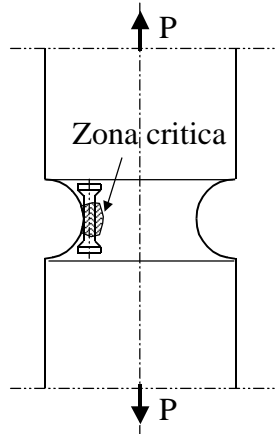




Fatica in ϵ - Local strain approach – Low Cycle Fatigue (LCF)

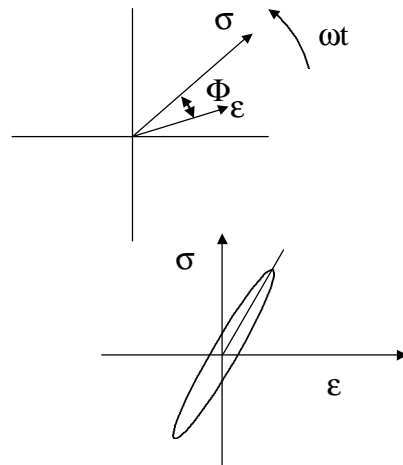
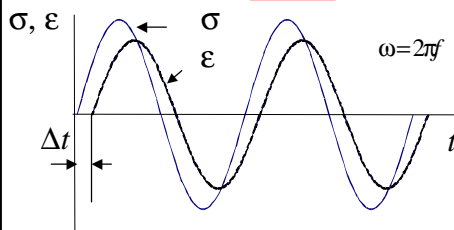
“filosofia” del metodo



Innesco cricca di fatica = cedimento della provetta
 Alla radice dell'intaglio sono presenti deformazioni plastiche.
 Il materiale circostante la zona critica è in campo elastico \Rightarrow controllo in deformazione.
 Studio del comportamento ciclico del materiale
 Diagrammi $\Delta\epsilon$ -N

Cenni sul comportamento meccanico dei materiali sotto carichi ciclici

$\epsilon < \epsilon_{sn}$ *Campo elastico*



Δt dovuto al comportamento viscoelastico dei materiali

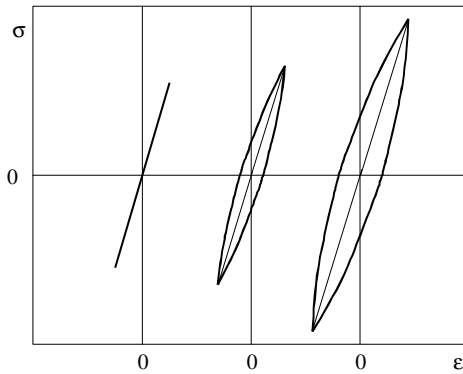
$$\sigma = \sigma_{\max} \text{sen}(\omega t)$$

$$\epsilon = \epsilon_{\max} \text{sen}(\omega t - \omega \Delta t) = \epsilon_{\max} \text{sen}(\omega t - \Phi)$$

Area = energia dissipata (per dV) \Rightarrow calore $\Rightarrow \Delta T$ (cicli di isteresi)



Smorzamento interno



$$\sigma = \sigma_{\max} \text{sen}(\omega t)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \text{sen}(\omega t - \Phi)$$

$$\sigma_{\max} \cong E\varepsilon_{\max}$$

Energia elastica massima

$$T = \frac{1}{2} \sigma_{\max} \varepsilon_{\max} \cong \frac{1}{2} E\varepsilon_{\max}^2$$

Importante per lo studio delle vibrazioni

Fatica in ε

3

Energia dissipata

$$D = \oint \sigma d\varepsilon = \int_0^{2\pi} \sigma \frac{d\varepsilon}{d(\omega t)} d(\omega t) = \sigma_{\max} \varepsilon_{\max} \pi \text{sen} \Phi \cong \pi E \varepsilon_{\max}^2 \text{sen} \Phi$$

Smorzamento relativo $\Psi = \frac{D}{T} = 2\pi \text{sen} \Phi \approx 2\pi \Phi$

Decremento logaritmico $\delta = \Delta \ln(\varepsilon_{\max}) = d \ln(\varepsilon_{\max}) = \frac{d\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_{\max}} = \frac{\Phi}{2}$

Fattore di smorzamento $\eta = \tan \Phi \cong \Phi \cong \frac{\Psi}{2\pi} \cong \frac{\delta}{\pi}$

Lo smorzamento interno non dipende dalla frequenza



Non deve essere modellato come smorzamento viscoso

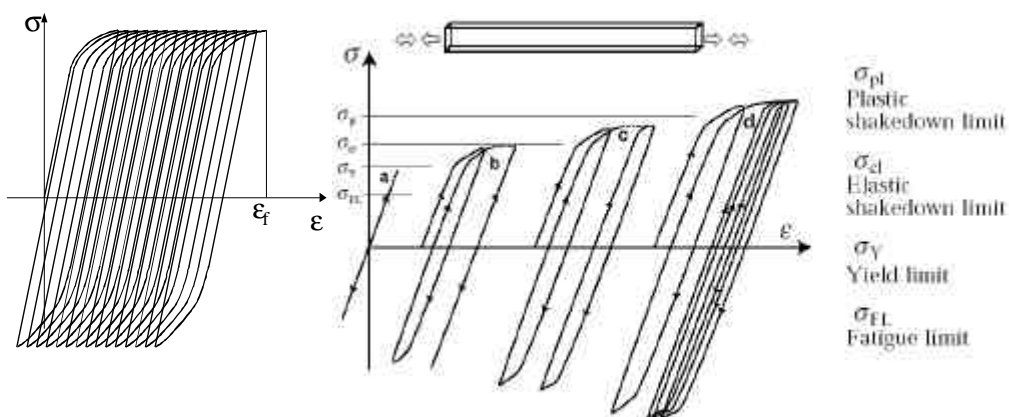
Fatica in ε

4



$\epsilon > 2\epsilon_{sn}$ (*ratcheting - creep ciclico*)

Accumulo di deformazione plastica
($DS = \text{costante}$, $s_m \neq 0$ oppure DS non costante)

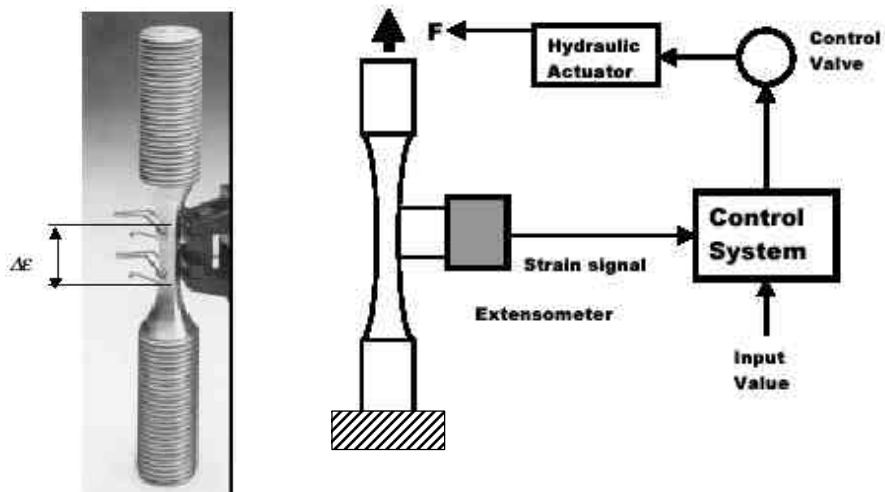


Fatica in ϵ

7

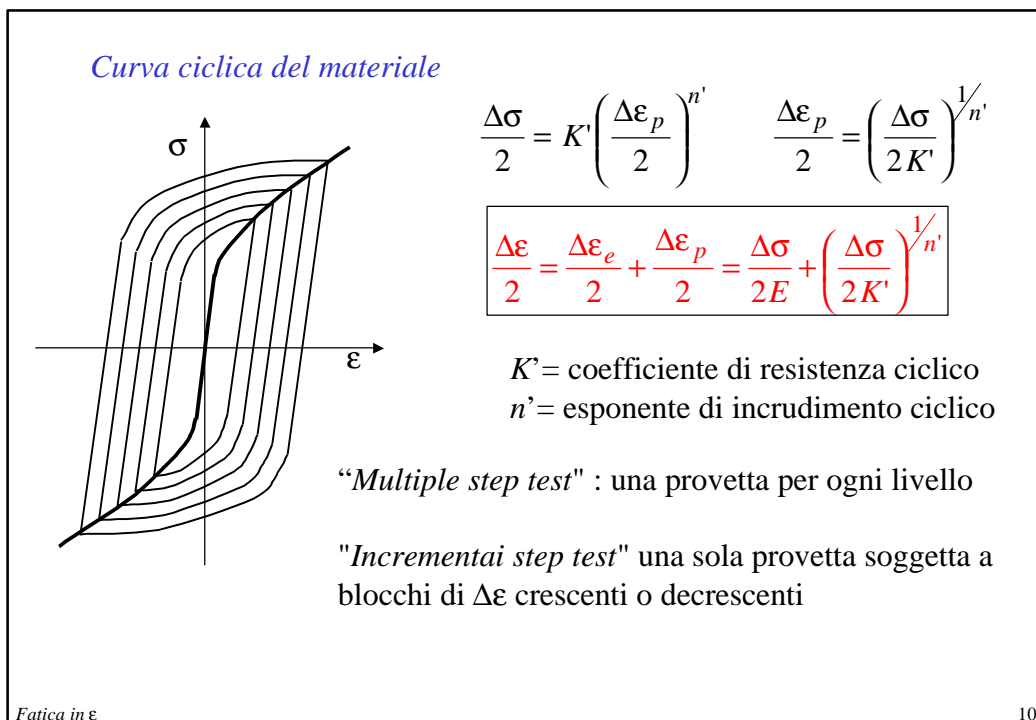
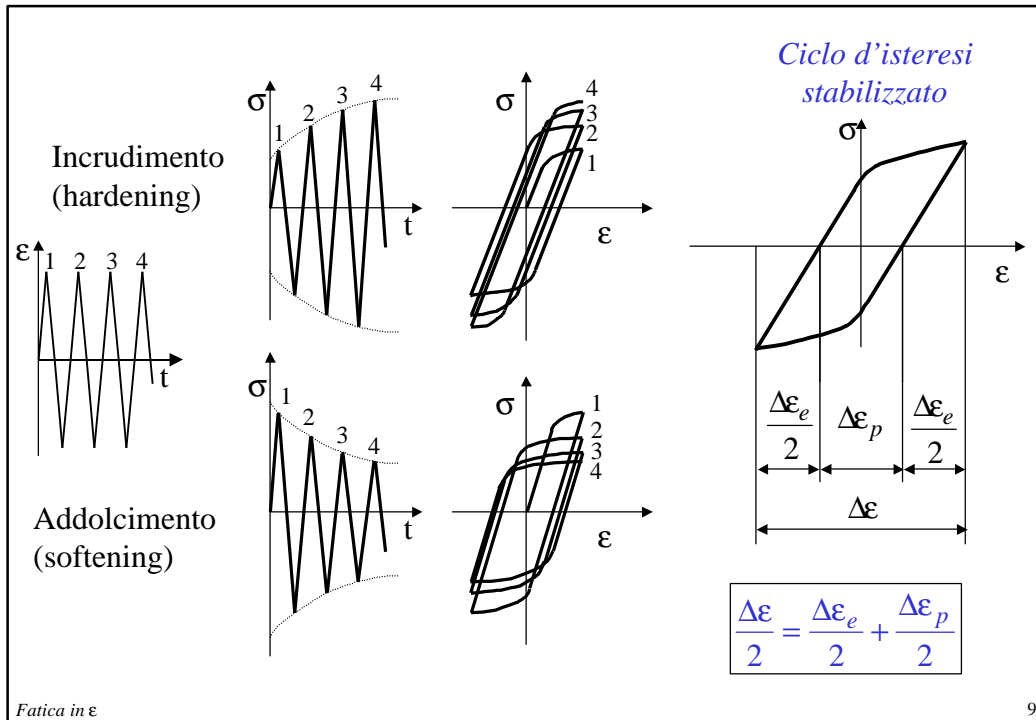
Comportamento in controllo di deformazione

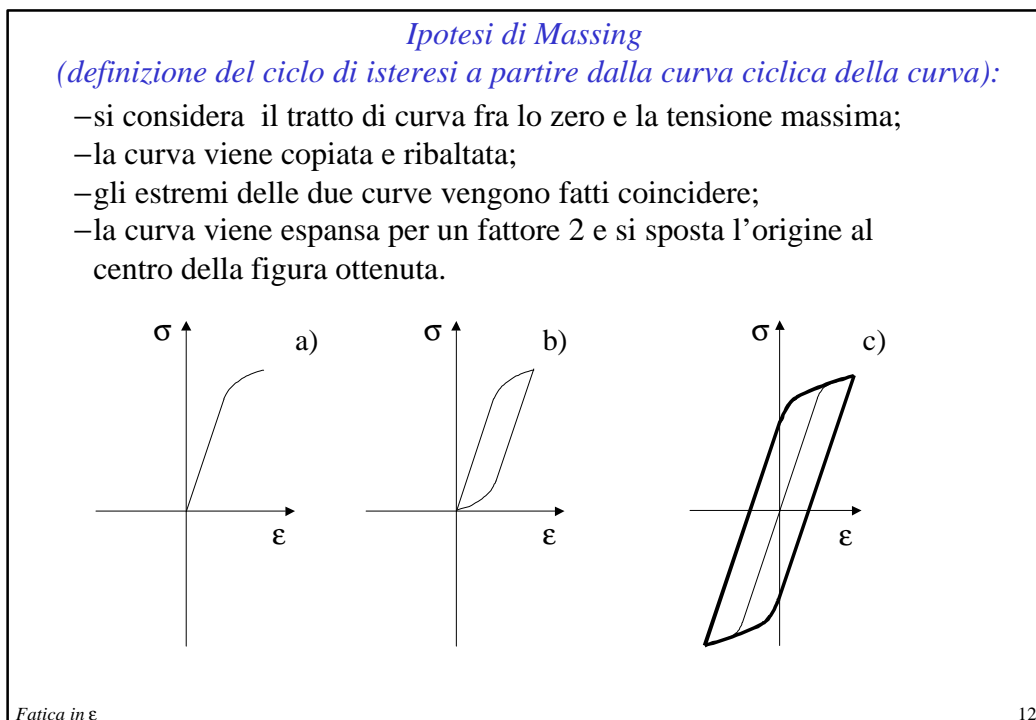
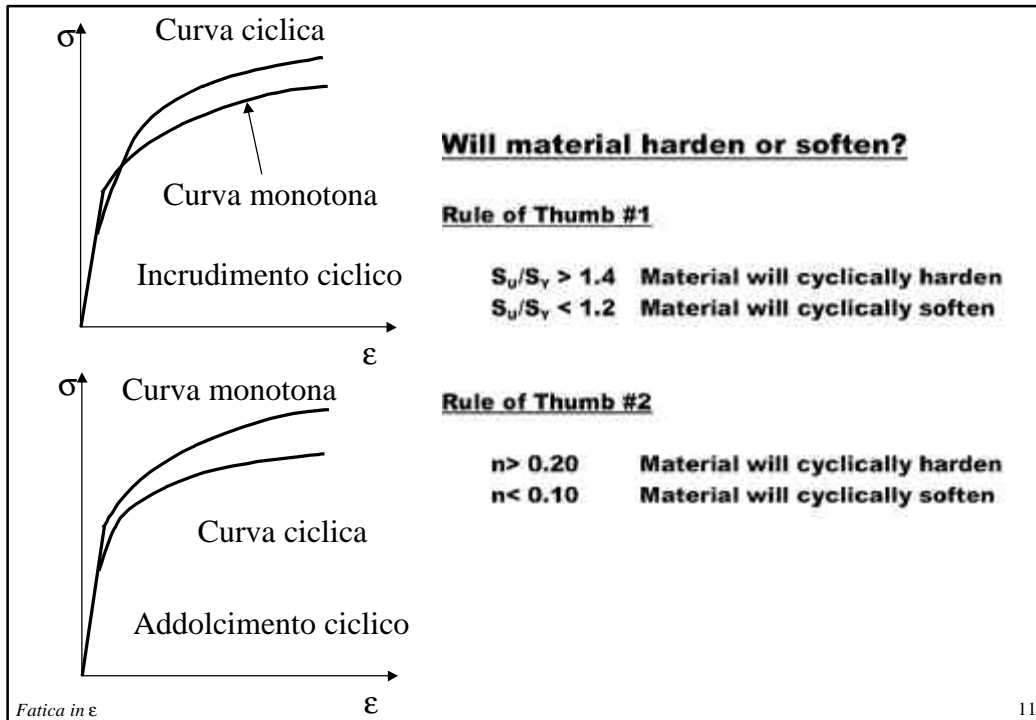
Prove in controllo di deformazione



Fatica in ϵ

8







Assunzioni:

Comportamento ciclico stabile

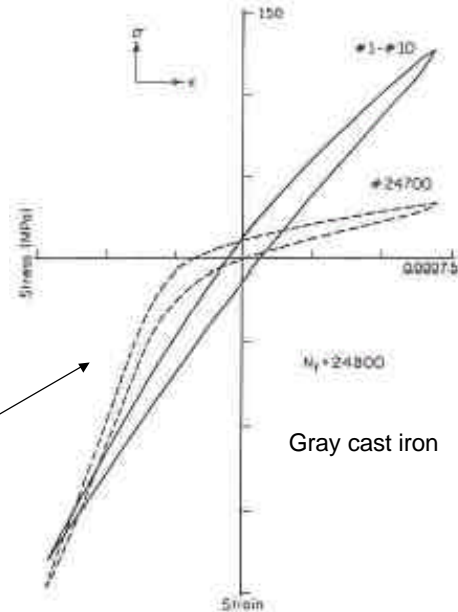
In realta si passa dal
comportamento monotono a quello
ciclico in un certo numero di cicli:
 $K \rightarrow K'$ $n \rightarrow n'$

Non esiste un vero e proprio limite di
snervamento

L'errore commesso è piccolo

Comportamento simmetrico a
trazione e compressione

Non tutti i materiali hanno
comportamento simmetrico



Fatica in ϵ

13

FATICA IN ϵ

$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = \frac{\Delta\epsilon_{el}}{2} + \frac{\Delta\epsilon_{pl}}{2}$$

Basquin (1910)

$$\sigma_a = AN^b$$

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = \sigma'_f (2N)^b$$

$$\frac{\Delta\epsilon_{el}}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N)^b$$

Manson - Coffin (1953)

$$\frac{\Delta\epsilon_{pl}}{2} = \epsilon'_f (2N)^c$$

Alternanze

Notazione tradizionale, dovuta ad un
modo errato di conteggio dei cicli nei primi lavori

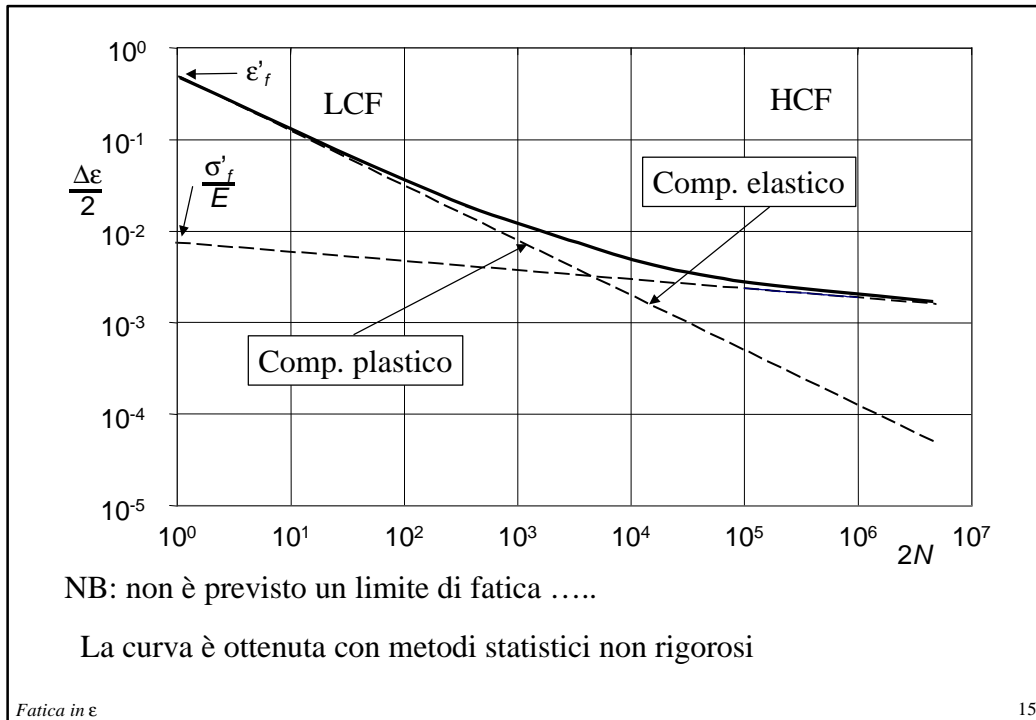
$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = \frac{\Delta\epsilon_{el}}{2} + \frac{\Delta\epsilon_{pl}}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N)^b + \epsilon'_f (2N)^c$$

ϵ'_f = duttilità alla frattura σ'_f = resistenza alla frattura

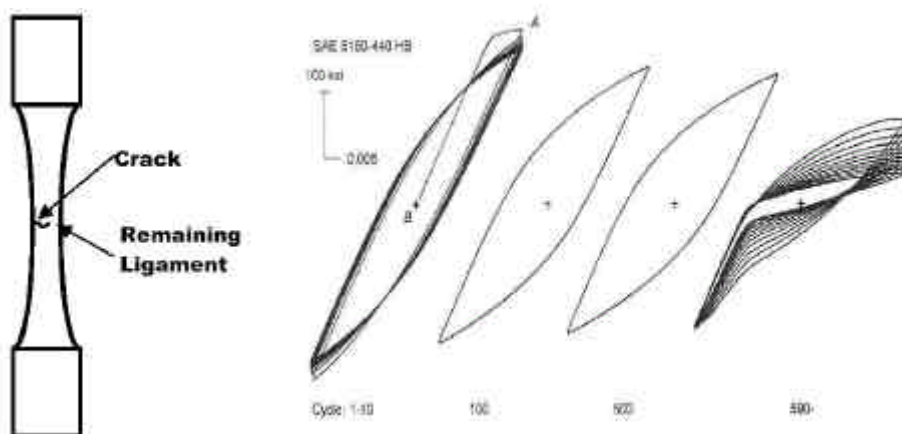
b = esponente di resistenza a fatica c = esponente di duttilità a fatica

Fatica in ϵ

14



NB: il cedimento è spesso determinato considerando la variazione di rigidità in trazione ($\approx 20\%$), oppure alla formazione di una cricca $a \approx 1 \text{ mm}$ (ASTM E606)





TYPICAL STRAIN-LIFE PROPERTIES
(S=steel, A=aluminum)

Alloy	Condition	E (ksi)	σ'_f (ksi)	b	ϵ'_f	c
S 1006	HR 85 HB	30000	116.3	-0.12	0.48	-0.52
S 1020	Annealed	30000	123.3	-0.12	0.44	-0.51
S 1045	225 HB	29000	139.2	-0.08	0.44	-0.51
S 1045	Q&T 390 HB	29000	204.2	-0.07	1.51	-0.85
S 1045	Q&T 500 HB	29000	418.9	-0.09	0.23	-0.56
S 1045	Q&T 705 HB	29000	350.4	-0.07	0.002	-0.47
S 4340	Q&T 350 HB	29000	282.0	-0.10	1.22	-0.73
A 2014	T6	10600	114.0	-0.08	0.85	-0.86
A 5454	O	10000	82.0	-0.12	1.78	-0.85
A 5454	10% CW	10000	82.0	-0.10	0.48	-0.67
A 6061	T651	10000	92.0	-0.10	0.92	-0.78
A 7075	T6	10400	116.0	-0.10	0.19	-0.52

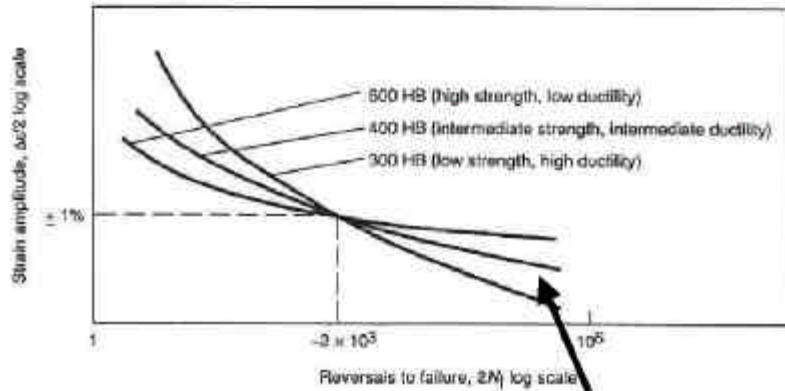
Stima acciai:

$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = 1.9 \frac{R_m}{E} (2N)^{-0.12} + 0.76 \cdot \epsilon_f^{0.6} \cdot (2N)^{-0.6}$$

$$\Delta\epsilon = 3.5 \frac{R_m}{E} (N)^{-0.12} + \epsilon_f^{0.6} \cdot (N)^{-0.6}$$

Fatica in ϵ

17



HCF Region

Vita di transizione

$$\frac{\Delta\epsilon_{pl}}{2} = \frac{\Delta\epsilon_{el}}{2} \quad \frac{\sigma'_f}{E} (2N_T)^b = \epsilon'_f (2N_T)^c \quad 2N_T = \left(\frac{E \cdot \epsilon'_f}{\sigma'_f} \right)^{\frac{1}{b-c}}$$

Fatica in ϵ

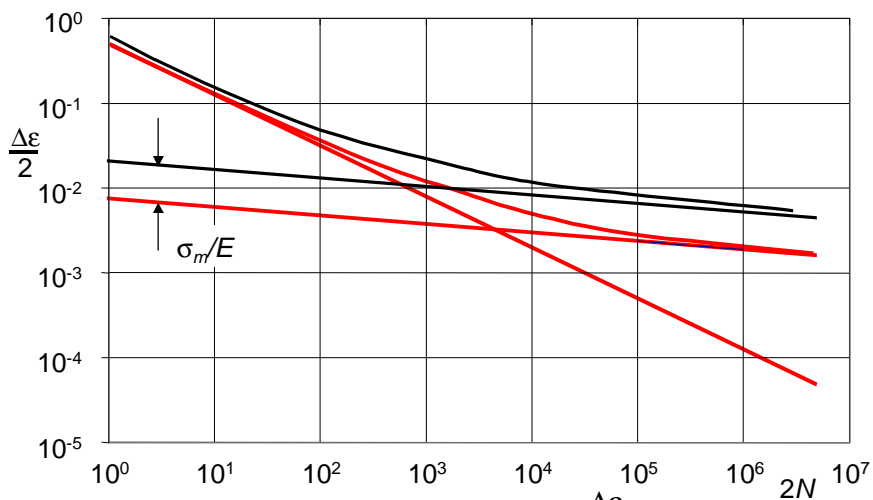
18



Influenza tensione media

Morrow (1968)

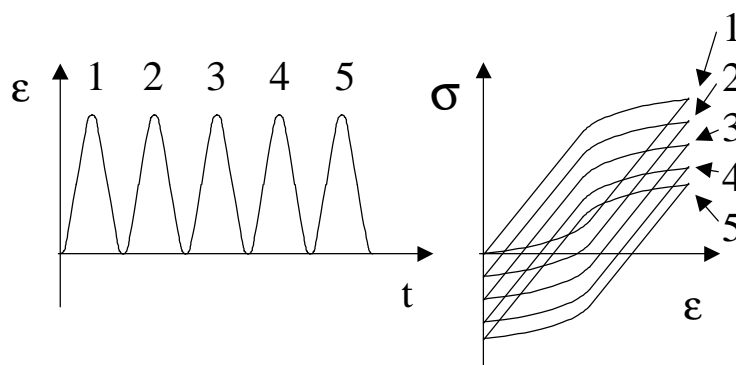
$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_m}{E} (2N)^b + \epsilon'_f (2N)^c$$



Fisicamente non corretto, infatti ipotizza : $\frac{\Delta \epsilon_p}{\Delta \epsilon_e} = f(\sigma_m)$

Coerente con l'osservazione della scarsa influenza delle tensioni medie nel campo oligociclico

Rilassamento tensioni medie ($\Delta \epsilon \geq 0.5\% \div 1\%$)

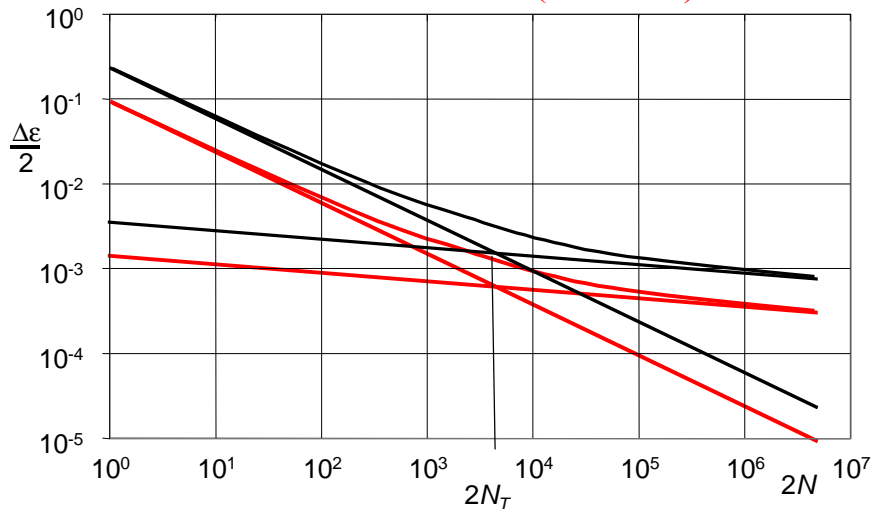


Fenomeno diverso da addolcimento ciclico



Influenza tensione media **Manson ed Halford (1981)**

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_m}{E} (2N)^b + \epsilon'_f \left(\frac{\sigma'_f - \sigma_m}{\sigma'_f} \right)^{(c/b)} (2N)^c$$



Fatica in ϵ

21

Influenza della tensione media

Smith, Topper e Watson

$$P_{STW} = \sqrt{\sigma_{\max} \frac{\Delta \epsilon}{2} E} = \text{Cost}$$

Deve valere anche $\sigma_{\max} = \frac{\Delta \sigma}{2} = \sigma'_f (2N)^b$ ($\sigma_m = 0$) Basquin

$$E \sigma_{\max} = E \frac{\Delta \sigma}{2} = E \sigma'_f (2N)^b$$

$$P_{STW}^2 = E \sigma_{\max} \frac{\Delta \epsilon}{2} = E \sigma'_f (2N)^b \left(\frac{\sigma'_f}{E} (2N)^b + \epsilon'_f (2N)^c \right)$$

$$\sigma_{\max} \frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma_f'^2}{E} (2N)^{2b} + \sigma'_f \cdot \epsilon'_f (2N)^{(b+c)}$$

Parametri del ciclo \Rightarrow Durata

P_{STW} non è applicabile con $\sigma_{\max} < 0$, coerentemente con l'osservazione che in questi casi non vi può essere propagazione di fatica

Fatica in ϵ

22



Applicazione a componenti intagliati – local strain approach

- Rilievo sperimentale diretto
- Calcoli elastoplastici
- Rilievi indiretti o calcoli lineari elastici + regola di trasferimento:

Regola di Neuber per carichi ciclici:

Assunzioni: comportamento ciclico stabile – comportamento simmetrico

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta\sigma}{2} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{2} = K_t^2 \cdot \frac{\Delta S_{\text{nom}}}{2} \cdot \frac{\Delta e_{\text{nom}}}{2} = K_t^2 \frac{(\Delta S_{\text{nom}})^2}{4E} = \frac{(\Delta S_{\text{FEM}})^2}{4E} \\ \frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'} \right)^{1/n'} \end{array} \right.$$

Topper: sostituire K_t con K_f , o meglio $K_f / \Pi C_i$; non molto realistico

Effetti del gradiente....

