Calcolo a fatica di componenti meccanici

Prima parte

Primi studi sperimentali

L'esperienza, nella pratica costruttiva, di rotture improvvise, dovute a carichi che si ripetono ciclicamente, è ormai secolare.

Tuttavia, solo quando il metallo ha iniziato a sostituire significativamente il legno, come materiale da costruzione, ci si è resi conto pienamente dell'importanza del fenomeno e delle gravi conseguenze che esso può comportare.

La reale comprensione del fenomeno è relativamente recente ed ancora oggi non si può affermare che essa sia completa.

I primi studi sul fenomeno della fatica sono stati fatti in Germania, dove nel 1829 un ingegnere minerario tedesco, W. A.S. Albert, effettuò alcuni esperimenti di carico ripetuto su catene di acciaio.

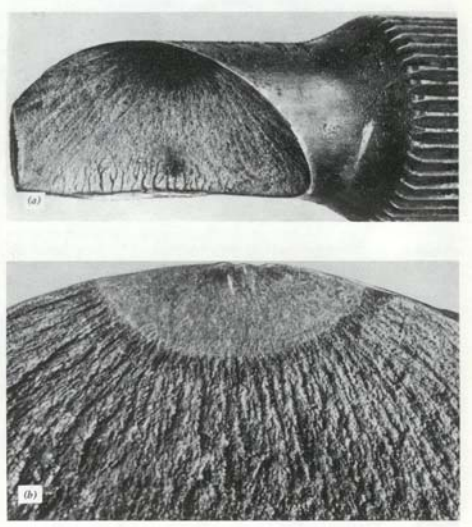
Tra il 1852 ed il 1870 un ingegnere ferroviario tedesco, August Wöhler, condusse i primi esperimenti sistematici sul fenomeno della fatica, per indagare su alcune inspiegabili rotture in esercizio di assili ferroviari.
Appariva sorprendente, infatti, che tali rotture avvenissero ben al di sotto del limite elastico del materiale.

Danno di fatica

La fatica può essere definita come un fenomeno di danneggiamento progressivo del materiale che inizia con una fase di nucleazione di un microscopico cretto e che procede con una fase di propagazione del difetto fino a dimensioni critiche, tali da provocare la rottura di schianto.

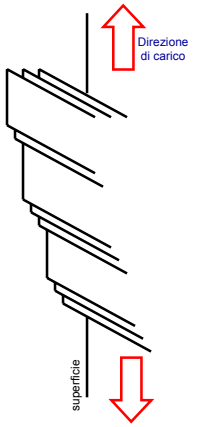
Rottura di un tirante con filettatura a sezione rettangolare. La rottura ha avuto innesco nella zona indicata con A

Rottura per torsione di un albero →



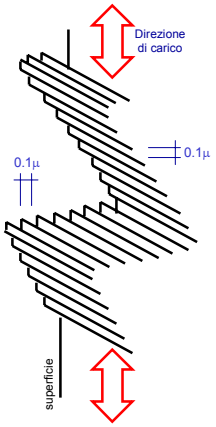
Danno di fatica

Carico statico



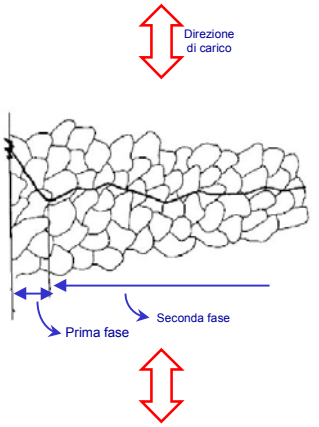
Bande di scorrimento in un materiale duttile dovute all'applicazione di un carico.

Carico ciclico



Le inversioni di carico nella sollecitazione ciclica sono all'origine alla fase di nucleazione (prima fase).

Carico ciclico



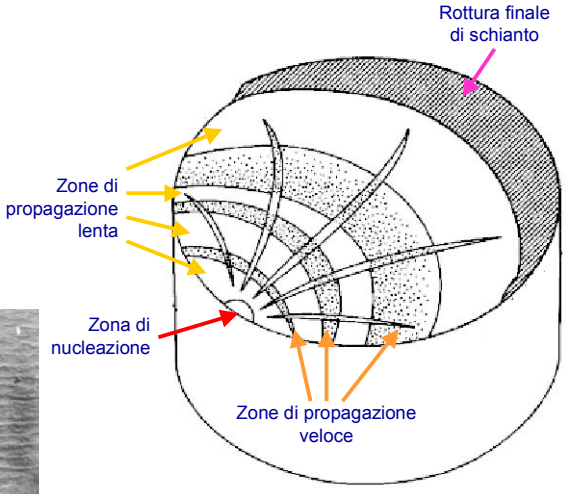
Nella fase di propagazione (seconda fase) il difetto si accresce fino alle dimensioni critiche.

Danno di fatica

Rappresentazione schematica di una superficie di rottura per fatica

Ad ogni ciclo di carico corrisponde un striatura che indica un ulteriore avanzamento del fronte di propagazione della cricca.

A diverse ampiezze di carico ciclico corrispondono diverse velocità di propagazione.



Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

Esistono due possibili modi di procedere:

Il primo, che si potrebbe definire “classico” e che non si discosta molto concettualmente dalla prima impostazione che Wöhler diede al problema, consiste nel mettere in relazione la durata del componente, intesa come numero di cicli sopportabili, prima di giungere alla rottura, con lo stato di sollecitazione agente sul componente stesso, basandosi sul confronto con dati sperimentali (curve di Wöhler).

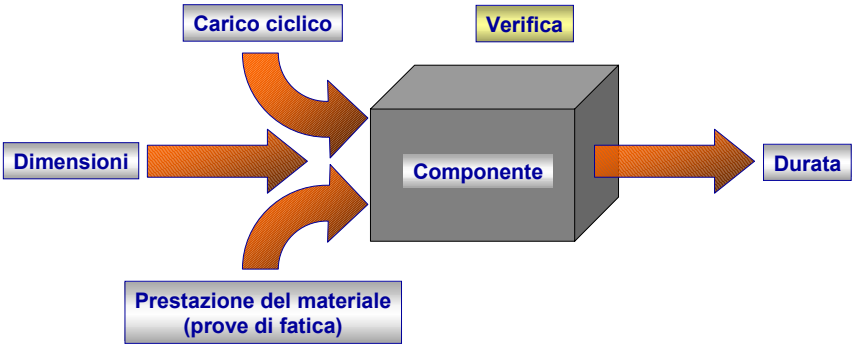
Il secondo, che potrebbe essere definito come un “approccio locale” al problema, focalizza l’attenzione sul difetto e sulle condizioni al contorno che ne determinano l’accrescimento fino alle dimensioni critiche, mettendole in relazione con i carichi agenti e le caratteristiche di resistenza a frattura del materiale.

Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

"Metodologia basata sulla curva di Wöhler"

Questa procedura considera il componente una sorta di "scatola nera"
nella quale si inseriscono informazioni ed escono previsioni sulla vita a fatica,
basandosi sul paragone con ciò che si osserva sperimentalmente in casi analoghi,
senza che siano noti i meccanismi che agiscono all'interno della scatola.

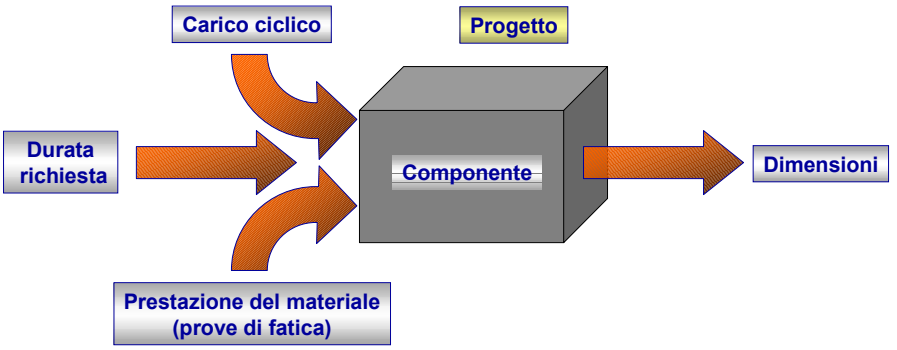


Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

"Metodologia basata sulla curva di Wöhler"

Questa procedura considera il componente una sorta di "scatola nera"
nella quale si inseriscono informazioni ed escono previsioni sulla vita a fatica,
basandosi sul paragone con ciò che si osserva sperimentalmente in casi analoghi,
senza che siano noti i meccanismi che agiscono all'interno della scatola.

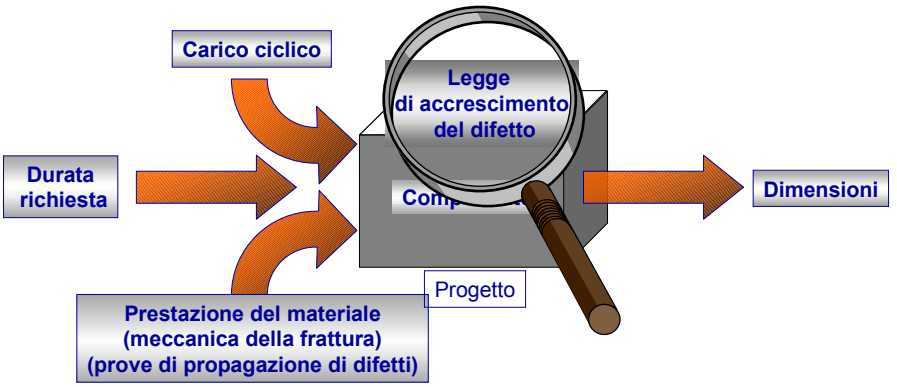


Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

"Approccio locale - Meccanica della frattura"

Questa procedura prevede la vita a fatica del componente tramite una legge di accrescimento di un difetto, preesistente nel componente, del quale si ipotizza posizione, forma e dimensione.
In altri termini è come mettere in luce il meccanismo interno di danneggiamento del componente.



Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

"Procedura classica"
Non c'è alcuna ipotesi sulla dimensione e sulla posizione di eventuali difetti nel componente!

"Approccio locale - Meccanica della frattura"

Il progetto di un componente sollecitato a fatica.

Come progettare un componente sollecitato a fatica?

La procedura “classica” per prevedere la vita a fatica di un componente è ancora oggi il modo di procedere largamente impiegato per il progetto e la verifica a fatica degli organi meccanici.

↓

Semplicità di applicazione

Possibilità di ridurre al minimo i dati sperimentali necessari

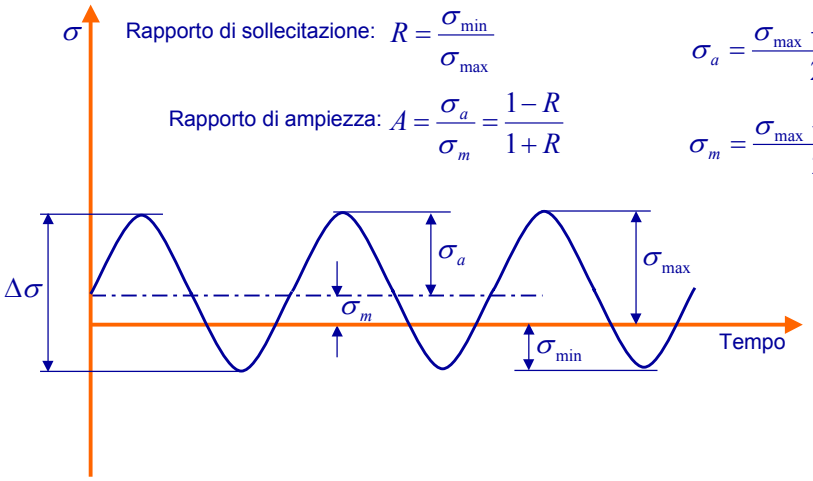
Accettabile livello di affidabilità della previsione di vita

Calcolo a fatica: nomenclatura

Si sottoponga una barra a sezione circolare piena ad un carico assiale ciclico di trazione compressione.

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \qquad \sigma_{min} = \frac{F_{min}}{A}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$



Calcolo a fatica: nomenclatura

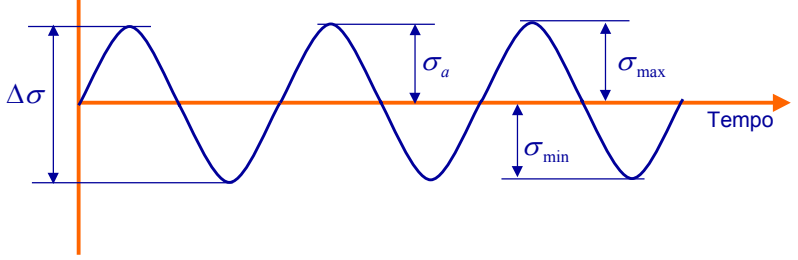
Se $F_{min} = -F_{max}$ allora si ha un ciclo a media nulla: $\sigma_m = 0 \rightarrow \sigma_{min} = -\sigma_{max}$

ed inoltre: $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -1 \qquad A = \frac{1-R}{1+R} = \infty$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \sigma_{max}$$

Questo ciclo è detto anche "alterno simmetrico"

$R = -1 \quad A = \infty$

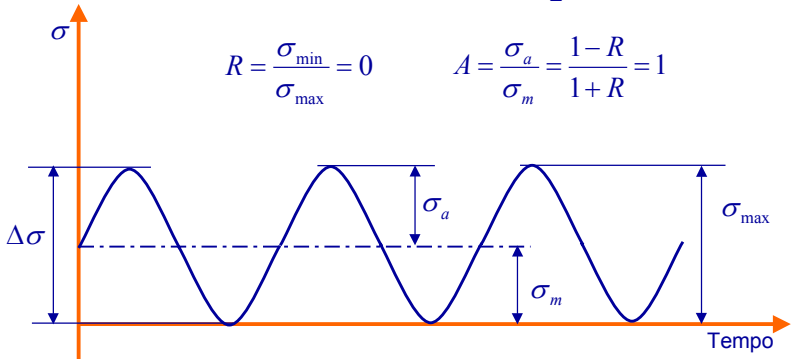


Calcolo a fatica: nomenclatura

Se $F_{min} = 0$ allora si ha: $\sigma_{min} = 0 \qquad \sigma_m = \sigma_a$

ed inoltre: $\sigma_{max} = \Delta\sigma \rightarrow \sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2}$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0 \qquad A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} = 1$$



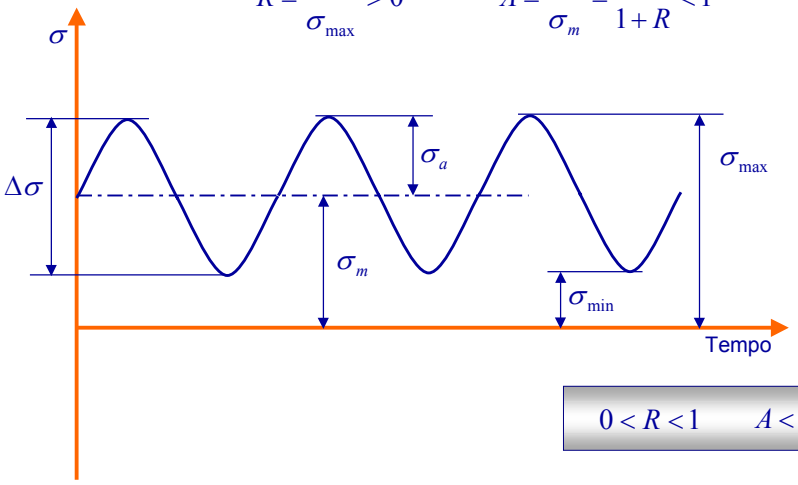
Questo ciclo è detto "ciclo dallo zero"

$R = 0 \quad A = 1$

Calcolo a fatica: nomenclatura

Se $F_{min} > 0$ si ha: $\sigma_{min} > 0$ $\sigma_m > \sigma_a$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} > 0 \qquad A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} < 1$$

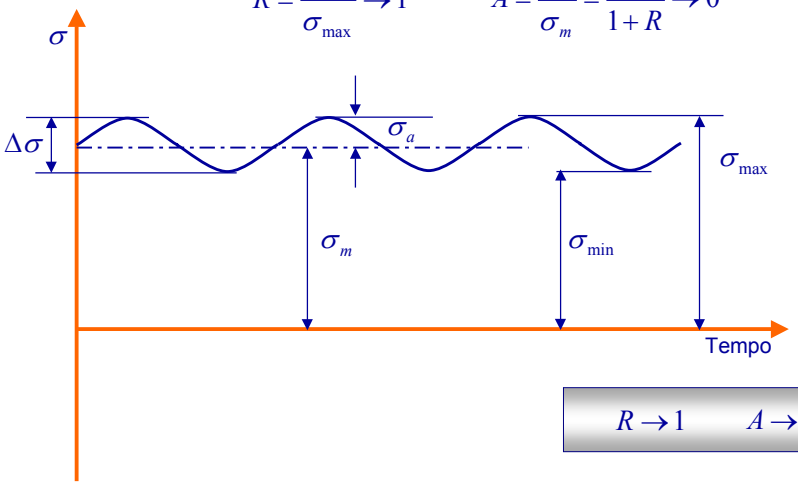


$0 < R < 1$ $A < 1$

Calcolo a fatica: nomenclatura

Riducendo la parte ciclica del carico rispetto al valore medio ci si approssima alla sollecitazione statica : $\sigma_m >> \sigma_a$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \to 1 \qquad A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} \to 0$$



$R \to 1$ $A \to 0$

La curva di Wöhler

Come si ottengono i dati del materiale necessari per eseguire il dimensionamento a fatica?

Si eseguono prove di rottura a fatica in base alle quali si traccia la curva di Wöhler.

Per ottenere sperimentalmente la curva di Wöhler è necessario eseguire una serie di prove di fatica su provini normalizzati.

I provini vengono sollecitati con un carico ciclico, generalmente alterno simmetrico ($R = -1$) e portati a rottura.

$R = -1$

Per ogni provino sottoposto a test si misura il carico ciclico imposto e si registra il numero di cicli trascorsi al momento della rottura.

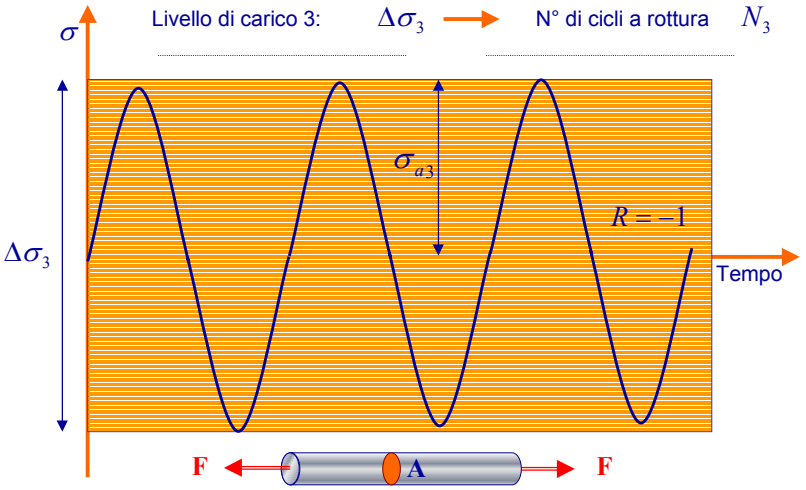
La curva di Wöhler

Per ogni livello di carico la prova viene ripetuta su un certo numero di provini, sufficiente a dare carattere statistico ai dati ottenuti (generalmente tra 10 e 20).

Livello di carico 1: $\Delta\sigma_1$ → N° di cicli a rottura N_1

Livello di carico 2: $\Delta\sigma_2$ → N° di cicli a rottura N_2

Livello di carico 3: $\Delta\sigma_3$ → N° di cicli a rottura N_3



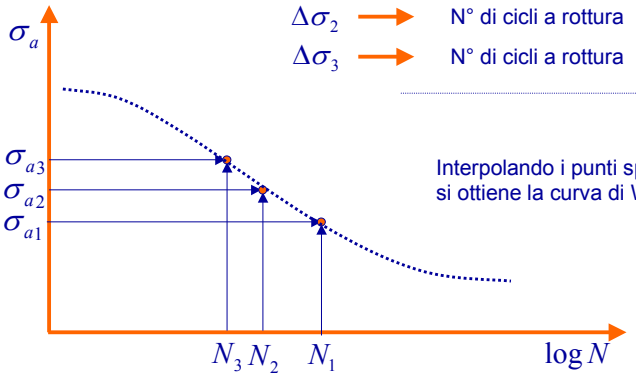
La curva di Wöhler

I risultati delle prove vengono riportati in un piano semilogartmico $\sigma \quad -\log N$

$\Delta\sigma_1 \rightarrow$ N° di cicli a rottura N_1

$\Delta\sigma_2 \rightarrow$ N° di cicli a rottura N_2

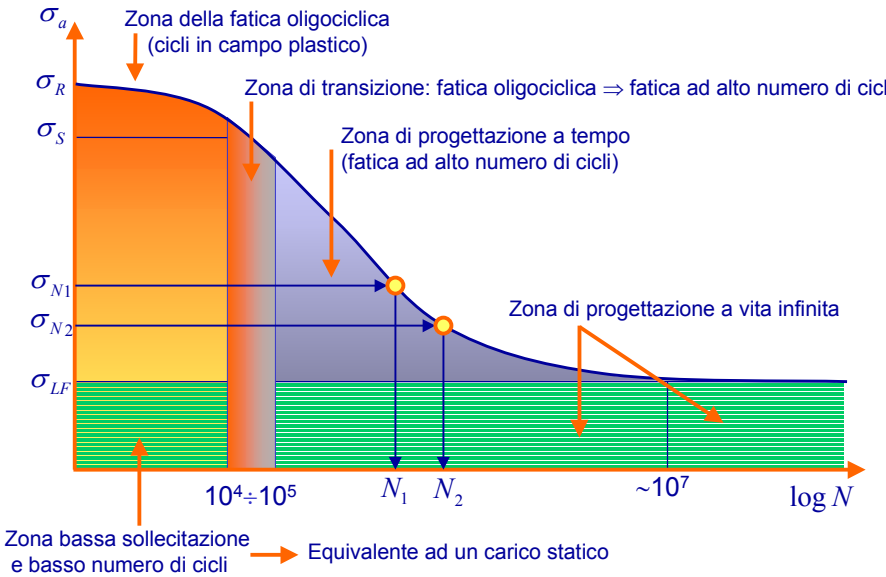
$\Delta\sigma_3 \rightarrow$ N° di cicli a rottura N_3



Interpolando i punti sperimentali si ottiene la curva di Wöhler .

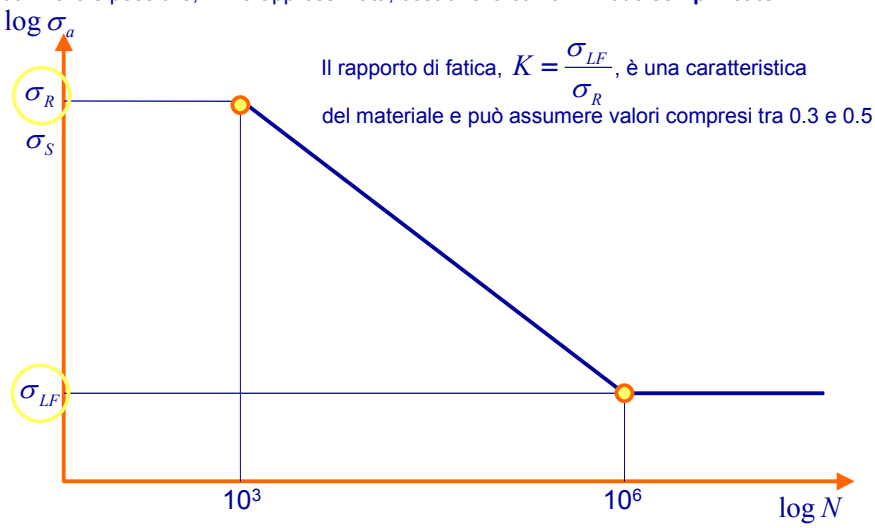
La curva di Wöhler

La curva del Wöhler rappresenta un fenomeno complesso ed individua diverse aree, nel piano $\sigma_a \quad -\log N$, alle quali sono associate altrettante procedure di progetto a fatica.



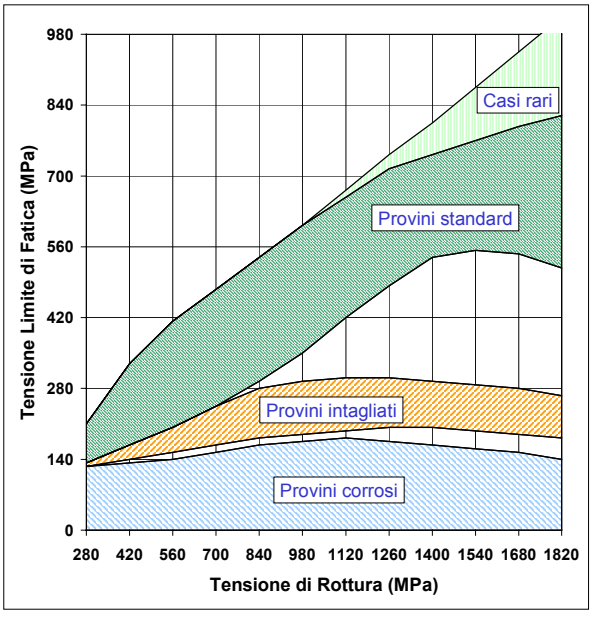
La curva di Wöhler

Nel caso non sia disponibile la curva di Wöhler per il particolare materiale che si intende utilizzare è possibile, in via approssimata, costruire la curva in modo **semplificato**:



Il rapporto di fatica, $K = \frac{\sigma_{LF}}{\sigma_R}$, è una caratteristica del materiale e può assumere valori compresi tra 0.3 e 0.5

La curva di Wöhler

Dal diagramma sperimentale, qui riportato, è possibile ricavare il rapporto:

$$K = \frac{\sigma_{LF}}{\sigma_R}$$