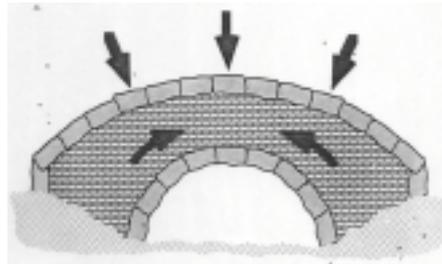


Meccanica della Frattura

Il fenomeno della frattura ha assunto una notevole importanza solo in tempi relativamente recenti.

In passato, infatti, i materiali e le tecnologie di costruzione non avevano mai messo in luce questo fenomeno....

.....finché non sono state realizzate le prime grandi strutture metalliche. Soprattutto quando si è cominciato a fare ampio uso della saldatura



La saldatura, infatti, può introdurre nel componente che si sta realizzando un difetto, ovvero una piccola mancanza di continuità del materiale, generalmente detta cricca.

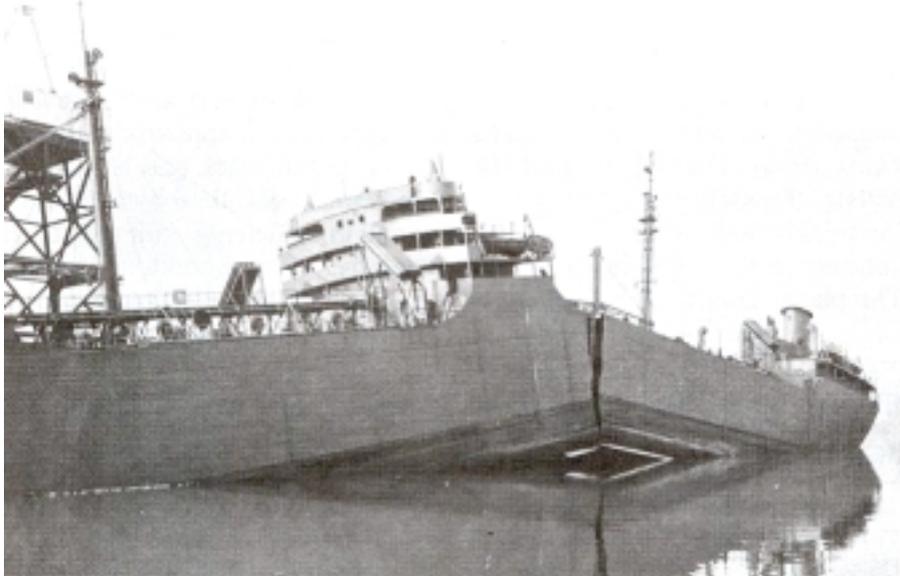
La saldatura, inoltre, rende monolitica la struttura, consentendo alla frattura di propagarsi senza ostacoli fino alla completa rottura.

Le giunzioni chiodate, sotto questo aspetto, garantiscono una maggiore sicurezza, perché la frattura non può propagarsi da una lamiera all'altra.

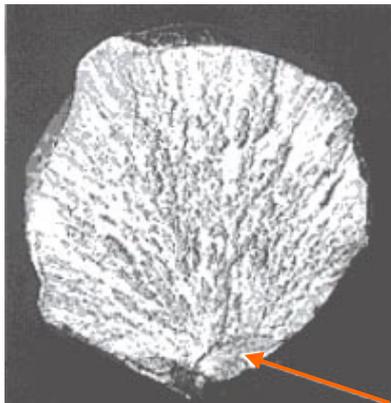
Nel 1940 la saldatura fu introdotta nella tecnica delle costruzioni navali, soprattutto per esigenze belliche.

Nelle strutture così realizzate, il fenomeno della frattura nei metalli, i cui effetti erano stati, sino ad allora, contenuti, ebbe conseguenze importanti, spesso catastrofiche.

Frattura fragile di una nave tipo Liberty (T-2), avvenuta durante la seconda guerra mondiale.



Oltre alla possibilità di creare piccoli difetti (cricche), il processo di saldatura, se non perfettamente eseguito, può generare, a causa dei forti gradienti termici che induce, tensioni residue e variazioni delle caratteristiche meccaniche locali del materiale, sia nella zona fusa che nella zona immediatamente circostante, detta zona termicamente alterata (ZTA).

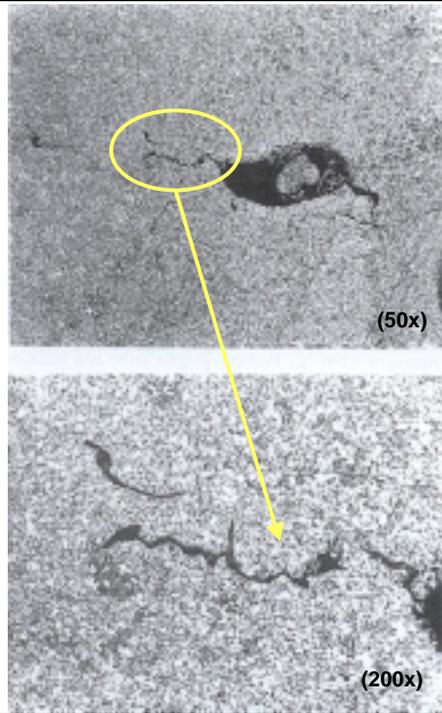


Esempio di cricca prodotta da un colpo d'arco innescato su di un ferro di armatura che ne ha causato la rottura fragile.

La foto in alto mostra una porosità in una saldatura di una tubazione di acciaio al carbonio tipo A106B (254 mm di diametro e 16 mm di spessore).

Si osservi come ai suoi apici si siano prodotte delle microcricche sotto l'azione delle tensioni da ritiro del cordone di saldatura.

La foto in basso mostra un ingrandimento della cricca di sinistra.



La frattura fragile si verifica improvvisamente, senza alcun segnale di preavviso e si propaga rapidissimamente, con una velocità dell'ordine del migliaio di metri al secondo.

La rottura si può sviluppare in un campo di tensione nominale più basso, anche di molto, della tensione di snervamento del materiale.

Inizialmente i progettisti tentarono di prevenire tale tipo di rotture applicando coefficienti di sicurezza molto elevati (anche dell'ordine di 10) oppure utilizzando materiali ad alta resistenza.

Questa tendenza si rivelò decisamente sbagliata!

Infatti l'aumento del coefficiente di sicurezza comporta un inaccettabile aumento di peso delle strutture, che ne fa lievitare il costo e ne riduce le prestazioni.

L'utilizzo di materiali ad alta resistenza si rivelò poi disastroso perché l'elevata sensibilità ai difetti che questi materiali presentano ne riduce drasticamente le prestazioni a valori addirittura inferiori a quelli ottenibili con materiali meno "pregiati".

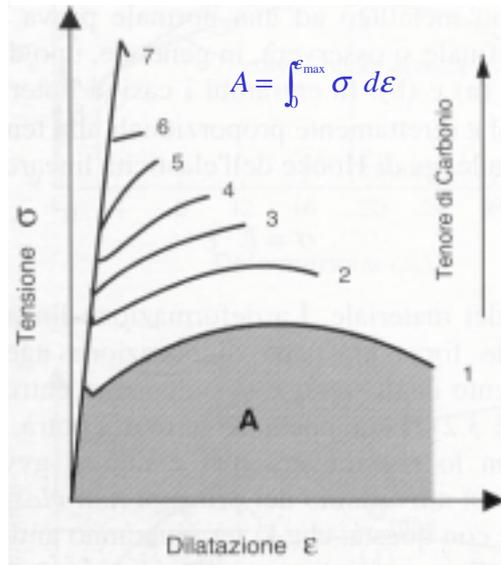
Caratteristica tensione deformazione di un acciaio al carbonio al variare del tenore di C

La capacità di resistere alla frattura fragile è, in linea generale, minore negli acciai che presentano un maggiore tenore di carbonio.

Come si vede nel grafico all'elevata resistenza si associa una ridotta capacità di assorbire energia prima della rottura.

La capacità di resistere alla frattura è strettamente connessa alla capacità di deformarsi plasticamente.

Per comprendere questo fatto è opportuno fare alcune considerazioni sul campo di tensione esistente nell'intorno di un difetto.



Lastra piana soggetta a trazione con un foro ellittico

Il campo di tensione è alterato nell'intorno del foro.

Il massimo valore della tensione dipende dal raggio di curvatura minimo dell'ellisse.

$$\sigma_{\max} = \sigma_n \left(1 + 2 \frac{a}{b} \right)$$

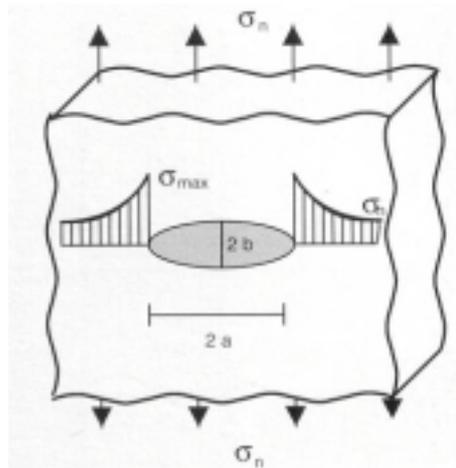
Il raggio di curvatura minimo dell'ellisse è

$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

per cui si ha:

$$\sigma_{\max} = \sigma_n \left(1 + 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}} \right)$$

Il rapporto $K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$ è detto generalmente fattore d'intaglio



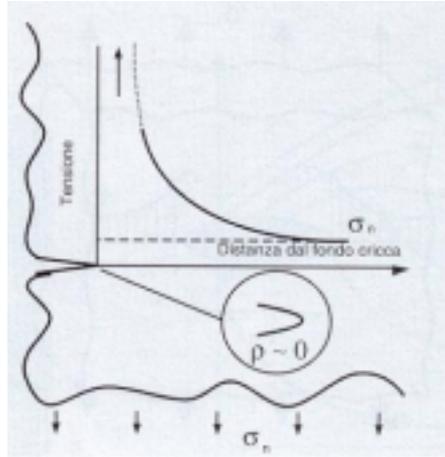
Lastra piana soggetta a trazione con intaglio acuto

Se l'intaglio diventa molto acuto,

$$\rho \rightarrow 0$$

la tensione locale in corrispondenza del fondo intaglio tende a valori molto elevati.

Al limite, per $\rho = 0$ la tensione locale al fondo intaglio, nell'ipotesi di comportamento puramente elastico del materiale, diventa infinita.



Lastra piana soggetta a trazione con intaglio acuto

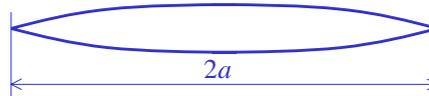
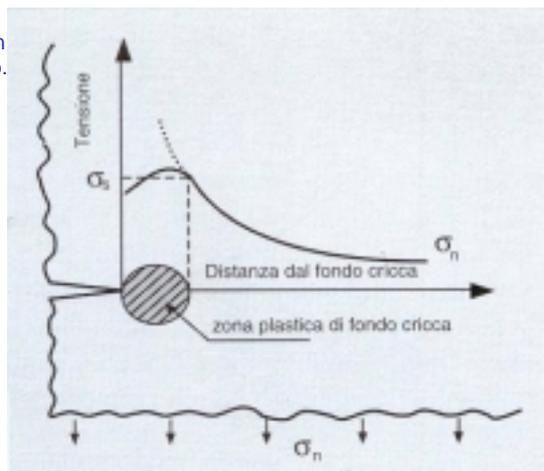
In realtà il materiale presenta sempre un comportamento plastico, seppur minimo.

Si crea quindi una piccola zona plastica all'apice dell'intaglio che contiene il valore della tensione, entro il limite elastico, nel caso di stato di tensione piano, entro due o tre volte tale limite, nel caso di stato di deformazione piano (dipendentemente dal valore del modulo di Poisson).

L'area plastica è assimilabile, in prima approssimazione, ad un cerchio, il cui raggio può essere espresso dalla relazione:

$$r_p = \frac{a}{2} \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_s} \right)^2$$

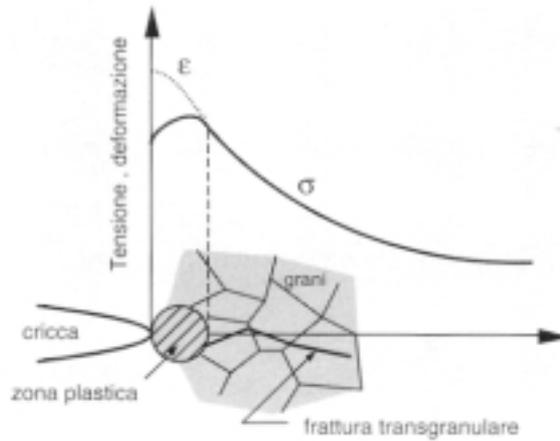
essendo a la semilunghezza del difetto



Frattura fragile transgranulare all'apice della cricca

Se la zona plastica è piccola il livello locale di tensione raggiunto è sufficientemente elevato da provocare la rottura dei primi grani cristallini adiacenti alla zona plastica, dai quali poi si propagherà la frattura fragile transgranulare.

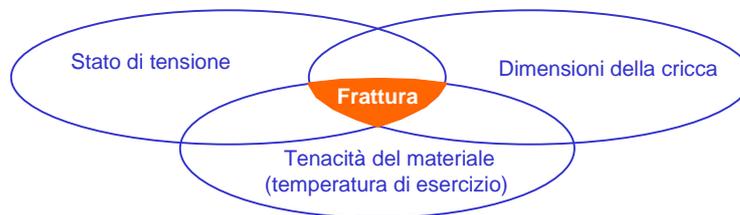
La capacità di deformarsi plasticamente consente al materiale di resistere alla propagazione della frattura ed è quindi strettamente connessa alla tenacità.



Come progettare un componente in sicurezza rispetto al rischio di rottura per frattura fragile?

Perché la frattura fragile si verifichi è necessario il contemporaneo verificarsi delle tre seguenti condizioni:

- livello di sollecitazione elevato (anche se inferiore alla tensione di rottura);
- presenza di un difetto (cricca) di dimensione sufficiente;
- bassa tenacità del materiale (bassa temperatura).



Per progettare in sicurezza componenti, nei quali esistano le condizioni di una possibile rottura per frattura, è necessario quindi poter individuare quella zona critica entro la quale una particolare combinazione di valori per il carico applicato, le dimensioni del difetto e la tenacità renda possibile l'innescio della frattura.

Quando non esiste il rischio di rottura per frattura fragile il dimensionamento di una struttura nasce generalmente dal confronto di **due quantità**:

- lo stato di tensione che si verifica sotto l'applicazione dei carichi previsti;
- le "prestazioni" del materiale, in termini di tensione ammissibile.



Nel caso sia necessario verificare la resistenza alla frattura, il progetto di una struttura richiede di confrontare **tre quantità**:

- lo stato di tensione che si verifica sotto l'applicazione dei carichi previsti;
- le "prestazioni" del materiale, in termini di tenacità alla frattura;
- le dimensioni di un difetto, ovvero di una cricca.

