9.5 Si consideri una lastra forata in **C 40** , con larghezza della lastra di 40 mm , diametro del foro di 20 mm , spessore di 9 mm , e soggetta ad un carico di trazione. Si calcoli **il carico** (applicato staticamente) **che inizia a plasticizzare la lastra**. Si valuti inoltre la tensione effettiva massima per a) un carico statico di valore 0.8 volte il carico di inizio plasticizzazione; b) un carico statico di valore 1.2 volte il carico di inizio plasticizzazione. Si calcoli la tensione effettiva massima per un carico affaticante all'origine di valore massimo 0.7 volte il carico di inizio plasticizzazione. Infine, si calcoli la tensione effettiva massima quando il materiale è il **C 10** , per un carico affaticante all'inversione di valore massimo 0.7 volte il carico di inizio plasticizzazione.

Per un rapporto tra diametro del foro e larghezza della piastra di 0.5 , dal relativo diagramma si ottiene $\alpha_k = 2.16$. Il carico di inizio plasticizzazione P_p è quello per cui la tensione teorica eguaglia la tensione di snervamento del C 40 , che vale 430 MPa . Si noti infatti che, in accordo con quanto discusso dettagliatamente nel Paragrafo 9.1 del Capitolo sulla Fatica, si assume come tensione di criticità quella relativa alla flessione piuttosto che quella relativa allo sforzo normale, vedi anche il Paragrafo 9 p. 262. Si ottiene.

$$\sigma_n = \frac{P_p}{(40-20)\times 9} \quad ; \quad \sigma_t = \alpha_k \, \sigma_n = 2.16 \frac{P_p}{180} = 0.012 \; P_p = 430 \quad \Rightarrow \quad P_p = 35833 \; N \tag{9.5.1}$$

Il carico di fine plasticizzazione (cioè quando si è snervata l'intera sezione indebolita dal foro della lastra) si ottiene quando:

$$\sigma_n = R_s \quad \Rightarrow \quad \frac{P_{fine\ p}}{(40-20)\times 9} = 430 \quad \Rightarrow \quad P_{fine\ p} = 77400 \; N$$

Per un carico statico di 0.8 P_p , la tensione teorica è inferiore allo snervamento, e quindi la tensione effettiva massima coincide con la teorica:

$$\sigma_n = \frac{0.8 \; P_p}{(40-20)\times 9} \quad ; \quad \sigma_t = \alpha_k \, \sigma_n = 2.16 \frac{0.8 \times 35833}{180} = 344 \; MPa < \; 430 \; MPa \quad \Rightarrow$$
$$\sigma_{eff} = \sigma_t = 344 MPa \tag{9.5.2}$$

Per un carico statico di 1.2 P_p , la tensione teorica è superiore allo snervamento, e quindi la tensione effettiva massima coincide con la tensione di snervamento:

$$\sigma_n = \frac{1.2\ P_p}{(40-20)\times 9} \quad ; \quad \sigma_t = \alpha_k\ \sigma_n = 2.16\ \frac{1.2\times 35833}{180} = 516\ MPa > \ 430\ MPa \quad \Rightarrow$$
$$\sigma_{eff} = R_s = 430\ MPa$$

(9.5.3)

Per un carico affaticante all'origine di valore massimo 0.7 P_p , la tensione effettiva si calcola dalla teorica e dal fattore si sensibilità all'intaglio η_k tramite la formula (4.4.1) del Paragrafo 4.4 . La tensione teorica si calcola come in precedenza, mentre η_k si determina dal diagramma di Figura 4.2.1 del Paragrafo 4.2 , oppure dalle formule (4.2.2) . Siccome il C 40 è un acciaio da bonifica, occorre adottare la seconda formula delle (9.4.4), dove il raggio di intaglio è il raggio del foro. Si ottiene:

$$\sigma_n = \frac{0.7\times 35833}{(40-20)\times 9} = 139.35 \quad ; \quad \eta_{k,bonifica} = \frac{1}{1+\dfrac{0.254}{10}} = 0.9752$$
$$\beta_k = 1+\eta_k\left(\alpha_k - 1\right) = 1 + 0.9752\,(2.16-1) = 2.1312 \quad ; \quad \sigma_{eff} = \beta_k\ \sigma_n = 296.98\ MPa$$

(9.5.4)

Si vede che la tensione effettiva è di poco inferiore a quella teorica, che vale la tensione nominale per il fattore di forma di 2.16 , e cioè 301 MPa . Alternativamente, si nota che β_k = 2.1312 è appena minore di α_k = 2.16 . Questi risultati confermano che nella pratica ingegneristica si può impiegare α_k invece di β_k , almeno quando il raggio di raccordo è ampio.

Si considera infine il caso della lastra in C 10 , soggetta ad un carico affaticante all'inversione di valore massimo 0.7 volte il carico di inizio plasticizzazione. Il carico di inizio plasticizzazione P_p è quello per cui la tensione teorica eguaglia la tensione di snervamento del C 10 , che vale 300 MPa, p. 200.

Si ottiene:

$$\sigma_n = \frac{P_p}{(40-20)\times 9} \quad ; \quad \sigma_t = \alpha_k\, \sigma_n = 2.16\,\frac{P_p}{180} = 0.012\ P_p = 300 \quad \Rightarrow \quad P_p = 25000\ N$$

Per un carico affaticante all'inversione di valore massimo 0.7 P_p , si ha:

$$\sigma_n = \frac{0.7\times 25000}{(40-20)\times 9} = 97.22 \quad ; \quad \eta_{k,bonifica} = \frac{1}{1+\frac{0.0635}{10}} = 0.9937$$

$$\beta_k = 1 + \eta_k\,(\alpha_k - 1) = 1 + \ 0.9937\,(2.16-1) = 2.1527 \quad ; \quad \sigma_{eff} = \beta_k\, \sigma_n = 209.28\ MPa$$

mentre la tensione teorica è molto simile a quella effettiva:

$$\sigma_t = \alpha_k\, \sigma_n = 2.16\times 97.22 = 210\ MPa$$

Lo schema di calcolo della tensione effettiva massima per carichi affaticanti è lo stesso per qualunque ciclo di fatica, sia esso all'origine o all'inversione. In altre parole, le formule (4.2.2) di η_k dipendono dal tipo di materiale (acciaio da cementazione o da bonifica, o lega d'alluminio) e dal raggio di raccordo, ma non dipendono (almeno in prima approssimazione) dal tipo di ciclo di fatica.