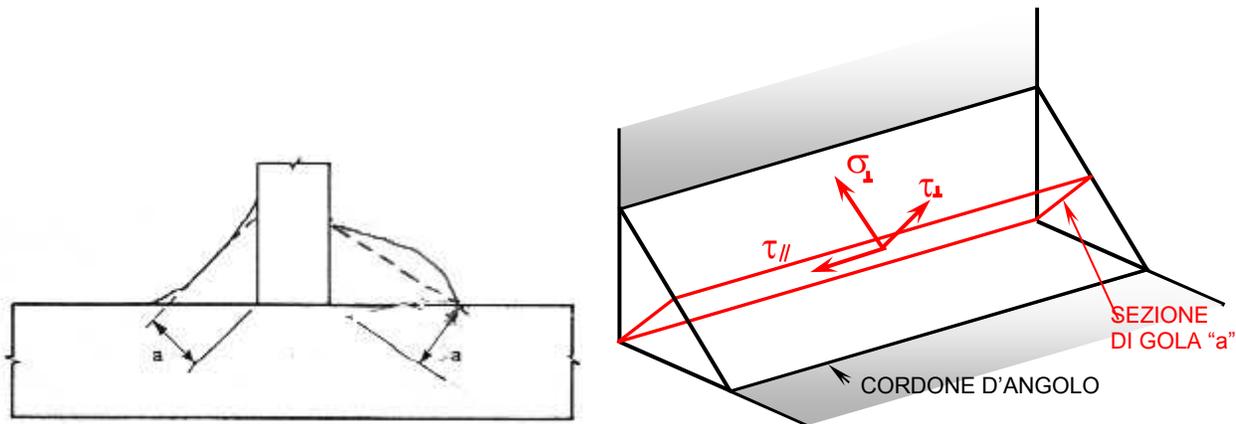


$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\parallel}^2}$$

La verifica va eseguita sul più debole degli elementi saldati

a) Giunzioni a Cordone d'Angolo

Definizione di sezione resistente



b.1) Metodo di verifica direzionale

Si calcola la tensione equivalente: $\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\parallel}^2}$

La resistenza è definita da $\frac{f_u}{\beta_w \gamma_m}$

Con $\gamma_m = 1,25$ Coefficiente parziale di sicurezza
 β_w Coefficiente di correlazione (tra resistenza della saldatura e del materiale base)

β_w	
S 235	0,8
S 275	0,85
S 355	0,9
S 420	1
S 460	1

b.1) Metodo di verifica semplificato

Si calcola la risultante delle forze per unità di lunghezza F_w sulle linee della radice dei cordoni di saldatura. Si calcola il valore della forza per area sul cordone di saldatura: $f_w = F_w / a$

La resistenza in termini di forza per unità di area è: $\frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_m}$

Verifica delle giunzioni saldate (con metodo semplificato)

Regola generale:

- 1) si tracciano le linee dei cordoni di saldatura sul piano della giunzione in corrispondenza della radice dei cordoni;
- 2) si calcola la posizione del baricentro e si riportano le forze sul baricentro.

Le componenti della sollecitazione sulla giunzione possono essere:

a) Sollecitazione di taglio

Quando ci sono più cordoni di saldatura, in presenza di taglio, si suppone che solo i cordoni paralleli “//” a questo supportino tale sollecitazione. La forza per unità di lunghezza è la forza di taglio divisa la lunghezza dei cordoni paralleli “//”.

b) Sollecitazione normale

La forza normale si divide per la somma delle lunghezze dei cordoni di saldatura

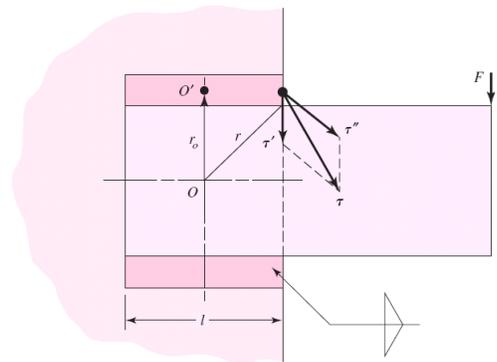
c) Sollecitazione torcente M_t

Si possono considerare 2 casi:

- 1) M_t su giunzioni composta da 2 cordoni uguali: il M_t si scompone in due forze uguali e contrarie parallele ai 2 cordoni.
- 2) Giunzione generica (Metodo del Momento d’Inerzia Polare):

Si calcola il Momento d’inerzia Polare Unitario della sezione resistente dei cordoni; la forza tangenziale per unità di lunghezza:

$$\overline{F}_w = \frac{\overline{M}_t}{J'_p} \times \overline{r} \quad \text{dove } r \text{ è la distanza dal baricentro della sezione.}$$



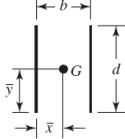
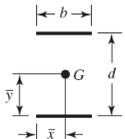
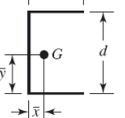
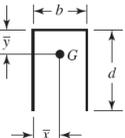
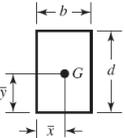
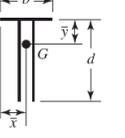
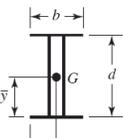
Saldatura	Sezione di gola	Posizione di G	Momento polare unitario
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G è il baricentro del gruppo di saldature; h è la gola del cordone; il piano di torsione è quello del foglio. Tutte le saldature sono considerate di spessore unitario.

d) Sollecitazione flettente

Si calcola il Momento d'inerzia unitario J'_x della giunzione saldata, la forza normale per unità di lunghezza risulta

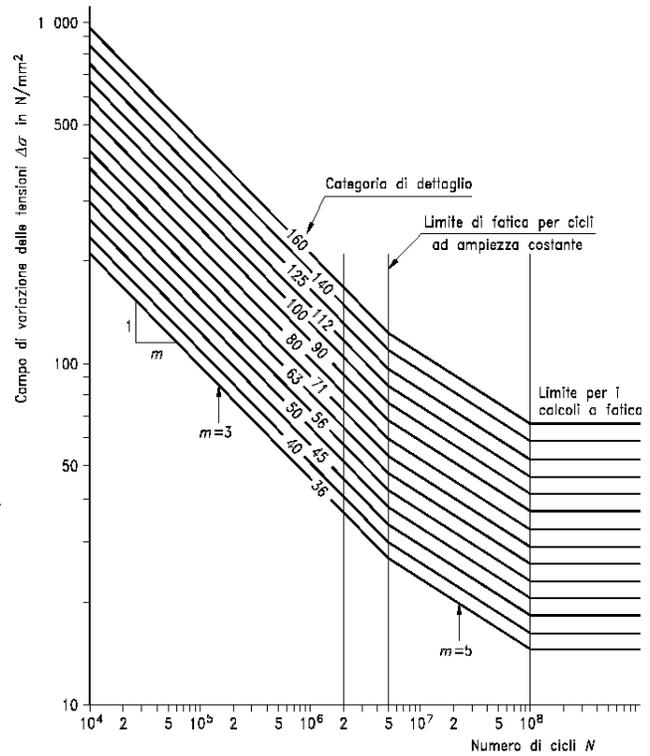
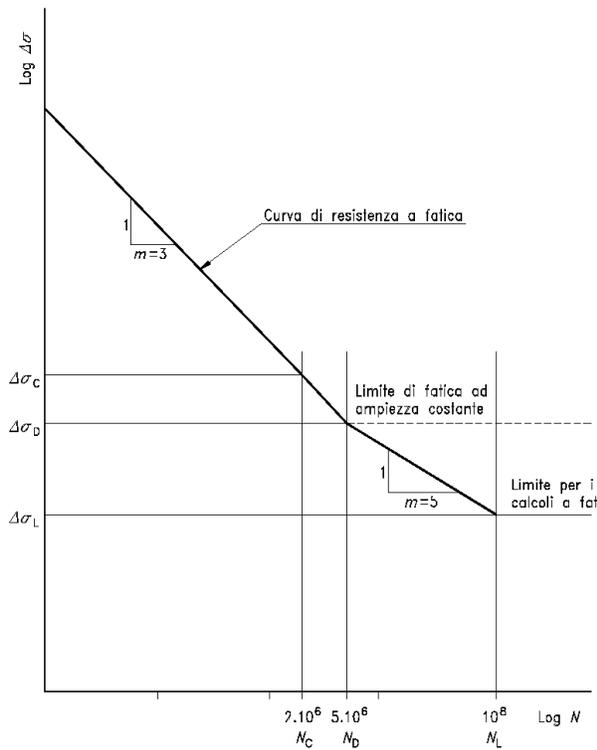
$$\overline{F}_w = \frac{\overline{M}_f}{J'_x} \times \overline{y} \quad \text{con } \overline{y} \text{ distanza del punto dall'asse } x.$$

Saldatura	Sezione di gola	Posizione di G	Momento d'inerzia unitario
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

*Il momento d'inerzia unitario I_u è calcolato rispetto all'asse orizzontale che passa dal baricentro G. Il piano del momento flettente è ortogonale al foglio e parallelo all'asse y; tutti i cordoni sono della stessa dimensione.

Verifica a fatica per le strutture saldate

Curva di resistenza a fatica per Eurocodice 3



Categorie di dettagli e classi di resistenza:

Tipo giunto	Categoria $\Delta\sigma_C$	Rappresentazione grafica del dettaglio, del punto critico e della direzione di sollecitazione
Giunti Testa-Testa Con sovrametallo non eccessivo	90	
Giunti di testa A piena penetrazione	71	
Giunti di testa Con cordone d'angolo	36	

<p>Irrigidimento Trasversale</p>	<p>80 se $t \leq 12$ mm 71 se 12 mm $<$ t</p>	
<p>Irrigidimento Longitudinale</p>	<p>80 se $L \leq 50$ mm 71 se $50 < L \leq 100$ 50 se $100 < L$</p>	

Il valore della classe coincide col valore dell'intercetta a $2 \cdot 10^6$ cicli $\Delta\sigma_A$.

Metodo di verifica

i) se $\Delta\sigma < \Delta\sigma_D$ non è necessaria la verifica a fatica;

ii) se $n < 10^4$ non è necessaria la verifica a fatica.

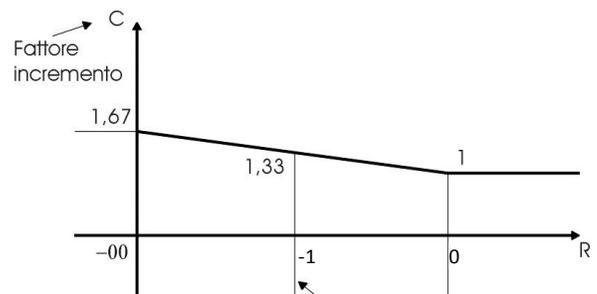
Fattori di influenza :

a) effetto dimensionale: la curva di resistenza è influenzata dagli spessori del piatto principale > 25 mm

$$\Delta\sigma_{A,t} = \Delta\sigma_A \sqrt[4]{\frac{25}{t \text{ [mm]}}}$$

b) effetto della σ_m : la tensione media normalmente non influenza la curva di resistenza di progetto; se si eseguono trattamenti di distensione delle tensioni residue la resistenza aumenta al diminuire del rapporto di sollecitazione R:

$$\Delta\sigma_{A,R} = \Delta\sigma_A \cdot C$$



c) livello di sicurezza richiesto:

Il normale livello di sicurezza della curva di progetto è $P_S = 97,7\%$;

Per molte applicazioni strutturali è necessario un livello di sicurezza maggiore che si ottiene penalizzando la curva di resistenza di progetto:

$$\Delta\sigma_A(P_S) = \frac{\Delta\sigma_A}{\gamma_m}$$

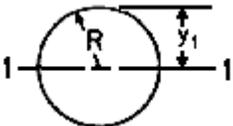
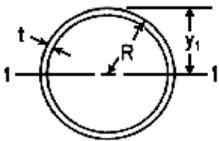
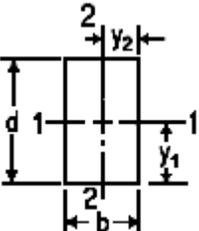
γ_m	1	1,1	1,2	1,3
$n\sigma$	2	2,5	3	3,5
P_S	97,7%	(99,4÷99)	99,9%	99,99%

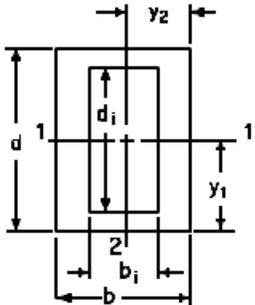
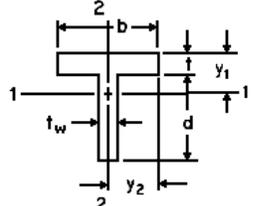
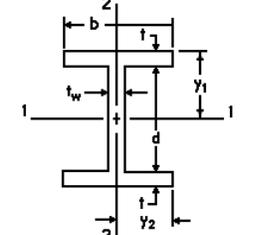
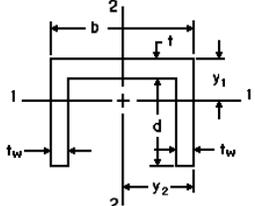
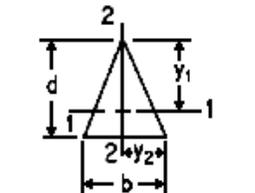
Appendici

Volumi di utilizzo comune :

- a) **Cilindro**: $\frac{\pi D^2}{4} H$;
- b) **Cono**: $\frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{4} H$;
- c) **Sfera**: $\frac{4}{3} \pi R^3$;
- d) **Prisma**: $A \cdot H$;
- e) **Piramide**: $\frac{1}{3} A \cdot H$;
- f) **Tronco di piramide**: $\frac{1}{3} (B + B' + \sqrt{BB'}) H$ con B e B' aree delle due basi
- g) **Tronco di cono**: $\frac{1}{3} \pi (R_1^2 + R_2^2 + R_1 R_2) H$ con R₁ e R₂ raggi delle due basi;
- h) **Segmento sferico a una base**: $\pi R H^2 - \frac{1}{3} \pi H^3$ con R raggio sfera e H alt. Segm.;
- i) **Segmento sferico a 2 basi**: $\frac{1}{2} \pi (R_1^2 + R_2^2) H + \frac{1}{6} \pi H^3$ con R₁ raggi basi e H alt. Segm;
- l) **Settore sferico**: $\frac{2}{3} \pi R^2 H$;
- m) **Ellissoide**: $\frac{4}{3} \pi a b c$ con a, b, c semiassi;
- n) **Toro**: $2\pi^2 r^2 R$ con r raggio cerchio minore e R distanza centro cerchio da centro toro.

Geometria delle aree

Geometria	Baricentro	Area	Momento d'inertzia
<p>Cerchio</p> 		πR^2	$J_1 = \frac{\pi}{4} R^4$
<p>Anello sottile</p> 		$2\pi R t$	$J_1 = \pi R^3 t$
<p>Rettangolo</p> 		$b \cdot d$	$J_1 = \frac{1}{12} b d^3$

<p>Rettangolo Cavo</p> 		$b \cdot d - b_1 \cdot d_1$	$J_1 = \frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12}$
<p>Sezioni a T</p> 	$y_1 = \frac{bt^2 - t_w d(2t+d)}{2(tb + t_w d)}$	$A = tb + t_w d$	$J_1 = \frac{b(d+t)^3}{3} - \frac{d^3(b-t_w)}{3} - A(d+t-y_1)^2$
<p>Sezioni ad H</p> 		$A = 2tb + t_w d$	$J_1 = \frac{b(d+2t)^3}{12} - \frac{d^3(b-t_w)}{12}$ $J_2 = \frac{bt^3}{6} + \frac{t_w^3 d}{12}$
	$y_1 = \frac{bt^2 + 2t_w d(2t+d)}{2(tb + 2t_w d)}$	$A = tb + 2t_w d$	$J_1 = \frac{b(d+t)^3}{3} - \frac{d^3(b-2t_w)}{3} - A(d+t-y_1)^2$ $J_2 = \frac{(d+t)b^3}{12} - \frac{(b-2t_w)^3 d}{12}$
<p>Triangolo isoscele</p> 	$y_1 = \frac{2d}{3}$	$A = \frac{bd}{2}$	$J_1 = \frac{bd^3}{36}$ $J_2 = \frac{b^3 d}{48}$

Momento di trasporto:

Inerzia di un'area attorno ad asse generico non baricentrico:

$$J = J_g + d^2 \cdot A \quad \text{con } J_g \text{ inerzia baricentrica e } d \text{ distanza baricentro dall'asse.}$$

Momento d'Inerzia Polare

Momento d'inerzia polare, noti momenti d'inerzia attorno agli assi principali "X" e "Y":

$$J_T = J_X + J_Y$$



Coefficienti di concentrazione delle tensioni

