

## Calcolo a fatica di componenti meccanici

### Seconda parte

#### Fattori che influenzano la vita a fatica

Quali sono i fattori che influenzano la vita a fatica di una struttura?

Riepilogo dei principali fattori che influenzano  
la durata a fatica degli organi meccanici

Materiale

Trattamenti superficiali

Frequenza e Tipo di sollecitazione

Ambiente

Dimensioni - Effetto scala

Effetto della tensione media

Finitura superficiale

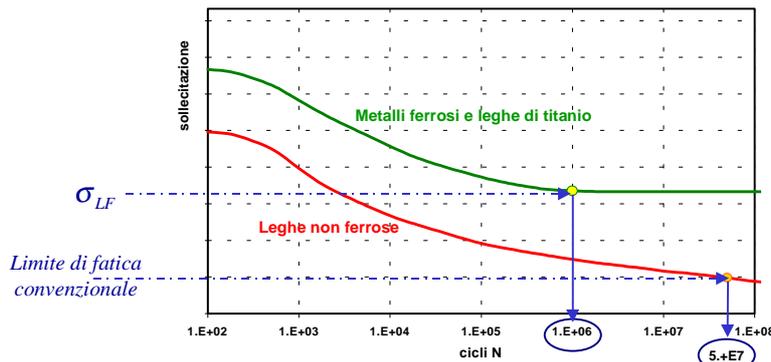
Geometria - Fattore di forma

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tipo di Materiale

Non tutti i materiali presentano un limite di fatica:

La curva del Woehler solo per gli acciai e le leghe di titanio presenta un asintoto orizzontale. Tale livello di carico rappresenta una soglia al di sotto della quale questi materiali possono sopportare qualsiasi numero di cicli (*vita infinita*).

Le leghe di alluminio, rame, nickel e magnesio hanno un comportamento che non cambia al diminuire della sollecitazione, per cui la progettazione di componenti realizzati con questi materiali va eseguita a *vita finita* per qualsiasi livello di carico.



Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tipo di Materiale

Oltre che per la sua composizione chimica, un materiale può presentare un migliore o peggiore comportamento a fatica in funzione di altri fattori:

Struttura cristallina.

Per gli acciai, le strutture bainitica, ferritica, perlitica e martensitica portano, nell'ordine, a comportamenti via via peggiori in termini di rapporto di fatica K.

Dimensione del grano.

E' bene che il grano sia il più piccolo possibile per avere elevati valori del rapporto di fatica K.

Orientamento dei grani.

Ad esempio, nelle lamiere, se la direzione di sollecitazione è parallela alla direzione di laminazione si riscontra una durata a fatica ben superiore che nel caso essa sia ortogonale all'orientazione preferenziale dei grani.

Inomogeneità.

La presenza di inclusioni, soffiature e impurità può ridurre notevolmente la vita a fatica del materiale.

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Frequenza e Tipo di sollecitazione

La conoscenza di come frequenza e tipo di sollecitazione influenzano la vita a fatica di un materiale è importante per dare validità generale ai risultati ottenuti con le macchine di prova.

Forma del ciclo di carico.

La forma della funzione carico-tempo non sembra avere alcuna influenza sulla vita a fatica. Ciò che crea danneggiamento è l'ampiezza delle inversioni di carico.

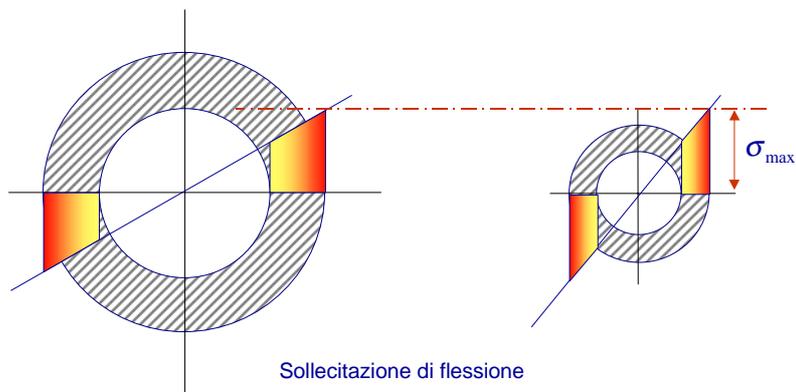
Frequenza.

Fino a 150 Hz l'effetto è trascurabile. A frequenze maggiori si ha un iniziale apparente miglioramento delle prestazioni dovuto al ritardo con cui la tensione nel materiale segue la sollecitazione applicata. A frequenze ancora maggiori (>1000 Hz) prevale l'effetto dovuto all'incremento di temperatura provocato dall'isteresi elastica che tende a ridurre la vita del materiale.

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Effetto scala

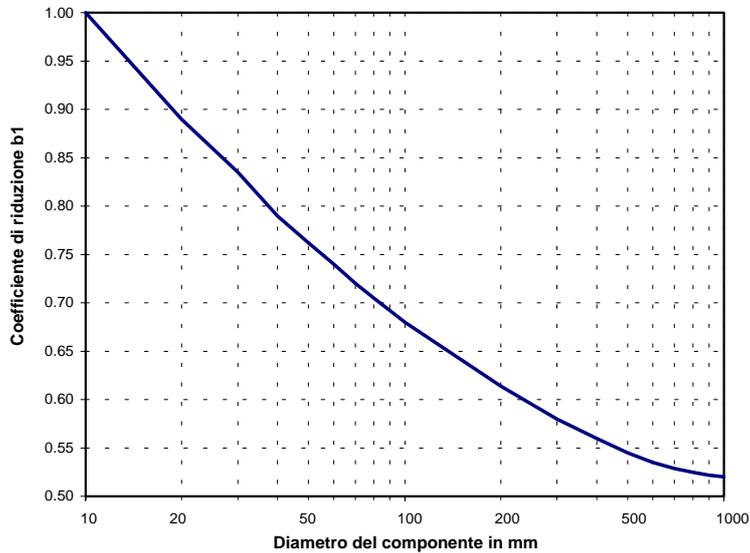
Effetto della dimensione del componente sulla durata a fatica.

Nei componenti di maggiori dimensioni aumenta la probabilità che un difetto si trovi in una zona con tensione sufficientemente elevata da consentirne la propagazione stabile per fatica.



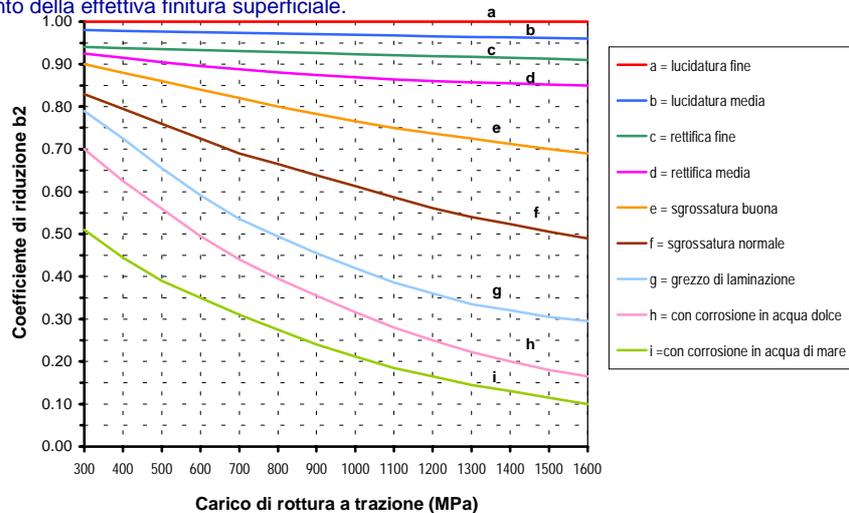
Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Effetto scala

Effetto della dimensione sulla durata a fatica di un componente di dimensioni superiori a quella dei provini viene valutato attraverso il coefficiente di riduzione delle prestazioni del materiale  $b_1$ .



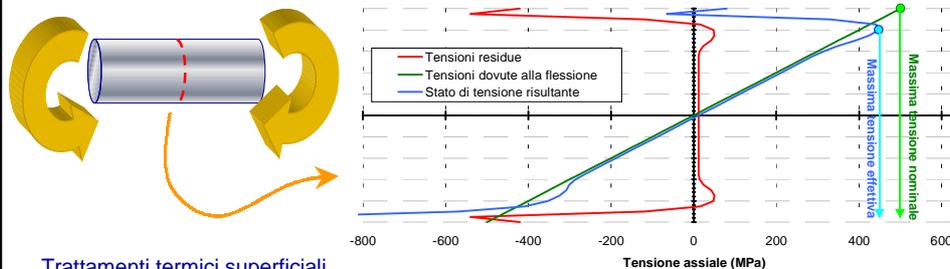
Fattori che influenzano la vita a fatica: Finitura superficiale

Tutte le prove di caratterizzazione a fatica dei materiali vengono effettuate utilizzando provini lucidati a specchio per limitare al massimo la presenza di discontinuità superficiali che possano accelerare il meccanismo di nucleazione delle cricche di fatica. Quindi, i dati raccolti sui provini lucidati a specchio, per poter essere applicati alla verifica di componenti reali, devono essere scalati verso il basso attraverso il coefficiente  $b_2$  per tener conto della effettiva finitura superficiale.



#### Fattori che influenzano la vita a fatica: Trattamenti superficiali

L'effetto dei trattamenti superficiali sul comportamento a fatica dipende dallo stato di tensione residuo che questi trattamenti sono in grado di generare. Infatti, delle tensioni residue di compressione sulla superficie del componente inibiscono la formazione di cricche di fatica.



#### Trattamenti termici superficiali.

La nitrurazione, la tempra superficiale e la carbocementazione portano, nell'ordine, a comportamenti a fatica migliori.

#### Lavorazioni e trattamenti meccanici.

La rettifica e le lavorazioni alle macchine utensili possono indurre tensioni residue di trazione. Mentre, la rullatura, la pallinatura e la sabbatura generano un positivo sistema di tensioni residuo di compressione.

#### Rivestimenti metallici protettivi.

I rivestimenti metalli sono sempre da evitare, soprattutto quelli realizzati con metalli duri (cromo, nickel).

#### Fattori che influenzano la vita a fatica: Ambiente

Le condizioni ambientali possono modificare notevolmente le prestazioni a fatica di un materiale. Tra tutti i possibili fattori ambientali quelli che hanno maggior rilevanza nella progettazione di organi meccanici sono:

#### Temperatura.

All'aumentare della temperatura di esercizio si ha per tutti i materiali una riduzione della vita a fatica. Inoltre, per gli acciai la curva del Woehler non mostra più un comportamento asintotico e, quindi, non si può più parlare di tensione limite di fatica.

#### Corrosione.

Il fenomeno della fatica e quello della corrosione si esaltano reciprocamente. Hanno, quindi, un effetto sinergico nel danneggiamento del materiale che ne riduce di molto la durata.

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

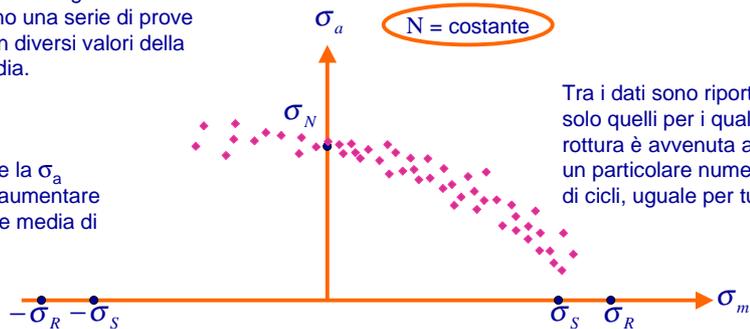
Le prove di fatica, come si è detto, vengono effettuate in genere con cicli a media nulla ( $R = -1$ ).

Nella pratica costruttiva accade molto di frequente che le sollecitazioni cicliche non siano a media nulla, ma siano caratterizzate da una tensione media, di trazione o di compressione.

È molto importante, quindi, valutare l'effetto sulla durata di una tensione costante sovrapposta ad una sollecitazione di fatica a media nulla, per la quale sia disponibile la curva di Wöhler.

I dati riportati nella figura rappresentano una serie di prove effettuate con diversi valori della tensione media.

Come si vede la  $\sigma_a$  decresce all'aumentare della tensione media di trazione.



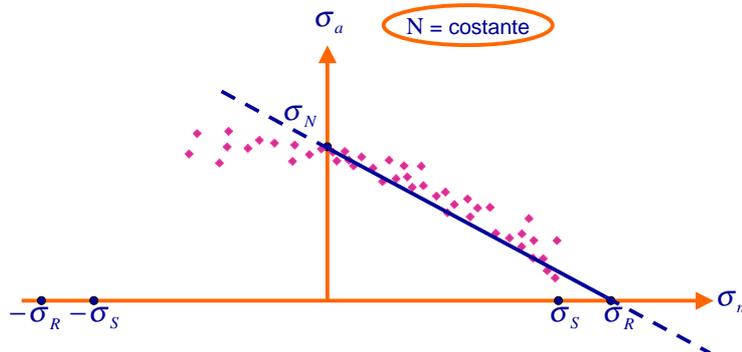
Tra i dati sono riportati solo quelli per i quali la rottura è avvenuta ad un particolare numero di cicli, uguale per tutti.

Quando la tensione media è di compressione la  $\sigma_a$  rimane costante per un ampio campo di  $\sigma_m$  prima di sentirne l'effetto e diminuire.

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

Si possono immaginare diversi modelli che riproducano il comportamento osservato sperimentalmente.

Si consideri solo la parte riguardante la tensione media di trazione.

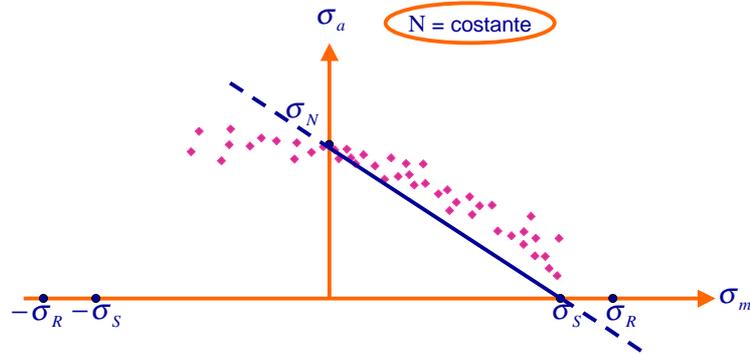


**Relazione lineare di Goodman:** 
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_N} + \frac{\sigma_m}{\sigma_R} = 1$$

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

Si possono immaginare diversi modelli  
che riproducano il comportamento osservato sperimentalmente.

Si consideri solo la parte riguardante  
la tensione media di trazione.

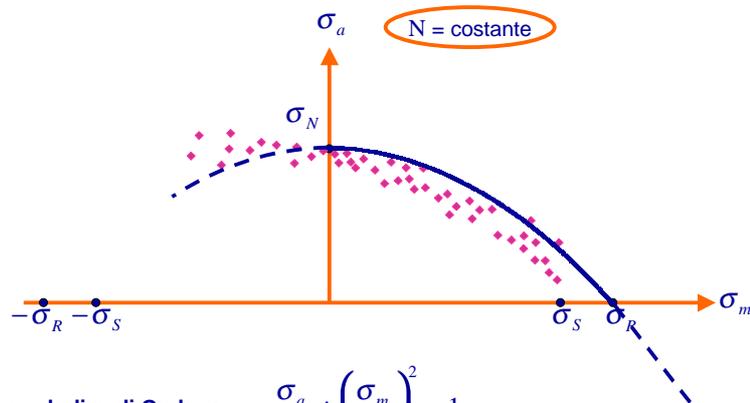


**Relazione lineare di Soderberg:** 
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_N} + \frac{\sigma_m}{\sigma_S} = 1$$

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

Si possono immaginare diversi modelli  
che riproducano il comportamento osservato sperimentalmente.

Si consideri solo la parte riguardante  
la tensione media di trazione.

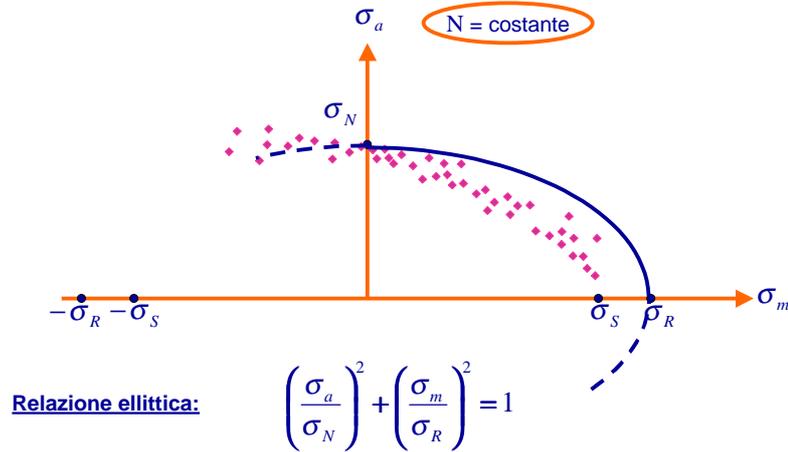


**Relazione parabolica di Gerber:** 
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_N} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_R}\right)^2 = 1$$

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

Si possono immaginare diversi modelli che riproducano il comportamento osservato sperimentalmente.

Si consideri solo la parte riguardante la tensione media di trazione.



Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Tensione media

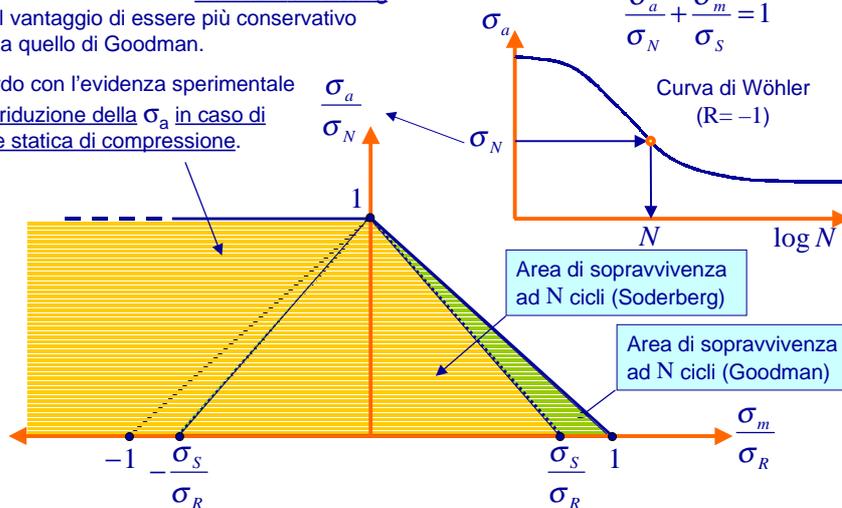
Tra i modelli descritti, si utilizza quello lineare di Goodman perché rappresenta in modo sufficientemente accurato la realtà ed è di semplice applicazione.

È anche utilizzato il modello lineare di Soderberg che ha il vantaggio di essere più conservativo rispetto a quello di Goodman.

In accordo con l'evidenza sperimentale non c'è riduzione della  $\sigma_a$  in caso di tensione statica di compressione.

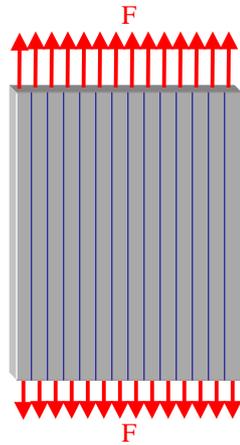
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_N} + \frac{\sigma_m}{\sigma_R} = 1$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_N} + \frac{\sigma_m}{\sigma_S} = 1$$

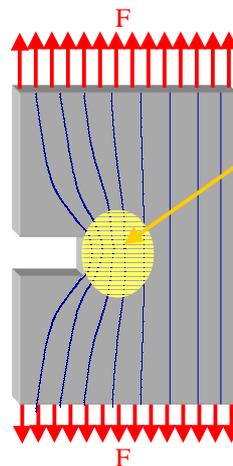


Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

Le brusche variazioni di forma provocano un aumento locale dello stato tensionale che diventa, localmente, triassiale.



$$\sigma_{\text{nominale}} = \frac{F}{A}$$



$$\sigma_{\text{locale}} = k \sigma_{\text{nominale}}$$

$k \leftarrow$  Forma dell'intaglio

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

Molti organi meccanici hanno, per motivi funzionali, una forma che provoca effetti locali di intaglio.

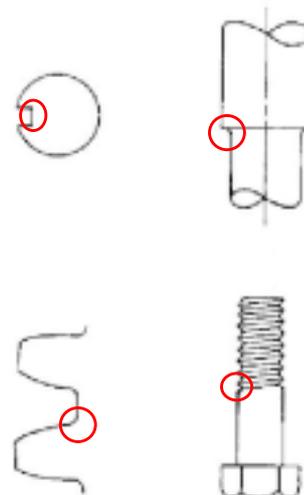
Naturalmente si cerca di ridurre al massimo la severità dell'intaglio con raggi di raccordo ampi, per quanto possibile.

Tuttavia, come mostrano gli schizzi in figura, spesso non è possibile evitare le brusche variazioni di forma e la tensione locale può raggiungere valori pari ad oltre 3-4 volte la tensione nominale.

Fattore di intaglio

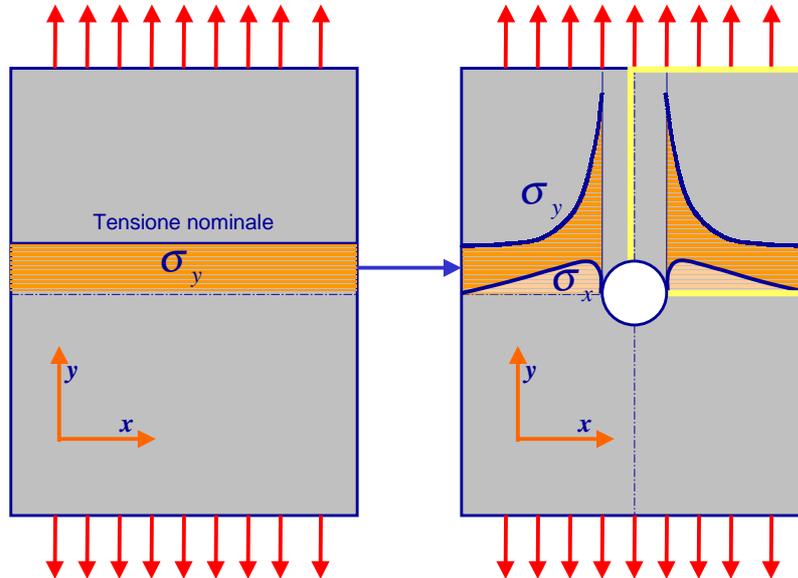
$$k_t = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_n}$$

Il valore del fattore di intaglio teorico  $k_t$ , che dipende dalla geometria del componente e dalla modalità di carico, può essere ricavato da grafici, tabelle e formule analitiche.



Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

La presenza di un foro in una piastra di lamiera provoca un'alterazione dello stato tensionale.



Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

La presenza di un foro in una piastra di lamiera provoca un'alterazione dello stato tensionale.

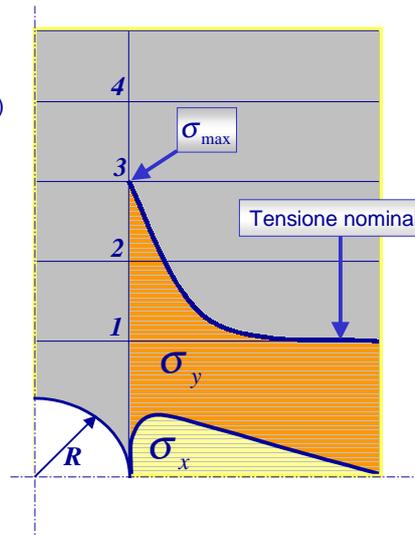
Nel caso di foro circolare  
(di piccole dimensioni rispetto a quelle della piastra)  
il fattore di intaglio vale 3.

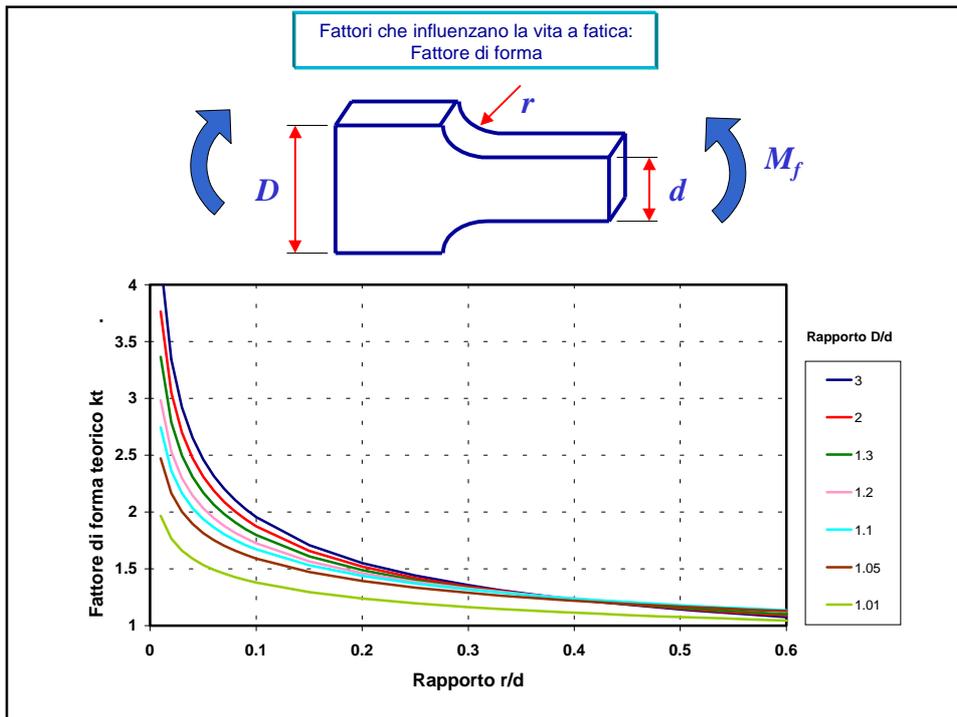
$$k_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} = 3$$

Nel caso più generale di lastra piana con un foro  
ellittico il massimo valore della tensione dipende  
dal raggio di curvatura minimo dell'ellisse  $\rho$ .

Il fattore di intaglio quindi vale:

$$k_t = \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right) \quad \rho = \frac{b^2}{a}$$





Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

I materiali metallici sono più o meno sensibili alla presenza di un intaglio. L'influenza di questa maggiore o minore sensibilità è modellabile attraverso il fattore di sensibilità all'intaglio,  $q$ , che è definito come segue:

$$q = \frac{k_e - 1}{k_t - 1}$$

dove  $k_e$  rappresenta il fattore effettivo di intaglio, mentre  $k_t$  indica, come sempre, il fattore teorico di intaglio.

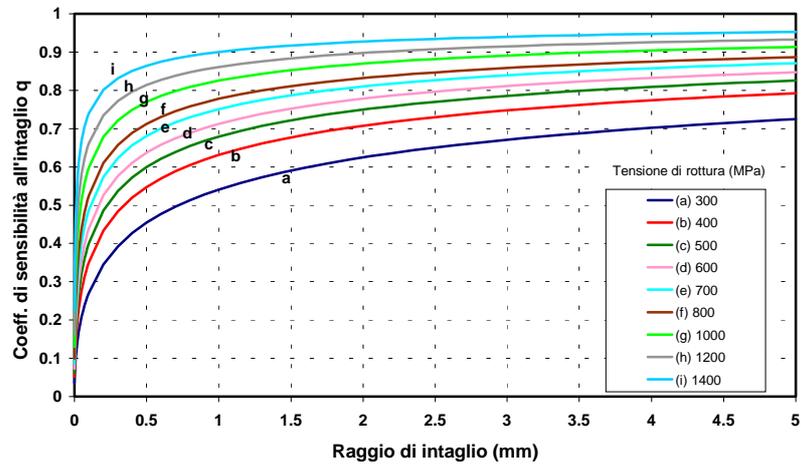
La conoscenza di  $q$  (che dipende dal materiale e dal raggio d'intaglio e che può essere ottenuto tramite tabelle) ci permette di ricavare il fattore di intaglio effettivo  $k_e$  da usare nelle verifiche in alternativa a  $k_t$  secondo quanto indicato nella seguente tabella:

|                   | Sollecitazione statica | Sollecitazione ciclica |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| Materiali duttili | 1                      | $k_e$                  |
| Materiali fragili | $k_t$                  | $k_t$                  |

Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

Valori del fattore di sensibilità all'intaglio  $q$  per gli acciai:

Sollecitazione di FLESSIONE o TRAZIONE



Fattori che influenzano la vita a fatica:  
Fattore di forma

Valori del fattore di sensibilità all'intaglio  $q$  per gli acciai:

Sollecitazione di TORSIONE

