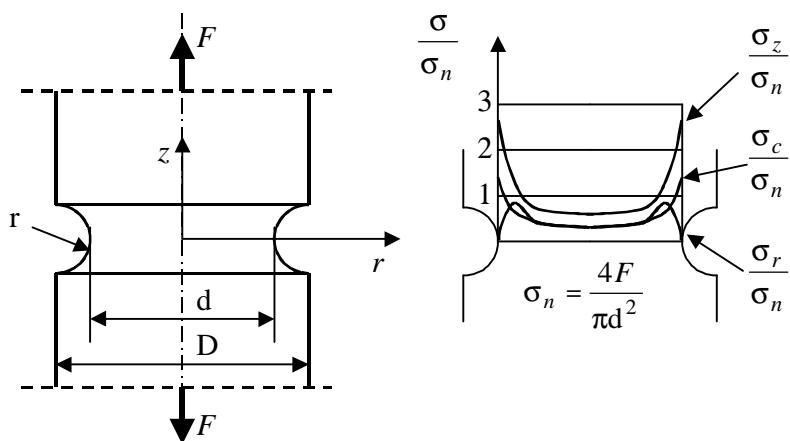


INTAGLI

Intaglio = variazione della sezione resistente di un pezzo in una zona limitata.

In genere le variazioni di sezione o di forma sono legate a necessità di progetto.

La presenza di un intaglio provoca delle variazioni dello stato di tensione rispetto a quanto calcolato con la teoria di de Saint Venant



Si tiene conto di queste variazioni mediante il
FATTORE DI CONCENTRAZIONE DELLE TENSIONI

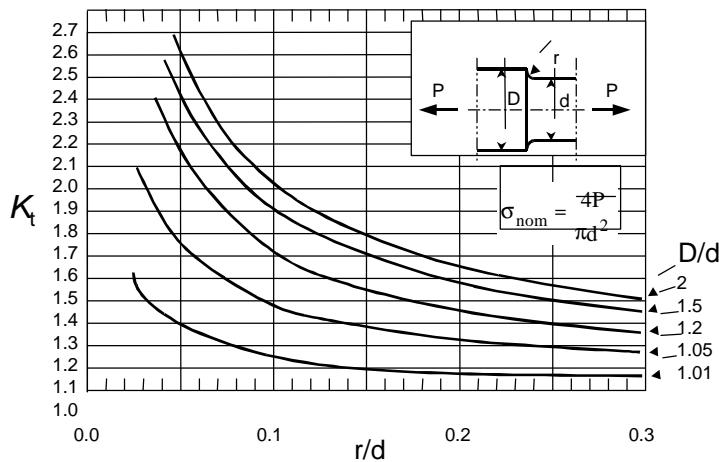
$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$$

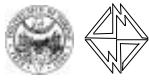
La determinazione dei fattori di concentrazione delle tensioni K_t può avvenire :

Per via analitica; i primi studi risalgono a Kirsh che nel 1898 studiò lo stato di tensione nell'intorno di un foro in una piastra di dimensioni molto grandi. Un notevole contributo è stato dato da Neuber che negli anni '30. Purtroppo per molte geometrie non vi sono soluzioni analitiche in forma chiusa;

Per via numerica; con il metodo degli elementi finiti (FEM); le soluzioni ottenute sono però approssimate; metodo numerico relativamente recente è quello degli elementi di contorno (BEM);

Per via sperimentale; con metodi fotoelastico, estensimetrico o utilizzando vernici fragili. Tutti i dati devono essere ottenuti in campo lineare elastico. Il limite delle tecniche sperimentali è che spesso non sono in grado di valutare le tensioni secondarie.





Verifica statica di pezzi con intagli

SOLLECITAZIONI UNIASSIALI

Materiali fragili ($A < 5\%$)

$$\sigma^{\max} = K_t \cdot \sigma_{\text{nom}} < R_m$$

MMMM/ Intagli

5

Materiali duttili

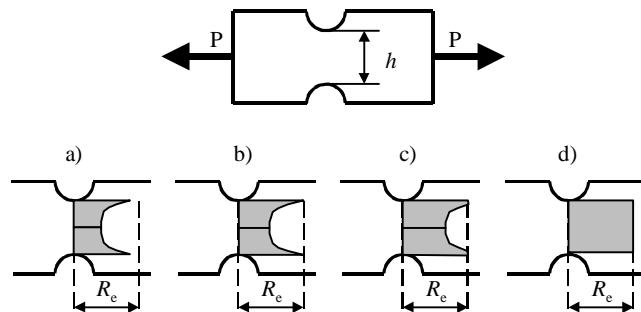
Cedimento per primo snervamento

$$\sigma^{\max} = K_t \cdot \sigma_{\text{nom}} < R_{eH}$$

MMMM/ Intagli

6

Cedimento per rottura duttile



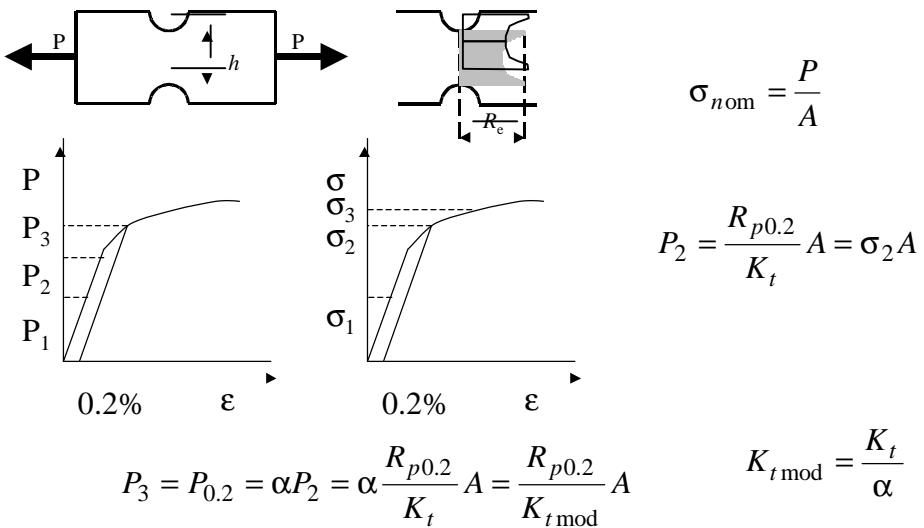
$$\sigma_{nom} \leq R_m$$

Calcolo convenzionale nel caso di stati di tensione con gradiente (flessione e torsione)

MMMM/ Intagli

7

La condizione di primo snervamento può risultare molto restrittiva
A volte si ammette quindi di potere accettare un certo snervamento localizzato

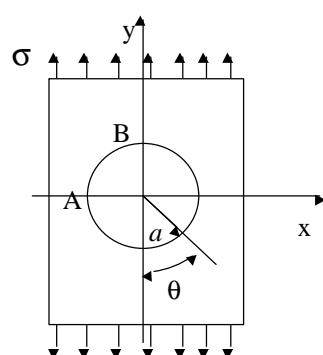


MMMM/ Intagli

8

Verifica statica di pezzi con intagli *SOLLECITAZIONI MULTIASSIALI*

Quando è nota la soluzione analitica è possibile applicare la sovrapposizione degli effetti



$$\sigma_{rr} = \frac{\sigma_0}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{\sigma_0}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - 4 \frac{a^2}{r^2} \right) \cos 2\theta$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{\sigma_0}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{\sigma_0}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta$$

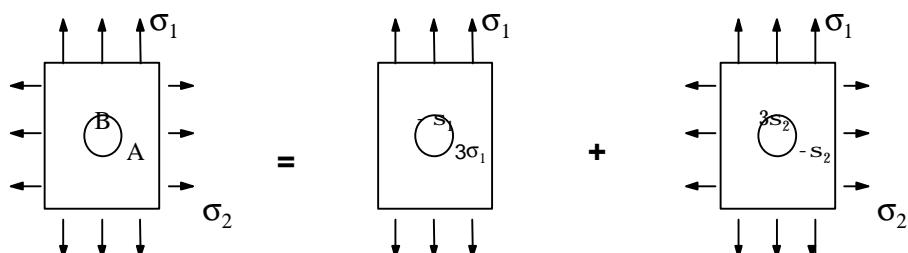
$$\tau_{r\theta} = \frac{\sigma_0}{2} \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + 2 \frac{a^2}{r^2} \right) \sin 2\theta$$

$$\sigma_A = 3\sigma$$

$$\sigma_B = -\sigma$$

MMMM/ Intagli

9

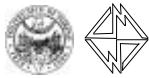


$$\sigma_A = 3 \cdot \sigma_1 - \sigma_2$$

$$\sigma_B = 3 \cdot \sigma_2 - \sigma_1$$

MMMM/ Intagli

10



Verifica statica di pezzi con intagli

SOLLECITAZIONI MULTIASSIALI

Calcolo convenzionale

$$\sigma_{flex}^{\max} = K_{t(flex)} \cdot \sigma_{\text{nom}(flex)}$$

$$\sigma_{norm}^{\max} = K_{t(norm)} \cdot \sigma_{\text{nom}(norm)}$$

$$\tau^{\max} = K_{t(tors)} \cdot \tau_{\text{nom}}$$

MMMM/ Intagli

11

Verifica (convenzionale) a snervamento

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_{flex}^{\max} + \sigma_{norm}^{\max})^2 + 3(\tau^{\max})^2} \leq R_e$$

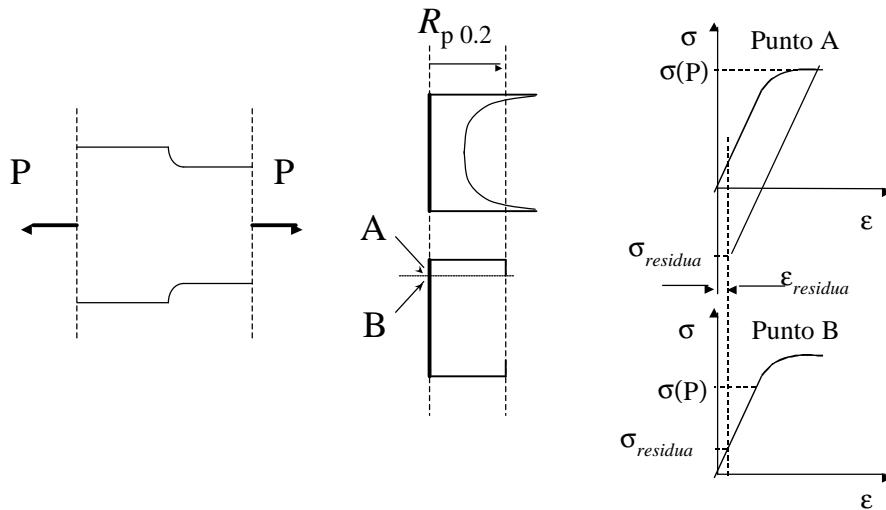
Verifica (convenzionale) contro la rottura duttile

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_{\text{nom}(flex)} + \sigma_{\text{nom}(norm)})^2 + 3\tau_{\text{nom}}^2} \leq R_m$$

MMMM/ Intagli

12

Tensioni residue dovute a sovraccarichi di pezzi intagliati



MMMM/ Intagli

13

Stima della tensione residua

$$\text{Carico } P \text{ assiale} \Rightarrow R_{p0.2} > \sigma_{\text{nom}} \left(= \frac{P}{A} \right) > \frac{R_{p0.2}}{K_t}$$

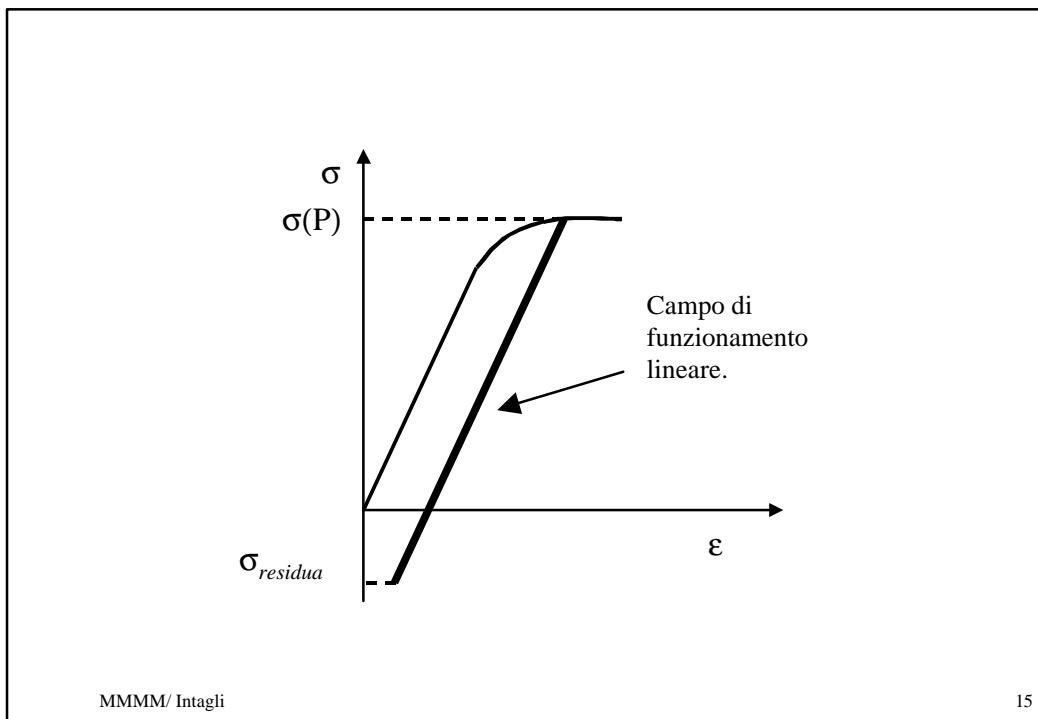
$$\sigma^{\max}(P) = R_{p0.2}$$

$$\sigma^{\max}(-P) = K_t \cdot \frac{-P}{A} = -K_t \cdot \sigma_{\text{nom}}$$

$$\sigma_{\text{residua}} = \sigma^{\max}(P) + \sigma^{\max}(-P) = R_{p0.2} - K_t \sigma_{\text{nom}}$$

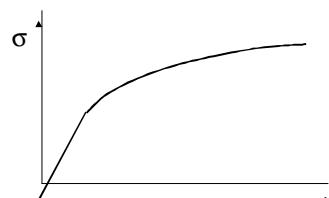
MMMM/ Intagli

14



Fattori di concentrazione in campo plastico

Modelli di comportamento del materiale (tensioni e def. razionali!)

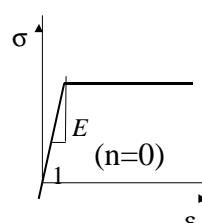


Modello di Ramberg – Osgood

$$\sigma = K \varepsilon_p^n \quad \varepsilon_p = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{1/n}$$

$$K = \frac{\sigma_f}{\varepsilon_{p,f}^n} \quad \text{Coef. di resistenza}$$

n = esponente di incrudimento



Elastico -perf. plastico

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{1/n}$$

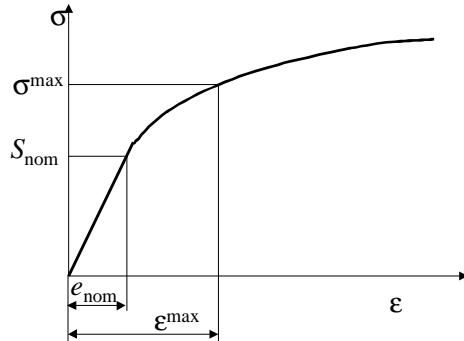
Bilineare

$$K_t = \frac{S_{\max}}{S_{\text{nom}}} = \frac{e_{\max}}{e_{\text{nom}}} \quad K_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{S_{\text{nom}}} \quad K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\max}}{e_{\text{nom}}}$$

Regola lineare

$$K_\varepsilon = K_t$$

$$\varepsilon_{\max} = K_t e_{\text{nom}}$$



MMMM/ Intagli

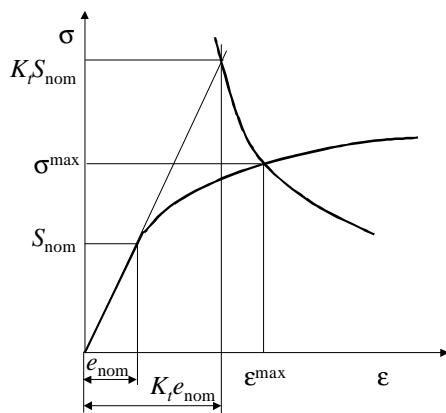
17

Regola di Neuber

$$K_\varepsilon \cdot K_\sigma = K_t^2$$

$$\sigma_{\max} \cdot \varepsilon_{\max} = K_t^2 \cdot S_{\text{nom}} \cdot e_{\text{nom}}$$

$$\begin{cases} \sigma_{\max} \cdot \varepsilon_{\max} = K_t^2 \cdot S_{\text{nom}} \cdot e_{\text{nom}} \\ \varepsilon_{\max} = \frac{\sigma_{\max}}{E} + \left(\frac{\sigma_{\max}}{K} \right)^{1/n} \end{cases}$$

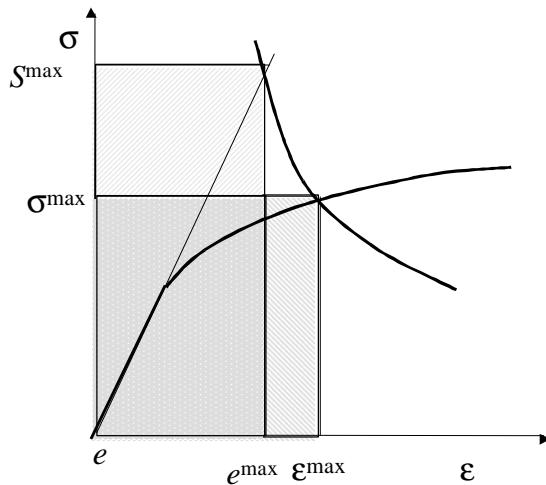


MMMM/ Intagli

18

FEM $\Rightarrow S^{\max}, e^{\max}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma^{\max} \cdot e^{\max} = S^{\max} \cdot e^{\max} = \frac{(S^{\max})^2}{E} \\ e^{\max} = \frac{\sigma^{\max}}{E} + \left(\frac{\sigma^{\max}}{K} \right)^{1/n} \end{array} \right.$$

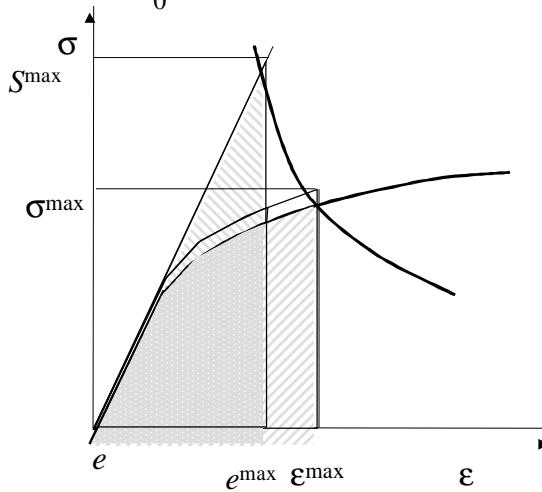


MMMM/ Intagli

19

ESED - Equivalent Strain Energy Density (Glinka 1985)

$$\int_0^{e_{\max}} \sigma_{\max} d\varepsilon_{\max} = \int_0^{K_t \varepsilon_{nom}} K_t^2 \cdot S_{nom} de_{nom} = \frac{1}{2} S^{\max} \cdot e^{\max}$$



MMMM/ Intagli

20