

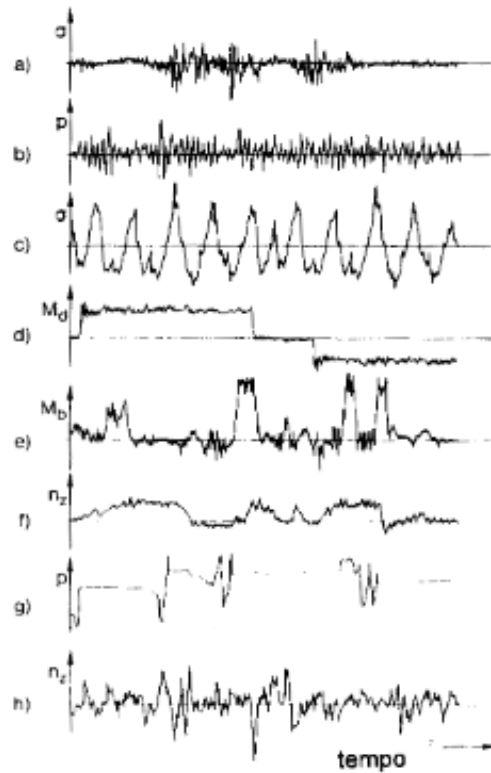
La fatica nei materiali

La maggior parte (circa 75%) dei cedimenti dei componenti meccanici avvengono per fatica, con sollecitazioni molto più basse del limite elastico ma variabili nel tempo.

Esempi:

- assali ferroviari
- strutture, componenti e fusoliere di aerei
- alberi a gomiti
- ingranaggi
- e moltissimi altri.....

Carichi variabili

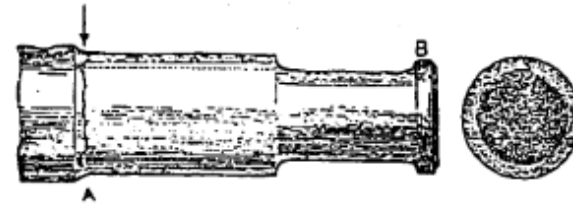
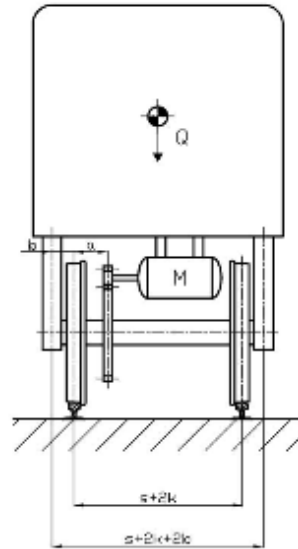


- a. assale di autovettura
- b. pressione in un reattore
- c. ruota di vettura
- d. M_t albero laminatoio
- e. M_f fuso a snodo
- f. accelerazione aereo militare
- g. pressione oleodotto
- h. accelerazione aereo civile

Esempio tipico

Assale ferroviario

È sollecitato a flessione rotante, con andamento che, in prima schematizzazione, è sinusoidale, più eventuale momento torcente.

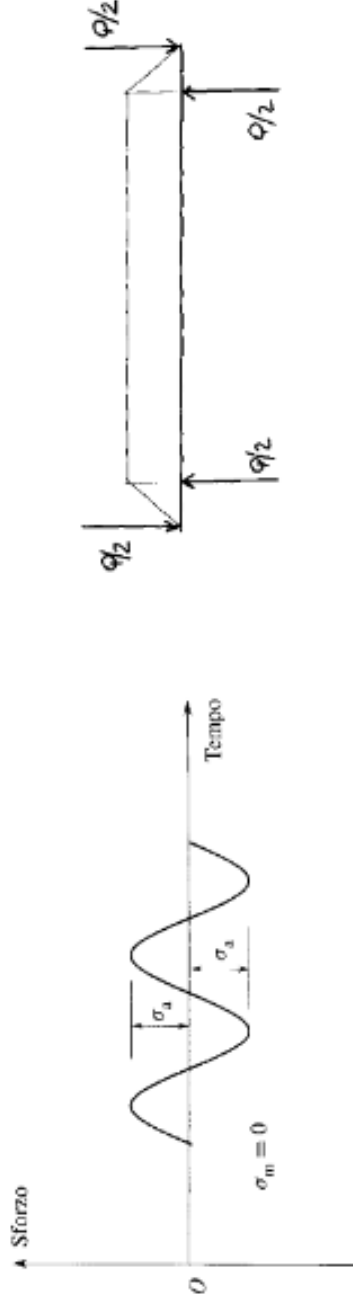


Questo è il disegno di uno dei primi cedimenti di assale ferroviario che si ricordi:

incidente di Versailles, 1842.

Assale ferroviario

L'assale è sollecitato come una trave, ma ruota, quindi lo sforzo in ogni suo punto ha un andamento nel tempo variabile sinusoidalmente (se ruota a velocità costante!).



Pur con valori costanti nel tempo dei carichi applicati, l'assale è soggetto a fatica in quanto ruota rispetto ai carichi stessi: **gli sforzi applicati in ogni punto dell'assale variano, quindi, ciclicamente nel tempo.**

L'incidente ferroviario di Viareggio del 29 giugno 2009



la Repubblica.it

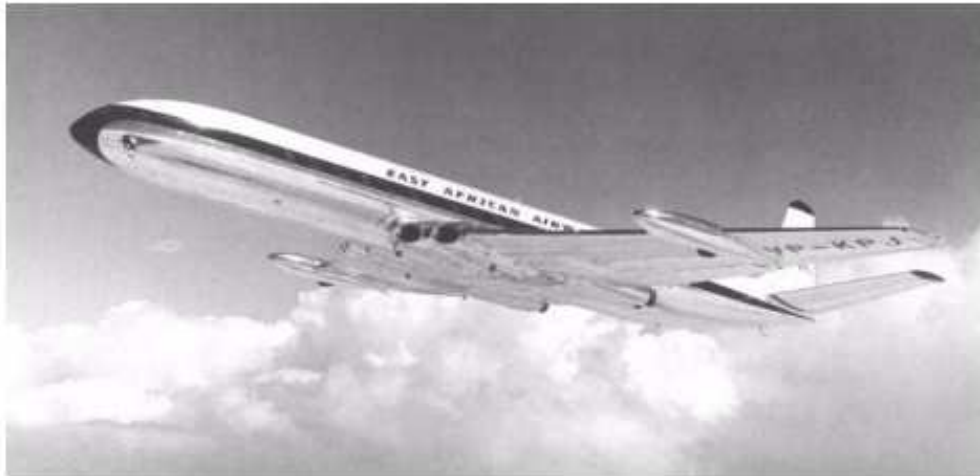
Incidente Viareggio, le foto dell'asse che ha ceduto

« PRECEDENTE Foto 1 di 2 SUCCESSIVO »



Altro esempio

Il COMET fu vittima di numerosi cedimenti dovuti al danneggiamento per fatica, che indussero una profonda revisione del progetto e causarono l'insuccesso commerciale dell'aereo.



Il COMET (de Havilland Aircraft Company) è stato il primo aereo di linea con propulsione a reazione (anni '50).

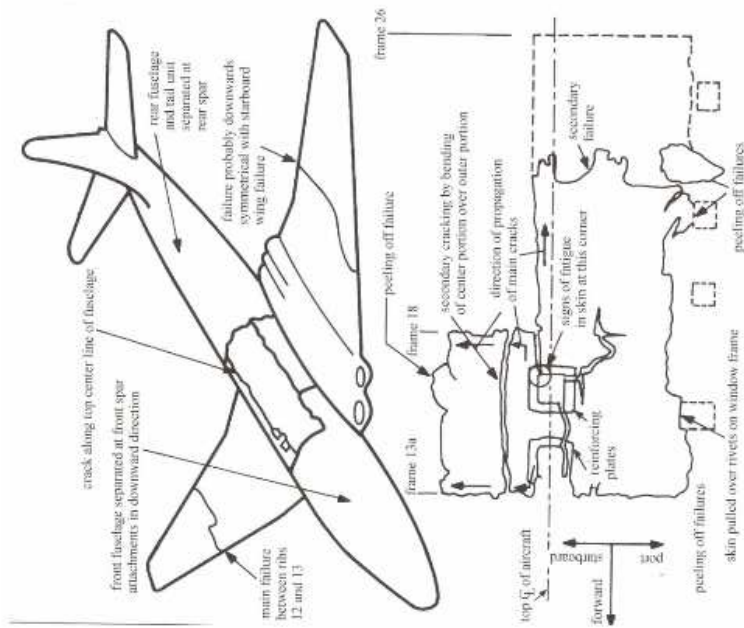
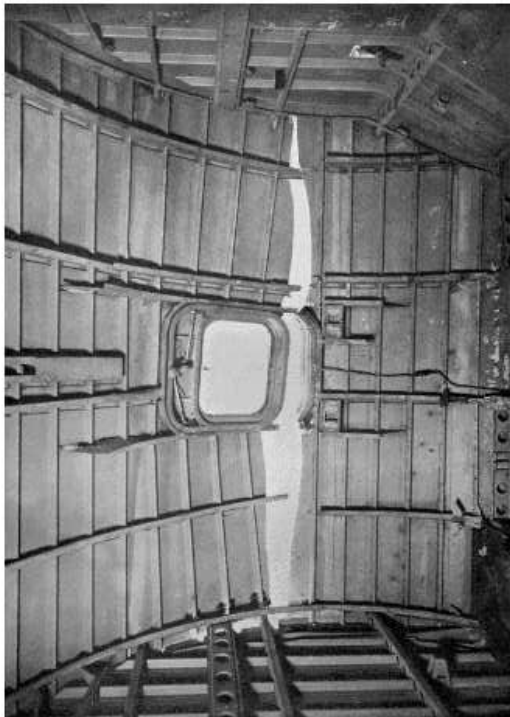
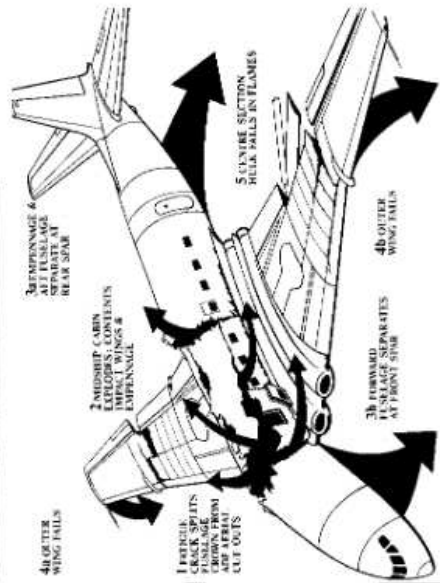
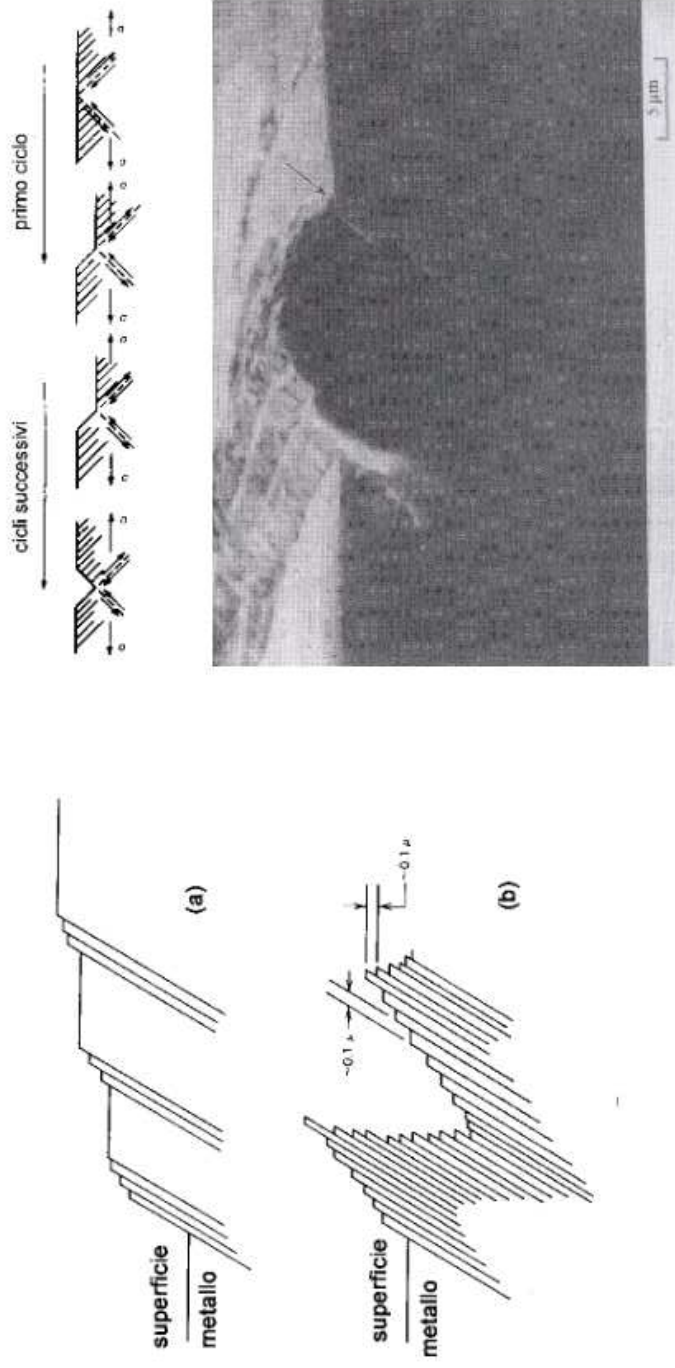


Fig. 1.1. Schematic diagram illustrating the location of fatigue cracks in a failed Comet airplane. (After Petroski, 1996.)



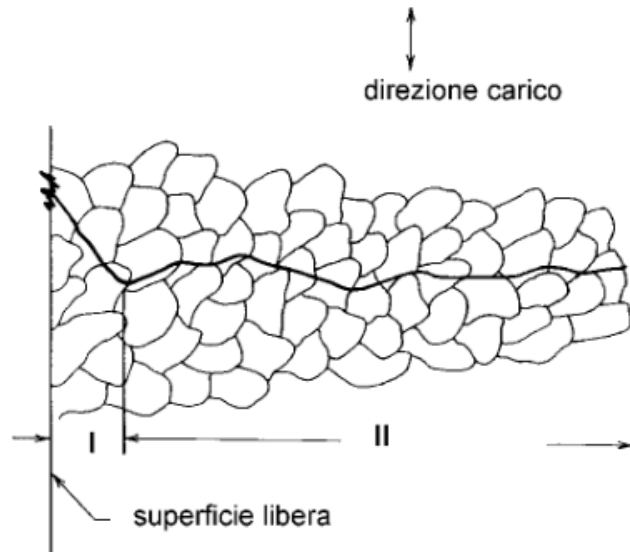
Schema del fenomeno della nucleazione



Il meccanismo, schematicamente, è quello dello scorrimento irreversibile di piani cristallini spessi circa $0,1 \mu m$, che, con cicli di carico successivi, producono in superficie un piccolo intaglio che diventa una cricca di fatica, che poi si propagherà.

Nucleazione e propagazione della cricca

$$N_R = N_N + N_P$$

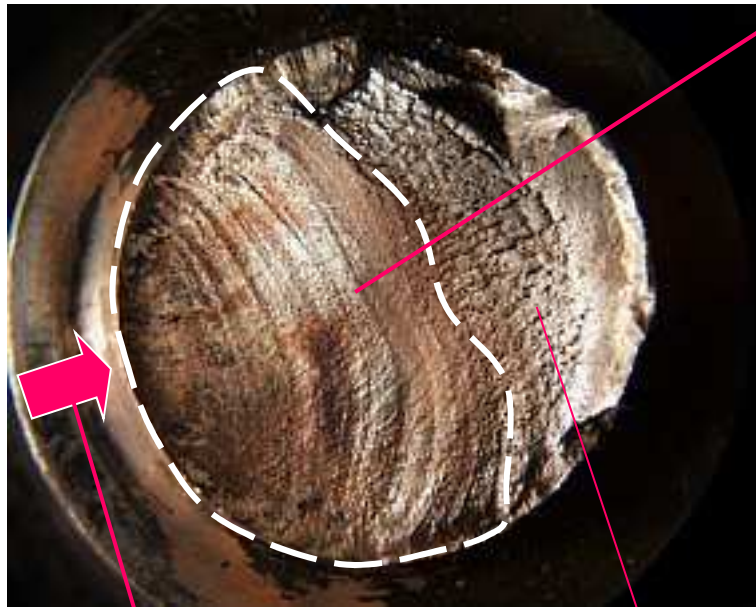


La fase di propagazione (N_P) è più importante rispetto a quella di nucleazione nei componenti di grosse dimensioni ed è studiata con gli strumenti della Meccanica della Frattura Lineare Elastica

Sulla **superficie libera** (o da un difetto) si nuclea la cricca, che, ciclo dopo ciclo, **propaga** all'interno del materiale (fra i grani o a bordo grano) fino a indebolire la sezione al punto che si rompe "staticamente" perché lo sforzo, a causa dell'area ridotta, è diventato pari al carico di rottura.

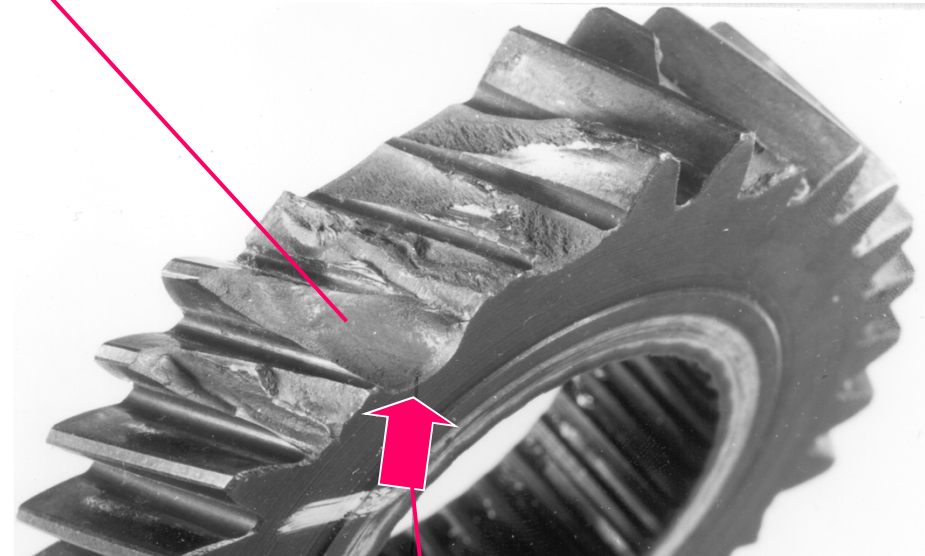
ROTTURA PER FATICA

zone di avanzamento, ciclo dopo ciclo, della fessura



“nucleazione”
della fessura

rottura finale



“nucleazione” di
una fessura

Prove di caratterizzazione dei materiali a fatica

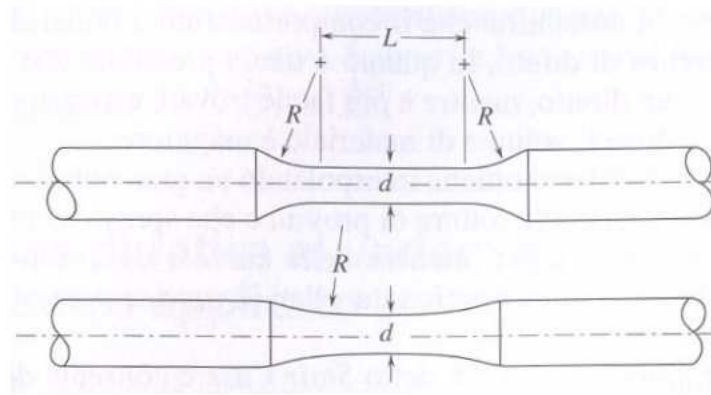
Le prove per la determinazione del limite di fatica dei materiali sono condotte su **provini standard.**

(norma ISO 1143)

$d = 10 \text{ mm}$

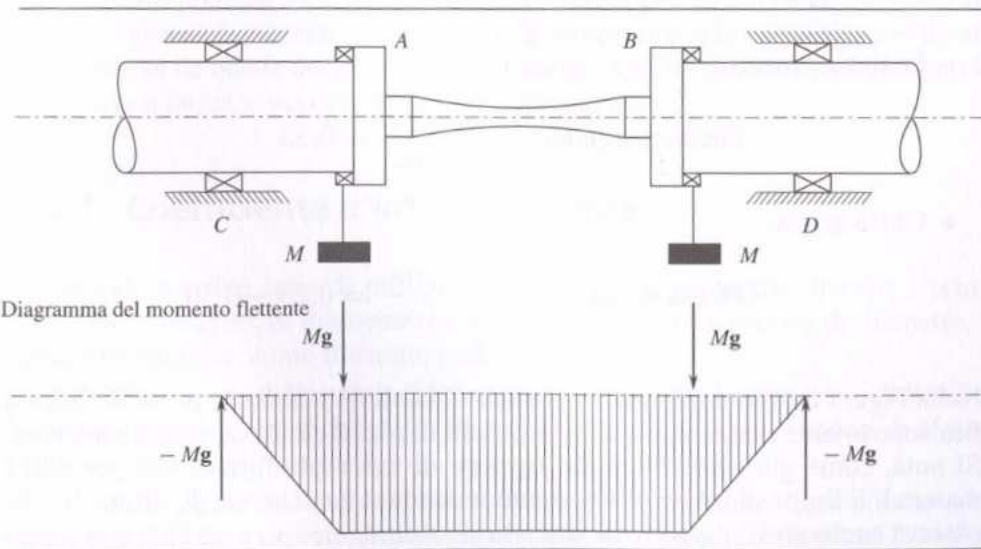
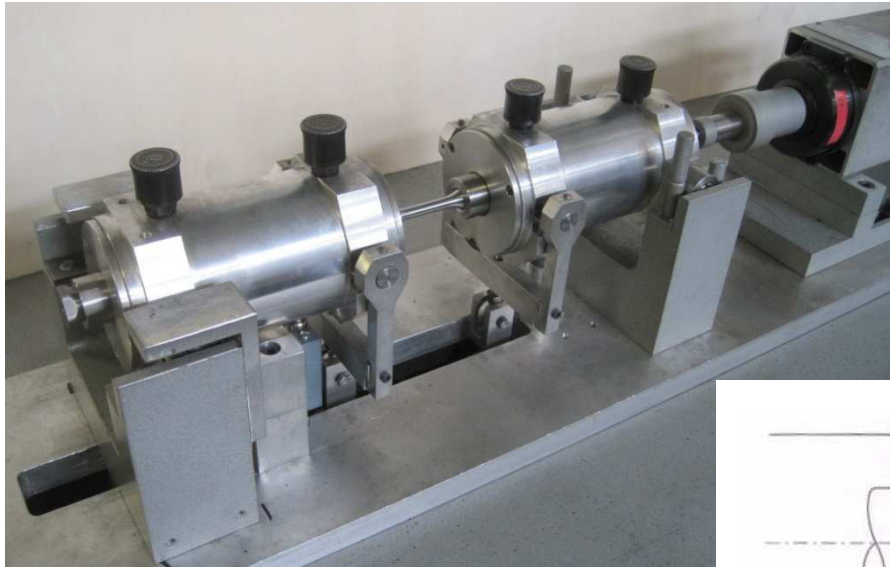
$R_a = 0.3 \text{ }\mu\text{m}$

$K_t = 1$



provini cilindrici o prismatici, dritti o a clessidra, lucidati a specchio

Macchina per prove di fatica a flessione rotante

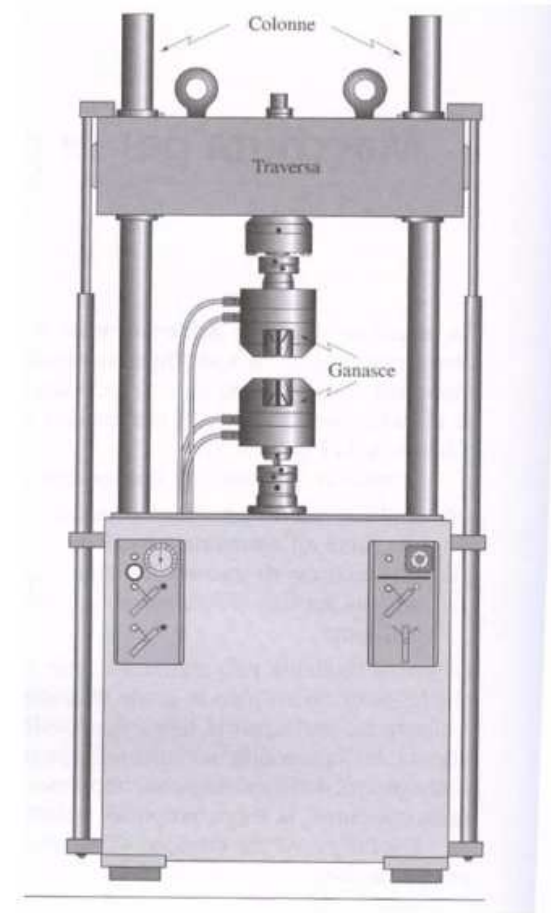


Schema della **macchina di prova a flessione rotante**,
la più semplice ed economica macchina per prove di fatica

Macchina per prove di fatica assiale

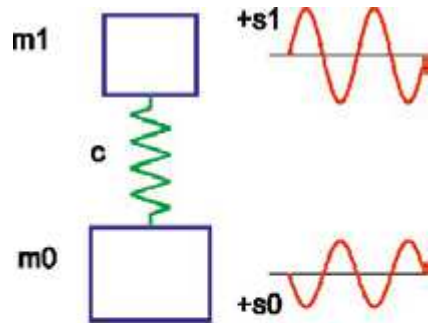


con opportune interfacce con le ganasce può essere utilizzata anche per prove di flessione piana



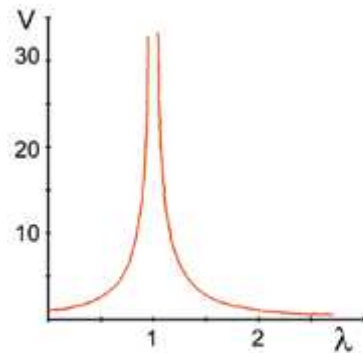
freq. max
25Hz

Macchina per prove di fatica a risonanza



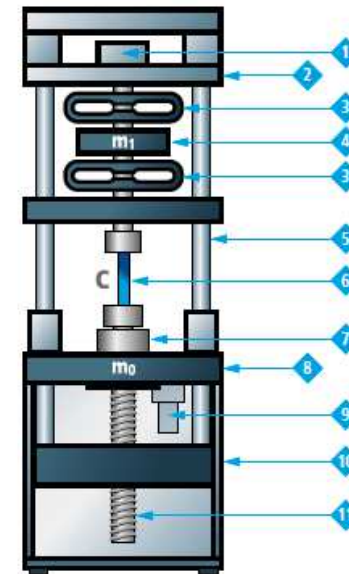
$$\omega = \sqrt{c \frac{m_0 + m_1}{m_0 * m_1}}$$

Resonance curve



$$\lambda = f / f_0 \text{ (Frequency tuning)}$$

$$V = F / F_0 \text{ (Resonance amplification of excitation force)}$$

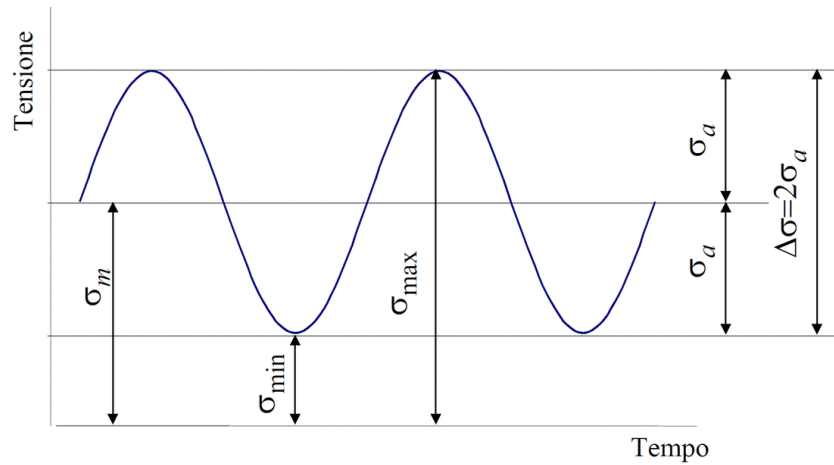


freq.max 250 Hz

Legend

- 1 Magnet for dynamic drive
- 2 Cross head
- 3 Preload springs for static load
- 4 Oscillating mass m_1
- 5 Columns
- 6 Specimen / component c
- 7 Load cell
- 8 Counter mass m_0 built as T-slotted table
- 9 Spindle drive with servo motor
- 10 Movable lower cross head
- 11 Premium ground ball screw spindle

Sollecitazione imposta

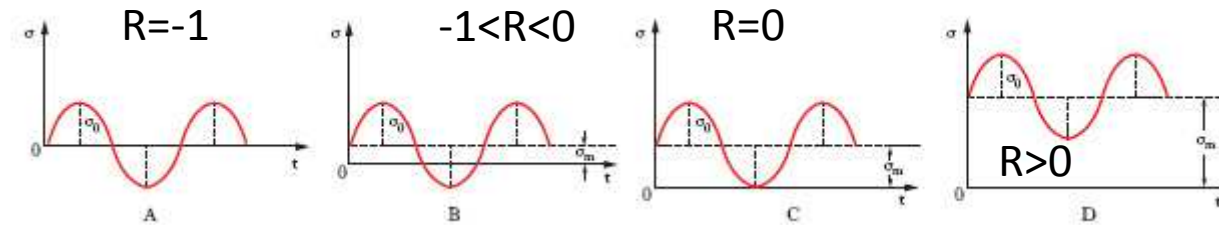


$$\sigma_m = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max}) / 2$$

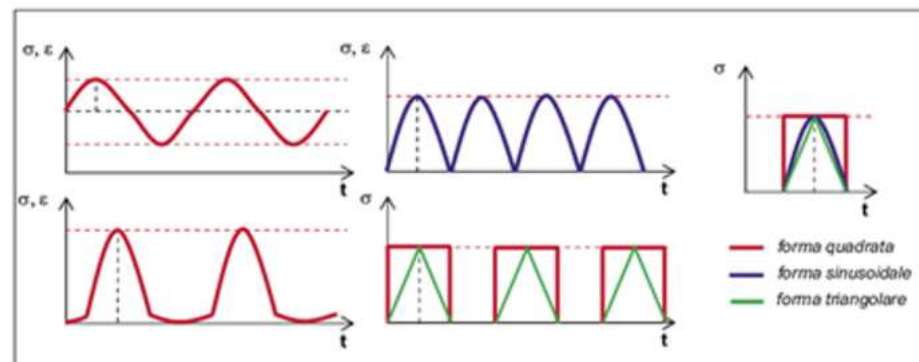
$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$$

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

Numero di cicli N



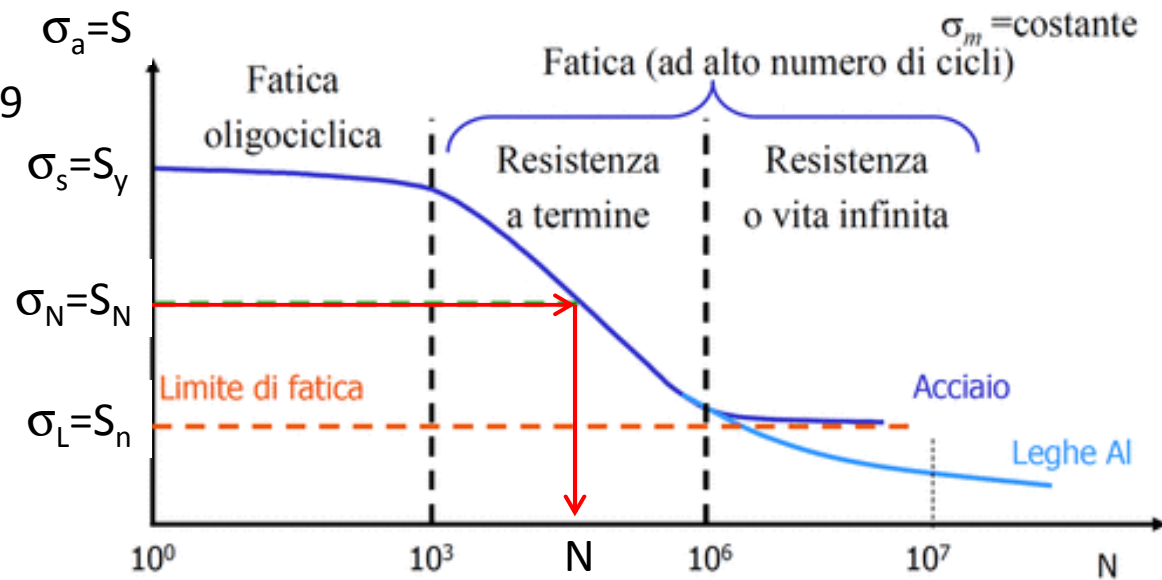
Nota: la forma e la frequenza del ciclo (a meno di fenomeni di isteresi) sono influenti



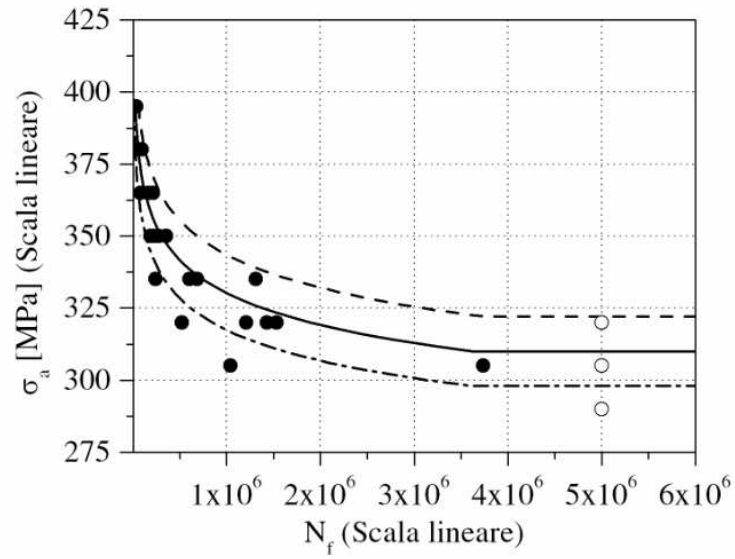
Curba di Whöler o S-N



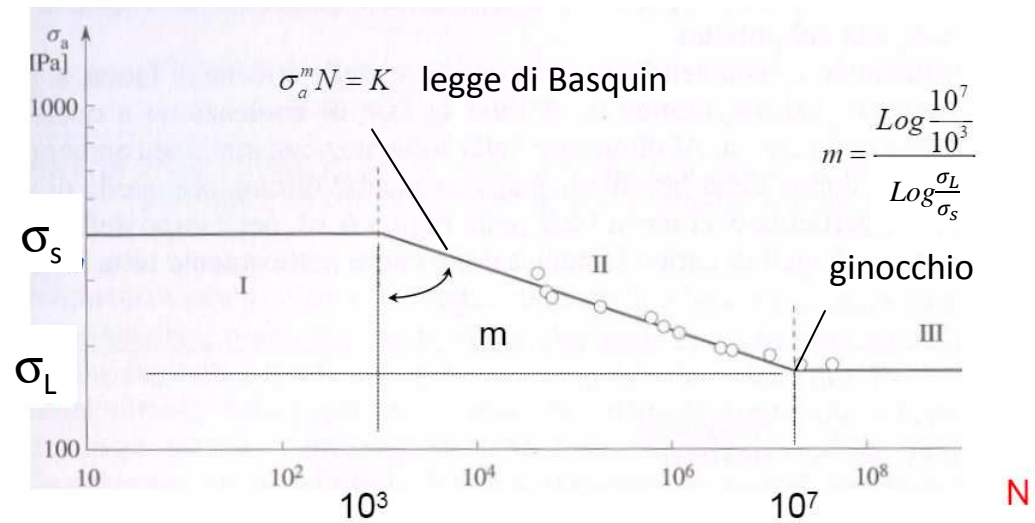
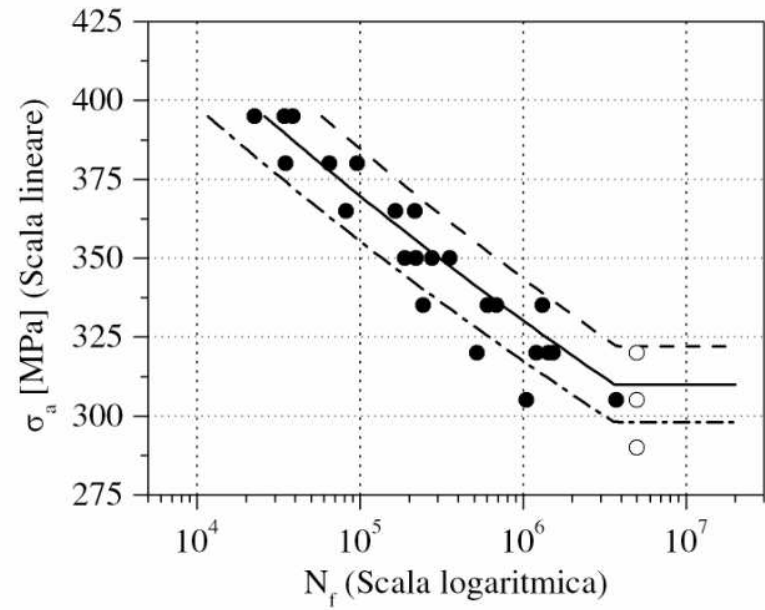
August Wöhler (22 June 1819 – 21 March 1914) ingegnere delle ferrovie tedesco



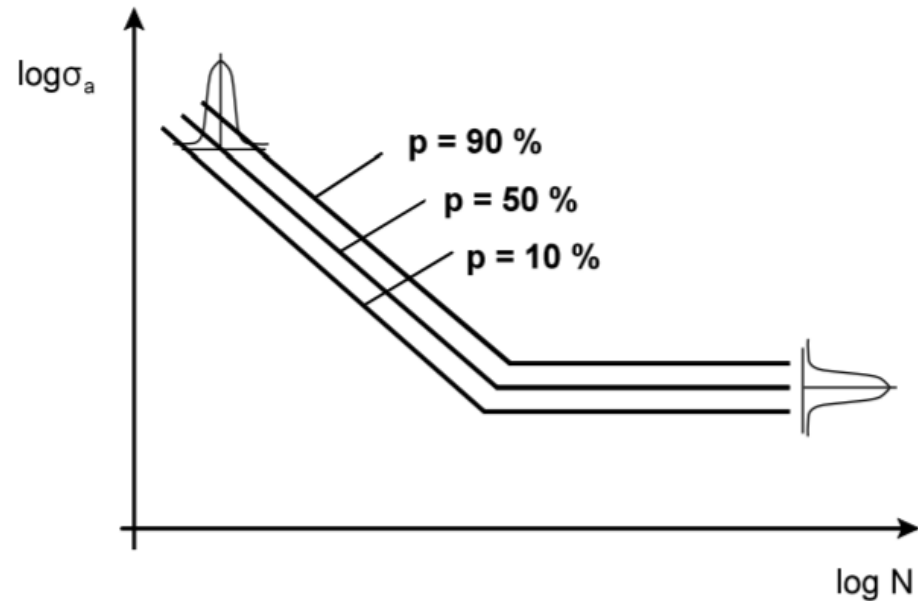
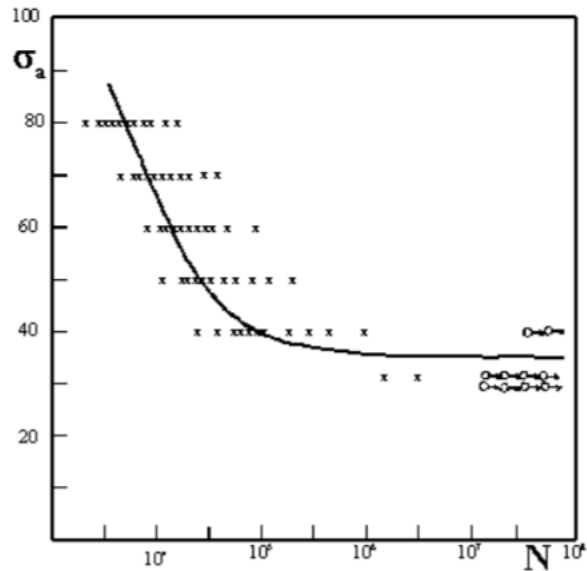
1 – scala lineare



2 – scala lineare-logaritmica



Coefficiente di affidabilità C_{aff}



$$C_{\text{aff}} = 1 - k (\text{dev.st.} / \sigma'_{Lm}) \approx 1 - 0.08k$$

$$S'_n = S'_{nm} C_{\text{aff}}$$

Nota: $\sigma'_{Lm} = S'_{nm}$ rappresenta il limite di fatica MEDIO, con l'apice ci si riferisce al provino liscio, lucidato a specchio

Fattori che influenzano resistenza a fatica

Fattori che influenzano resistenza a fatica

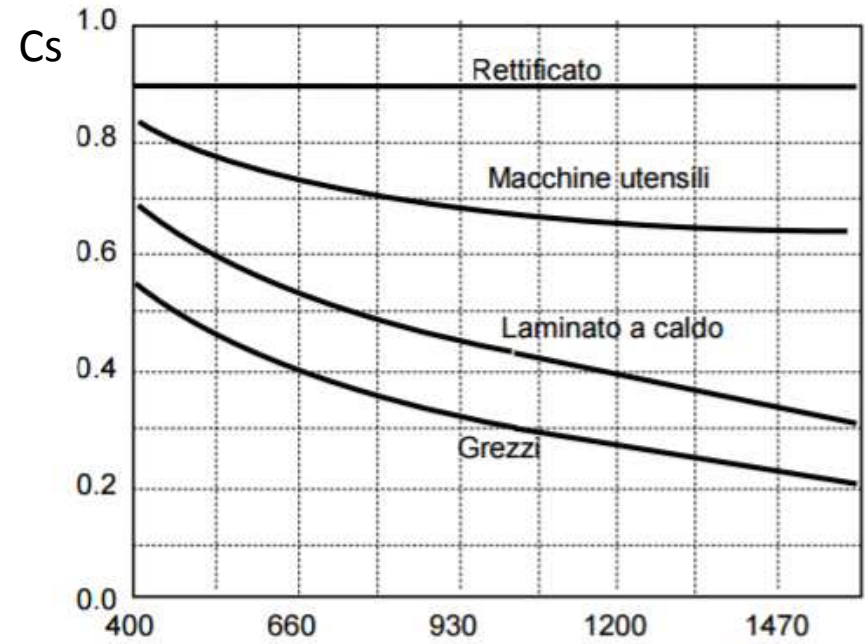
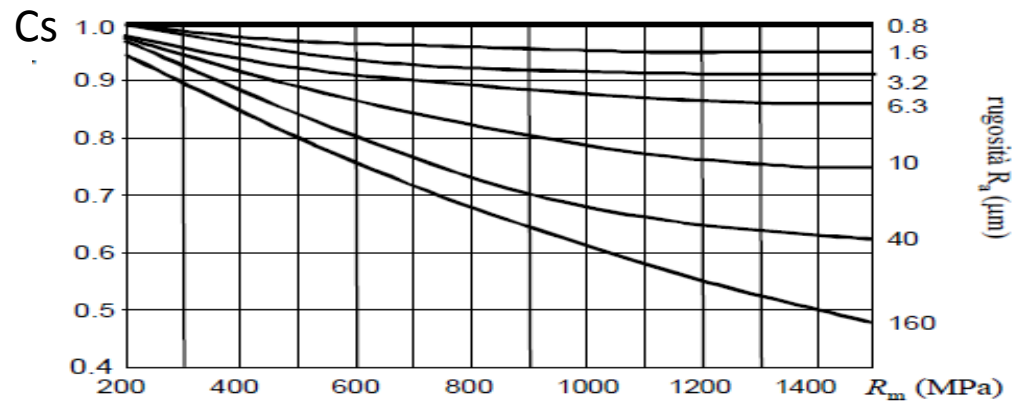
Fattori legati al passaggio da provino a pezzo reale

- | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| • finitura superficiale | | coeff. riduttivi di S'_n |
| • dimensioni e gradiente di tensione | | coeff. amplif. di σ_{nom} |
| • effetti di intaglio | | |

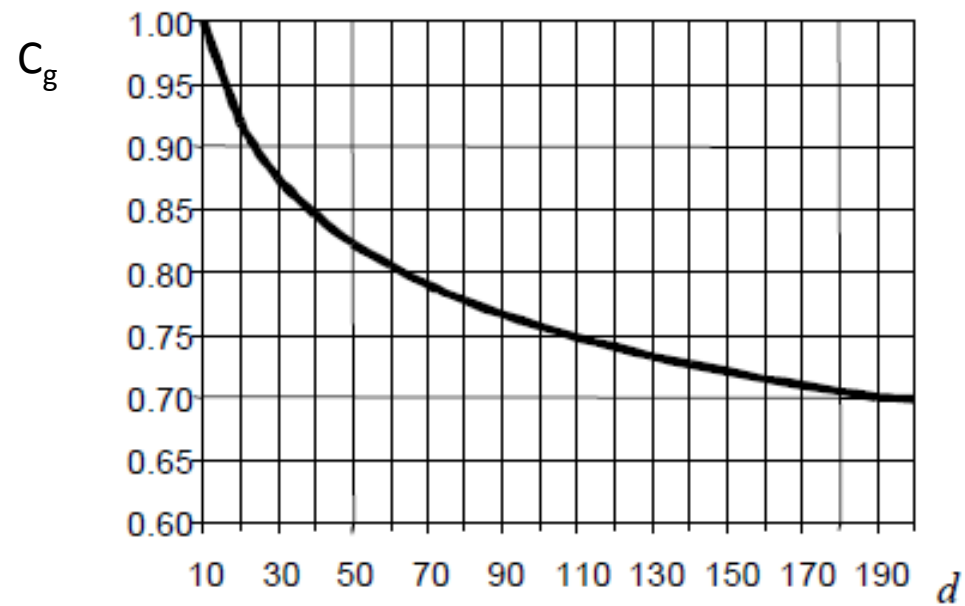
Fattori dipendenti dal carico

- tensione media
- pluriassialità
- variabilità di ampiezza

Effetto finitura superficiale C_s



Effetto dimensioni C_g

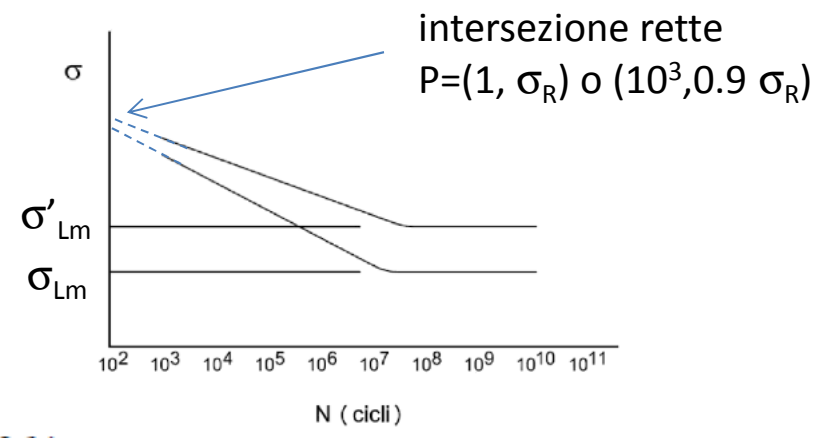


Solo per stati di sollecitazione con gradiente (no trazione compressione)

Effetto degli intagli Fattore di riduzione della vita a fatica

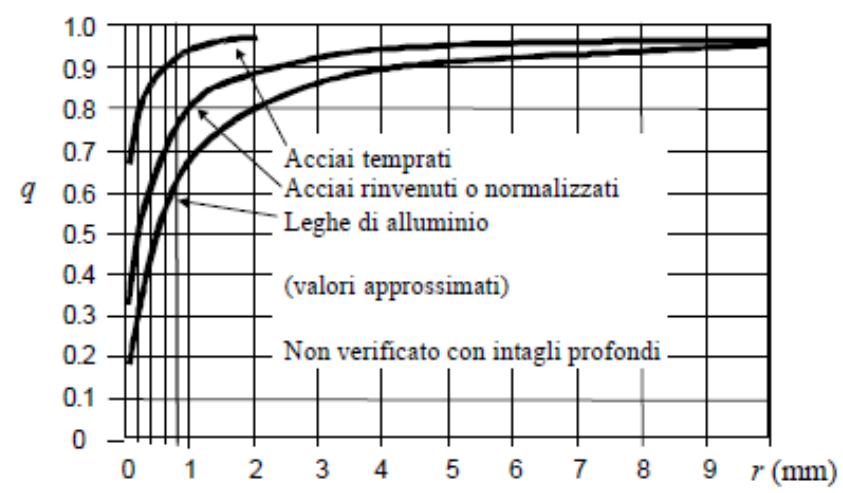
$$1 < \frac{\sigma_{Lm \text{ provino liscio}}}{\sigma_{Lm \text{ provino con intaglio}}} < K_t$$

K_f



UNI 3964

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$



Sensibilità all'intaglio