# Meccanica della Frattura

Lecture 17 - FAD

#### Normativa di riferimento:

**BS 7910** "Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures"

API 579 – Fitness-for-services, R6, ASME B&PVC

**Scopo**: fornire una procedura semplice e ripetibile per la verifica strutturale di componenti difettati

#### Peculiarità:

- la normativa sottolinea l'importanza e la necessità di diagnostica non distruttiva per l'individuazione di difetti
- fornisce linee guida sui fattori di sicurezza, fattori di affidabilità e metodi probabilistici

**BS 7910** "Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures"

Tre livelli di trattamento dei difetti:

- Livello 1. Procedura preliminare conservativa di facile applicazione
- Livello 2. procedura normale di verifica più complessa di quella di Livello 1. Questa contiene due opzioni: Livello 2.A e Livello 2.B
- Livello 3. Procedura più avanzata che contiene tre opzioni Livello 3A, 3B e 3C. Questo Livello è
  preferenzialmente per materiali duttili che esibiscono una certa quantità di crescita sottocritica del
  difetto prima della frattura.

Tutti e tre i livelli utilizzano il concetto del Failure Assessment Diagram (FAD) in maniera analoga al concetto di superficie di snervamento

#### Uso

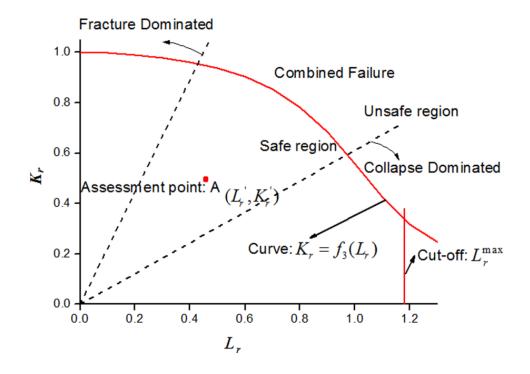
Se il punto associato alla condizione di verifica (carico-geometria-materiale) giace all'interno dell'area sottoscritta dalla Failure Assessment Line (FAL) il difetto è considerato "safe" e può essere tollerato.

Se si trova al di fuori il difetto è considerato pericoloso o critico.

Un difetto che può risultare essere critico per il Livello 1 può risultare essere sicuro con un'analisi di Livello 2.

Allo stesso modo per il Livello 2 e Livello 3 se è consentita una certa crescita sottocritica del difetto.

$$K_r = (1 - 0.14L_r^2)[0.3 + 0.7\exp(-0.65L_r^6)]$$



La filosofia alla base della definizione del FAD è che il cedimento può avvenire o per rottura fragile o per eccessiva deformazione plastica

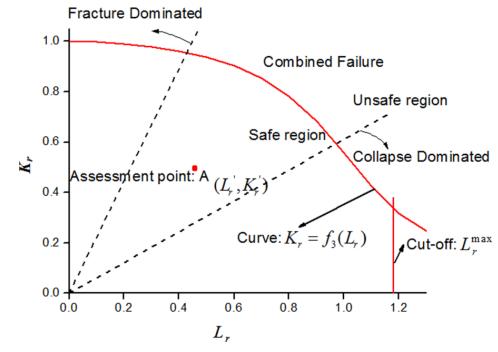
Oggi sappiamo che i due meccanismi non sono indipendenti ma la descrizione viene mantenuta per motivi storici

I parametri rispettivamente:

- La tenacità a frattura
- COD

e per il livello 3 il J-integral

Nonostante K sia utilizzato anche nel Level 2 e Level 3 e 3B esso è di fatto un concetto elastoplastico



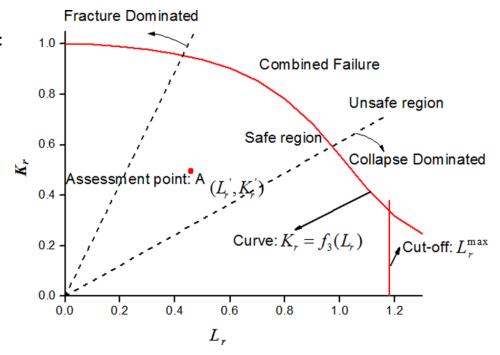
La prossimità alla condizione di frattura fragile o rottura duttile è espressa dai rapporti adimensionali:

$$K_{\rm r} = \frac{K}{K_{IC}}$$

$$\delta_{\rm r} = \frac{\delta}{\delta_c}$$

$$L_{\rm r} = \frac{\sigma_{\rm ref}}{\sigma_y} = \frac{P}{P_L}$$

$$S_{\rm r} = \frac{\sigma_{\rm ref}}{\sigma_f} = \frac{P}{P_L(\sigma_f)}$$



Dove  $\sigma_{\text{ref}}$  è lo sforzo che misura la prossimità al collasso plastico della struttura

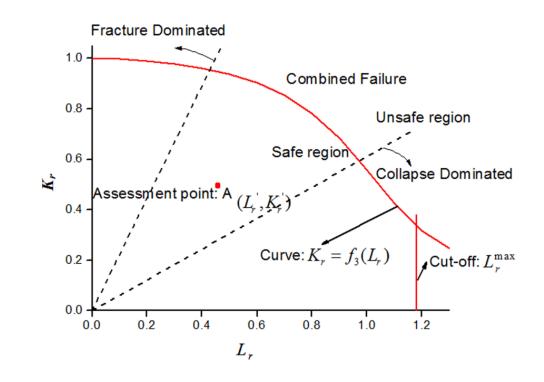
$$\sigma_{\rm ref} = \sigma_y \left( \frac{P}{P_L} \right)$$

La corrispondenza tra COD e K

$$\sqrt{\delta} \propto \sqrt{\frac{J}{\sigma_y}} = \frac{K}{\sqrt{E\sigma_y}},$$

$$\sqrt{\delta_c} \propto \sqrt{\frac{J_{IC}}{\sigma_y}} = \frac{K_{IC}}{\sqrt{E\sigma_y}}$$

$$\sqrt{\frac{\delta}{\delta_c}} = \frac{K}{K_{IC}},$$



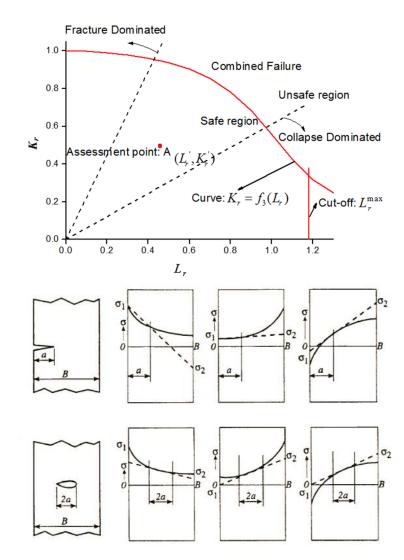
Tuttavia questa relazione non è valida per elevati valori della  $\sigma_{\text{ref}}$ 

Per la determinazione del SIF è necessario conoscere lo sforzo d'apertura ed il fattore di forma Y.

Le norme forniscono soluzioni solo per un numero limitato di geometrie

Gli andamenti degli sforzo sono linearizzati e la procedura assume difetti normali rispetto alla sollecitazione agente.

Alternativa: l'uso dei FEM



La norma stabilisce che il carico deve essere inferiore all'80% del collasso plastico e che il K applicato sia inferiore a  $K_{\rm lc}/\sqrt{2}$ 

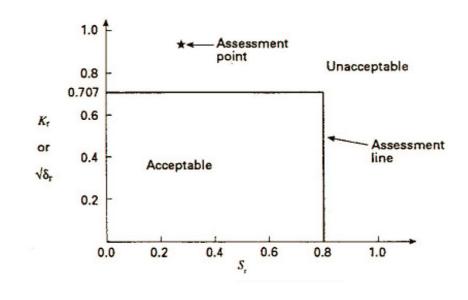
Se si usa il CTOD allora,

$$\delta = \frac{K^2}{\sigma_y E} F(\sigma/\sigma_y).$$

Dove F compensa l'effetto del blunting

Per 
$$S_r = 0.8 F = 0.86$$

Valido per alluminio e acciai. Per altri materiali F=1



$$F = \begin{cases} 1 & \text{for } \sigma \leq 0.5\sigma_y \\ \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^{-2} \left(\frac{\sigma}{\sigma_y} - 0.25\right) & \text{for } \sigma > 0.5\sigma_y. \end{cases}$$

E' la prassi. Si basa sull'uso di J. EPRI power law solution

$$J = \alpha \sigma_y \epsilon_y a (P/P_L)^{n+1} h(a/w; n)$$

Materiale: Ramberg-Osgood

$$\epsilon/\epsilon_y = \alpha(\sigma/\sigma_y)^n$$

Richiamando il concetto di reference stress

$$\epsilon_{\rm ref} = \alpha \epsilon_y (\sigma_{\rm ref}/\sigma_y)^n \longrightarrow J = a \epsilon_{\rm ref} \sigma_{\rm ref} h(a/w; n)$$

Vantaggio: può essere utilizzata per ogni materiale nota la curva elasto-plastica

La condizione safe è riscritta:  $J \leq J_c$ ,

$$J(\sigma_{\mathrm{ref}}) \leq J_c = rac{K_c^2}{E'}$$
 o  $rac{E'}{K_c^2} \leq rac{1}{J}.$ 

Moltiplicando per  $J_e = K^2/E'$ 

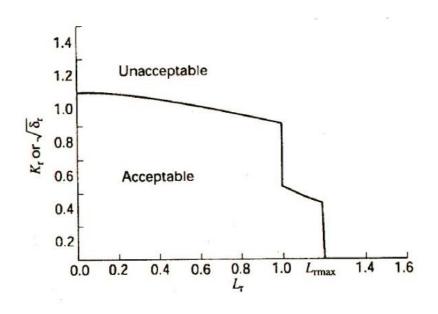
$$\left(\frac{K}{K_c}\right)^2 = \frac{J_e}{J}, \longrightarrow K_r = \frac{K}{K_c} = \left(\frac{J(\sigma_{\text{ref}})}{J_e}\right)^{-1/2}$$

In altre parole il FAD può essere determinato dalla sola conoscenza del J e del  $\rm J_e$ 

Omettendo i passaggi

$$K_{\rm r} = \left(\frac{J}{J_e}\right)^{-1/2} = \left(\frac{E\epsilon_{\rm ref}}{L_{\rm r}\sigma_y} + \frac{1}{2}\frac{L_{\rm r}^3\sigma_y}{E\epsilon_{\rm ref}}\right)^{-1/2}$$

FAD Level 2B assessment: richiede la conoscenza della curva sforzo-deformazione plastica



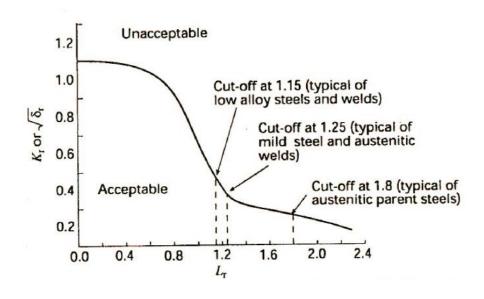
Omettendo i passaggi

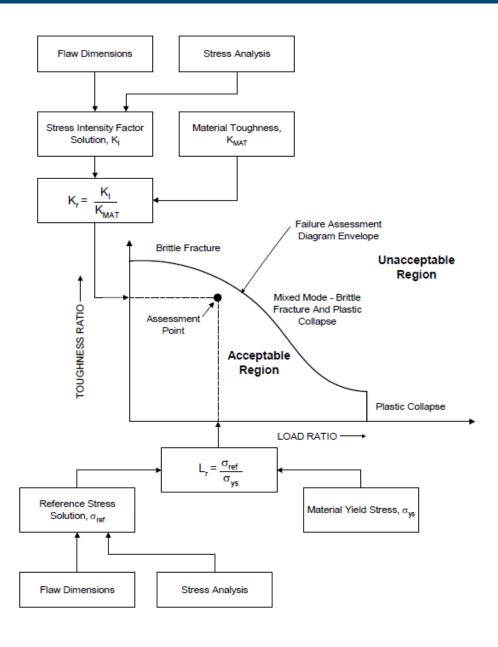
$$\sqrt{\delta_r}$$
 or  $K_{
m r} = (1 - 0.14 L_{
m r}^2) \left(0.3 + 0.7 \exp{\left(-0.65 L_{
m r}^6\right)}\right)$ 

FAD Level 2A assessment: se non si conosce la curva di sforzo-deformazione

È indipendente dalla geometria e dal materiale

È più conservativa rispetto al level 2B





# Soluzioni di riferimento

