

GRUPPO ITALIANO FRATTURA

IGF

I° CONVEGNO NAZIONALE

Milano 4 maggio 1983

ENEL-CRIS, Via Ornato 90/14 - 20162 MILANO

"INSTABILITA' ELASTOPLASTICA: CRITERI DI ANALISI ED ESEMPIO
DI USO DEL CRACK DRIVING FORCE DIAGRAM"

G. Angelino, C. Fossati

CISE - Via Reggio Emilia, 39 - 20090 SEGRATE (Milano)

Il problema della instabilità delle strutture in campo elastoplastico può essere affrontato utilizzando diversi criteri di analisi (Fig. 2).

Fra i vari criteri il più nuovo e quello che fornisce il maggior numero di informazioni sulla struttura è l'"ENGINEERING APPROACH" (Fig. 4) che si basa sulle ipotesi di base riportate nelle Figg. 5 e 6. Sul metodo possono essere fatte alcune considerazioni generali (Fig. 8):

- è un criterio molto versatile ma notevolmente complicato per quanto riguarda la definizione di alcuni parametri da introdurre nel calcolo ed il calcolo stesso (Fig. 9 e 10)
- il risultato finale appare sotto forma di grafici di semplice consultazione.

Tra i vari tipi di diagrammi di stabilità che il metodo fornisce, il più completo è il CRACK DRIVING FORCE DIAGRAM (CDFD).

Considerando la struttura immersa in un sistema di cedevolezza C_M (Fig. 11) è possibile ottenere una serie di diagrammi (Figg. 12 e 13) su cui, unitamente alla curva J-R del materiale, appaiono famiglie di curve che forniscono J_{app} in funzione di a .

Questi diagrammi forniscono tutte le informazioni relative alla struttura in esame Figg. 14-16.

Come esempio viene presentato il confronto tra i valori sperimentali ottenuti su un campione CT di acciaio inossidabile ed i corrispondenti valori ricavati dal CDFD del campione stesso (Figg. 17-19).

PROBLEMA

Prevedere carico di sicurezza
ed eventuali condizioni di
instabilita' in strutture
difettate.

Materiali ad alta-altissima
tenacita'

FIG. 1

Metodi piu' usati per
l'analisi della stabilita'
delle strutture in campo
elastoplastico

- NET SECTION COLLAPSE
- TEARING INSTABILITY
- R6
- ENGINEERING APPROACH

.Crack Driving Force Diagram

.Stability Assessment Diagram

.Failure Assessment Diagram

FIG. 2

"ENGINEERING APPROACH"

Considerazioni sul metodo
e sulle difficoltà che si
possono incontrare nella
sua applicazione

Esempio di uso del

"CRACK DRIVING FORCE DIAGRAM"

per definire il carico limite

di un campione CT in acciaio

AVESTA 832 MVN

(cortesia ENEA FRASCATI)

ENGINEERING APPROACH

VIRENDA KUMAR - SHIH

Metodo analitico che fornisce un algoritmo semplificato per predire il comportamento di componenti strutturali criccati in regime di deformazioni elastoplastiche o completamente plastiche.

FIG. 4

IPOTESI:

1. in campo completamente plastico J , δ (CTOD) e Δ_L (spostamento del punto di applicazione del carico) sono esprimibili come:

$$\begin{aligned} J_p &= \alpha \sigma_0 \varepsilon_0 c h_1(a/b, n) (P/P_0)^{n+1} \\ \delta_p &= \alpha \varepsilon_0 a h_2(a/b, n) (P/P_0)^n \\ \Delta_{Lp} &= \alpha \varepsilon_0 a h_3(a/b, n) (P/P_0)^n \end{aligned} \quad (1)$$

ove:

- P = carico per unita' di spessore
 $c = b - a$ = legamento non criccato
 $\alpha, n, \sigma_0, \varepsilon_0$ = parametri della relazione di RAMBERG-OSGOOD
 h_1, h_2, h_3 = funzioni della geometria e del parametro n
 P_0 = carico limite per unita' di spessore

$$J_e = f_1(a_e) P^2/E' = \frac{V_1(a_e/b) P/E'}{b^2} \quad (1)$$

$$\delta_e = f_2(a_e) P/E' = V_1(a_e/b) P/E' \quad (2)$$

$$\Delta_{L_e} = f_3(a_e) P/E' = V_2(a_e/b) P/E'$$

ove a_e = lunghezza di cricca corretta
per il raggio plastico

Le relazioni complessive sono:

$$\begin{aligned} J &= J_e + J_P \\ \delta &= \delta_e + \delta_P \\ \Delta &= \Delta_{L_e} + \Delta_{LP} \end{aligned} \quad (3)$$

FIG. 6

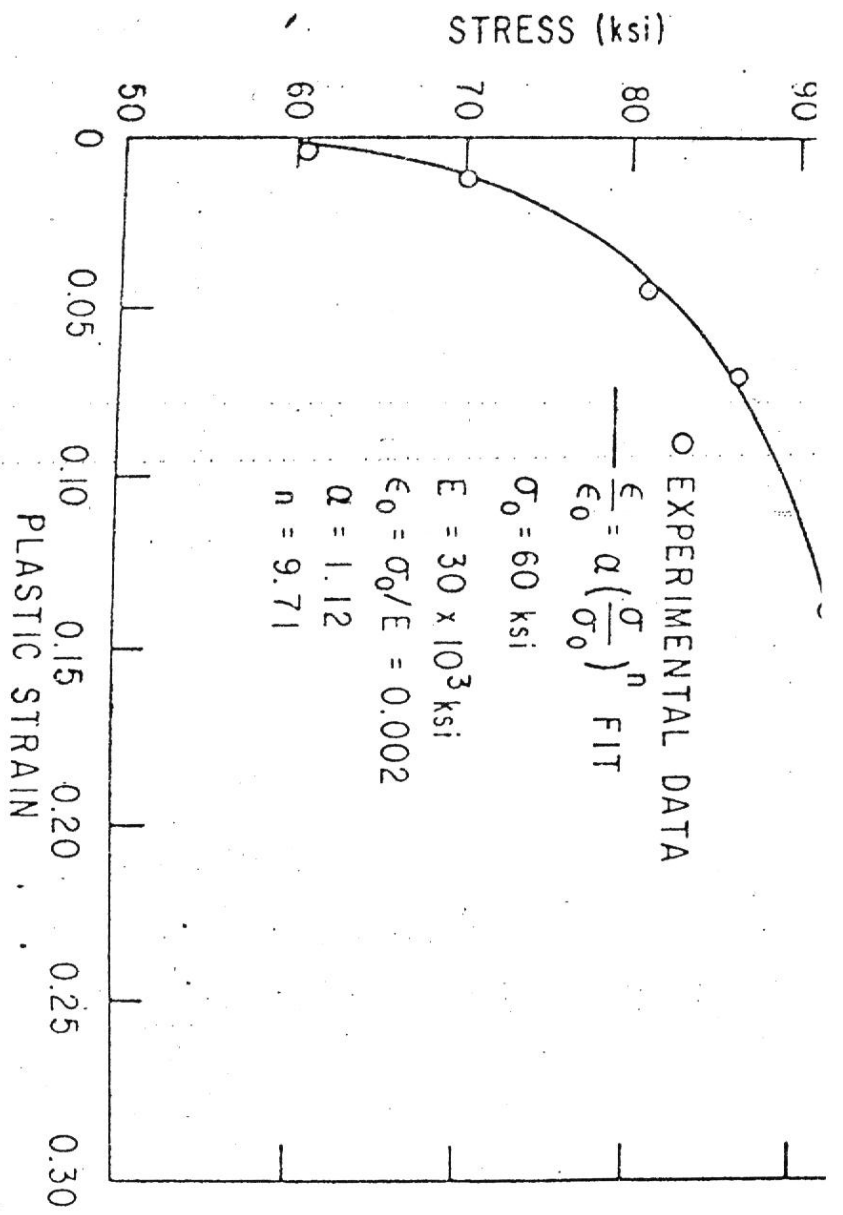


FIG. 7

applicato i valori dei corrispondenti
valori di $J, \delta, \Delta u$;

si possono individuare due stadi della
analisi:

- a) trovare i valori dei parametri
relativi alla struttura in esame
- b) noti tutti i parametri ottenere
dalle (3) le informazioni sulle
condizioni di possibile instabilità
della struttura

FIG. 8

$P''_{n+1} \quad V_0 /$ modificato

$$\delta = \frac{1}{1 + (P/P_0^2)}$$

: in campo plastico
co limita l'in-
fluenza di r

$\beta = 2$ plane stress
 $\beta = 6$ plane strain

F_1, V_1, V_2 : definite dalla LEFM

$\alpha, n, \sigma_0, \xi_0$: sono ottenibili da una
prova di trazione

FIG. 9

$$P_0 = A^* \eta \leq \sigma_0$$

$A^* = 1.455$ plane strain
 1.072 plane stress

$$\eta = \left[\left(\frac{2a}{c} \right)^2 + 2 \left(\frac{2a}{c} \right) + 2 \right]^{1/2} - \left(\frac{2a}{c} + 1 \right)$$

- h_1, h_2, h_3 :
- provengono dalla soluzione plastica della struttura
 - per alcune strutture semplici esistono già tabulati
 - sono ottenibili con codici plastici agli elementi finiti

FIG. 10

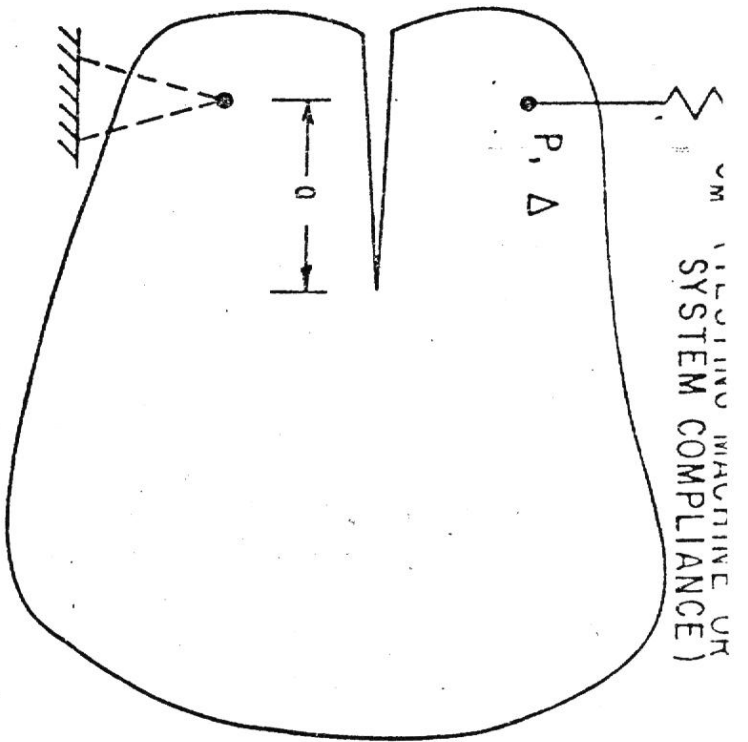


FIG. 11.

a carico costante

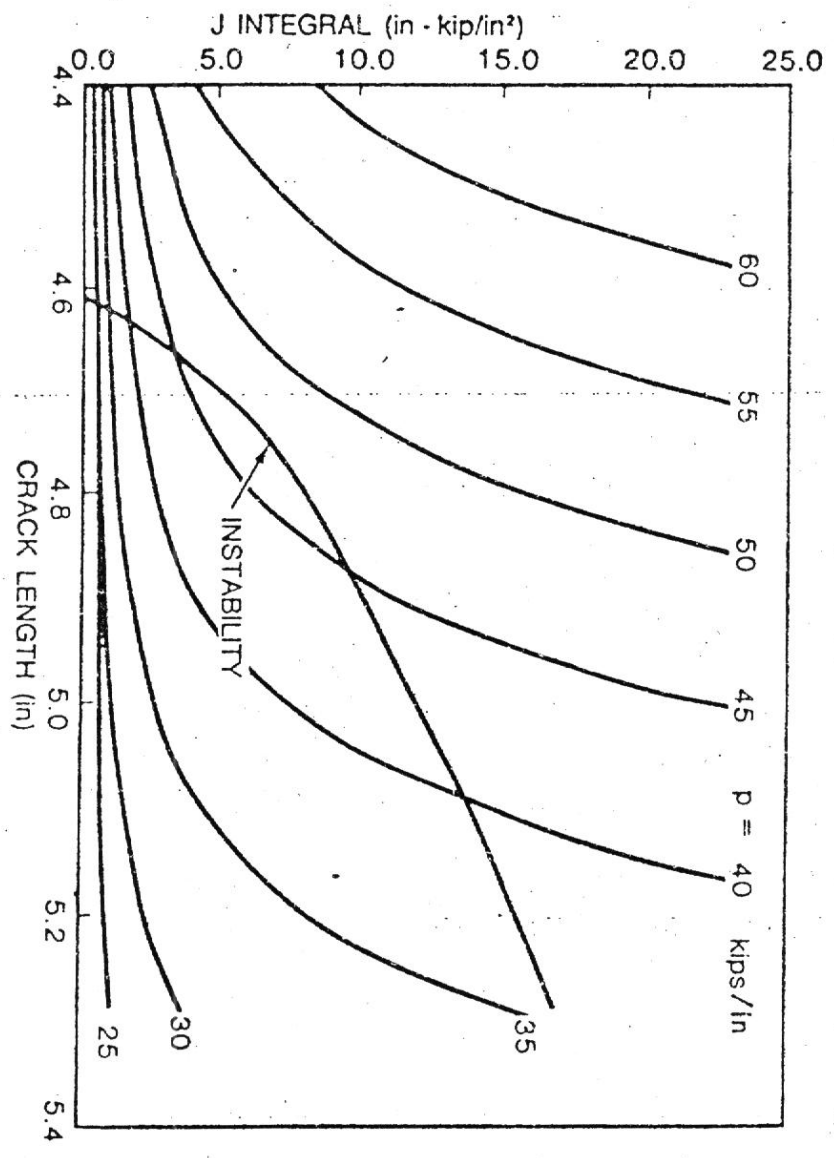
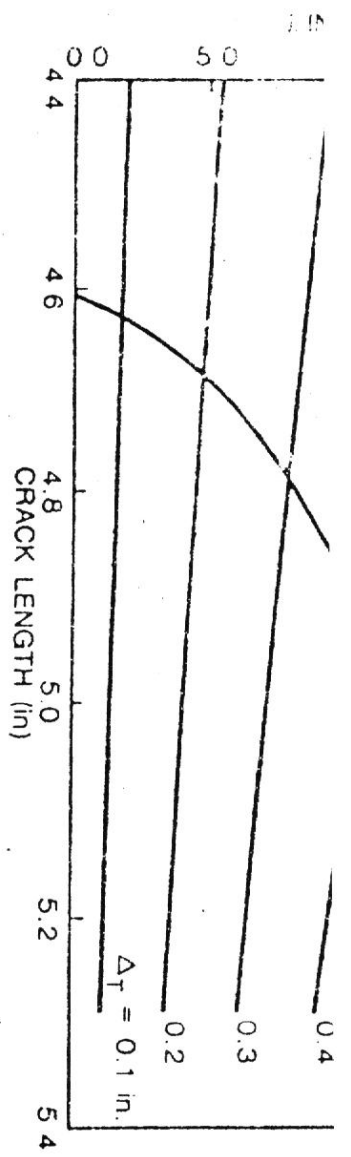


FIG. 12



a spostamento Δr costante (caso gen.)

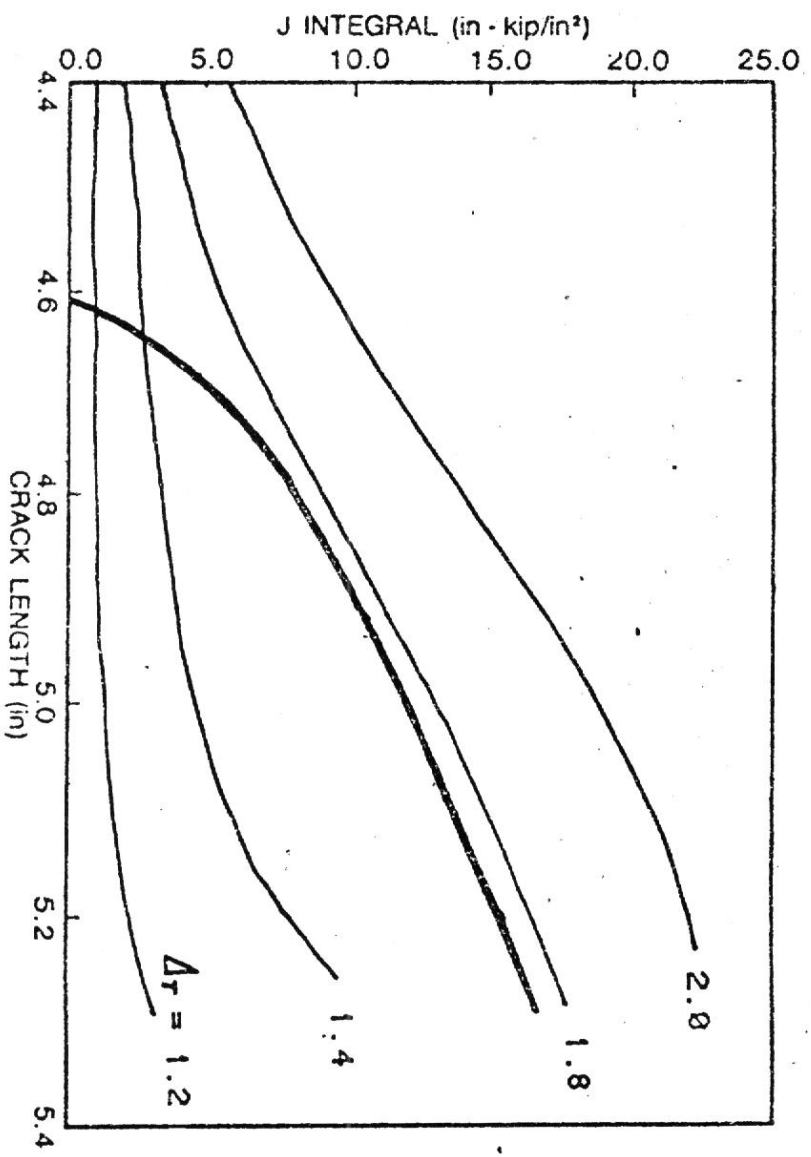


FIG. 13

... in campo elastico, sono ottenibili come somma della componente elastica e della componente plastica.

La componente elastica e' data da:

$$J_e = f_1(a_0) P^2/E' = \frac{a_0 F_1^2 (a_0/b) P^2}{b^2 E'}$$

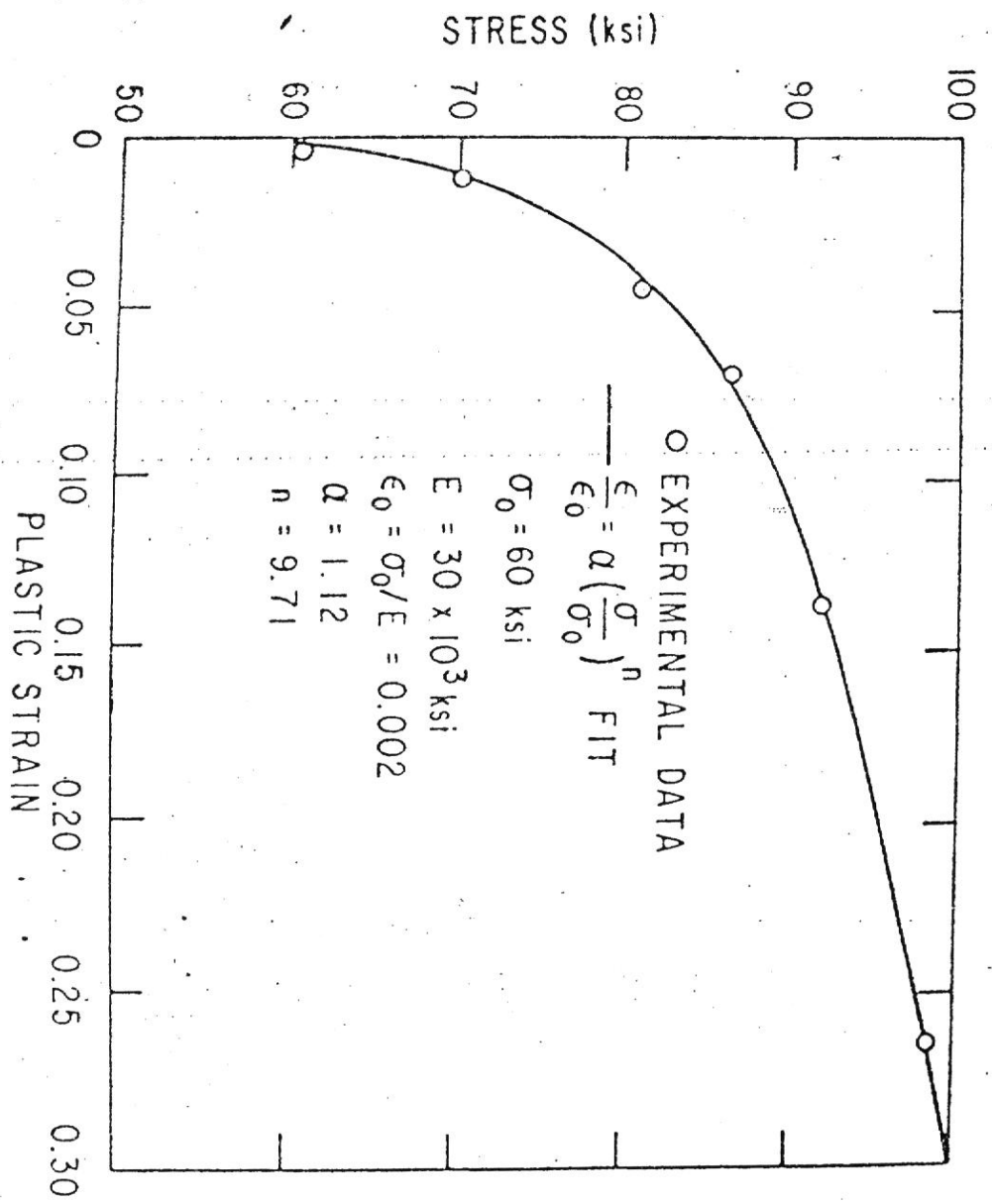
$$\delta_e = f_2(a_0) P/E' = V_1(a_0/b) P/E' \quad (2)$$

$$\Delta_{L_0} = f_3(a_0) P/E' = V_2(a_0/b) P/E'$$

ove a_0 = lunghezza di cricca corretta per il raggio plastico

Le relazioni complessive sono:

$$\begin{aligned} J &= J_e + J_p \\ \delta &= \delta_e + \delta_p \\ \Delta &= \Delta_{L_0} + \Delta_{L_P} \end{aligned} \quad (3)$$



· noti i parametri che intervengono nelle

(1) e (2) e' possibile conoscere per

ogni geometria, materiale e carico

applicato i valori dei corrispondenti

valori di J, δ, Δ_L ;

· si possono individuare due stadi della

analisi:

a) trovare i valori dei parametri
relativi alla struttura in esame

b) noti tutti i parametri ottenere
dalle (3) le informazioni sulle
condizioni di possibile instabilita'
della struttura

$$a_e = a + \delta r_y$$

$$r_y = \frac{1}{\beta \pi} \frac{n-1}{n+1} \left(\frac{k}{\sigma_0} \right)^2$$

: IRWIN modificato

$$\delta = \frac{1}{1 + (P/P_0^2)}$$

: in campo plastico
co limita l'in-
fluenza di r_y

$$\beta = \begin{cases} 2 & \text{plane stress} \\ \delta & \text{plane strain} \end{cases}$$

F_1, V_1, V_2 : definite dalla LEFM

$\alpha, n, \sigma_0, \xi_0$: sono ottenibili da una prova di trazione

dei vari modelli disponibili in letteratura;

esempio : campione CT
analisi di MERKLE
e CORTEN

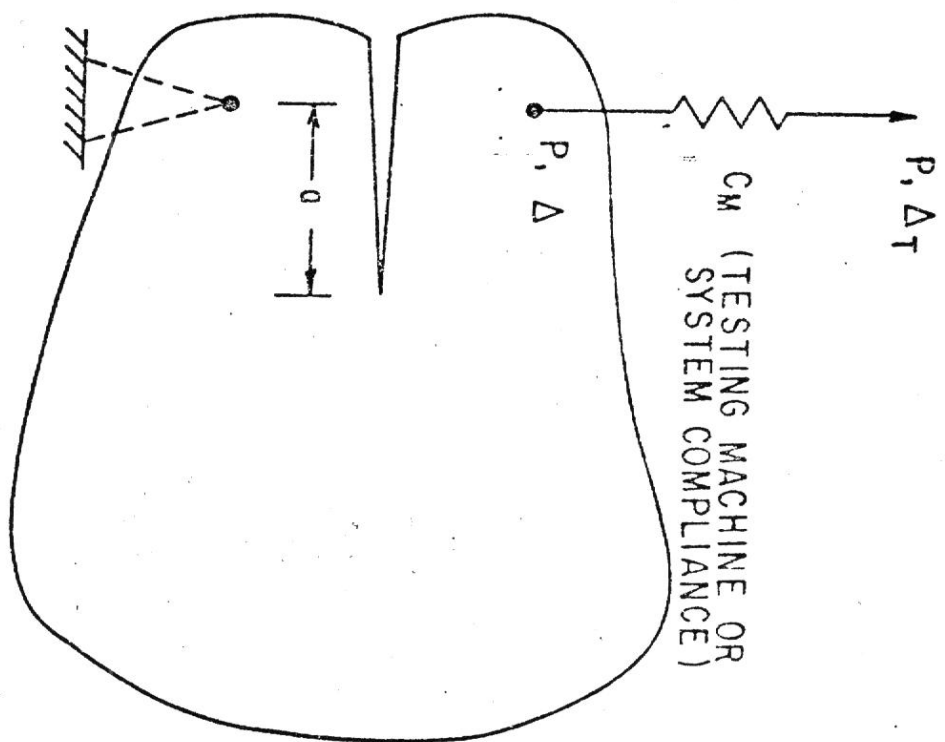
$$P_0 = A^* \eta c \sigma_s$$

$A^* = 1.455$ plane strain
 1.072 plane stress

$$\eta = \left[\left(\frac{2a}{c} \right)^2 + 2 \left(\frac{2a}{c} \right) + 2 \right]^{1/2} - \left(\frac{2a}{c} + 1 \right)$$

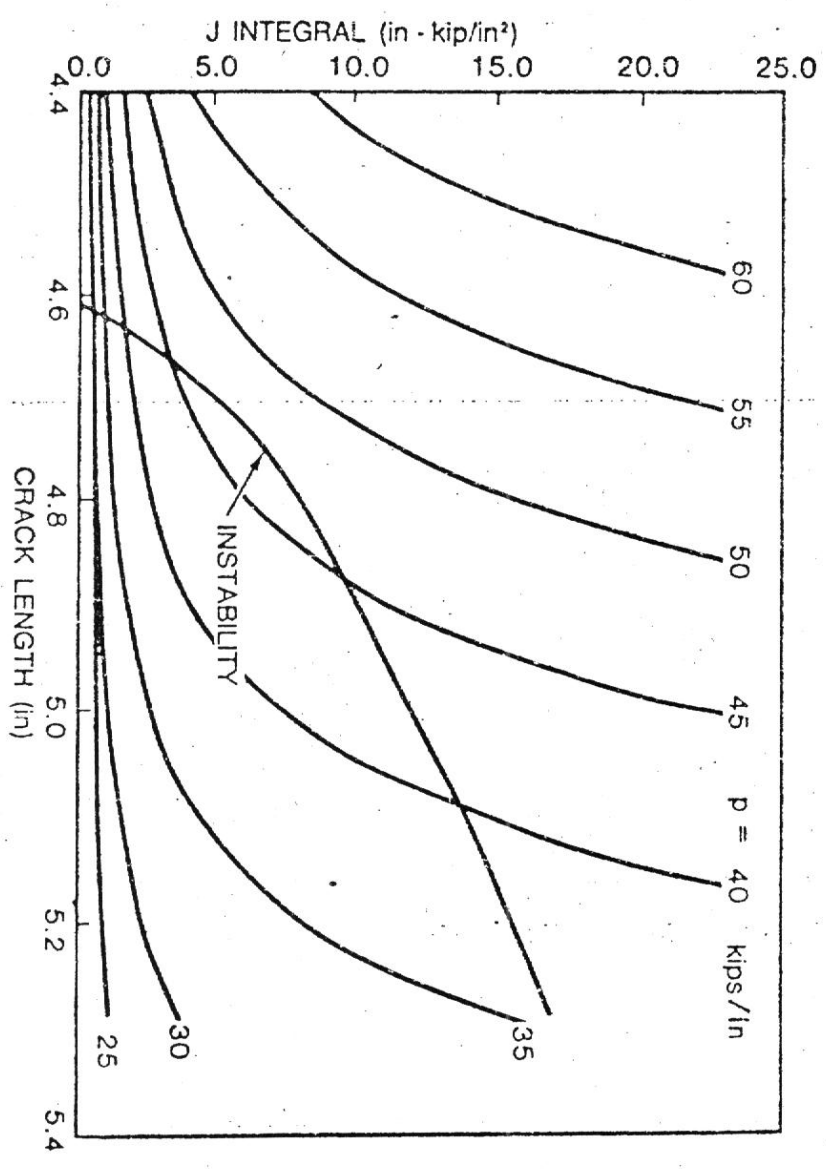
h_1, h_2, h_3 :

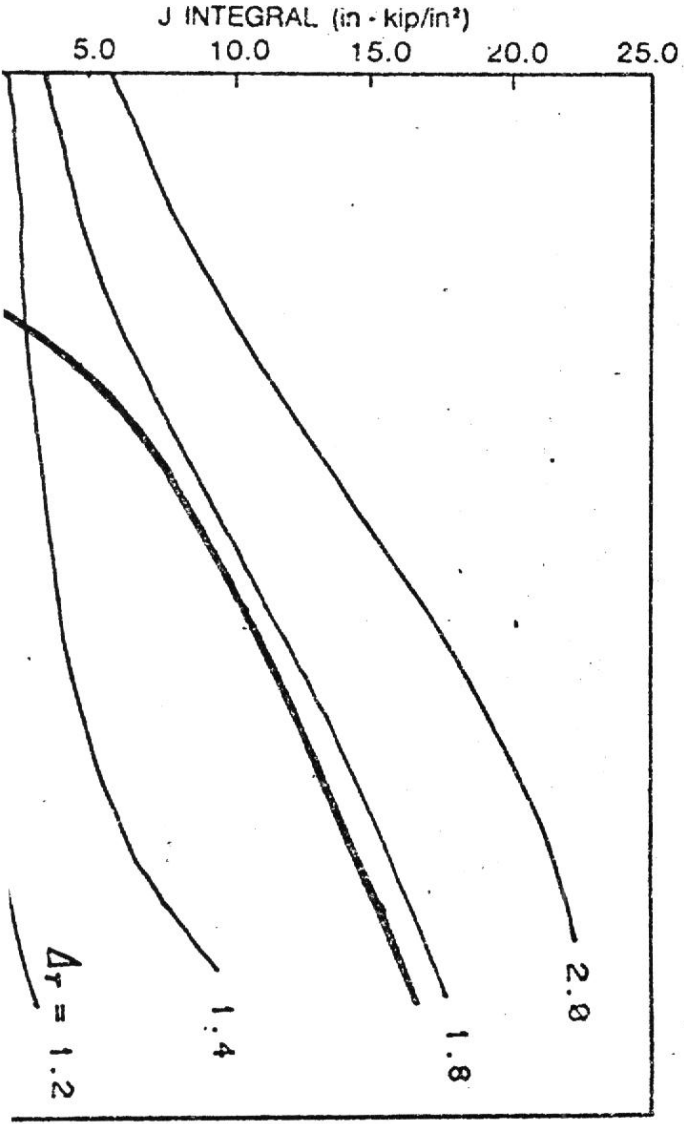
- provengono dalla soluzione plastica della struttura
- per alcune strutture semplici esistono già' tabulati
- sono ottenibili con codici plastici agli elementi finiti



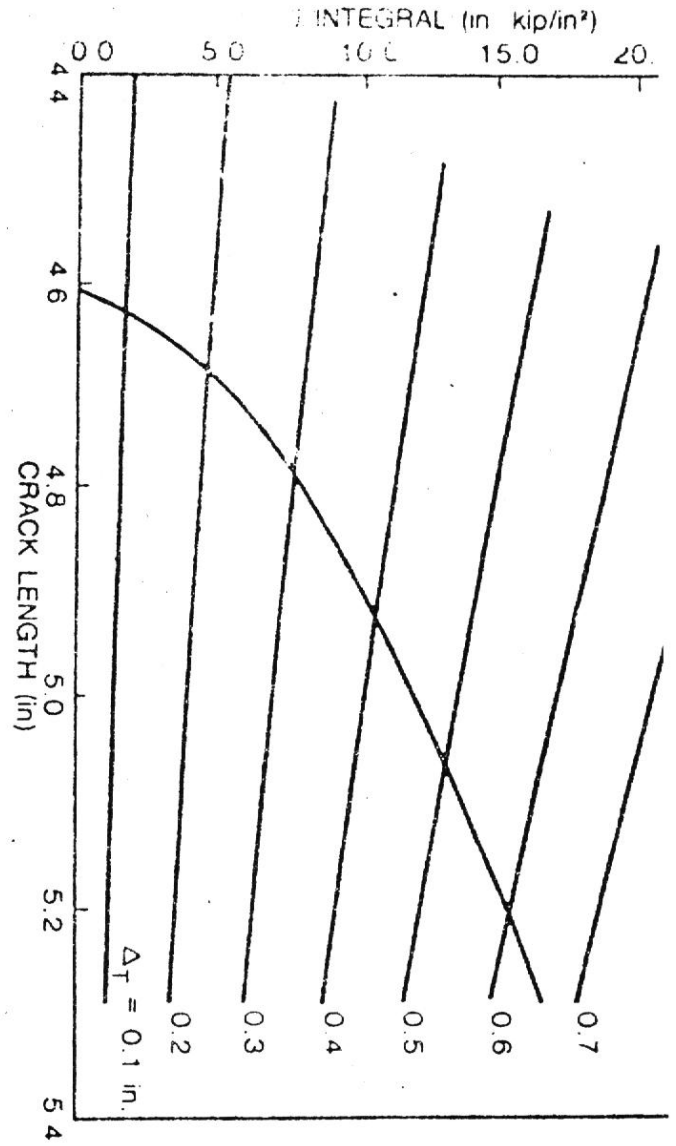
Utilizzando le (3) si possono ottenere, in un piano J - a , famiglie di curve:

a carico costante

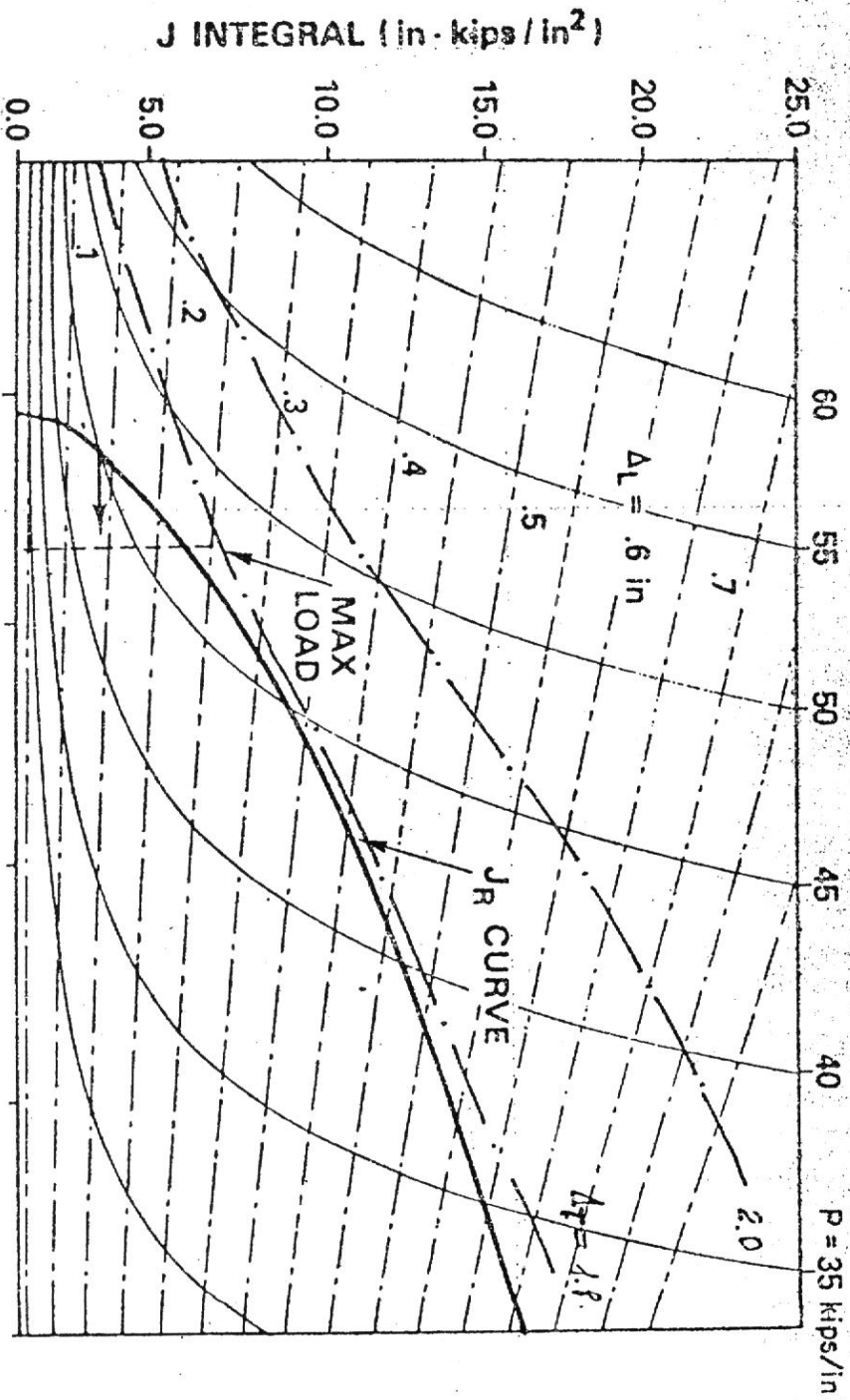




a spostamento Δr costante (caso gen.)



Riportando le tre famiglie di curve in un solo diagramma si ottiene, per la struttura in esame, tutta una serie di informazioni.



i punti all'interno della curva J-R del materiale sono punti di stabilità della cricca

i punti all'esterno della curva J-R del materiale sono punti di instabilità della cricca

i punti della curva J-R del materiale sono punti di crescita controllata della cricca ove σ_{pp} e la resistenza del materiale si bilanciano

una struttura può evolvere spontaneamente solo seguendo una delle curve a Δr costante

le curve a P e Δ_L costante possono essere considerate casi particolari corrispondenti a,

$$\begin{aligned} C_M &= \infty & (P = \text{cost.}) \\ C_M &= 0 & (\Delta_L = \text{cost.}) \end{aligned}$$

il punto di tangenza tra la curva J-R del materiale ed una delle curve della famiglia rappresenta le con-

i punti della curva $J-R$ del materia-
le sono punti di equilibrio per la
struttura: le coppie di valori di
 P e Δ_L delle due famiglie di curve
corrispondenti definiscono il cari-
co applicato ed il relativo sposta-
mento del suo punto di applicazione

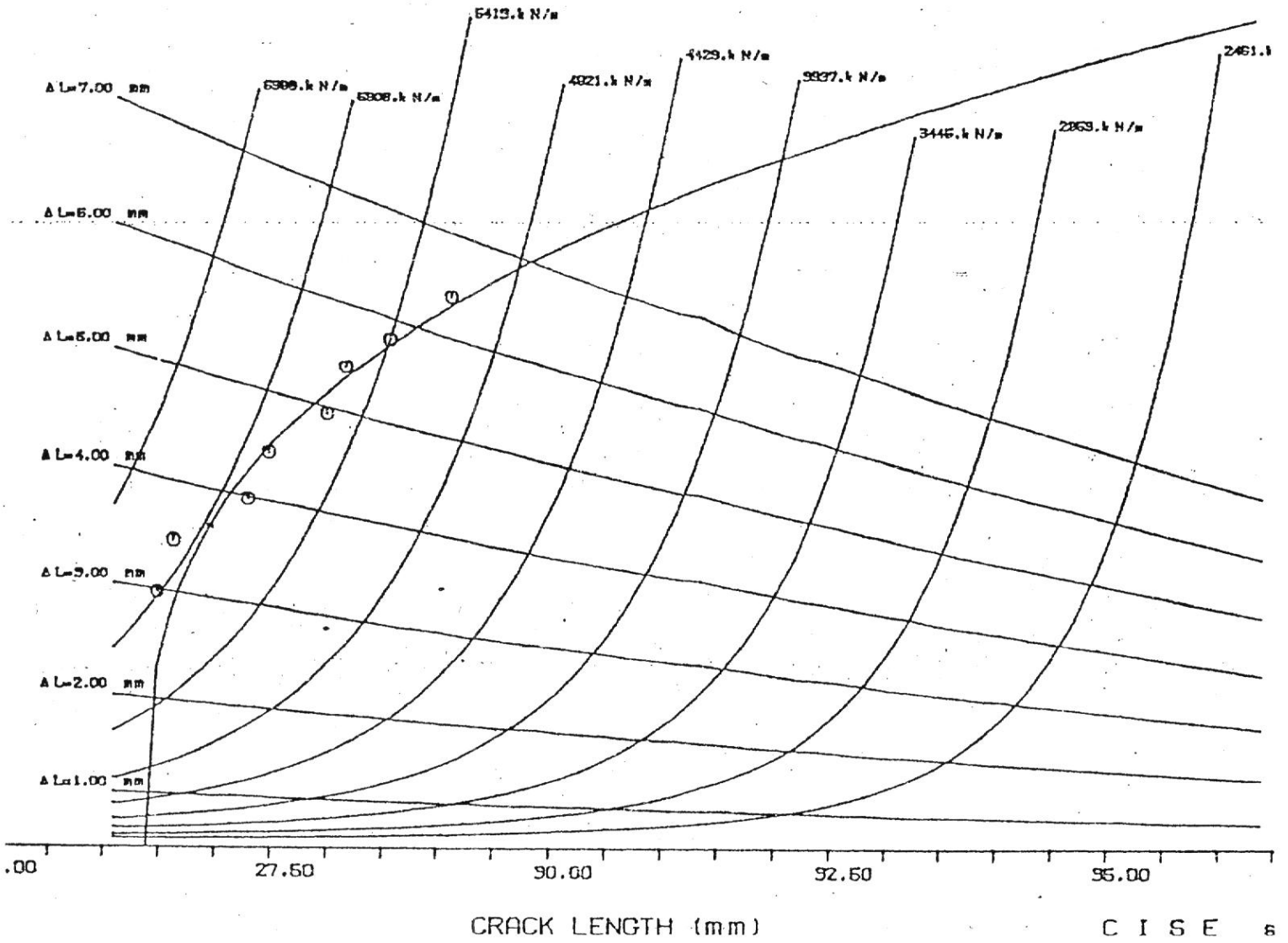
si puo' valutare il carico massimo
sostenibile dalla struttura

si puo' prevedere la propagazione
della cricca in funzione del carico
applicato o dello spostamento

1/S INOX CNR-(FRAS)

A/W = .52

PLANE STRAIN



C I S E 8

CDFD AD UN CAMPIONE CT.

Materiale : acciaio inossidabile
AVESTA 832 MVN
per impieghi a basse
temperature

Curva J-R determinata @ -190°C
mediante U.C.

stimato sp. im.

Carico max. 120 115
(KN)

Spostamento al 3.65 3.90
Carico max.
(mm)

Anal. al Carico max. n. sec. n. sec.

5.0

37.5

0.0

