Progettazione a fatica

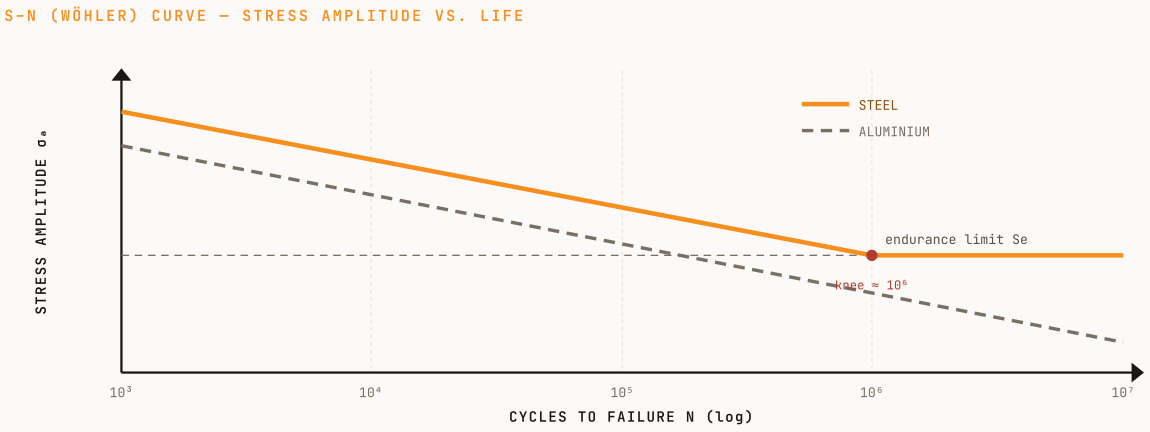
Progettare contro la rottura ciclica — la curva S-N e il limite di fatica, i fattori di Marin che lo riducono, la correzione per la tensione media (Goodman) e gli intagli dove le cricche nascono davvero.

REVISIONE	PUBBLICATO	RESPONSABILE	ALLEGATO
1.0	June 2026	Ingegneria Ideambox	Riferimento PDF

SINTESI

La maggior parte dei componenti meccanici che si rompono in esercizio cede per fatica — criccandosi sotto tensioni cicliche ben inferiori alla resistenza statica. La fatica è governata dall'*ampiezza* di tensione (e dalla tensione media), si sviluppa a partire dai concentratori di tensione ed è estremamente sensibile alla finitura superficiale. Questa guida descrive il procedimento di progetto a fatica ad alto numero di cicli.

La sezione 1 spiega che cos'è la fatica. La sezione 2 tratta la curva S-N e il limite di fatica. La sezione 3 presenta i fattori di Marin che riducono il limite di fatica di laboratorio a quello reale. La sezione 4 tratta la correzione per la tensione media (Goodman / Gerber / Soderberg). La sezione 5 riguarda la concentrazione delle tensioni e la sensibilità all'intaglio. La sezione 6 contiene regole di progetto e una checklist.



LA CURVA S-N. GLI ACCIAI PRESENTANO UN LIMITE DI FATICA — UNA TENSIONE AL DI SOTTO DELLA QUALE RESISTONO INDEFINITAMENTE; L'ALLUMINIO E LA MAGGIOR PARTE DELLE LEGHE NON FERROSE CONTINUANO A SCENDERE, QUINDI SI CARATTERIZZANO A UN NUMERO FINITO DI CICLI. SUPERFICIE, DIMENSIONI E INTAGLI ABBASSANO TUTTI IL LIMITE REALE.

INDICE

1. Che cos'è la fatica
2. La curva S-N e il limite di fatica
3. Fattori correttivi del limite di fatica (fattori di Marin)
4. Correzione per la tensione media
5. Concentrazione delle tensioni e intagli
6. Regole di progetto e checklist

1. Che cos'è la fatica

Un componente caricato ripetutamente può criccarsi e rompersi a una tensione molto inferiore al suo limite di snervamento. La cricca si innesca in un concentratore di tensione, cresce un poco a ogni ciclo e infine la sezione residua si rompe di schianto. Il motore del fenomeno è la **tensione alternata**, modificata dalla **tensione media**.

1.1 Termini

`Ampiezza di tensione` σ_a	Metà dell'escursione di tensione — (σ_max − σ_min)/2 — il principale motore della fatica
`Tensione media` σ_m	(σ_max + σ_min)/2 — una media di trazione accorcia la vita
`Rapporto di tensione R`	σ_min / σ_max (R = −1 alternato simmetrico, R = 0 dallo zero)
`Limite di fatica Se`	Ampiezza di tensione che un acciaio sopporta indefinitamente (>10^6–10^7 cicli)
`Curva S-N`	Ampiezza di tensione in funzione dei cicli a rottura (log-log), da prove a flessione rotante
`Kt / Kf`	Fattore di concentrazione delle tensioni geometrico / a fatica in un intaglio

La fatica ad alto numero di cicli (>10^3 cicli, campo elastico) si tratta con l'approccio S-N / limite di fatica descritto qui di seguito. La fatica a bassissimo numero di cicli, in campo plastico, richiede i metodi deformazione-vita (fuori dall'ambito di questo documento).

2. La curva S-N e il limite di fatica

Riportando l'ampiezza di tensione in funzione dei cicli a rottura si ottiene la curva S-N (di Wöhler):

- Gli **acciai** hanno un **limite di fatica**
  un ginocchio attorno a 10^6 cicli al di sotto del quale la vita è di fatto infinita. La stima di laboratorio è `Se' ≈ 0.5 · Sut` (limitata a ~700 MPa per Sut > ~1400 MPa).

- L'**alluminio e la maggior parte delle leghe non ferrose non hanno un vero limite di fatica**
  la curva continua a scendere, quindi si caratterizzano a vita finita (ad es. resistenza a fatica a $5{\times}10^8$ cicli).

- Il tratto a vita finita tra ~10^3 e 10^6 cicli è approssimativamente lineare in scala logaritmica; interpolare lì per una vita obiettivo.

`Se'` si riferisce a un provino di laboratorio lucidato. Il pezzo reale è sempre meno resistente — a questo servono i fattori di Marin.

3. Fattori correttivi del limite di fatica (fattori di Marin)

Ridurre il limite di laboratorio a un valore di progetto: `Se = ka · kb · kc · kd · ke · Se'`.

FATTORE	TIENE CONTO DI	VALORE TIPICO
ka — superficie	finitura (le cricche nascono in superficie)	rettificato ~0.9, lavorato a macchina ~0.7–0.8, laminato a caldo ~0.5–0.7, grezzo di forgia ~0.3–0.5
kb — dimensioni	le sezioni più grandi cedono prima (flessione/torsione)	~1.0 (d ≤ 8 mm) fino a ~0.75 (grandi); assiale = 1.0
kc — tipo di carico	flessione vs assiale vs torsione	flessione 1.0, assiale 0.85, torsione 0.59
kd — temperatura	variazione di resistenza con la temperatura	~1.0 vicino alla temperatura ambiente
ke — affidabilità	dispersione per % di sopravvivenza più alte	`50% 1.00, 90% 0.90, 99% 0.81, 99.9% 0.75`

La finitura superficiale (ka) è di solito la singola riduzione più forte — una superficie grezza di forgia o corrosa può dimezzare il limite di fatica. Per questo i componenti critici a fatica vengono rettificati, lucidati o pallinati. Il fattore di superficie standard è `ka = a · Sut^b` (a, b in funzione della finitura; Sut in MPa).

4. Correzione per la tensione media

Una tensione media di trazione riduce l'ampiezza ammissibile. Combinare σ_a e σ_m con uno dei criteri seguenti:

CRITERIO	EQUAZIONE	IMPIEGO
Goodman (modificato)	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sut = 1/n$	Predefinito per materiali poco duttili / progetto conservativo
Gerber	$\sigma_a/Se + (\sigma_m/Sut)^2 = 1/n$	Acciai duttili, meno conservativo (aderisce ai dati)
Soderberg	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sy = 1/n$	Il più conservativo; protegge anche dallo snervamento

Qui **n** è il coefficiente di sicurezza a fatica. Goodman è la scelta abituale. Verificare sempre anche lo snervamento statico alla tensione di picco (σ_max ≤ Sy/n).

5. Concentrazione delle tensioni e intagli

Le cricche di fatica nascono nei **concentratori di tensione** — raccordi, fori, cave per linguetta, filettature, spallamenti, segni d'utensile. Il fattore geometrico **Kt** moltiplica la tensione nominale; l'effetto a *fatica* è `Kf = 1 + q(Kt - 1)`, dove **q** (sensibilità all'intaglio, 0–1) cresce con la resistenza del materiale e con il raggio dell'intaglio.

- Applicare Kf alla tensione
  alternata
  (e spesso alla media) nella verifica di Goodman.

- Un **raggio di raccordo** generoso è il miglioramento a fatica più economico
  gli spigoli interni vivi sono fabbriche di cricche.

- **Filettature, cave per linguetta e bordi degli accoppiamenti forzati sono classici punti di innesco**
  tenerli fuori dalle zone più sollecitate o curarne il dettaglio (filetti rullati, raggi di scarico).

6. Regole di progetto e checklist

- **Raccordare ogni spigolo interno**
  massimizzare i raggi di raccordo negli spallamenti e nei cambi di sezione.

- **Migliorare la superficie** dove la tensione è alta
  finitura fine, e pallinatura / rullatura superficiale per indurre tensioni residue di compressione (aumentano sensibilmente la resistenza a fatica).

- **Evitare di sommare concentratori di tensione**
  non mettere un foro in un raccordo in una zona molto sollecitata.

- **Tenere bassa la tensione media**
  precarico, compressione residua e carichi simmetrici aiutano.

- **Usare il dettaglio giusto per le saldature**
  il piede del cordone è un intaglio severo; molare/pallinare il piede e usare dettagli di giunto classificati a fatica.

- **Checklist di progetto:** determinare σ_a e σ_m nella sezione critica → applicare Kf → stimare Se = ka·kb·kc·kd·ke·Se′ → applicare Goodman per il coefficiente n a fatica → verificare lo snervamento statico a σ_max → se il margine è scarso, intervenire prima su finitura superficiale, raccordi e tensioni residue.

Da abbinare agli strumenti Ideambox per molle e giunti bullonati, i cui coefficienti di sicurezza a fatica usano esattamente questo approccio di Goodman.

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/it/downloads/fatigue-design-primer/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact