

① 27/02/2024

①

CONSTRUZIONI MECCANICHE 2

CONTENUTI

- COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI
 - CARICHI STATICI
 - CARICHI CICLICI
 - ALTA TEMPERATURE
 - PRESENZA DI "DIFETTI" (DISOMIFORMITÀ)
- COMPLEMENTI DI ANALISI STRUTTURALI
 - CILINDRI (e DISCHI) IN PRESSIONE
 - DISCHI ROTANTI (FORZE CENTRIFUGHE)
 - GUSCI SOTTILI ASSIALSIMMETRICI
- DINAMICA CORPI ROTANTI
 - VELOCITÀ CRITICHE FLESSIONALI
 - VELOCITÀ CRITICHE TORSIONALI
- COMPONENTI
 - CINGHIE
 - CATENE
 - RUOTE DENTATE
- METODO DEGLI ELEMENTI FINITI
 - CRINI & TEORIA
 - APPLICAZIONI PRATICHE

CARATTERIZZAZIONE DEL COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI SOTTO CARICHI STATICI

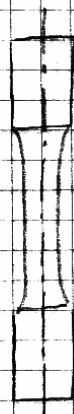
(2)

SCOPO: - DEFINIRE Sperimentalmente i LIMITI OPERATIVI
- VERIFICA RISPOSTA DEL MATERIALE ALLE SPECIFICHE

PROVE CARATTERISTICHE: - TRAZIONE
- DUREZZA
- RESILIENZA

PROVA DI TRAZIONE

PROVINO:

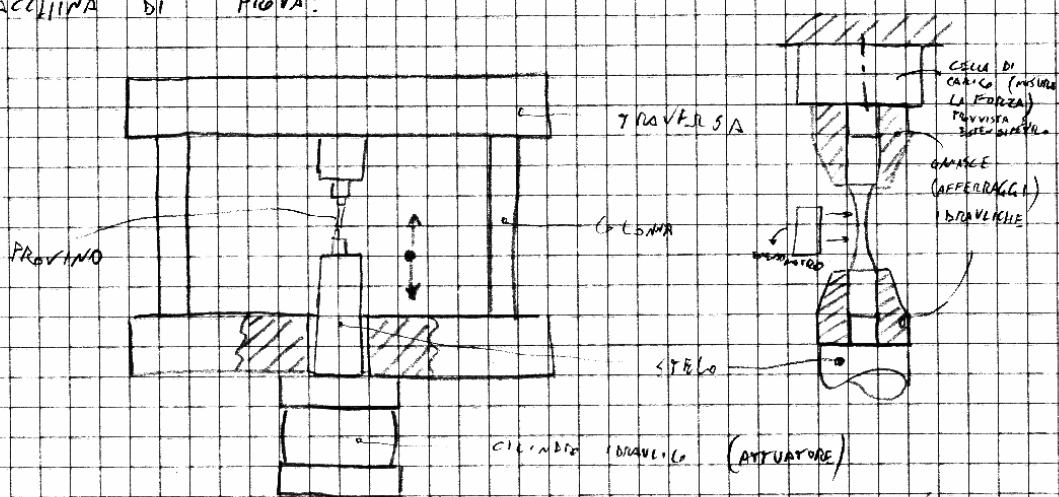


ESISTONO ANCHE FORME PIANE X PROVE DI LAMIERA

ZONA DI PROVA

ZONA DI APPENDAGGIO

MACCHINA DI PROVA:



N.B.: L'ESTENSIONE $\neq$ ESTENSIONE

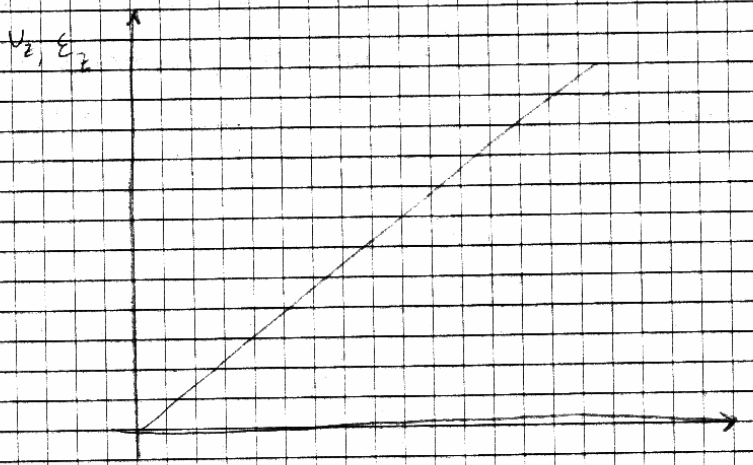
(3)

L'allungamento ΔL per σ , nell'ipotesi di comportamento elastico, è per A :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

MODALITÀ DI CONDUZIONE DELLA PROVA

- RAMPA DI SPOSTAMENTO (A VELOCITÀ COSTANTE)
- RAMPA DI DEFORMAZIONE (A VELOCITÀ DI VARIAZIONE DI CARICO COSTANTE)

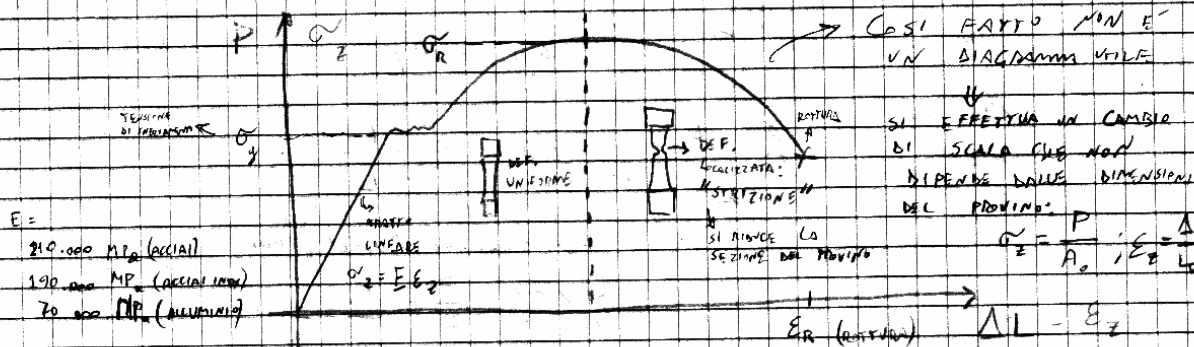


GRANDEZZE MISURATE:

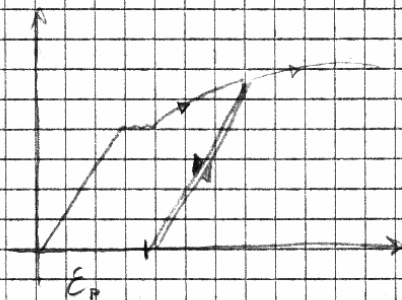
P - CARICO APPLICATO

ΔL - ALLUNGAMENTO

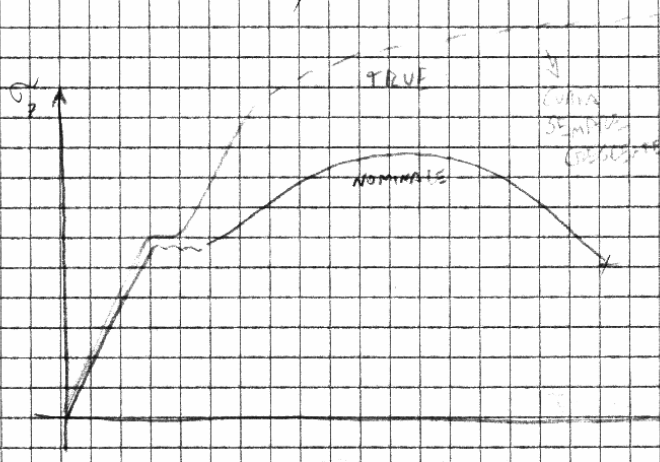
RAPPRESENTAZIONE:



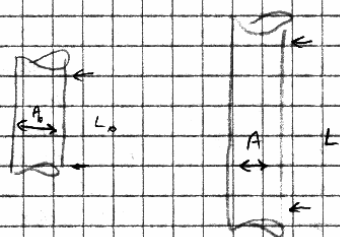
CURIOSITA': DOPO CHE UN MATERIALE SI È DEFORMATO IL SUO SOSTANZIAMENTO RIPARTE DA DOVE SI ERA INTERROTTO



E_R (DI ROTURA) È LA DEFORMAZIONE ($\epsilon \div 100\%$) CORRISPONDENTE ALLA ROTURA DEL PROVINO (UTILE ANCHE PER LAVORAZI DI DEFORMAZIONE PLASTICA)



UNA CURVA PIÙ RAPPRESENTATIVA (CHE TIENE CONTO DELLA STRIZIONE) IPOTIZZA CHE IL VOLUME DEL PROVINO SI CONSERVA.



$$A_0 L_0 = A L$$

$$A(L) = A_0 \cdot \frac{L_0}{L}$$

⇒ TENSIONE "VERA" (TRUE)

$$\sigma_2 \leq \sigma_T = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{L_0}{L}$$

POSSIAMO DEFINIRE ANCHE UNA "DEFORMAZIONE VERA" (5)

$$\epsilon = \frac{dL}{L_0} \quad dL \text{ INFINITESIMO}$$

$$d\epsilon_r = \frac{dL}{L} \quad \text{DEFORMAZIONE VERA}$$

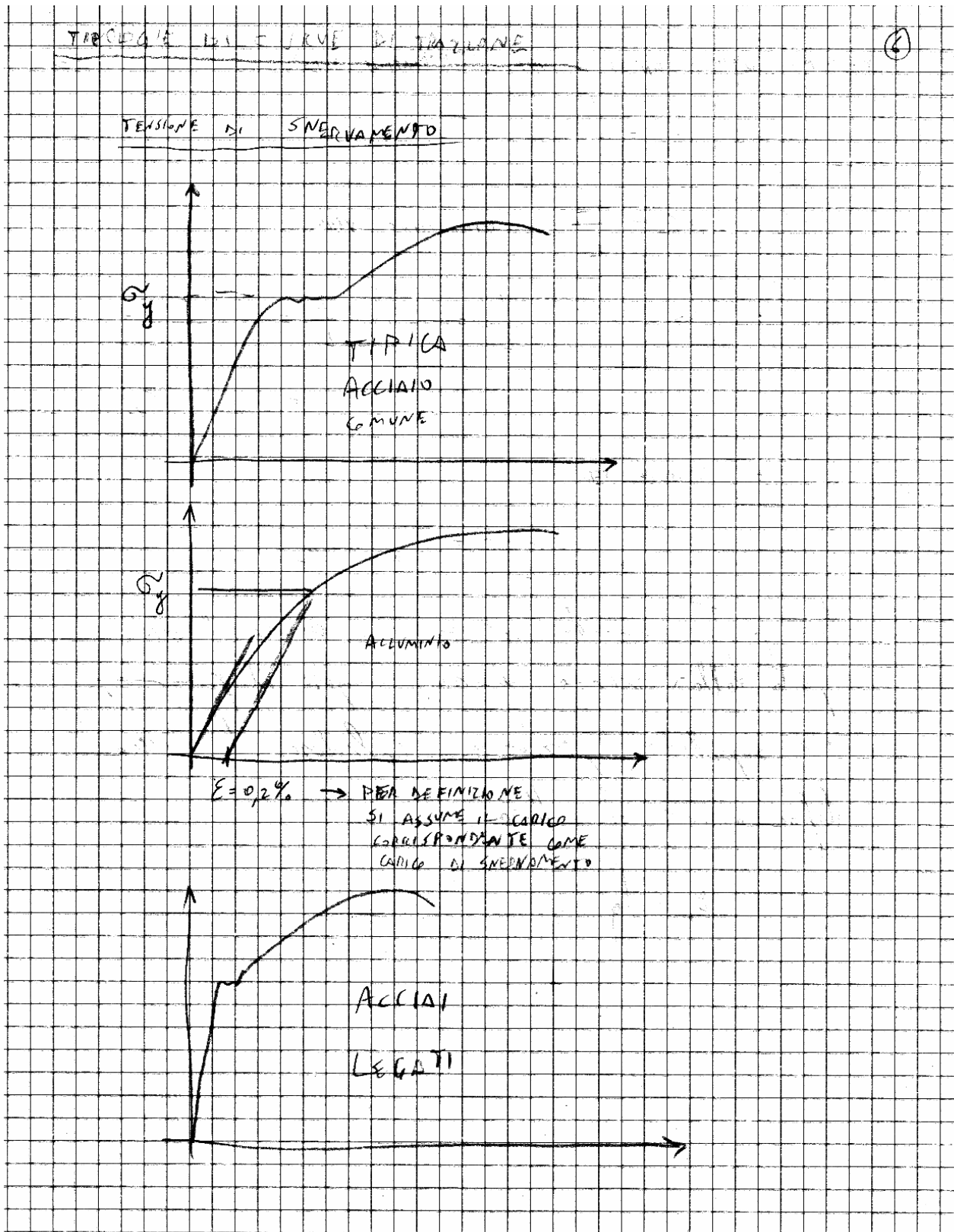
$$\begin{aligned} \hookrightarrow \epsilon_r &= \int_{L_0}^L \frac{dL'}{L'} = \log \frac{L}{L_0} = \log \left(\frac{L_0 + \Delta L}{L_0} \right) = \\ &= \log (1 + \epsilon_e) \end{aligned}$$

$\Rightarrow$ TENSIONE VERA =

$$\sigma_r = \frac{P}{A_r} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} = \sigma_e (1 + \epsilon_e)$$

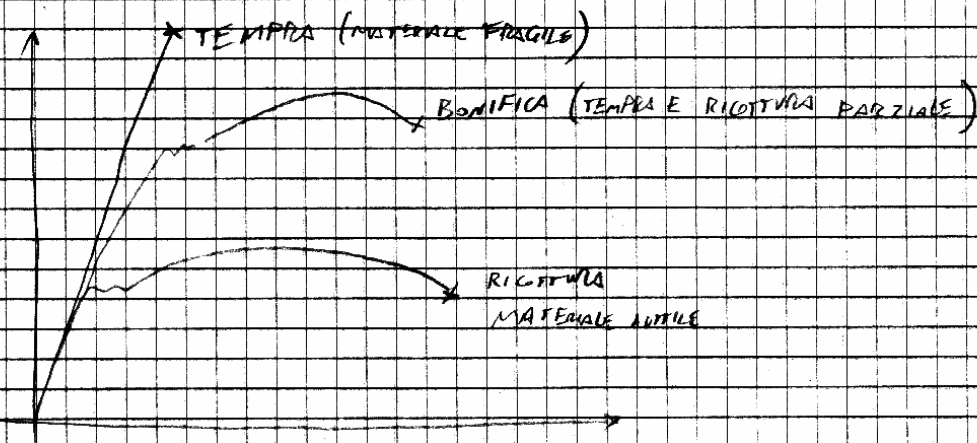
In pratica non è possibile "calcolarsi" una parte della curva senza conoscere il primo, ma, soprattutto, possiamo calcolare la vera deformazione di rottura:

$$\epsilon_r = \log \left(\frac{L_R}{L_0} \right) = \log \left(\frac{A_0}{A_R} \right)$$



La curva di tenacità varia inoltre con: (2)

- COMPOSIZIONE CHIMICA (ACCIAI: $\sigma_y \approx 20 \div 250 \text{ MPa}$; $\sigma_R \approx 30 \div 350 \text{ MPa}$)
- TRATTAMENTO TERMICO (LA FORMA CRISTALLINA DIPENDE DALLA TEMPERATURA)
- TEMPERATURA
- VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

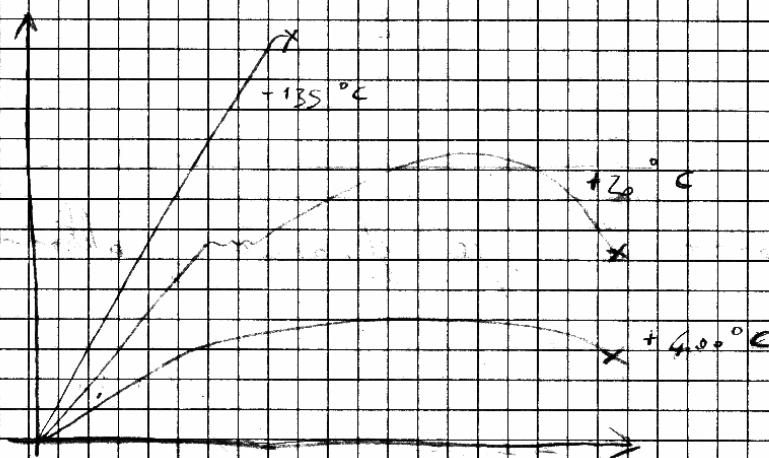


Pina, 02/02/2007

(1)

CONTINUA DA PROVE DI TRAZIONE

Tra i parametri che influenzano il comportamento dei materiali (statico) c'è la temperatura. Un abbassamento di temperatura induce nel materiale una fragilità.

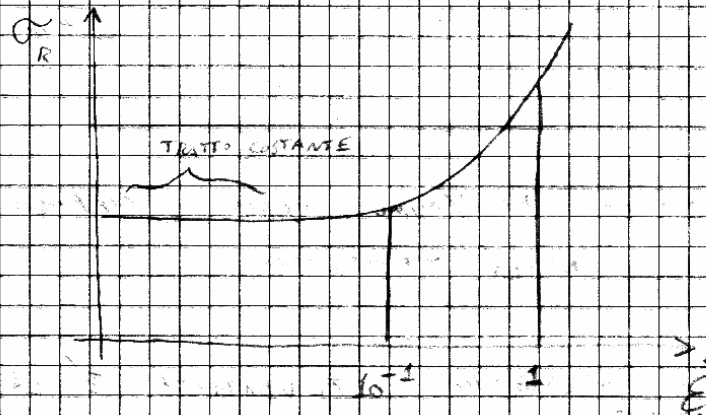
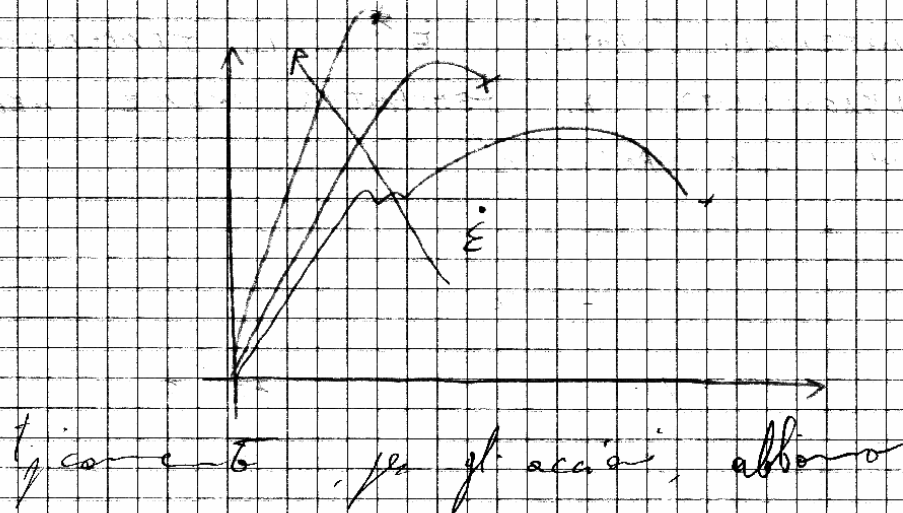


N.B.: il modulo di Young varia leggermente al variare nella temperatura

Un altro parametro influente è la velocità di deformazione.

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$$
$$[\dot{\epsilon}] = \frac{1}{s}$$

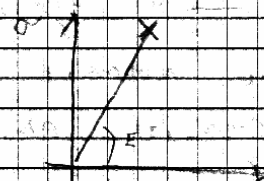
PER UN AMPIO RANGE DI $\dot{\epsilon}$ NON SI HANNO
RILEVANTI DIFFERENZE DI COMPORTAMENTO. PER
VELOCITÀ È MOLTO ELEVATE SI HA UN INFRAGILIMENTO
DEL MATERIALE



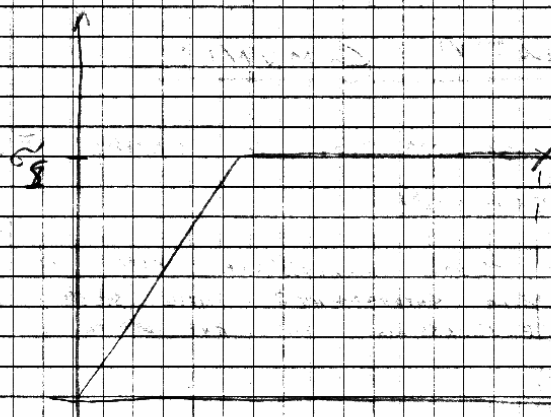
MODELLI "IDEALIZZATI":

(3)

- MATERIALE PERFETTAMENTE FRAGILE (σ_R, E)



- MATERIALE PERFETTAMENTE PLASTICO (PRIVO DI SMERVAMENTO)



VERIFICA "PEZZO" MECCANICO: σ_R

PROVINO:

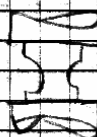


SI HA CHE L'UNICA COMPONENTE DI TENSIONE LONGITUDINALE

$$\sigma_z \neq 0$$

$$\sigma_x, \sigma_y = 0$$

PEZZO:



TUTTE LE COMPONENTI SONO, IN GENERALE, $\neq 0$

$$\sigma_x \neq 0$$

$$\sigma_y \neq 0$$

$$\sigma_z \neq 0$$

l'obiettivo è che il pezzo venga sempre in campo elastico. I limiti operativi. Alcuni limiti sono legati al normale funzionamento del pezzo, altri sono correlati ad eventi che non dovrebbero accadere, (come ad es. un incidente stradale).

LIMITI OPERATIVI COMUNI:

STRUTTURA CHE SI MANTIENE IN CAMPO ELASTICO

TENSIONE EQUIVALENTE.

È una tensione monodimensionale che si trova nei confronti dello snervamento nelle stesse condizioni dello stato pluriassiale da cui deriva.

$$\sigma_{eq}$$

PER NON AVERE SNERVAMENTO DEVE ESSERE

$$\sigma_{eq} < \sigma_s \Rightarrow \text{ELASTICO LINEARE}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_s \Rightarrow \text{SNERVAMENTO}$$

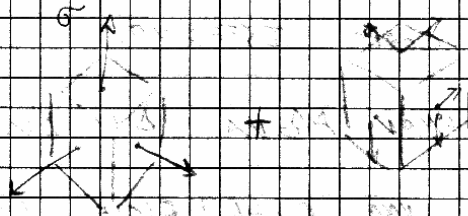
$$\sigma_{eq} > \sigma_s \Rightarrow \text{DEF. PI PLASTICHE}$$

IL CRITERIO DI EQUIVALENZA PIÙ COMUNE È QUELLO DI VON MISES

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

QUESTO RISULTATO È OTTENUTO PER MEZZA DI CONSIDERAZIONI ENERGETICHE

LO STATO DI TENSIONE PUO' ESSERE VISTO
COME SOMMA DI DUE COMPONENTI:



"IDROSTATICA" + "DEVIAUTORICA" = STATO DI TENSIONE

↓
COMPRESSIONE
DEL CARICO

↓
DISTORSIONE
DEL CARICO

IL CRITERIO DI VON MISES SI BASA SU QUESTA
CONSIDERAZIONE: CHE I DUE COMPONENTI POSSONO ESSERE PESSI EQUIVALENTI

ESEMPLI:

CASO MONOASSIALE: $\sigma_x \neq 0$ ALTRE $\Rightarrow \sigma_{eq} = \sigma_x$

BARRA SOGGETTA A TORSIONE: $\tau_{xy} \neq 0$ ALTRE $\Rightarrow \sigma_{eq} = \tau_{xy} \cdot \sqrt{3}$

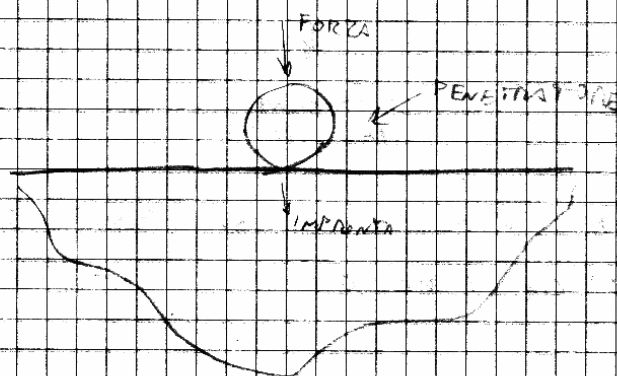
N.B.: QUESTA σ_{eq} E' CONFRONTABILE SOLTANTO CON
LA TENSIONE DI SNERVAMENTO ED ASSOLUTAMENTE
NON CON LA TENSIONE DI ROTTURA

PROVA DI DUREZZA:

è la misura della resistenza di un materiale alla penetrazione da parte di un corpo esterno.

CONDIZIONE DI UNA PROVA DI DUREZZA:

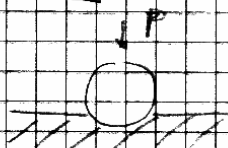
UN PROVINO AVENTE UNA SUPERFICIE PIANA



DALLE DIMENSIONI DELL'IMPONTE LASCIATA DA UN "PENETRATORE", SI DESUME LA MISURA DELLA DUREZZA DEL PROVINO (IN TERMINI RELATIVI - COMPARATIVI)

TIPICI DI PROVE DI DUREZZA:

BRINNEL: IL PENETRATORE È UNA SFERA

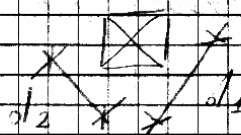
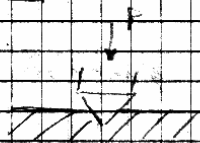


$$HB = \frac{P}{\text{SUPERFICIE DELL'IMPONTE}} \quad [MPa]$$

VICKERS

IL

PENETRATORE È UNA PIRAMIDE



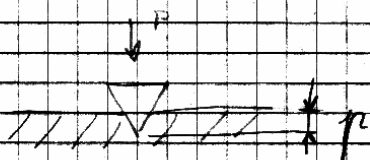
$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$HV = 1,85 \cdot \frac{P}{d_m^2} [MPa]$$

ROCKWELL

IL

PENETRATORE È UN CONO



$$HR_c = 100 \cdot p [10^{-2} mm]$$

Queste prove hanno tanti vantaggi: sono

SEMPLICI, NON DISTRUTTIVE, SUSCETTIBILI DI APPONTAMENTO IN SERIE.

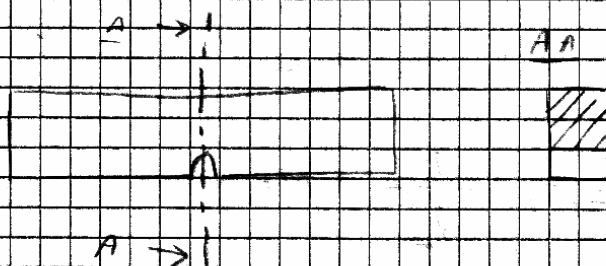
CORRELAZIONI:

$$\text{ACCIAI: } HB \approx 3 G_s$$

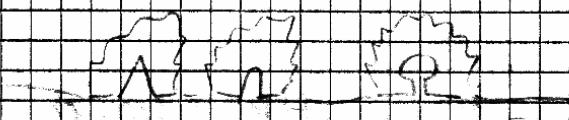
PROVA DI RESILIENZA

(8)

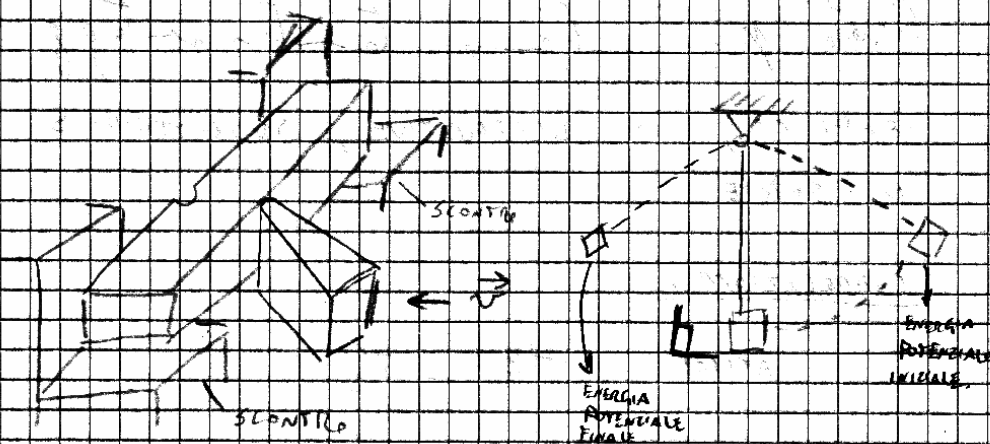
PROVINO: è una lamina piana, piana, di mm
INTAGLIO



L'intaglio può avere più forme:



La prova si realizza il provino su NEGLI SCONTI



IL PROVINO VIENE COLPITO IN CORRISPONDENZA DELL'INTAGLIO,
MA SULLA FACCIA OPPOSTA, DA UNA MAZZA
A FORMA DI ASCIA

La differenza TRA L'ENERGIA POTENZIALE INIZIALE DELLA
MAZZA E L'ENERGIA POTENZIALE FINALE (DOPO LA
ROTTURA) E' L'ENERGIA ASSORBITA DAL PROVINO A ROMPERSI

$$E = M g (H_0 - H_1)$$

RESILLENZA

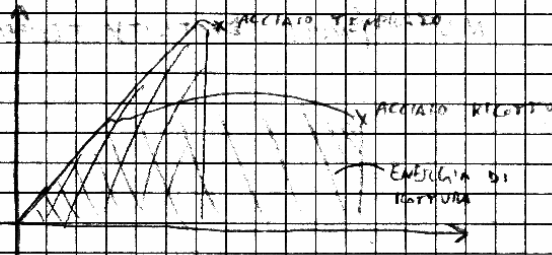
$$K = \frac{E}{A_0} \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

SEZIONE
TRASVERSALE
DEL PROVINO
IN CORRISPONDENZA
DELL'INAGLIO

QUESTA, COME LA DUREZZA, NON E' UNA PROPRIETA'
DEL MATERIALE, PERCHÉ DIPENDE DA COME
CONDUCIAMO LA PROVA $\Rightarrow$ ANCHE QUESTA PROVA
HA VALIDITA' COMPARATIVA.

LA PROVA E' COMunque STANDARDIZZATA.

IL RISULTATO DI QUESTA PROVA HA UNA
CORRELAZIONE CON LA PROVA DI TRAZIONE.

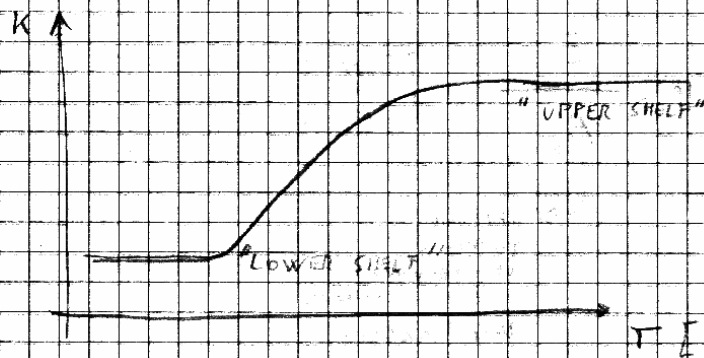


RICORDANDO CHE

$$\frac{1}{2} \sigma \epsilon = \text{DENSITA' DI ENERGIA}$$

DAL GRAFICO PRECEDENTE SI EVINCE CHE PER 10
ROMPERE UN MATERIALE DUTTILE CI VUOLE MOLTA
PIÙ ENERGIA DI QUANTA CE NE VOGLIA PER
UN MATERIALE FRAGILE.

CON RIFERIMENTO ALLA DIPENDENZA DALLA TEMPERATURA
DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE, SI POSSONO ESEGUIRE
PIÙ PROVE A TEMPERATURE DIVERSE.



QUESTA CURVA PRESENTA DUE ASINTOTI E UNA ZONA
DI TRANSIZIONE DUTTILE-FRAGILE

SI DEFINISCE UNA TEMPERATURA DI TRANSIZIONE (NON
UNIVUCA):

- E' QUELLA TEMPERATURA PER LA QUALE K ASSUME
IL VALORE MEDIO TRA L'UPPER-SHELF E IL LOWER SHELF

- UN'ALTRA DEFINIZIONE DICE CHE LA T DI TRANSIZIONE
E' QUELLA PER LA QUALE K SCENDE AL DI SOTTO
DI UN CERTO VALORE STABILITO DALLE NORME.

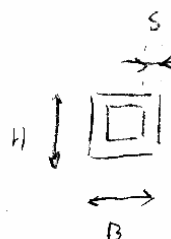
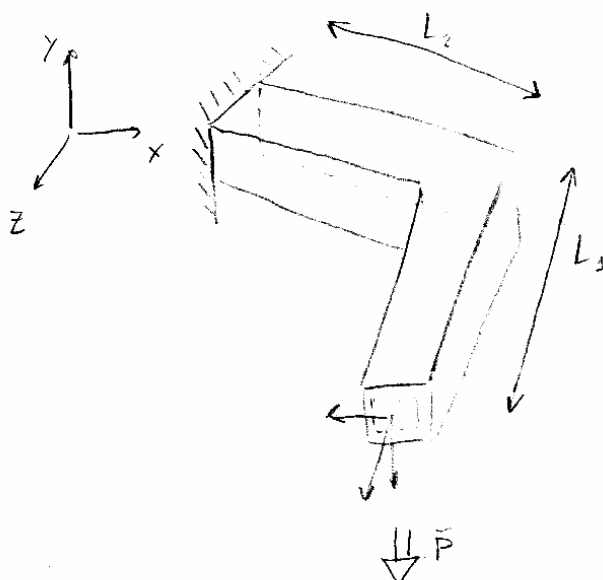
NDT (NULL DUCTILITY TEMPERATURE)

06/03/2007

①

ALBERTO GUGLIELMO

ESERCITAZIONE:



DATI:

$$L_1 = 150 \text{ mm}$$

$$B = 100 \text{ mm}$$

$$L_2 = 200 \text{ mm}$$

$$L = 300 \text{ mm}$$

$$S = 2 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$$

$$C_{SK} = 1,5$$

$$P = 2500 \text{ N}$$

IL VINCOLO (INGESTO) È SOLLECITATO DA:

UNA FORZA F_y

UN MOMENTO M_z

UN MOMENTO M_x

$$\left\{ \begin{array}{l} -P + R_y = 0 \\ PL_2 - M_x = 0 \\ PL_1 - M_z = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} P = R_y \\ M_x = PL_2 \\ M_z = PL_1 \end{array} \right.$$

T_y



M_x

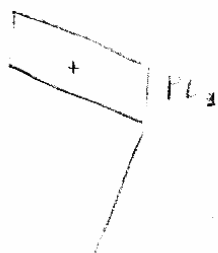
PL_2

(+)

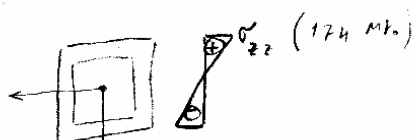
F_y

M_z

M_z



VERIFICA
SI PRENDONO IN CONSIDERAZIONE I PUNTI PIÙ SVANTAGGIATI (2)
IN QUESTO CASO L'INCASTRO;
LE CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE SONO:



$$\sigma_{zz} = \frac{M_x}{J_x} \cdot y - \frac{M_y}{J_y} \cdot x + \frac{N}{A}$$

$$J_x = \frac{1}{12} B H^3 - \frac{1}{12} ((B-s) \cdot (H-s)^3) = 3,22 \cdot 10^6 - 3,6 \cdot 10^6$$

SI USA X IL TAGLIO, LA FORMULA (APPROSSIMATA) DI JOURAULT:

$$\tau_{yz} = \frac{T_y \cdot S_x}{J_x \cdot B}$$

$$S_x = \iint_A x \cdot dA$$



$$\tau_{yz \max} = \frac{T_y \cdot S_x(0)}{J_x \cdot 2s}$$

$$S_G = B \frac{H}{2} \cdot \frac{H}{4} - (B-s) \left(\frac{H}{2} - s \right) \cdot \frac{(\frac{H}{2} - s)}{2}$$

MOMENTO TORCENTE $\Rightarrow$ TENSIONI TANGENZIALI $\Rightarrow$ FORMULA DI PREST.

DATI IL SISTEMA DI TENSIONI CHE SOLLECITANO LA TRAVE, CALCOLIAMO A QUESTO PUNTO L'EQUIVALENTE SECONDO TERESA OPPURE VON MISES.

$$\text{VON-MISES} \rightarrow \sigma_{\text{eq}} = \sqrt{3\tau^2 + \sigma^2} = 172 \text{ MPa}$$

Pina 08/03/2007

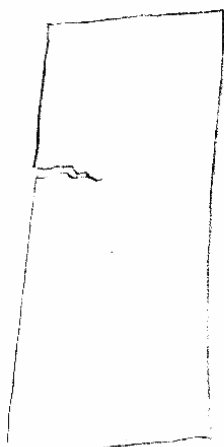
①

CORPI CON DIFETTI

SOLUZIONI DI CONTINUITA' SORTI DA PROCESSI DI LAVORAZIONE.

STORICAMENTE LO STUDIO E' INIZIATO CIRCA 60 ANNI FA, QUANDO IN SETTORE MILITARE - NAVALE VENNE INTRODOLTE SALDATURE IN LUOGO DELLE CHIODATURA. SI NOTARONO, A VOLTE, STRANI COMPORTAMENTI (LACERAZIONI DI SCIFI DURANTE ANCHE LA SEMPLICE SOSTA DELLE NAVI). NASCE UNA NUOVA BRANCA DENOMINATA MECCANICA DELLA FRATTURA.

QUESTA DISCIPLINA CHE, DATA UNA SOLUZIONE DI CONTINUITA', SI PROPONE DI RISPONDERE ALLE SEGUENTI DOMANDE:



1 - QUALE LIVELLO DI CARICO PUO' ESSERE TOLLERATO DALLA STRUTTURA CON FRATTURA?

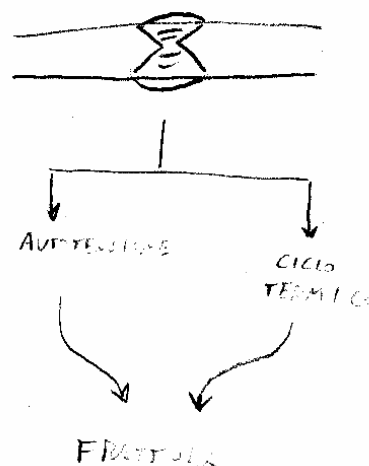
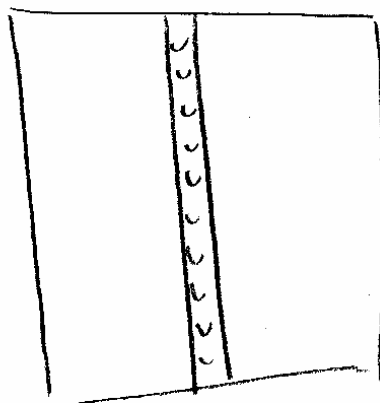
2 - DATA LA STRUTTURA ED IL LIVELLO DI CARICO, QUALE DIMENSIONE MASSIMA DELLA FRATTURA PUO' ESSERE TOLLERATA?

3 - QUANTI CICLI DI CARICO PUO' TOLLERARE UNA STRUTTURA CON FRATTURE?

LA SALDATURA PUO' PRODURRE FRATTURA NEI CORPI:

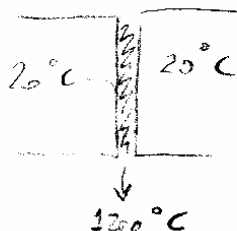
(2)

DARE DUE SEMILASTRE UNITE DA UNA SALDATURA:



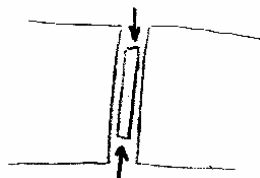
LE AUTOTENSIONI SONO ASSOCIATE AD UNA STRUTTURA IPERSTATICA:

- AL MOMENTO DELLA SALDATURA:



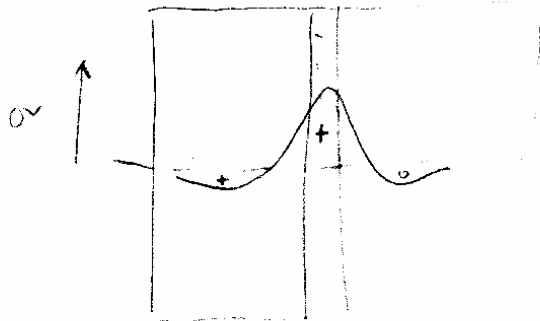
→ LASTRE E CORONE HANNO STESSA LUNGHEZZA.
MA IL CORONE, RAFFREDDANDOSI, TENDE AD ACCORCIARSI.

- RAFFREDDAMENTO:



→ CON UN COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA DI $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$, NELL'ESEMPIO RIPORTATO SI AVREBBE UNA ACCORCIAMENTO $\epsilon \approx 1,5 \cdot 10^{-2}$ SE I CORPI FOSSE LIBERI

MA IL CORDONE E' VINCOLATO ALLE LASTRE, (3)
CHE APPLICANO UNA FORZA DI ALLUNGAMENTO
 $\Rightarrow$ VI SARA' UNO STATO DI AUTOTENSIONE



LE TENSIONI POSSONO ANCHE RAGGIUNGERE IL VALORE σ_s .

PER QUANTO RIGUARDA IL RAFFREDDAMENTO RAPIDO,
ABBIAMO UNA TEMPERA DELLA ZONA DI SALTATURA
(E CONSEGUENTE INFRAGILIMENTO).

IL RISULTATO SONO, PERTANTO, UNA SERIE DI FRATTURE
DISPOSTE IN MODO VARIO E DI LUNGHERA DELL'ORDINE DEL
MILLIMETRO. IN SEGUITO DI ALCUNI EVENTI LA
FRATTURA PUO' ESPANDERSI E LO FA ALLA
VELOCITA' DEL SUONO.

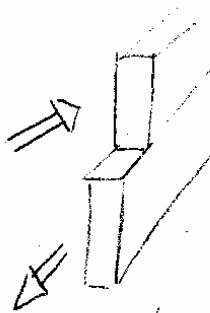
MODI DI FRATTURA:

(4)

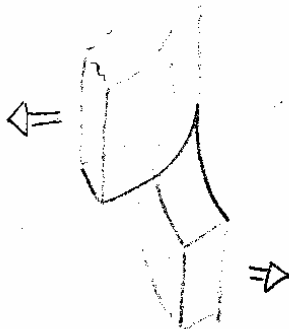
NOTIAMO CHE, IN CORRISPONDENZA A 3 DIVERSI MODI DI CARICO, POSSONO VERIFICARSI 3 TIPI DIVERSI DI FRATTURA:



MODO I: DI APERTURA
SI INDICA CON INDICE I (ROMANO)



MODO II: DI SCORRIMENTO
SI OTTiene LO SCORRIMENTO DELLE DUE
PARTI SI INDICA CON INDICE II

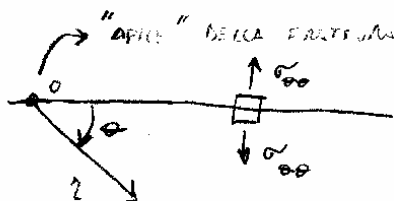


MODO III: DI LACERAZIONE

IL MODO PIU' "USATO" E PIU' FREQUENTE E'
IL MODO I

STUDIO NEI DINTORNI DELL'APICE DELLA FRATTURA:

5



DETTO APICE E' SEMPRE ASSUNTO COME ACUTO
(NON RACCORDATO). USIAMO UN SISTEMA DI RIFERIMENTO
POLARE.

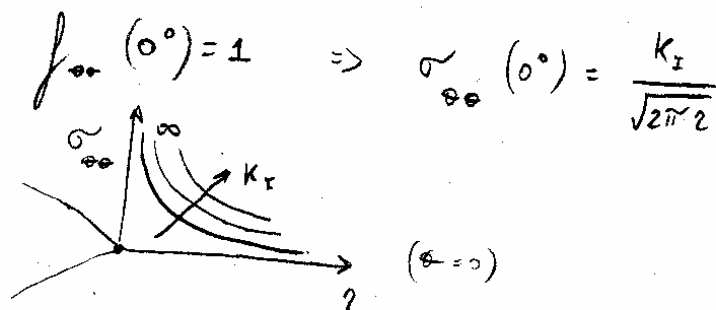
SI NOTA CHE LO STATO DI TENSIONE PUO' ESSERE CALCOLATO COME:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot f_{ij}(\theta)$$

K_I = FATTORE DI INTENSIFICAZIONE DELLE
TENSIONI (ASSOCIATO AL MODO I)

$f_{ij}(\theta)$ = OPPORTUNA FUNZIONE CHE
CAMBIA X LE VARIE COMPONENTI
DI TENSIONE i, j

NOTO CHE:



$$\Rightarrow \exists r : \sigma_{00} > \sigma^* \quad \forall \sigma^*$$

6

NELL'IPOTESI DI CORPO ELASTICO E LINEARE ABBIAMO UN CASO DI STUDIO

M.F.L.E. {
MECCANICA
FRATTURA
LINEARE
ELASTICA.

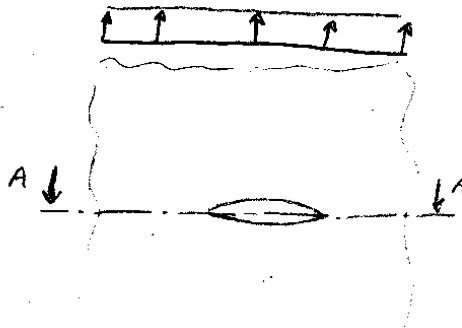
$\sigma_{\infty} \rightarrow \infty \Rightarrow$ NON POSSIAMO VERIFICARE NULLA, SECONDO CRITERI DEL TIPO

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{AMMISSIBILE}}$$

DOBBIAMO TROVARE UN ALTRO CRITERIO. CHI EDIAMOCI, INTANTO, QUANTO VALE K_I .

PROBLEMA DI GRIFFITH:

- IPOTESI: - LASTRA DI DIMENSIONI INFINITE;
- STATO DI TENSIONE UNIFORME A DISTANZA DAL DIFETTO;
- FRATTURA PASSANTE E RETTILINEA.

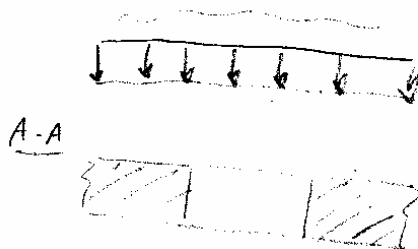


IN QUESTO CASO SI VERIFICA CHE:

$$K_I = \sigma_{\text{nom}} \sqrt{\pi a}$$

↓
DIMENSIONE DEL DIFETTO

↓
TENSIONE CHE AGIREBBE IN CORRISPONDENZA DELLA FRATTURA SE QUESTA NON CI FOSSE



$$[K_I] = \frac{[N]}{[m]^2} \cdot [m]^{\frac{1}{2}} = [P_n] \cdot [m]^{\frac{1}{2}}$$

ALLONTANANDOCI DAL CASO DEL PROBLEMA DI GRIFFITH, CAMBIA, (7)
OVVIAMENTE, ANCHE IL VALORE DI K_I . IN QUESTI
CASI SI ADOTTA UN OPPORTUNO FATTORE CORRETTIVO:

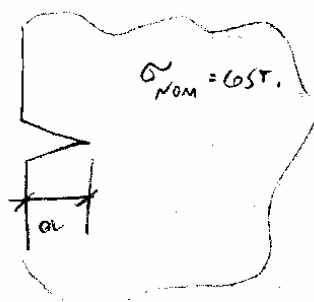
$$K_I = \beta \cdot \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

→ FATTORE CORRETTIVO CHE DIPENDE

- DALLA GEOMETRIA DEL CORPO
- DALL'ANDAMENTO DELLE TENSIONI
- POSIZIONE DELLA FRATTURA.

ESEMPIO:

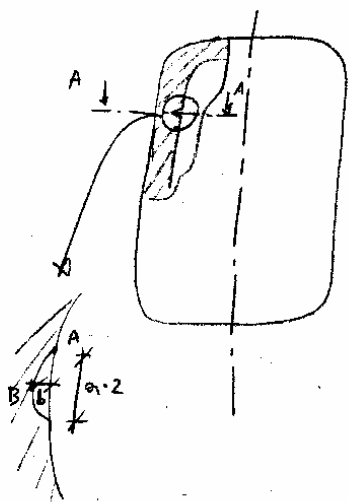
FRATTURA SUPERFICIALE IN LASTRO SEMI-INFINITO:



$$\Rightarrow \beta = 1,12$$

ESEMPIO: FRATTURA SEMIINFINITA:

TIPICO DI RECIPIENTI IN PRESSIONE



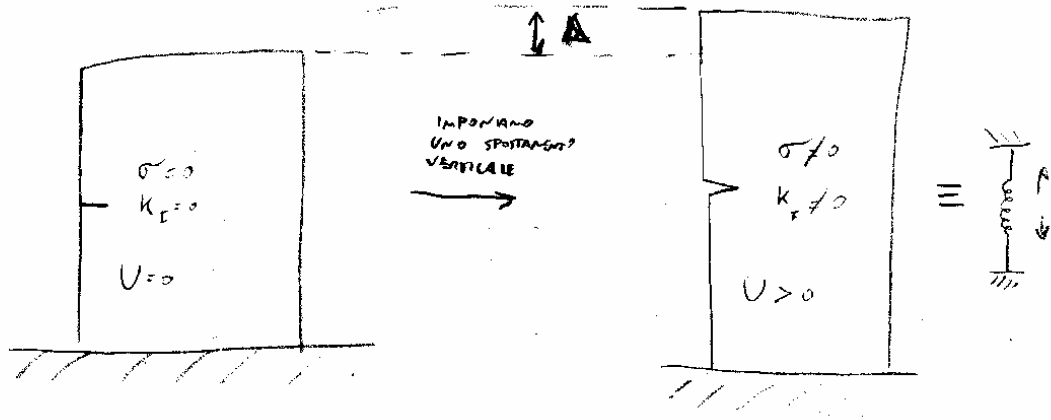
$$\Rightarrow K_{I A} = \beta_A \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

$$K_{I B} = \beta_B \sigma_{nom} \sqrt{\pi b}$$

CONDIZIONI DI PROPAGAZIONE DEL DIFETTO.

8

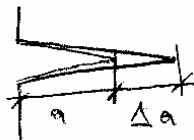
SIA DATO UN DIFETTO NON CARICATO E VINCOLATO AD UNO DEI ESTREMI:



IMMAGINIAMO DI AUMENTARE A PROGRESSIVAMENTE FINTANTO CHE IL DIFETTO SI PROPAGHI FINO A DIVIDERE IN DUE PARTI IL PEZZO INIZIALE.

I DUE TRONCONI OTTENUTI HANNO TENSIONI ED ENERGIA ELASTICA NULLE $\Rightarrow$ LA PROPAGAZIONE DEL DIFETTO LIBERA DELL'ENERGIA IMMAGAZZINATA NEL PEZZO.

CALCOLIAMO L'ENERGIA LIBERATA:



ENERGIA G_I LIBERATA PER UNITÀ DI SUPERFICIE DI FRATTURA CREATA.

$$G_I = \frac{G_{TOT}}{B \cdot \Delta a}$$

$$G_I = \frac{K_I^2}{E}$$

AVANZAMENTO FRATTURA $\Leftrightarrow G_I \geq G_{IC}$

G_{IC} = VALORE CRITICO

$G_I \geq G_{IC}$ OPPURE $K_I \geq K_{IC}$

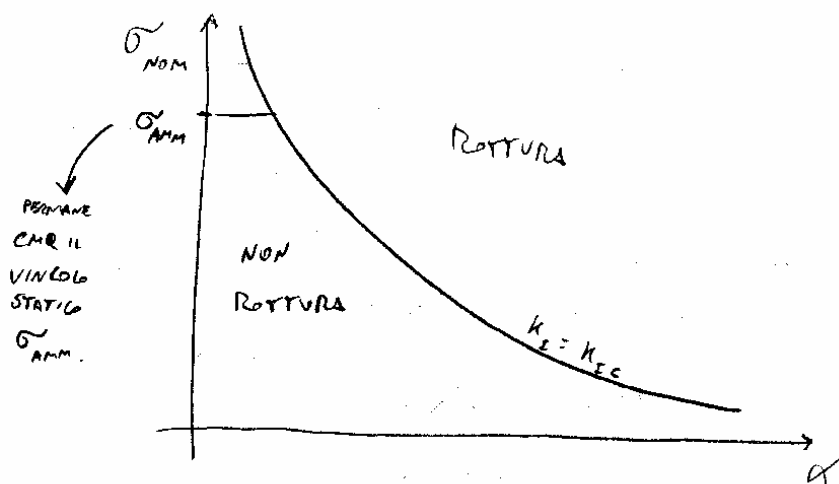
$\rightarrow$ TENACITA' (PROPRIETA' DEL MATERIALE)

⇒ CRITERIO DI FRATTURA FRAGILE:

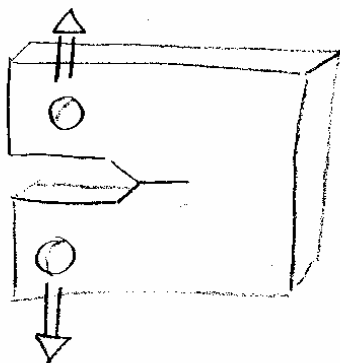
9

$$K_I < K_{IC}$$

LE COMBINAZIONI σ_{nom} E DIMENSIONI DEL DIFETTO CHE Danno LUOGO A $K_I = K_{IC}$, GIACCONO SU UN'IPERBOLE



CARATTERIZZAZIONE TENACITÀ



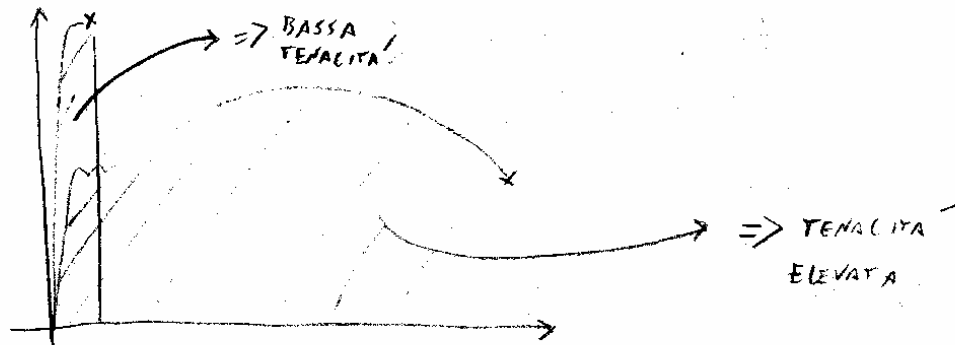
- VIENE PRELIMINARMENTE PRODOTTA UNA FRATTURA DI LUNGHEZZA PREFISSATA
- SUCCESSIVAMENTE SI APPLICA UN CARICO CHE PRODUCE UNA PROPAGAZIONE INSTABILE DELLA ROTTURA.

$$P_R \rightarrow \sigma_{nom R}$$

$$\Rightarrow K_{IR} = K_{IC}$$

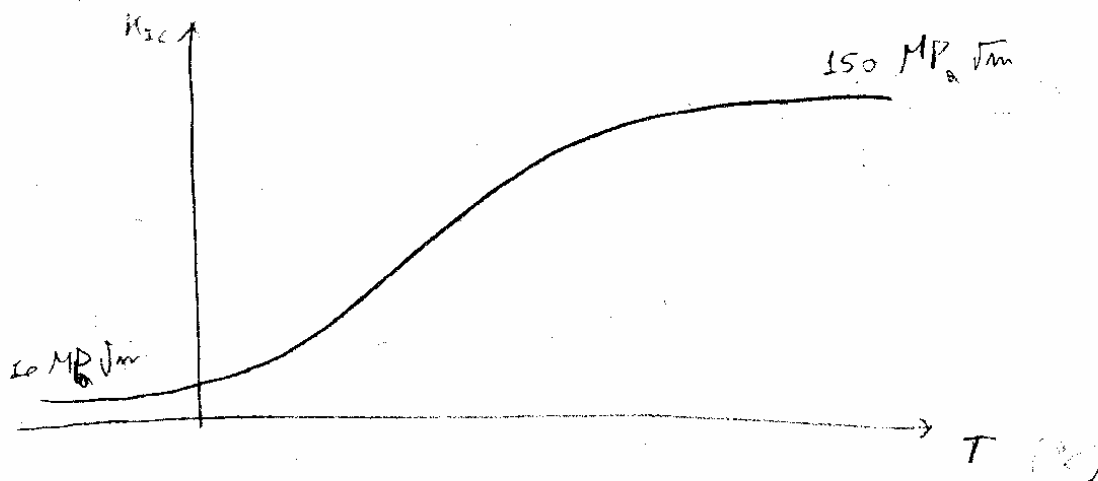
↳ DIPENDE DA:
- MATERIALE
- TEMPERATURA

CI CHIEDIAMO SE ESISTE UNA CORRELAZIONE TRA TENACITA' (10)
E LE ALTRE PROVE MECCANICHE. SI INTUISCE CHE, MAGGIORE
E' L'ENERGIA DI ROTTURA, MAGGIORE E' LA TENACITA'.



NON ESISTE UNA CORRELAZIONE ANALITICA, MA POSSIAMO COMUNQUE
CONGETTURARCI SOPRA UNA CORRELAZIONE QUALITATIVA.

CURVA TIPICA IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

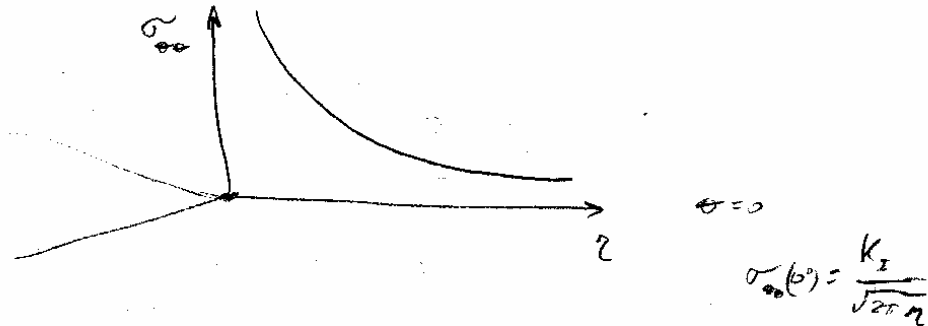


DEL TUTTO ANALOGA AD UN'ALTRA CURVA GIÀ VISTA
IN PRECEDENZA, A DIFFERENZA DELLA RESILIENZA, CHE
HA VALORI MOLTO DIPENDENTE DALLE CONDIZIONI DI PROVA
(ergo: HA UTILITÀ COMPARATIVA), LA TENACITA' E' UNA
PROPRIETA' DEL MATERIALE.

LIMITI DI APPLICAZIONE DEI CRITERI TESTE VALUTATI.

(11)

ABBIAMO VISTO CHE LA VERIFICA A TENACITÀ È INFIACCIATA DA IPOTESI PRELIMINARI.

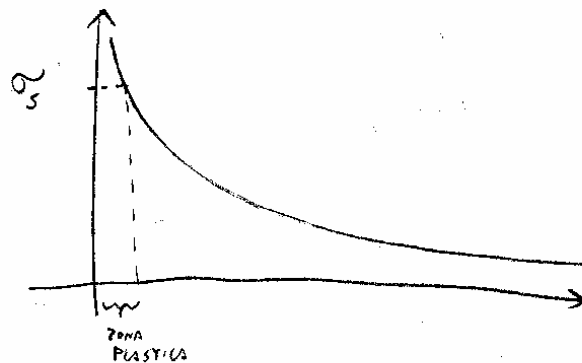


PRIMA DELLA ROTTURA, PER UN MATERIALE DUTTILE, VI SARÀ UNA ZONA DI DEFORMAZIONE PLASTICA. TUTTAVIA POSSIAMO TRASCURARE QUESTO COMPORTAMENTO SE LA ZONA DI D.N.E PLASTICA È "PICCOLA".

STIMA DELLA ZONA PLASTICA:

CI PONIAMO AD UNA DISTANZA z TALE CHE

$$\sigma_{\infty} = \sigma_s$$

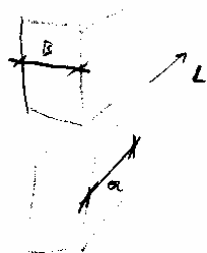


$$\sigma_s = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi z}} \Rightarrow z_P = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{K_I}{\sigma_s} \right)^2$$

LA ZONA PLASTICA, APPENA CALCOLATA, È PICCOLA SE:

(12)

CONSIDERATO UN PEZZO FESSURATO CLASSICO,



CONFRONTIAMO LA ZONA PLASTICA CON TUTTE LE
GRANDEZZE DEL DIFETTO:

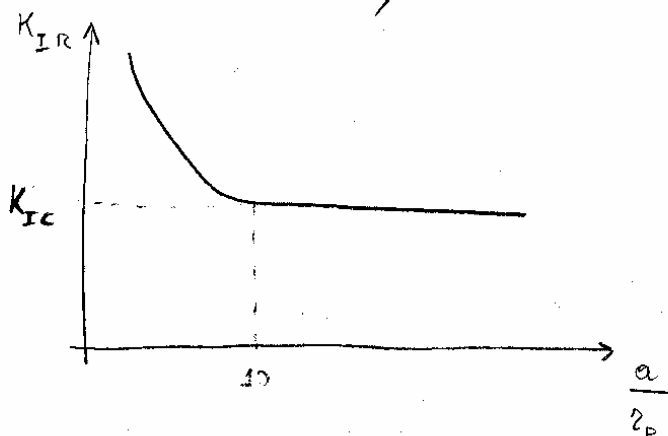
$$r_p \ll a$$

$$r_p \ll B$$

$$r_p \ll L$$

DOVE L = LIGAMENTO (MATERIALE
RESIDUO NON ANCORA
ROTTO)

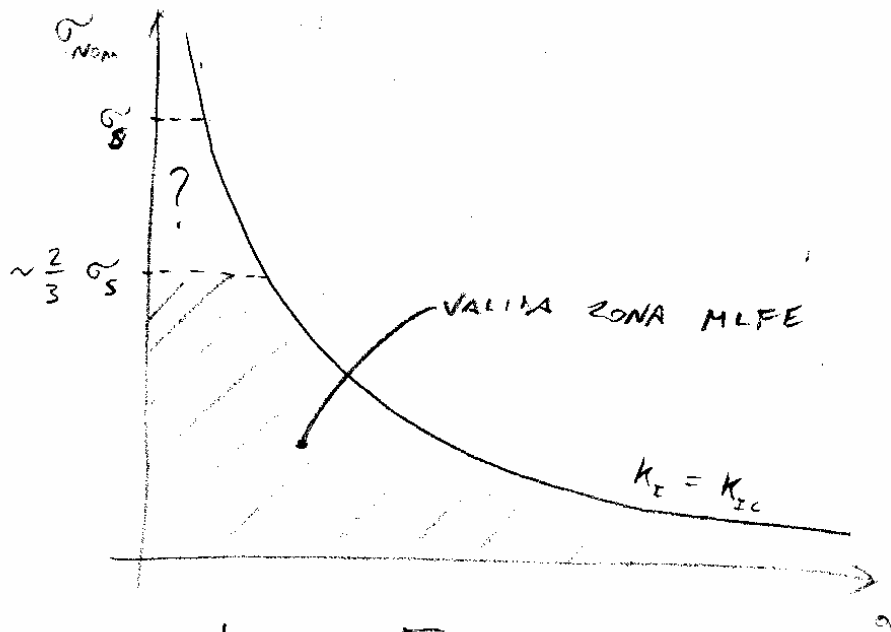
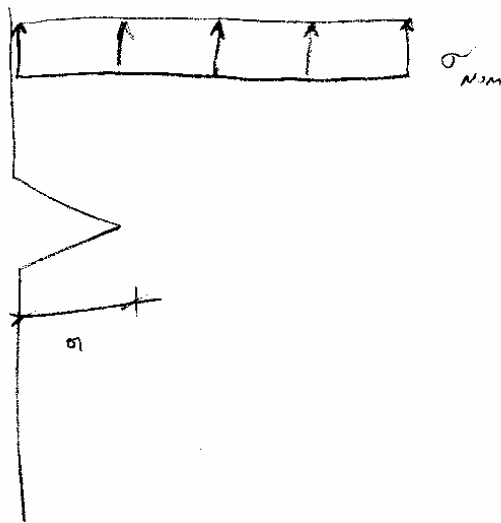
SE QUESTI CRITERI NON SONO VERIFICATI
(SIAMO FUORI DA MFLE)



K_{IC} NON DIPENDE DALLE CONDIZIONI DI PROVA (CAUTELATIVI
IN GENERALE)

QUALI ZONE DEL PIANO $\sigma_{nom} - a$ RISPETTANO L' MFLE ?

(13)



$$K_I = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

$$K_P = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_{nom}^2 \pi \cdot a}{\sigma_s^2}$$

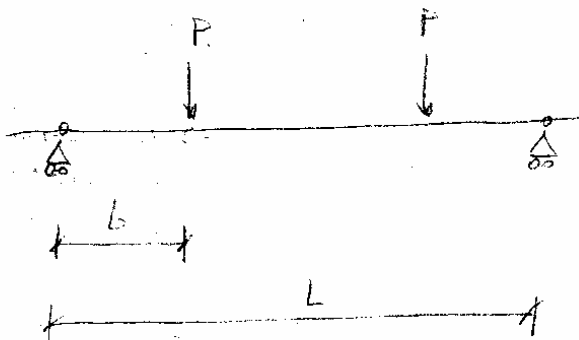
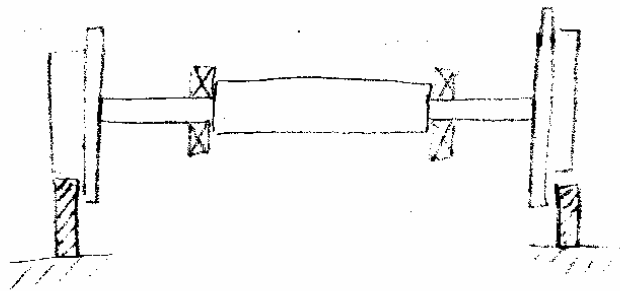
$$\frac{K_P}{a} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{nom}}{\sigma_s} \right)^2 \leq 0,1$$

Pisa, 13/03/2007

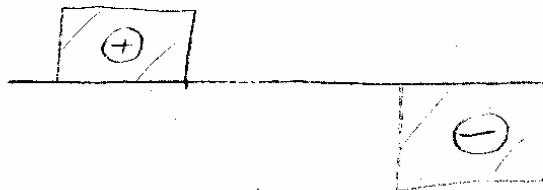
①

ROTTURA SOTTO CARICHI CICLICI ("FATICA")

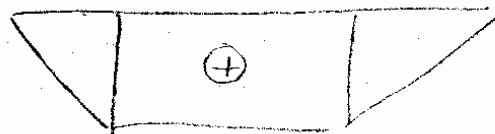
QUESTO APPROCCIO DI STUDIO È NATO NELL'800
IN AMBITO FERROVIARIO (ASSI DI CARROZZE FERROVIARE), PER
CARICHI SENSIBILMENTE INFERIORI A QUELLI DI ROTTURA.



TAGLIO



MOMENTO
FLETTENTE

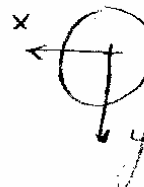
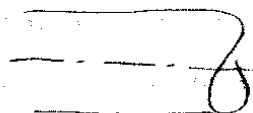


LO STATO DI TENSIONE È DATO DA:

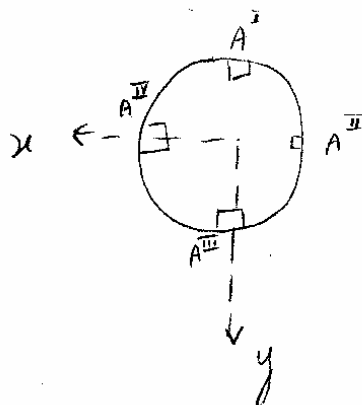
(2)

FORMULA DI NAVIER:

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y$$



TENENDO CONTO CHE L'ASSE DELLE RUOTE GIRA:



IL PUNTO "A" OCCUPA LE POSIZIONI:

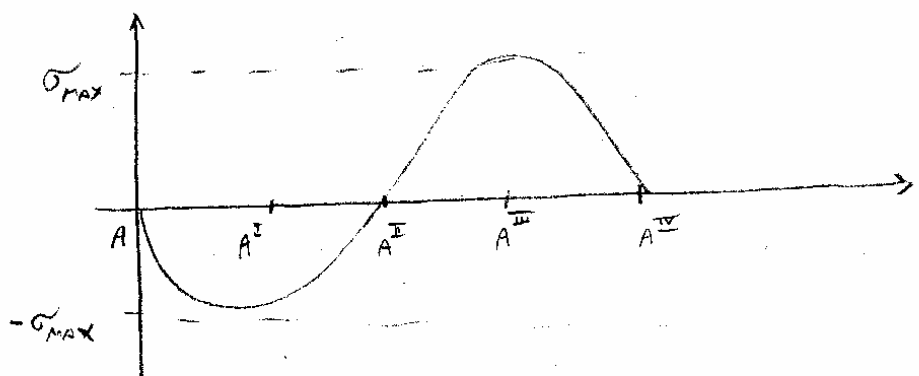
A^I

A^{II}

A^{III}

A^{IV}

⇒ IL VOLUME ASSOCIATO AL PUNTO VEDE VARIARE IL SUO STATO DI TENSIONE



IN QUESTE CONDIZIONI SI PUÒ AVERE ROTTURA PER TENSIONI MASSIME DI MOLTO INFERIORI ALLE TENSIONI DI ROTTURA "STATICA"

$$\sigma_{\max} \ll \sigma_R, \sigma_S$$

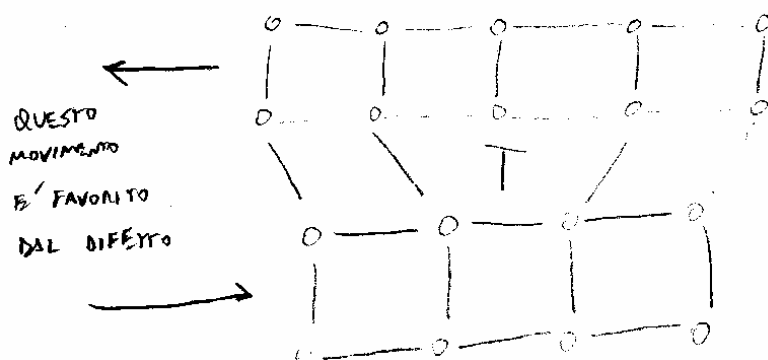
MECCANISMI DI ROTTURA A FATICA.

③

IL MATERIALE REALE PRESENTA UNA STRUTTURA NON OMogenea
(A GRANI) $\Rightarrow$ TANTE STRUTTURE CRISTALLINE LEGATE TRA LORO.

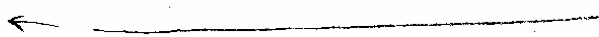


INOLTRE, IN GENERALE, I MATERIALI PRESENTANO DEI
DIFETTI NEL RETICOLO (DISLOCAZIONI)



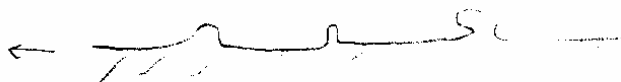
ANALOGIA:

- TAPPETO STIRATO SUL PAVIMENTO:



L'ATTRITO
IMPEDISCE LO
SCORRIAMENTO

- TAPPETO CON PIEGHE



E' PIU' FACILE
STIRARLO FINANTICHÉ
TUTTE LE PIEGHE
NON SI SONO
APPPIATTITE

LE DISLOCAZIONI COMPORTANO LA PRESENZA, NEL PEZZO, (4)
DI ZONE A DEFORMABILITÀ PIÙ FACILE

ANCHE SE IL PEZZO È MACROSCOPICAMENTE IN CAMPO
ELASTICO, SONO POSSIBILI DEI PICCOLI SCORRIMENTI
PLASTICI LOCALI.

IMMAGINANDO LA SUPERFIE DI UN PEZZO MOLTO INGRANBITA

NO CARICHI



CARICO
CHE PROVOCA
LIEVE
SCORRIMENTO



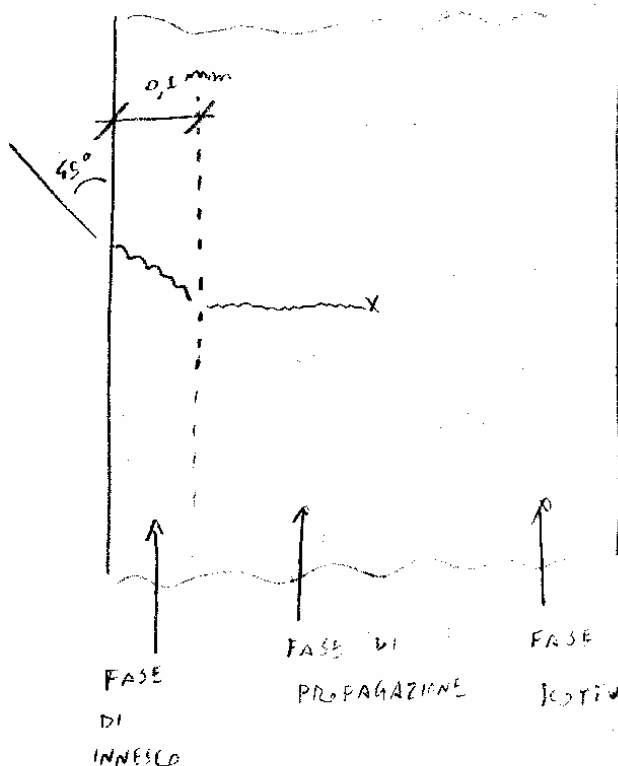
INVERTENDO
IL CARICO
È DIFFICILE
CHE SI Torni
ALLA POSIZIONE
INIZIALE.
È PIÙ PROBABILE
CHE SI CREI
UN ALTRO SCORRIMENTO

DOPO MOLTI
CICLI

SI
GENERA
UN
TAGLIETTO,
OVVERO
UN
INIZIO
DI
ROTTURA
("INNESCO
DI
ROTTURA")

IN SCALA MACROSCOPICA, DOPO MOLTI CICLI, ABBIAMO

(5)

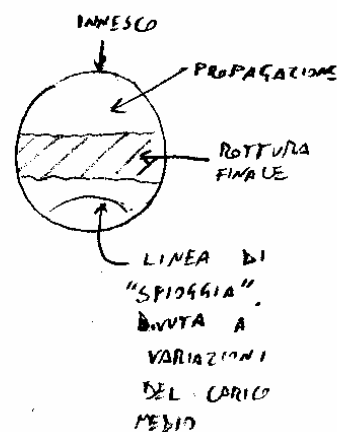
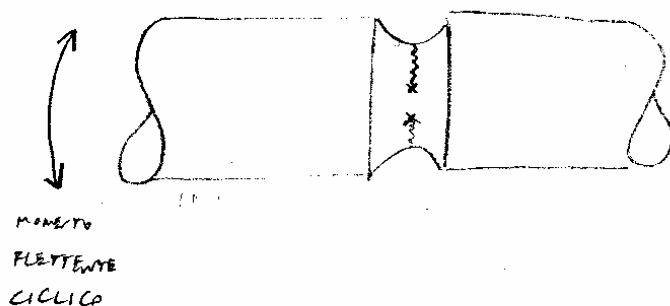


L'INNESCO DI ROTTURA SI DISPONE, INIZIALMENTE, A 45°.

PROLUNGANDOSI OLTRE 0,1 mm, SI DISPONE IN ORIZZONTALE

I PEZZI ROTTI A SEGUITO DI FATICA, HANNO COME CONNOTATO SALIENTE CHE LE SUPERFICI DI ROTTURA SONO LISCE (A CAUSA DELLA CONTINUA DATTIVITA)

ESEMPIO:



L'IMPORTANZA DELLE DUE FASI, (INNESCO E PROPAGAZIONE) (6)
NELLA VITA DEL PEZZO, PUO' ESSERE DIVERSA E DIPENDE
PRINCIPALMENTE DA 3 FATTORI:

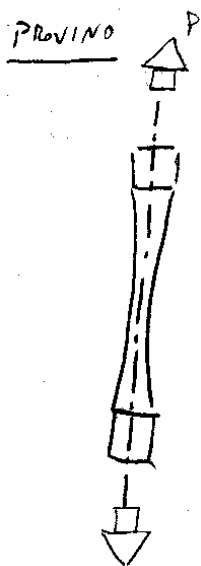
- DIMENSIONI DEL PEZZO
- LIVELLO DI TENSIONE
- TIPO DI LAVORAZIONE

	FASE DI INNESCO PREVALENTE	FASE DI PROPAGAZIONE PREVALENTE
DIMENSIONI DEL PEZZO	PICCOLE DIMENSIONI	GRAN DIMENSIONE
LIVELLO DI TENSIONE	ELEVATI	BASSE
TIPO DI LAVORAZIONE	ACCURATE	GROSSOLANE

PROCEDURE DI ANALISI DIVERSE

INNESCO

PROPAGAZIONE

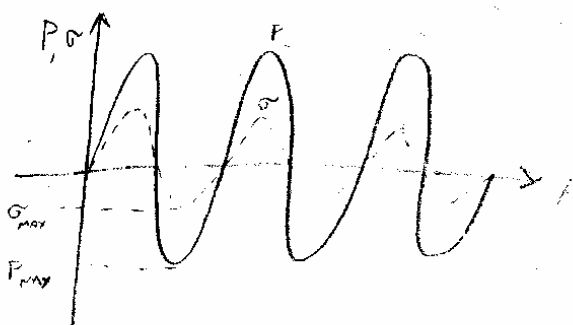


7

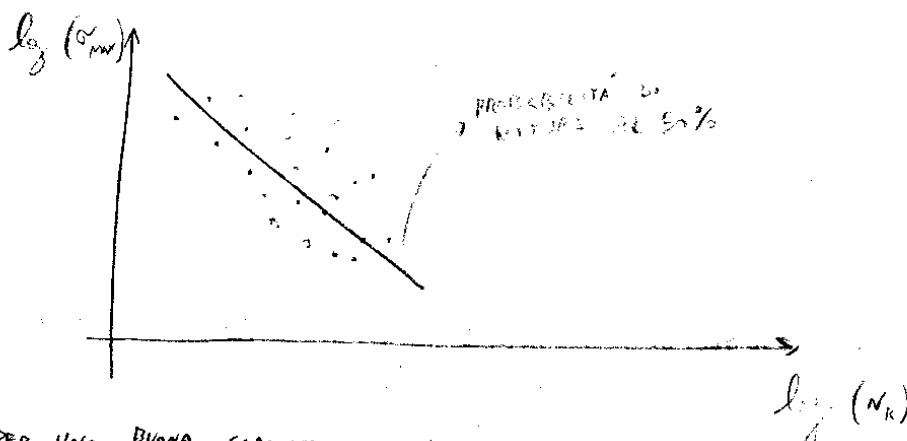
VERIFICA DELL'INNESEO.

È UNA PROVA DIFFICILE DA CONDURRE (0,1 mm)

VOGLIAMO CHE L'INNESEO E LA ROTTURA COINCIDANO $\Rightarrow$ IL PROVINO È PICCOLO, HA SUPERFICI QUASI SPECULARI E IL LIVELLO DI TENSIONE DELLA PROVA È ELEVATO



SI CONTANO IL NUMERO DI RIPETIZIONI CHE PORTANO A ROTTURA. PER CIASCUN PROVINO SI FISSANO P_{max} E SI APPLICA IL CARICO IN MODO CICLICO. PIÙ PROVINI SERVONO PER CONDURRE LA PROVA (PER UNA CARATTERIZZAZIONE AFFIDABILE CI VOGLIONO 20 ÷ 30 PROVINI)



PER UNA BUONA CARATTERIZZAZIONE SI TIENE CONTO DI ALCUNI PARAMETRI DI INFLUENZA:

PARAMETRI DI INFLUENZA:

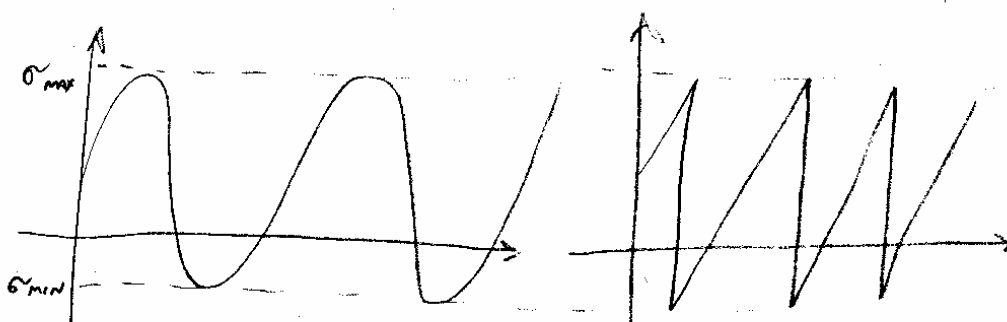
(8)

QUALI CARATTERISTICHE DEL CICLO DI FATICA
INFLUENZANO IL COMPORTAMENTO DEL MATERIALE?

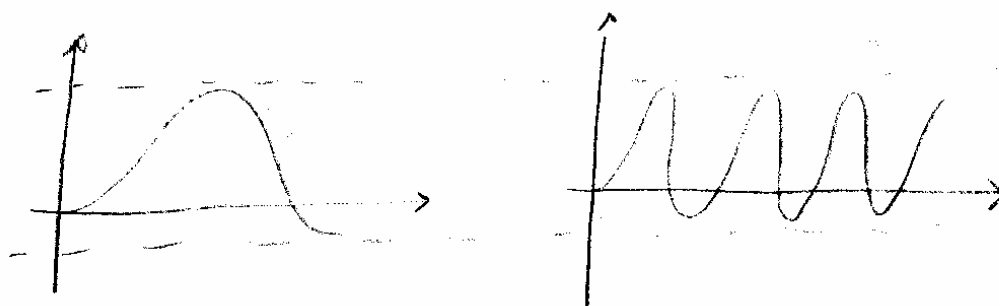
SONO SOLTANTO 2:

- σ_{MAX}

- σ_{MIN}



I DUE SUDDISGNATI CICLI PRODUCONO LO STESSO
NUMERO DI CICLI A ROTTURA $\Rightarrow$ LA FORMA DEL
CICLO NON HA EFFETTO



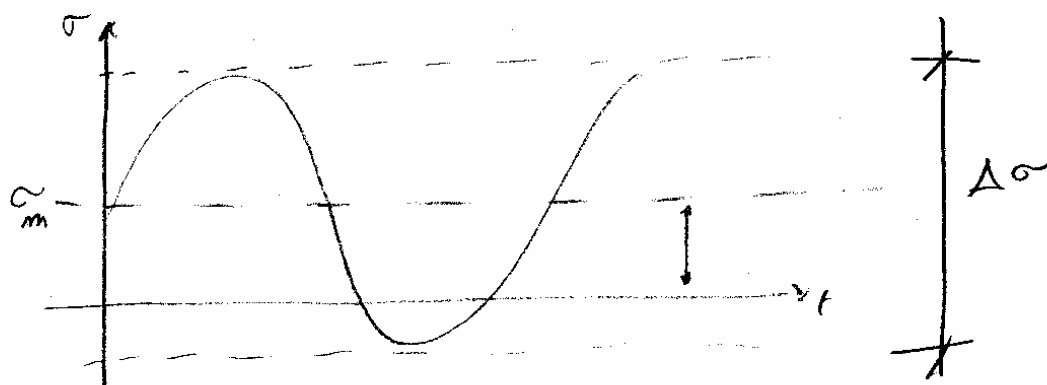
NEANCHE LA FREQUENZA INFLUENZA IL NUMERO DI CICLI
(ENTRO AMPI INTERVALLI), I.D. : NON E' SEMPRE VERO.

QUANTO DETTO NELLE ULTIME PAGINE E' VERO SOLO SE
LA FASE PREVALENTE E' QUELLA DI INNESCO.

ESSENDO I PARAMETRI $\sigma_{\max}$ E $\sigma_{\min}$ NON ~~SONO~~ UTILI AI FINI PRATICI, CONSIDERIAMO ALTRI DUE PARAMETRI, DA QUESTI DIPENDENTI: ⑨

$$\rightarrow \Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad \text{OPPURE} \quad \sigma_A = \frac{\Delta\sigma}{2}$$

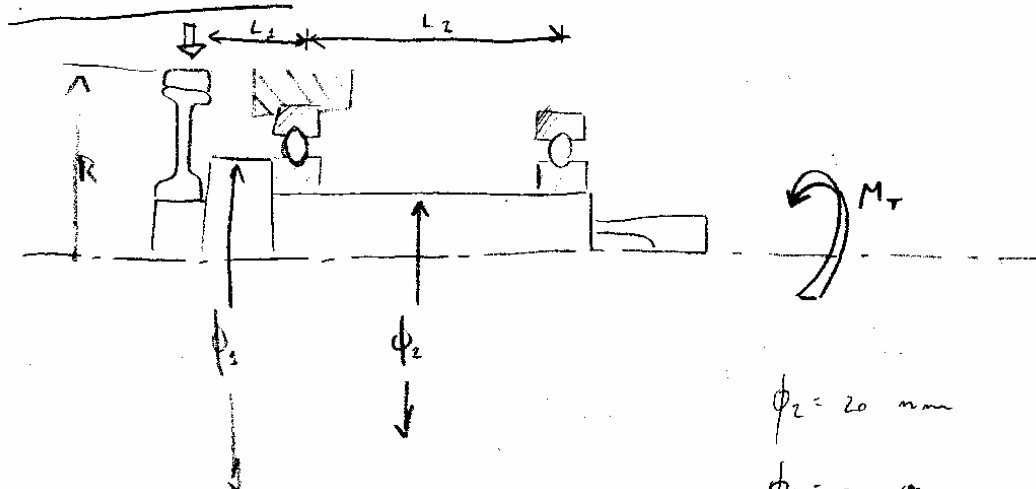
$$\rightarrow \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$



Pisa, 15/03/2007

①

Esercitazione



$$\phi_2 = 20 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 30 \text{ mm}$$

$$R = 20 \text{ mm}$$

$$L_1 = 50 \text{ mm}$$

$$L_2 = 250 \text{ mm}$$

Angolo di
scambio forze
tra ruote
dentate $\alpha = 20^\circ$

$$W = 1000 \text{ W}$$

$$n = 1200 \text{ giri/min}$$

$$\sigma_s = 700 \text{ MPa}$$

$$C = 7958 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\Rightarrow \text{Forza tangenziale sulla ruota dentata} = 398 \text{ N}$$

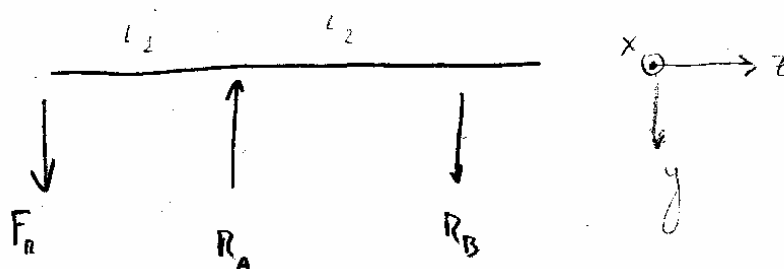
$$\alpha = 20^\circ \Rightarrow \text{Forza ortogonale} = 145 \text{ N}$$

$$\text{La forza risultante } E' = 424 \text{ N}$$



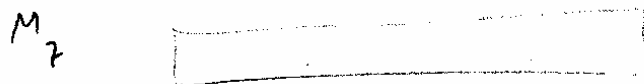
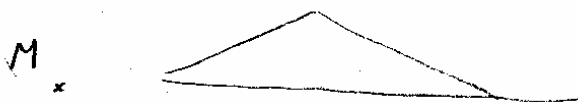
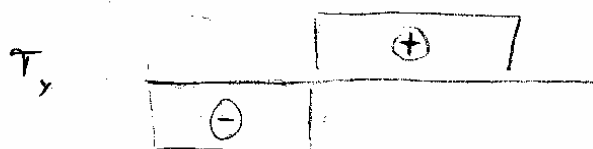
②

La simmetria circolare ci permette di considerare il sistema di riferimento.



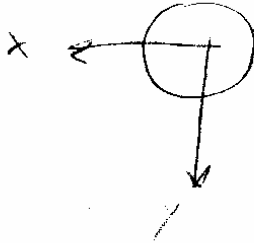
$$\begin{cases} F_R + R_B = R_A \\ F_R \cdot L_1 = R_B \cdot L_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_A = F_R + R_B \\ R_B = \frac{L_1}{L_2} F_R \end{cases} \begin{cases} R_A = 509 \text{ N} \\ R_B = 85 \text{ N} \end{cases}$$

SOLLECITAZIONI:



VERIFICA DELLA TRAVE

(3)



$$J_{xx} = \frac{\pi d^4}{64} = 7856 \text{ mm}^4$$

$$J_{xy} =$$

$$\sigma_z = \frac{M_x}{J_{xx}} y - \frac{M_{xy}}{J_{yy}} x + \frac{N}{A}$$

$$\tau_{\theta z} = \frac{M_r}{J_0} R =$$

$$\sigma_z = \frac{F L_z}{J_{xx}} y = 27 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz} = \frac{T y \cdot S_x}{J_x \cdot b}$$

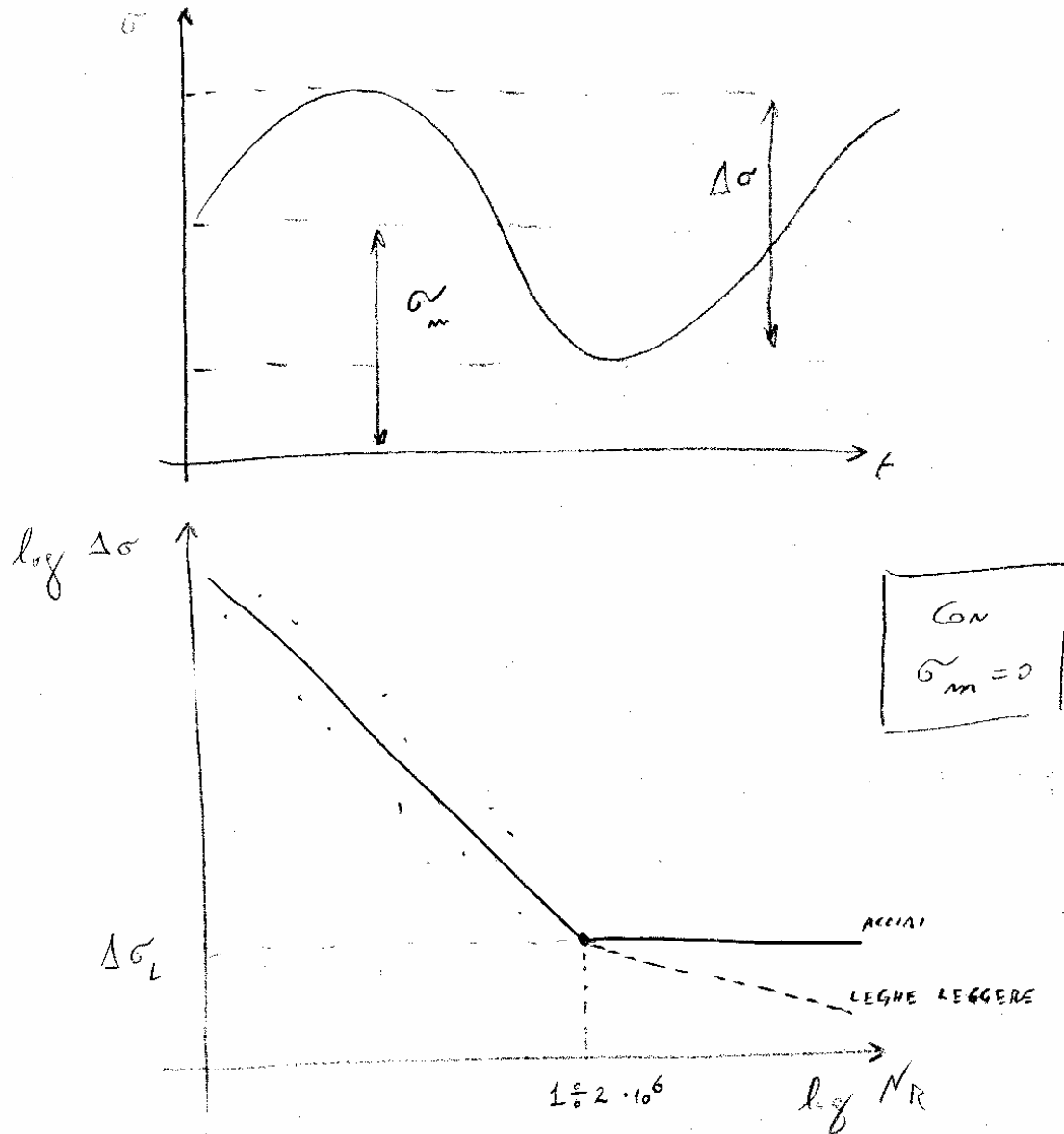
↓
L'area è la
area sopra

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3 \tau_{\theta z}^2} = 205 \text{ MPa}$$

Pisa 20/03/2007

①

... ROTTURA A FATICA:

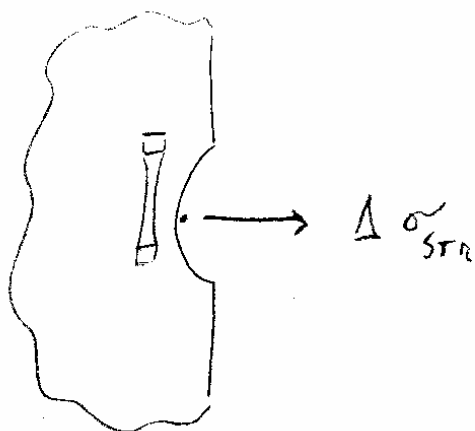


Le prove sono condotte a $\sigma_m = 0$ (VALOR MEDIO NULL) . . . PER GLI ACCIAI LA CURVA PRESENTA UN ASINTOTO ORIZZONTALE IN CORRISPONDENZA DEL "LIMITE DI FATICA $\Delta\sigma_L$)

(2)



DATA UNA STRUTTURA:

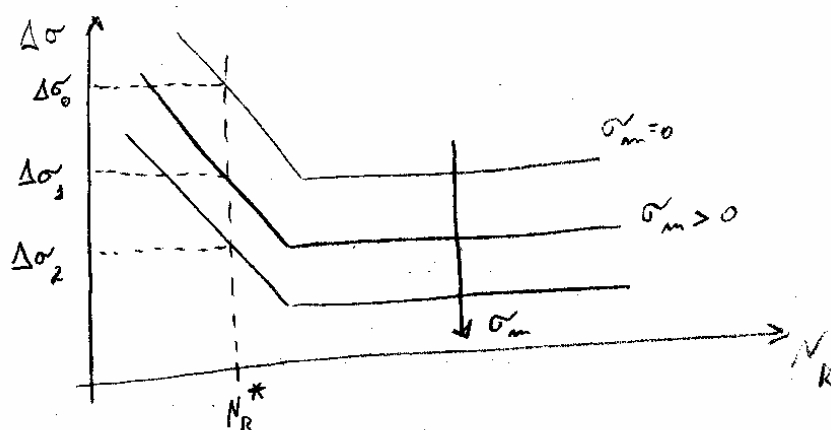


CONSIDERATO UN PUNTO ED UN $\Delta\sigma_{STR}$, IMMAGINIAMO DI TROVARCI DIAVANTI A UN PROVINO.

CIO' NON È VERO A PRIORI: IL COMPORTAMENTO DI UNA STRUTTURA È, IN GENERALE, DIVERSO DA QUELLO DI UN PROVINO E DOBBIAMO TENER CONTO DI OPPORTUNI COEFFICIENTI CORRETTIVI.

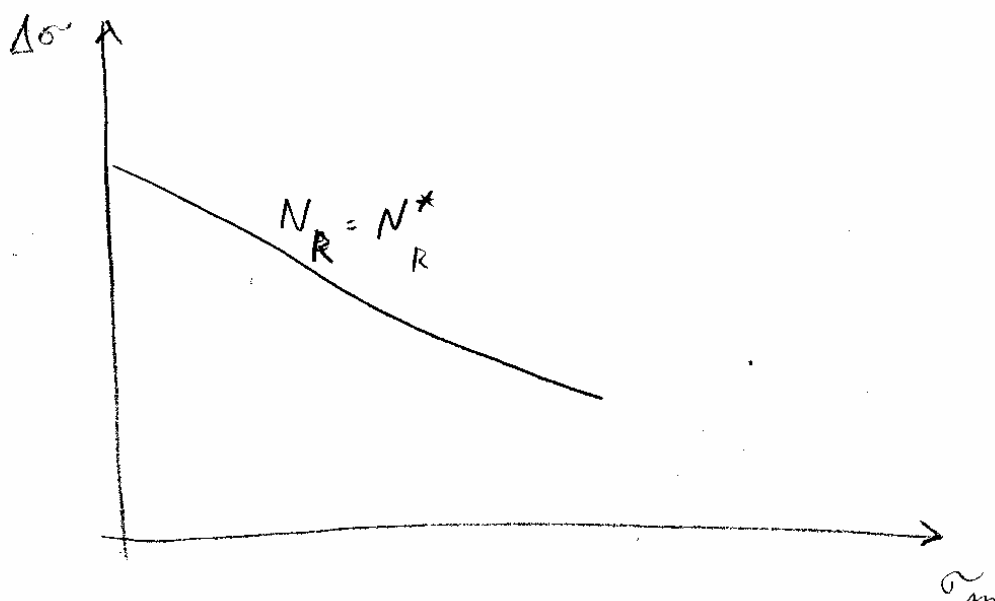
EFFETTO DI σ_m (TENSIONE MEDIA)

SI OSSERVA CHE, CONDUCENDO DIVERSE PROVE, AL VARIARE DI σ_m SI OTTIENE:

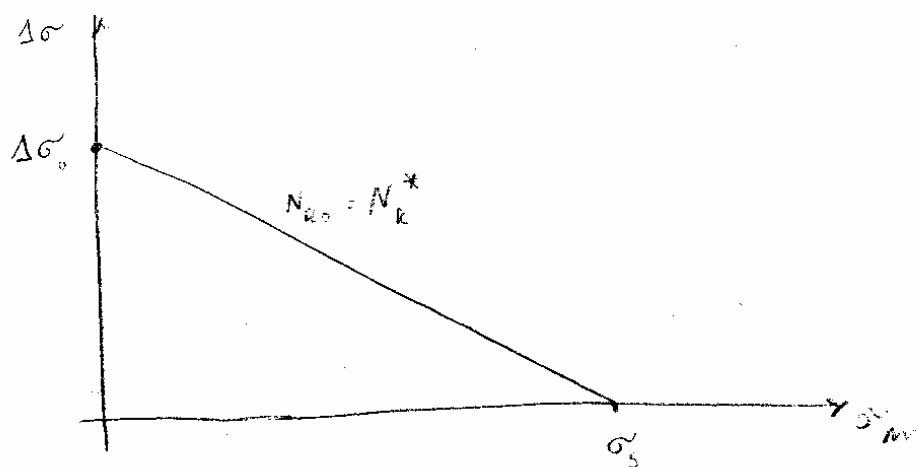


POSSIAMO COSTRUIRE UN'ALTRA CURVA:

(3)



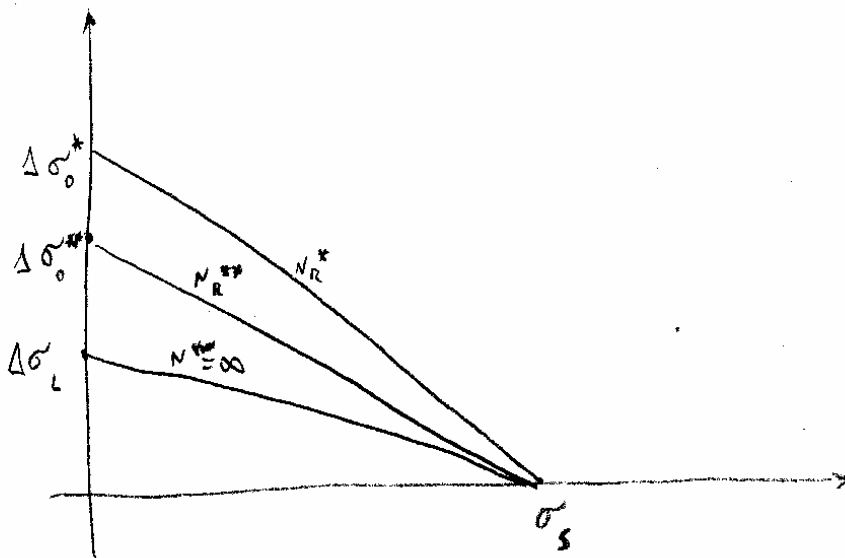
ESISTONO DIVERSI MODELLI PER DETERMINARE QUESTO COMPORTAMENTO. UNO TRA I PIÙ SEMPLICI È IL METODO DI SODERBERG:



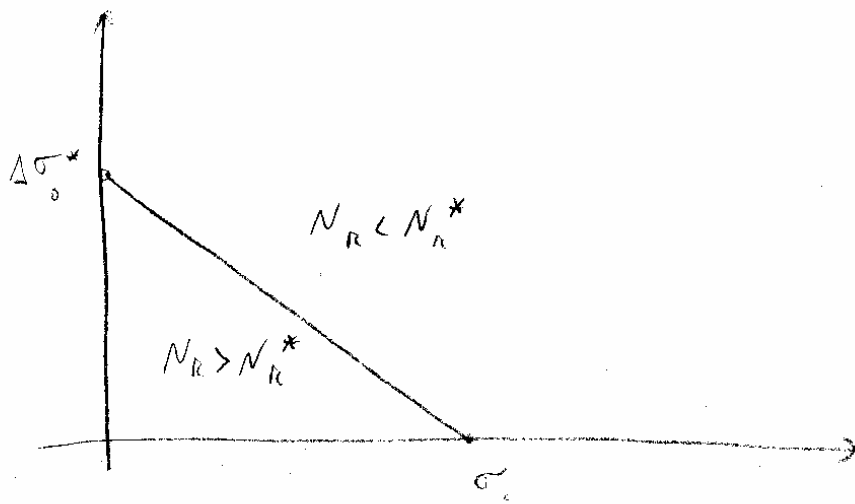
QUESTO METODO È SEMPLICE; CONSERVATIVO E NON RICHIEDE MOLTI DATI.

AL VARIARE DI N_R^* SI OTTENGONO PIÙ CURVE:

4

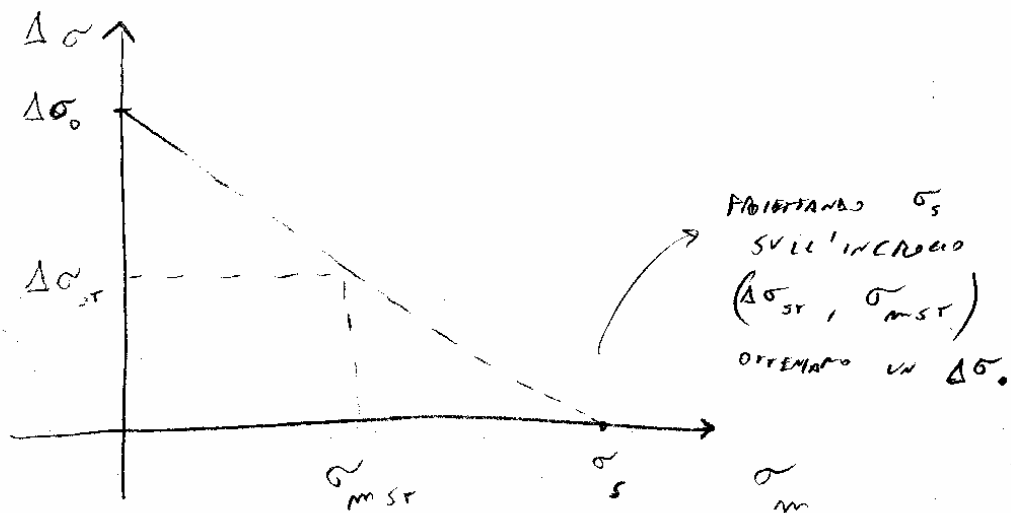
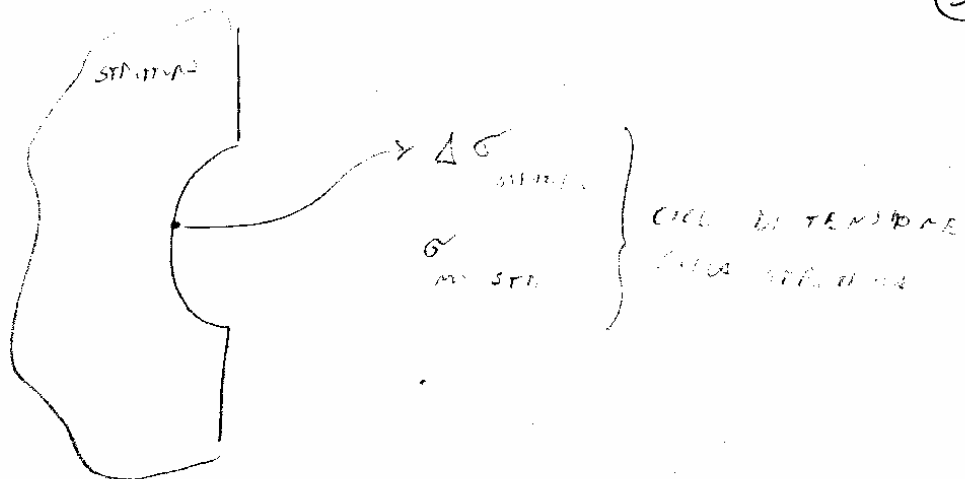


CIASCUNA DELLE SUSCRITTE CURVE DIVIDE IL PIANO IN DUE PARTI. FISSATO UN CERTO $\Delta\sigma^*$, TUTTI I PUNTI CHE STANNO SOTTO LA CURVA, HA UNA VITA INFERIORE DI N^* CICLI E VICEVERSA.



CON RIFERIMENTO ALLA STRUTTURA VERO, ABBIAMO UNA STORIA DI CARICO CHE DETERMINA:

5



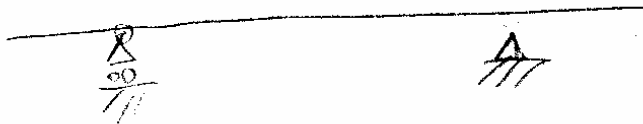
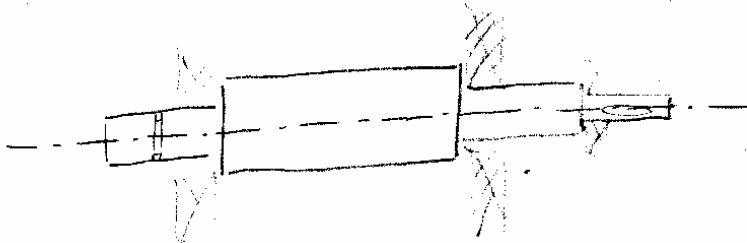
$\Delta\sigma_0$ ottenuto è l'equivalente per $\sigma_{m \text{ STP}} = 0$
 $\Rightarrow$ Lo confrontiamo con le curve di durata
 A FATICA $\Rightarrow$

$$\Delta\sigma_{eq} = \Delta\sigma_{ST} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_s - \sigma_{m \text{ STP}}}$$

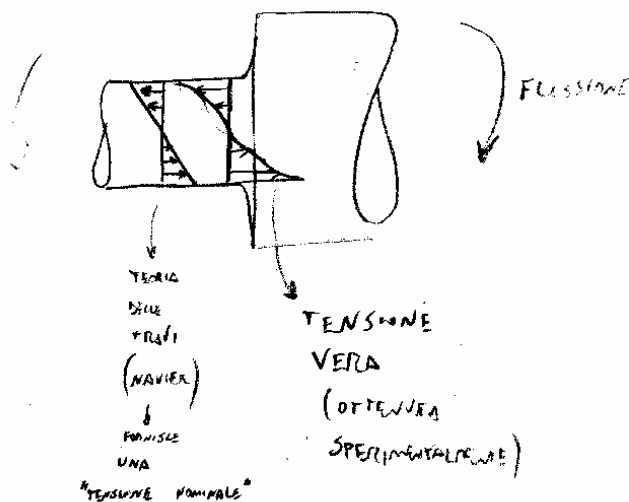
"EFFETTO DI INTAGLIO":

(6)

UN OGGETTO PRESENTA SOVENTE BRUSCHE
VARIAZIONI DI SEZIONE,



Lo stato di tensione non corrisponde a
quello calcolato con i metodi che si applicano
alle ipotesi di SAINT-VEENANT (STUDIO MONODIMENSIONALE)



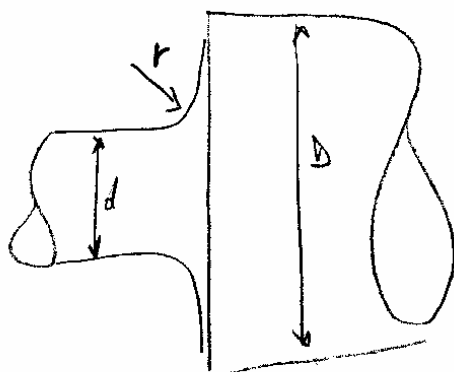
PER UN APPROCCIO ANALITICO,
DEFINIAMO UN K_T
(RATTORE DI FORMA), CHE RAPPRESENTA
PER IL VALORE MASSIMO DELLA
TENSIONE VERA E IL VALORE
MASSIMO DELLA TENSIONE
NOMINALE:

$$K_T = \frac{\sigma_{VERA, MAX}}{\sigma_{NOM, MAX}}$$

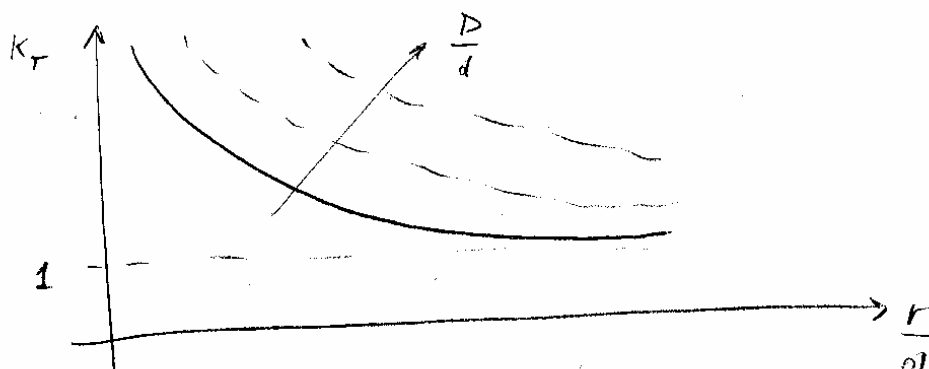
SI TROVANO I K_T
TABELLATI

IL FATTORE DI FORMA DIPENDE DAI SEGUENTI PARAMETRI GEOMETRICI:

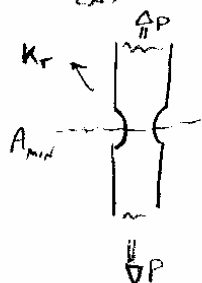
(7)



LA DIPENDENZA NON È LEGATA AI VALORI ASSOLUTI DI r , D , d , MA DAI LORO RAPPORTI:



PER MATERIALI MOLTO DUTTILI IL FENOMENO È ABBASTANZA IRILEVANTE. COME CASO SI CONSIDERA: LASTICA CON INTAGLIO SOTTO CARICO STATICO.



DOMANDA: QUAL'È IL "P" CHE PRODUCE LA ROTTURA STATICA?



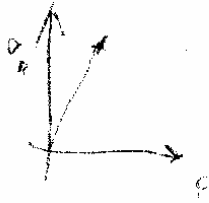
$$\Rightarrow \sigma_N = \frac{P}{A_{\min}} \quad (\text{TENSIONE NOMINALE})$$



$$\Rightarrow \sigma_{\text{VERA}}$$

(8)

SI DEVE DISTINGUERE, A TAL RIGUARDO, TRA MATERIALI PERFETTAMENTE FRAGILI E MATERIALI ELASTICI.



CONDIZIONE DI ROTTURA

$$\sigma_{VER, MAX} = \sigma_R$$

$$K_T \cdot \sigma_{NOM, R} = \sigma_R$$

$$P_R = \frac{\sigma_R \cdot A_{MIN}}{K_T}$$

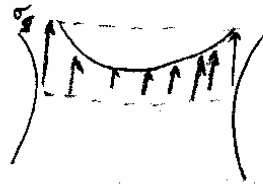
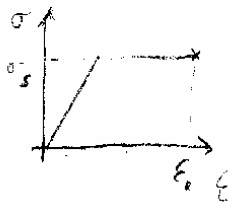
SE LA LASTRA NON FOSSE STATA INTAGLIATA:



$$\sigma_{NOM, R} = F/A$$

$$P_R = \sigma_R \cdot A_{MIN}$$

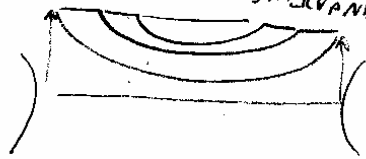
PER UN MATERIALE DUTILE ABBIAMO, INVECE:



$$\sigma_{VER, MAX} = \sigma_S$$

$$P_0 = \frac{\sigma_S \cdot A_{NOM}}{K_T} = \frac{\sigma_S \cdot A_{MIN}}{K_T}$$

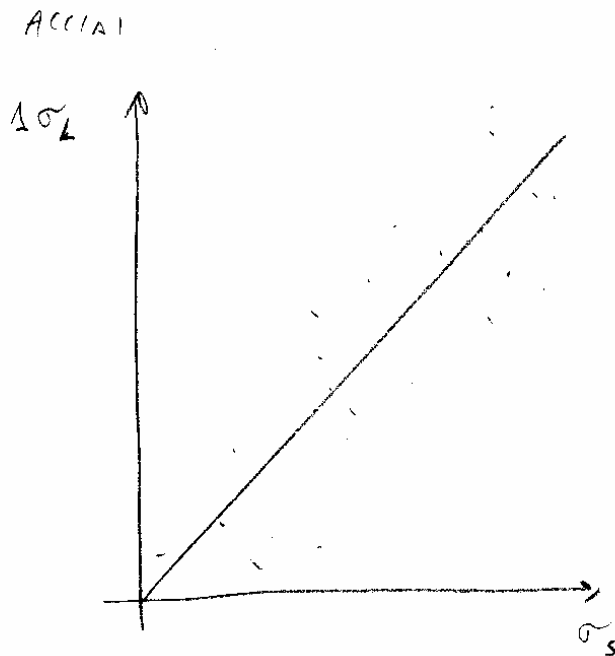
SE SI AUMENTA IL CARICO, IL CORPO NON SI ROMPE, MA ACCUMULA ENERGIA SNERVANDOSI.



$$\Rightarrow \sigma_R \rightarrow P_R = \sigma_S \cdot A_{MIN}$$

LA FORMAZIONE DELL'INTAGLIO NON MODIFICA IL COMPORTAMENTO DEL CORPO.

AI FINI DELLA FRATTURA A FATICA LA PRESENZA DI INTAGLI (9)
INFLUENZA ANCHE I MATERIALI PLASTICI.



DIFFERENZA FRA FRATTURA E INTAGLIO

FRATTURA → RAGGIO DI RACCORDO NULLO

INTAGLIO → GEOMETRIA CONTINUA → RAGGIO
DI RACCORDO > 0 .

NOTA: K_T DIPENDE PURE DAL TIPO DI TENSIONE
(FLESSIONE, TRAZIONE, TORSIONE)

PAGE, 22/03/2007

1

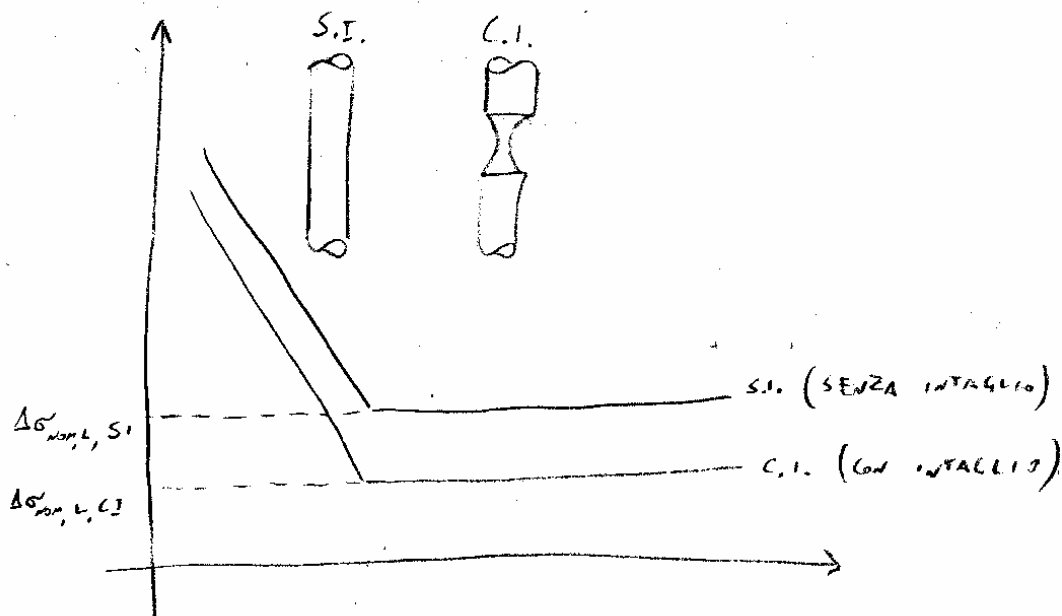
È STATA VALUTATA L'INFLUENZA DI UNA BRUSCA VARIANZA DI GEOMETRIA SULLO STATO DI TENSIONE DI UN CORPO.

È STATO DEFINITO IL FATTORE DI FORMA $K_F = \frac{\sigma_{nom, max}}{\sigma_{nom, max}} \geq 1$.

È STATO INOLTRE DETTO CHE TALI VALORI DEI FATTORI DI FORMA SONO FADDELLATI.

IN CASO STATICO SI È FATTA DISTINZIONE TRA CORPI FRAGILI E CORPI DUTTILI.

PER CARICHI CICLICI, INVECE, LA ROTTURA PER FATICA È FAVORITA DAGLI INTAGLI ANCHE PER MATERIALI DUTTILI. IN QUESTI CASI IL CALCOLO SI IMPOSTA SULLA TENSIONE MASSIMA NOMINALE PER IL FATTORE DI FORMA, CON RISULTATI DECISAMENTE CAUTELATIVI.



⇒ FATTORE DI EFFETTO DI INTAGLIO $K_F = \frac{\Delta\sigma_{nom, L, S.I.}}{\Delta\sigma_{nom, L, C.I.}}$

2

CI CHIEDIAMO SE ESISTE UNA RELAZIONE TRA

K_T E K_F . ESISTE UNA RELAZIONE SEMIEMPIRICA:

$$K_F = 1 + \eta (K_T - 1)$$

SENSIBILITÀ
ALL'INTAGLIO

⇒ CONDIZIONI
LIMITE

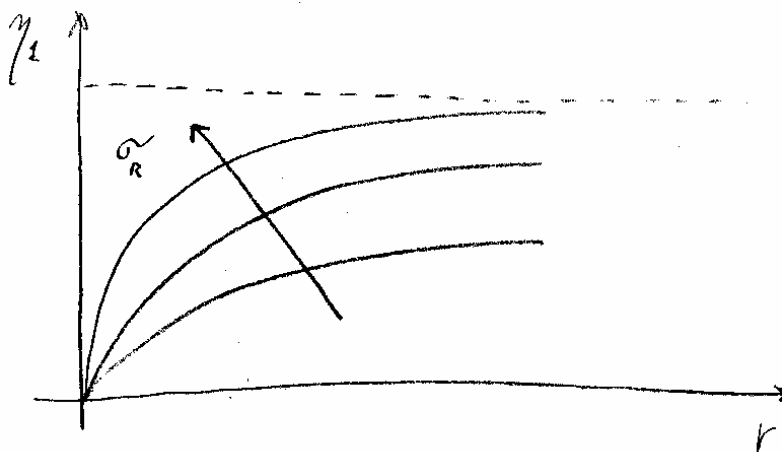
$$\begin{aligned} \nearrow \eta = 0 &\Rightarrow K_F = 1 \\ \searrow \eta = 1 &\Rightarrow K_F = K_T \end{aligned}$$

IN GENERALE SI HA:

$$0 \leq \eta \leq 1$$

$$1 \leq K_F \leq K_T$$

η , ALLA LUCE DEL FATTO CHE SI TRATTA DI UNA RELAZIONE EMPIRICA, DIPENDE DA FENOMENI NON ANCORA DEL TUTTO NOTI. SI VERIFICA, SPERIMENTALMENTE:

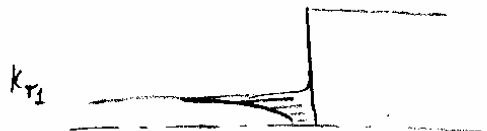


⇒ LA SENSIBILITÀ ALL'INTAGLIO È MAGGIORE PER MATERIALI CON PIÙ ALTA TENSIONE DI ROTTURA.

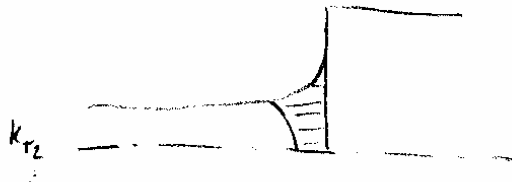
(raggio di raccordo dell'intaglio)

QUESTO COMPORTAMENTO È LEGATO AL FATTO CHE I MATERIALI CON PIÙ ELEVATA TENSILE DI ROTTURA SONO GENERALMENTE PIÙ FRAGILI.

LA CRESCITA CON IL RAGGIO DI RACCORDO SI SPIEGA, PRESENDO DUE INTAGLI CON RAGGI DI RACCORDO DIVERSI:



⇒ LE TENSIONI DIMINUISCONO SENSIBILMENTE ENTRANDO VERSO L'INTERNO DEL PEZZO

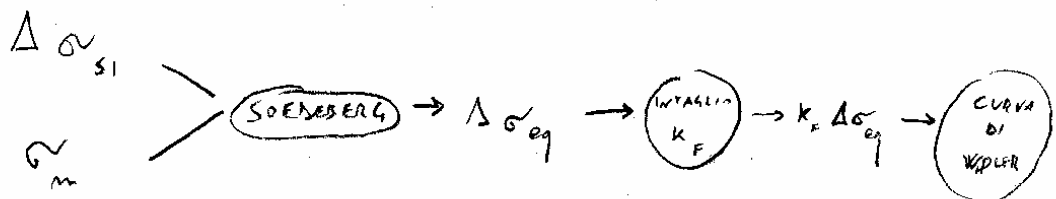


⇒ LE TENSIONI SONO PIÙ UNIFORMI

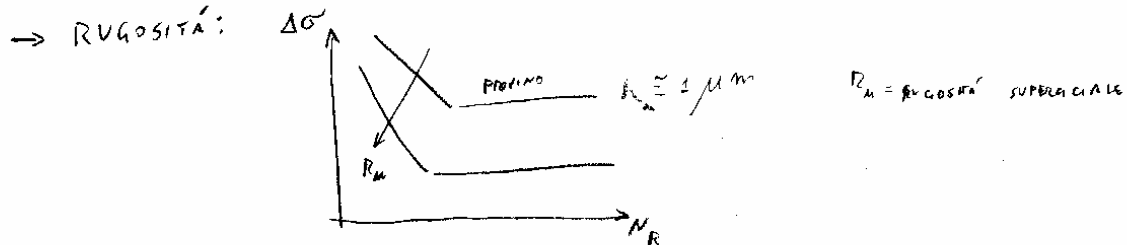
$$\Rightarrow r_1 < r_2 \Leftrightarrow \eta_1 < \eta_2 \quad K_{T1} \gg K_{T2}$$

ALLA LUCE DI CIÒ SI CAPISCE CHE, IN PRESENZA DI INTAGLI, L'USO DI MATERIALI AD ALTA RESISTENZA PUÒ NON ESSERE VANTAGGIOSO (PUÒ ESSERE TALVOLTA CONTROPRODUCENTE).

ALGORITMO DI CALCOLO:

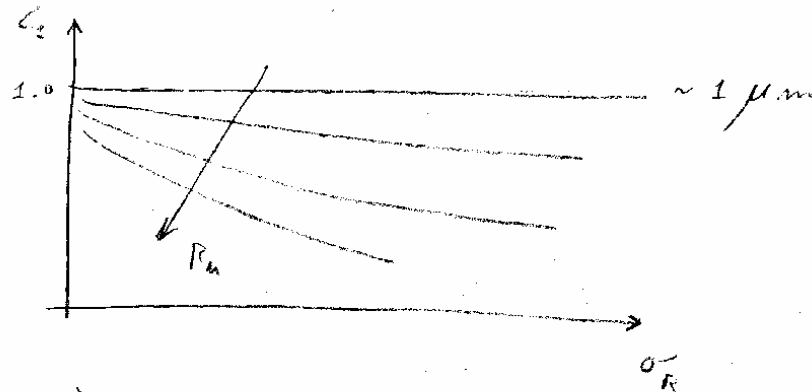


NEL PASSARE DEI RISULTATI Sperimentali DI PROVE 4
DI LABORATORIO SU PROVINI AI CASI REALI, INTERVENGONO
MOLTI PARAMETRI $\Rightarrow$ VI SONO DIVERSI FATTORI CORRETTIVI.



$$C_1 = \frac{\Delta\sigma_L(R_m)}{\Delta\sigma_L(1 \mu m)} \leq 1$$

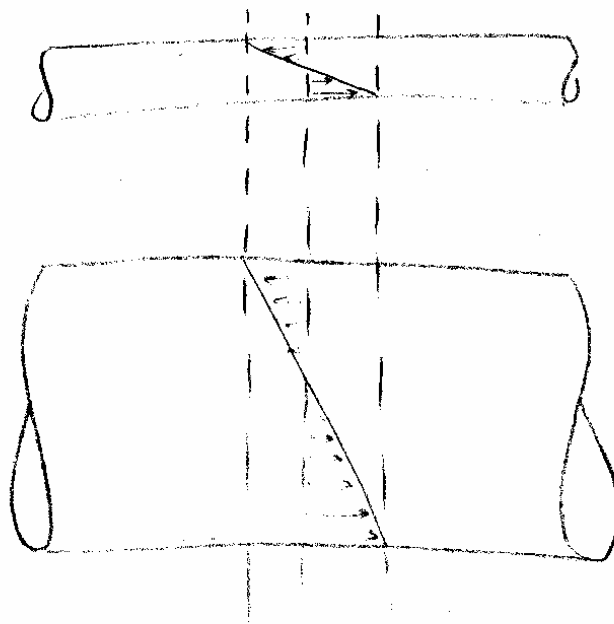
UNA SUPERFICIE RUGOSA È DEL TUTTO ANALOGA ALLA
PRESENZA DI INTAGLI. DA CIO' SI INTUISCE:



$\Rightarrow$ ANCHE PER LAVORAZIONI GROSSOLANE È SCONVENIENTE
USARE MATERIALI RESISTENTI.

$\rightarrow$ DIMENSIONI: AUMENTANDO LE DIMENSIONI DEL PEZZO SI RIDUCE LA RESISTENZA A FATICA.
LE CAUSE SONO DI NATURA STATISTICA (PIÙ GRANDE È IL
PEZZO E MAGGIORE È LA PROBABILITÀ DI TROVARVI DIFETTI). UN'ALTRA
CAUSA È LEGATA AL GRADIENTE DI TENSIONE (FLESSIONE E TORSIONE)
PER CAPIRE CIO' SUPPONIAMO DI PRENDERE OGGETTI
AL BERINI DI DIVERSE DIMENSIONI:

5

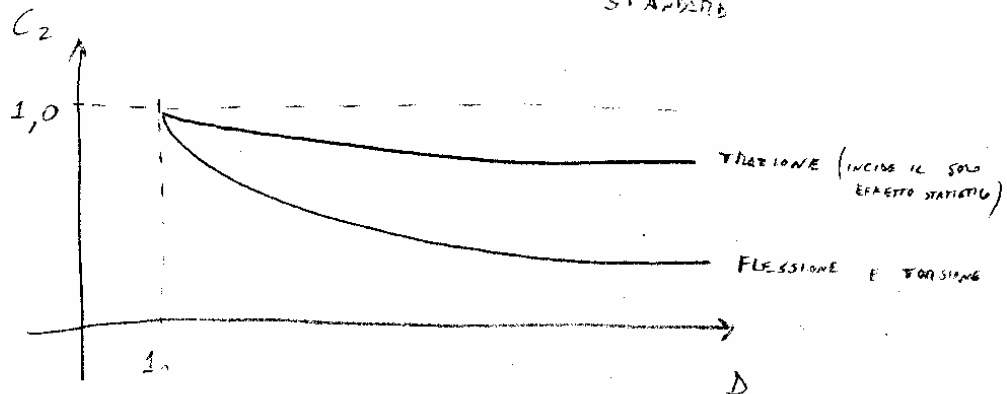


LA PARITA'
DI VALORE
MASSIMO
CAMBIA L'UNIFORMITA'
DELLA DISTRIBUZIONE
DI TENSIONE

DEFINIAMO UN FATTORE C_2

$$C_2 = \frac{\Delta \sigma_c (D)}{\Delta \sigma_c (\sim 10 \text{ mm})} < 1$$

DIAMETRO
DEL PROVINO
STANDARD



⑥

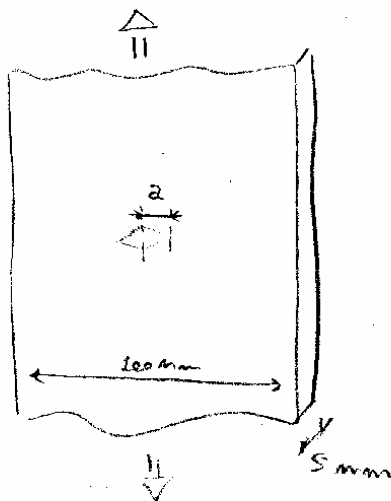
ESERCITAZIONE:

PER LA FRATTURA SI CALCOLANO 2 ENERGIE:

1 - ENERGIA SUPERFICIALE, PER INNESCIARE LA FRATTURA (RICHIESTA DAL SISTEMA)

2 - ENERGIA ELASTICA, PER DEFORMARE IL CORPO

SE L'ENERGIA ELASTICA E' MAGGIORE DELL'ENERGIA SUPERFICIALE, NON SI HA PROPAGAZIONE IN STABILE DELLA FRATTURA.



$$K_I = 180 \text{ MPa} \sqrt{\text{mm}}$$

$$\sigma_s = 480 \text{ MPa}$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$T = 20^\circ \text{C}$$

VERIFICA A SNERVAMENTO:

(7)

TENUTO CONTO DELLA SUPERFICIE SOTTRATTA ALLA FESSURA, OVVERO DELL'AREA NETTA:

$$\sigma_s = \frac{P}{A}$$

$$A = (100 \cdot 5 - 2 \cdot 5 \cdot 10) = 400$$

$$\Rightarrow P_c = \sigma_s \cdot A = 480 \cdot 400 = 192 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$K_c = \sqrt{\pi a} \cdot \sigma_s = \sqrt{\pi a} \cdot \frac{P}{A_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = \frac{K_c' A_0}{\sqrt{\pi a}} = \frac{180 \cdot 100 \cdot 5}{\sqrt{\pi \cdot 10}} = 502,7 \text{ kN}$$

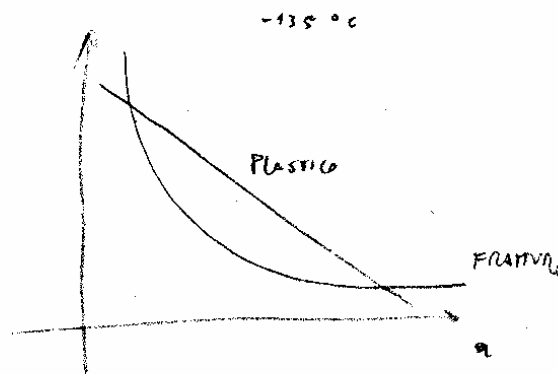
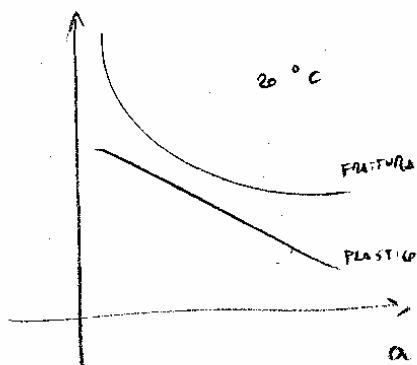
RIFACENDO I CONTI AD UNA TEMPERATURA PIÙ BASSA (-135°C)

$$K_c' = 52 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad \sigma_s = 666 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow P_{-135} = \frac{K_c' A_0}{\sqrt{\pi a}} = \frac{52 \cdot 100 \cdot 5}{\sqrt{\pi \cdot 10 \cdot 10^{-3}}} = 146 \text{ kN}$$

$$P_c = \sigma_s \cdot A = 666 (100 \cdot 5 - 2 \cdot 10 \cdot 5) = 266 \text{ kN}$$

GRAFICANDO, SI OTTIENE:



Eg-

$$\begin{cases} 1,37 - R_{YA} + 0,96 + R_{YB} = 0 \\ -1,37 \cdot 100 + R_{YA} \cdot 100 + 192 - R_{YB} \cdot 300 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -R_{YA} + R_{YB} = -2,33 \\ 100R_{YA} - 300R_{YB} = -55 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_{YA} = +2,33 + R_{YB} \\ R_{YB} = \frac{55 + 100R_{YA}}{300} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{YA} = 2,33 + \frac{55}{300} + 0,33 R_{YA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_{YA} = 3,75 \\ R_{YB} = 1,43 \end{cases}$$

Bise, 27/07/2007

(1)

STATI DI TENSIONE MULTIASSIALI.

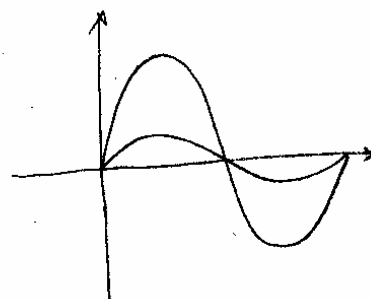
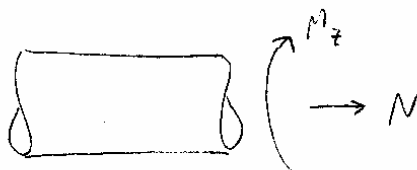
Nell'ambito della fatica, con gli
equivalenti (AD. ES. TRESCA PER LE TRAVI)

otteniamo uno stato di tensione
che non tiene conto del
tempo.

CRITERIO DI GOUGH E POLLARD:

È UN METODO EMPIRICO CHE SI AVVALLE
DELLE SEGUENTI IPOTESI:

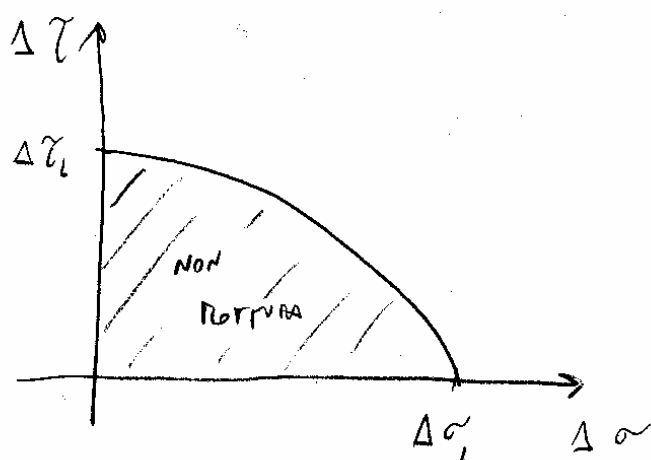
- CICLO DI TENSIONE NORMALE $\Delta\sigma$;
- CICLO DI TENSIONE TANGENZIALE IN FASE;



- CICLI ISOFREQUENZIALI;

IN QUESTE ADDESI LA CONDIZIONE DI
NON ROTTURA È:

$$\left(\frac{\Delta \sigma}{\Delta \sigma_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau}{\Delta \tau_L} \right)^2 \leq 1$$



- IL CRITERIO È ESTENDIBILE ANCHE PER CICLI DI TENSIONE NON IN FASE
- OLTRE CHE PER LA VERIFICA STATICA, QUESTO CRITERIO È VALIDO ANCHE PER LA FATICA

A TERMINE:

$$\left(\frac{\Delta \sigma}{\Delta \sigma_R(N_R)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau}{\Delta \tau_R(N_R)} \right)^2 \leq 1$$

CURVA DI RESISTENZA A FATICA PER TENSIONI TANGENZIALI.

(3)

IN ASSENZA DI PROVE SPECIFICHE

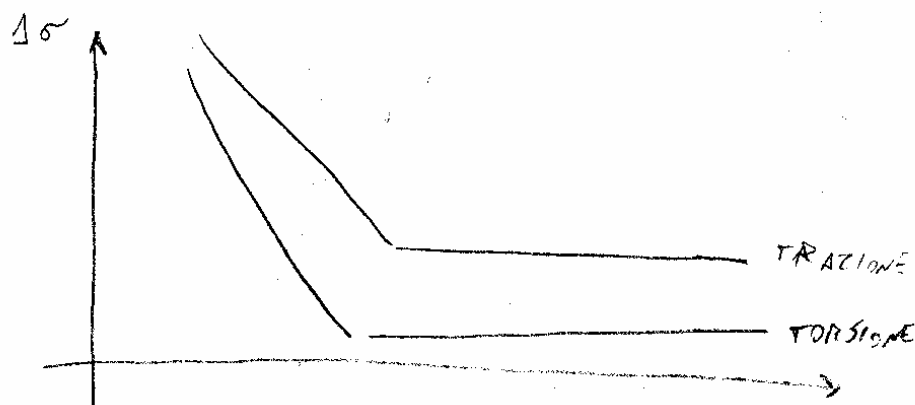
$$\Delta \sigma_{eq} = \sqrt{\Delta \sigma_z^2 + 3 \Delta \gamma^2}$$

PER SOLA TORSIONE:

$$\Delta \sigma_z = 0 \Rightarrow \Delta \sigma_{eq} = \sqrt{3} \Delta \gamma$$

PER SOLA TRAZIONE

$$\Delta \gamma = 0 \Rightarrow \Delta \sigma_{eq} = \Delta \sigma_z$$



SI CONCLUDE CHE LA CURVA DI WÖLER
PER TENSIONI TANGENZIALI DIFFERISCE DA
QUELLA PER TENSIONI NORMALI SEMPLICEMENTE
PER UN FATTORE DI SCALA PARI A $\sqrt{3}$

INFORMAZIONI SUL MATERIALE:

(4)

- σ_s TENSIONE DI SPERIMENTAZIONE

- CURVA DI WÖLER



CALCOLATA PER $\sigma_m = 0$

INFORMAZIONI SULLA STRUTTURA:

- CONDIZIONI DI CARICO

- GEOMETRIA DEL PEZZO

- NUMERO DI CICLI IN ESERCIZIO (N_E)

$\Rightarrow \Delta \sigma_{nom}, \sigma_{m, nom}, (R_T, R_F) \Delta \tau_{nom} \tau_{media}$

$K_{T\sigma}, K_{F\sigma}$

TENSIONE
NORMALE

$K_{T\tau}, K_{F\tau}$

TENSIONE
TANGENZIALE

C_1, C_2

GEOMETRIA
DEL PEZZO

PARTENDO DA N_E RISPETTO ALLA CURVA DI
WÖLER OTTIENIAMO UNA $\Delta \sigma$ A ROTTURA E
UN $\Delta \tau_R$ A ROTTURA.

QUINDI, CON L'APPROCCIO DI SÖDERBERG,

(5)

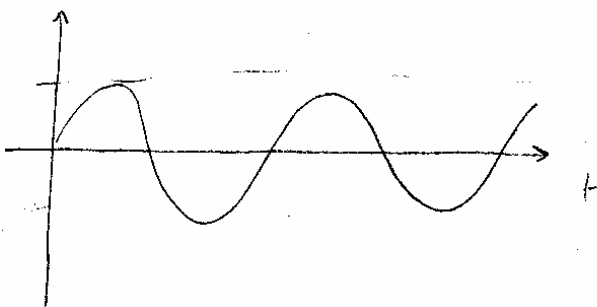
RICAVIAMO, A PARTIRE DAI VALORI $\Delta\sigma$ E DAI RISPETTIVI VALORI MEDI, L'EQUIVALENTE $\Delta\sigma_{eq}$ E $\Delta\tau_{eq}$ E VERIFICHIAMO CHE:

$$\left(\frac{k_{F\sigma} \cdot \Delta\sigma_{eq, non}}{\Delta\sigma_k(N_E) \cdot C_1 \cdot C_2} \right)^2 + \left(\frac{k_{F\tau} \cdot \Delta\tau_{eq, non}}{\Delta\tau_k(N_E) \cdot C_1 \cdot C_2} \right)^2 \leq \frac{1}{\phi^2}$$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA (> 1)

EFFETTO - CICLI DI TENSIONE DI AMPIEZZA VARIABILE

PROVINO:

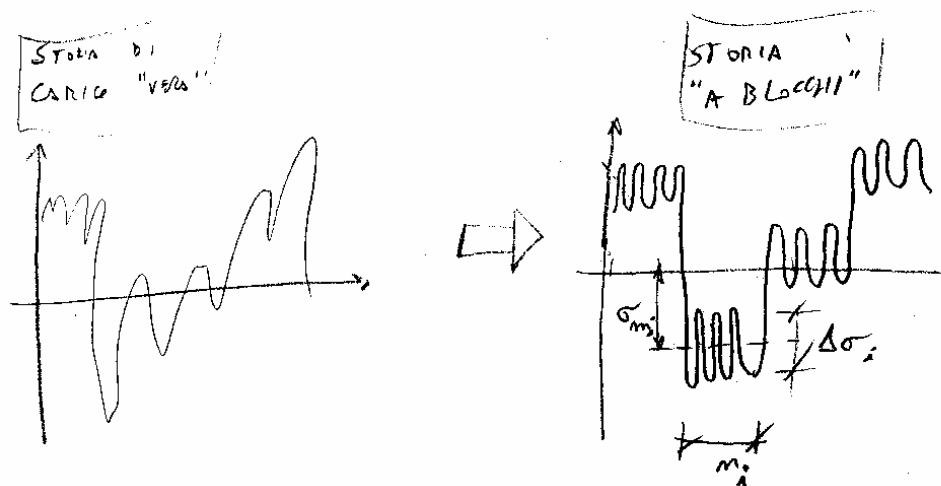


→ LE CONDIZIONI DI PROVA SONO A $\Delta\sigma = \text{cost.}$

NELLA REALTÀ MOLTI PEZZI SUBISCONO CICLI DI TENSIONE AD AMPIEZZA NON COSTANTE. SI PARLA DI "STORIE DI TENSIONE COMPLESSE".

molti argomenti hanno merito ^⑥
stat-ool-hsc con l'iterativo
ol- "storia di tensione di riferimento".
x molti altri argomenti si ragiona nel
SEGUENTE MODO:

PROCEDURA DI ANALISI.



CIASCUNO DEI BLOCCHI OTTENUTI È CARATTERIZZATO
DA UN CERTO NUMERO DI CICLI, CON UN CERTO
 $\Delta\sigma$ e $\Delta\sigma_{med}$.

SI INTRODUCE IL CONCETTO DI "DANNEGGIAMENTO".

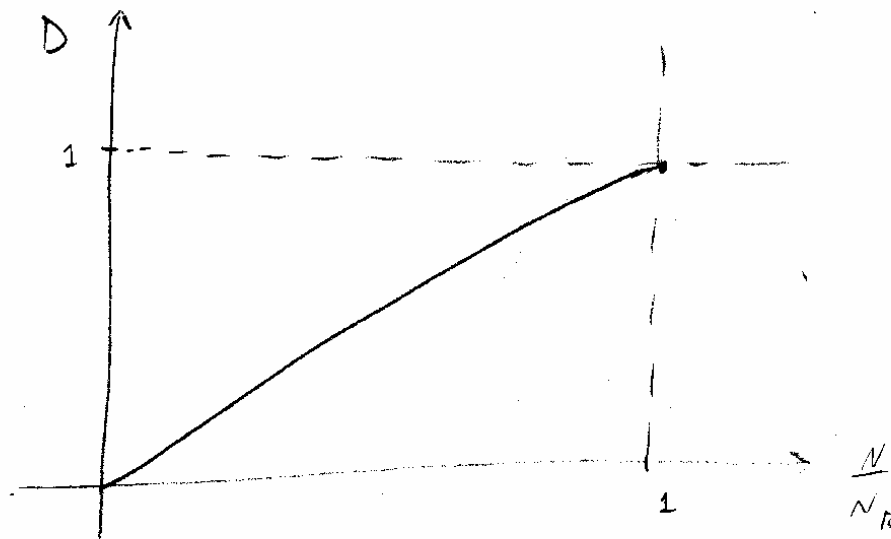
D = DANNEGGIAMENTO È UNA VARIABILE CHE VUOLE
RAPPRESENTARE LO STATO DEL MATERIALE RISPETTO
ALLA ROTTURA PER FATIGA. $D \in [0, 1]$

(7)

$D = 0 \Rightarrow$ MATERIALE NON DANNEGGIATO

$D = 1 \Rightarrow$ MATERIALE ROTTO.

SECONDO L'APPROCCIO DI MINER - PALMGREEN



IL DANNEGGIAMENTO HA ANDAMENTO LINEARE
IN FUNZIONE DEL NUMERO DI CICLI.
SI PUÒ DEFINIRE IL DANNEGGAMENTO/CICLO:

$$dD = \frac{1}{N_R}$$

DETTO CIÒ, CON RIFERIMENTO ALLA
"STORIA A BLOCCHI", STABILIAMO

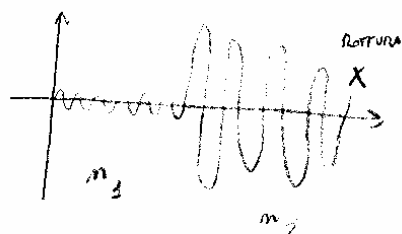
QUANTO CIASCUN BLOCCO DANNEGGIA IL PEZZO. (8)

$$\Delta D_i = \frac{m_i}{N_{Ri}} \rightarrow \text{NUMERO DI CICLI A ROTTURA PER } \Delta \sigma_i, \sigma_{mi}$$

$$\Rightarrow \left| D_{TOT} = \sum_{i=1}^{m_B} \frac{m_i}{N_{Ri}} < 1 \right|$$

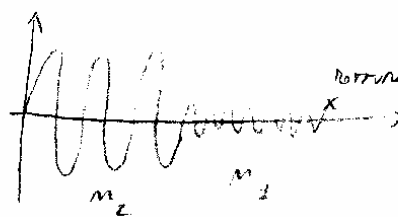
- m_B è IL NUMERO DI BLOCCHI

CON CIÒ NON SI CONSIDERANO GLI EFFETTI DI SEQUENZA. INFATTI, DA UN PUNTO DI VISTA Sperimentale



$$D = \frac{m_1}{N_{R1}} + \frac{m_2}{N_{R2}} > 1$$

$\neq$



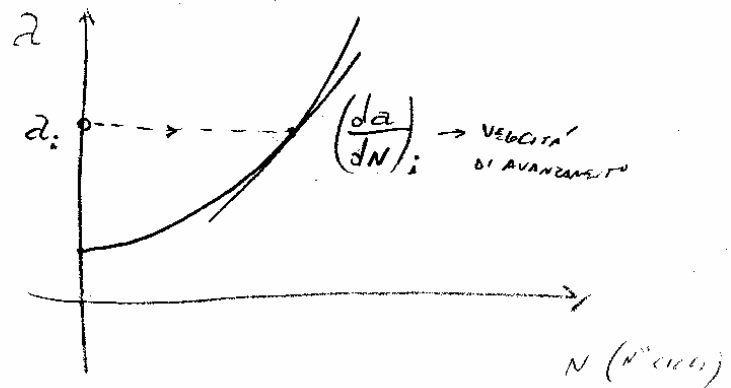
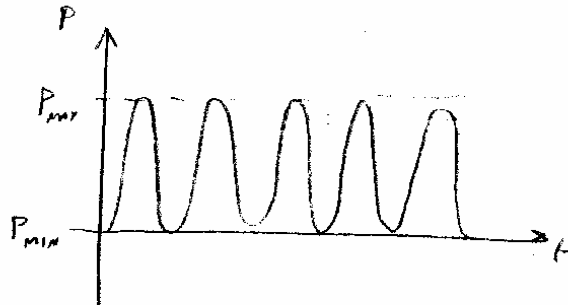
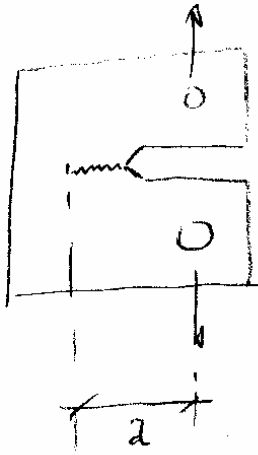
$$D = \frac{m_2}{N_{R2}} + \frac{m_1}{N_{R1}} < 1$$

$\Rightarrow$ IN REALTÀ IL MATERIALE SI "RICORDA" DELLA SUA STORIA

CIÒ CHE SALVA LA VALIDITÀ DEL MODELLO DI MINER È CHE DI SOLITO SI SUCCEGUONO, NELLA VITA DI UN PEZZO, INNUMERABILI SECHI DI CARICO DIVERSI

FASE DI PROPAGAZIONE FRATTURE PER FATICA

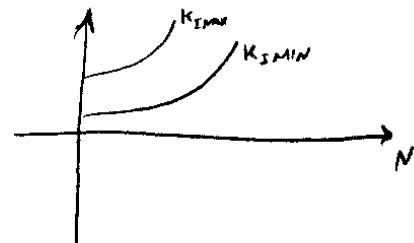
9



$$K_{I, \max} = \beta \cdot P_{\max} \cdot \sqrt{\pi a}$$

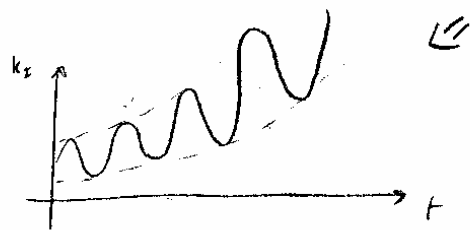
GEOMETRIA DEL PROVA

$$K_{I, \min} = \beta \cdot P_{\min} \cdot \sqrt{\pi a}$$



SI OSSERVA CHE $\exists$

$$R = \text{cost.} = \frac{K_{I, \min}}{K_{I, \max}} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}$$

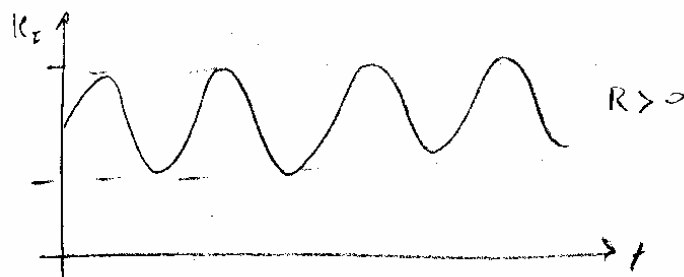
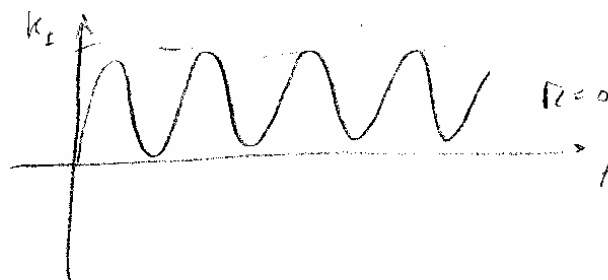
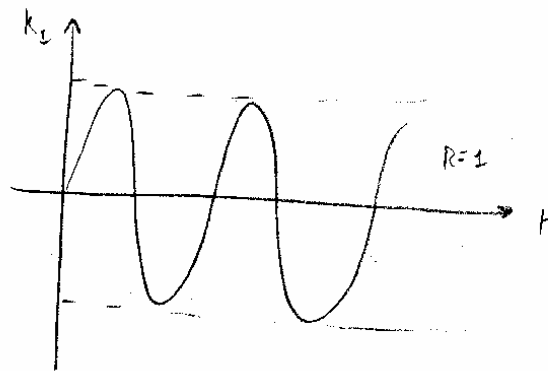


PARAMETRI DEL CICLO DI K_I SONO:

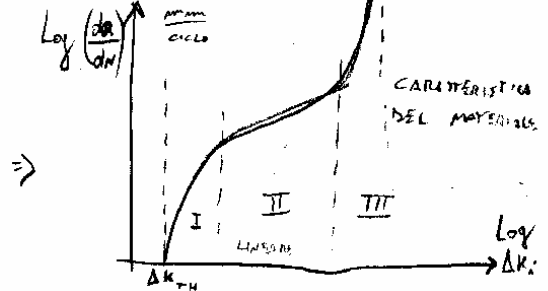
(10)

$$\Delta K_I = K_{I, \max} - K_{I, \min}$$

$$R = \frac{K_{I, \min}}{K_{I, \max}} = \text{cost.}$$



a	$\frac{da}{dN}$	K_I
a_i	$\left(\frac{da}{dN}\right)_i$	$\Delta K_{I,i}$



(11)

NELLA ZONA II NELLA SUSSCRITTA CARATTERISTICA È LINEARE (IN
SCALA LOGARITMICA):

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K_I^m$$

C, m DIPENDONO DAL MATERIALE

→ LEGGE DI PARIS (O ERDOGAN)

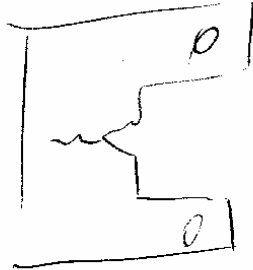
SI INDICA (VEDI DIAGRAMMA) L'ASINTOTO VERTICALE:

ΔK_{TH} = SOGLIA DI NON PROPAGAZIONE.

* LA VALIDITA' DELLA SUDDETTA CURVA (R)
VALE PER FESSURE CHE RISPETTANO
L' MFLE

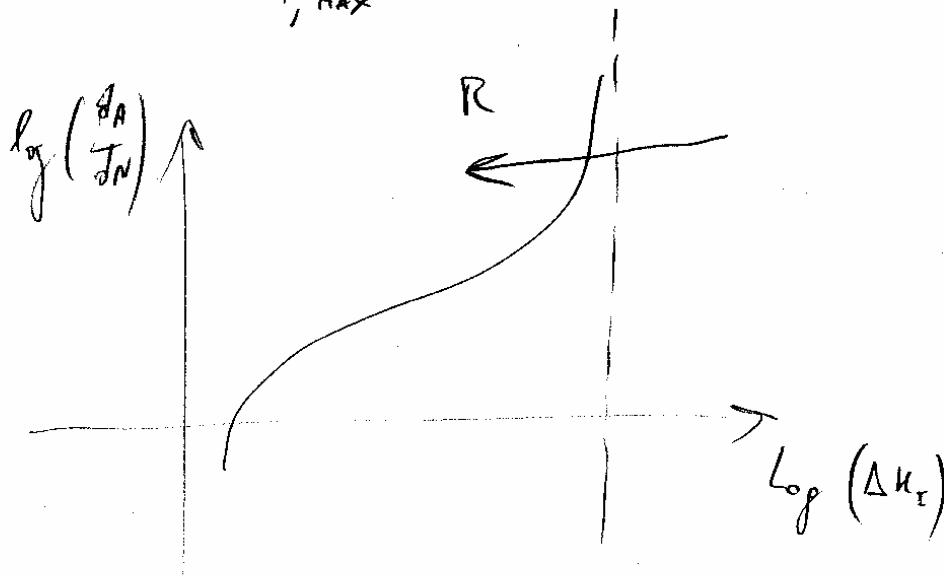
Prima 29/03/2007

①



$$01, \frac{\sigma_{\sigma}}{dN}, \Delta k_i = k_{i, \max} - k_{i, \min}$$

$$R = \frac{k_{i, \max}}{k_{i, \max}}$$

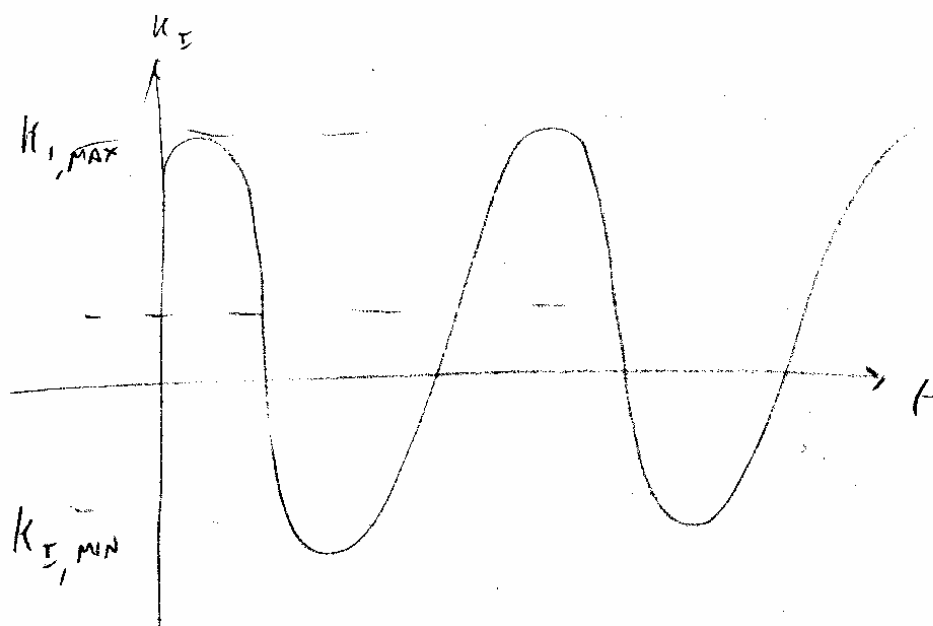


AL CRESCERE DI R L'ASINTOTO SI
SPOSTA A SINISTRA

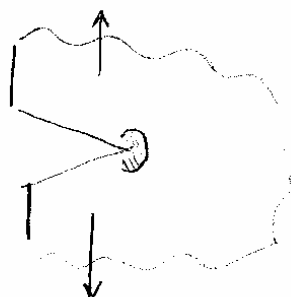
SE $R < 0$, RIGUARDO L'AVANZAMENTO:

(2)

$R < 0 \Rightarrow$ UNA FASE DEL CICLO È DI COMPRESSIONE

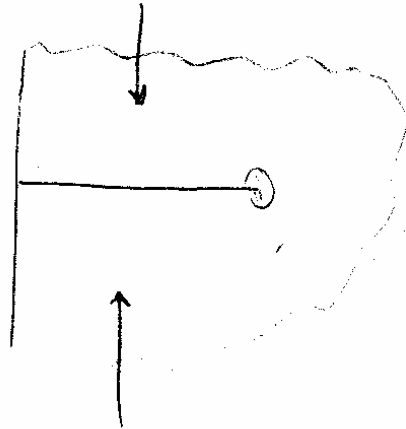


QUANDO $K_I > 0$ LA FRATTURA È APERTA



IN CORRISPONDENZA DI $K_I < 0$, IL CARICO PASSA
ATTRAVERSO LE SUPERFICI DI CONTATTO DELLA FRATTURA

$\Rightarrow$ A TAL FINE NON VI È DIFFERENZA
TRA IL PEZZO SANO E IL PEZZO ROTTO.



(3)

PERTANTO HA SENSO CONSIDERARE SOLO LA
PARTE IN TRAZIONE DEL CICLO $\Rightarrow$ SI
CALCOLA IL VALORE EFFICACE DELLA
SOLA PARTE POSITIVA DELLA CURVA K_I

$$\Delta K_{I, \text{EFF}} = K_{I, \text{max}} - \text{MAX}(K_{I, \text{min}}; 0)$$

CALCOLO DELL'AVANZAMENTO:

$$\frac{dA}{dN} = C \Delta K_I^m$$

$$\begin{aligned} \Delta K_I &= K_{I, \text{max}} - K_{I, \text{min}} = \left(\beta \cdot \sigma_{\text{nom, max}} \sqrt{\pi a} \right) - \left(\beta \cdot \sigma_{\text{nom, min}} \sqrt{\pi a} \right) \\ &= \beta \left(\sigma_{\text{nom, max}} - \sigma_{\text{nom, min}} \right) \sqrt{\pi a} = \beta \Delta \sigma_{\text{nom}} \sqrt{\pi a} \end{aligned}$$

SOSTITUENDO NELLA LEGGE DI PARIS :

(4)

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K_I^m = C \left(\beta \Delta \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} \right)^m$$

$$dN = \frac{da}{C \Delta K_I^m}$$

$$\int_0^{N_R} dN = \int_{a_0}^{a_c} \frac{da}{C \Delta K_I^m} = N_R$$

DOVE:

a_0 = DIFETTO INIZIALE

a_c = DIFETTO DI PROPAGAZIONE
INSTABILE DELLA FRATTURA.

N_R = NUMERO DI CICLI CHE
PORTA DA a_0 A a_c

STIMA DI a_c :

$$a_c = \begin{cases} K_{I,max} = K_{Ic} \\ \text{"COLLASSO PLASTICO"} \end{cases}$$

QUESTE DUE CONDIZIONI SONO INFATTI CONCORRENTI
TRA DI LORO

STIMA DI a_0

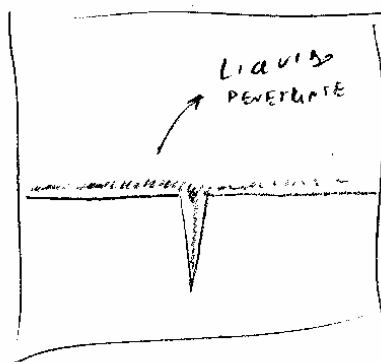
⑤

SI ATTUANO DELLE TECNICHE DI IMMAGINE
NON DISTRUTTIVE:

CND (CONTROLLI NON DISTRUTTIVI)

LE PIÙ COMUNI DI QUESTE TECNICHE

→ LIQUIDI PENETRANTI: 1 - SI SPARGE SULL'OGGETTO
UN LIQUIDO A BASSA
TENSIONE SUPERFICIALE



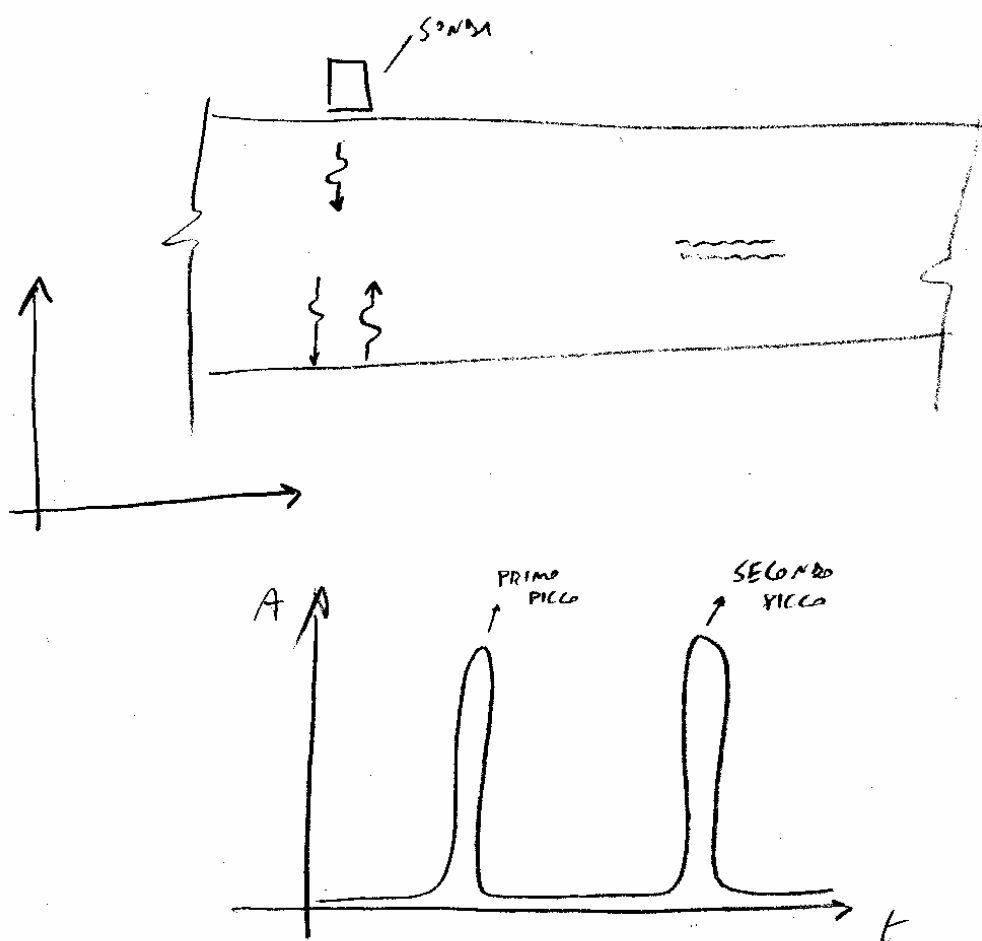
2 - IL PEZZO VIENE
LAVATO (COSÌ VA
VIA IL LIQUIDO
DALLE SUPERFICI, MA
NON DAI DIFETTI)

3 - SI COSPARGE IL PEZZO DI UNA
POLVERE IGROSCOPICA. IN PRESENZA
DELLE FRATTURE SI FORMA UNA MACCHIA
COLORATA IN CORRISPONDENZA DEI DIFETTI

→ US (TECNICA AD ULTRASUONI):

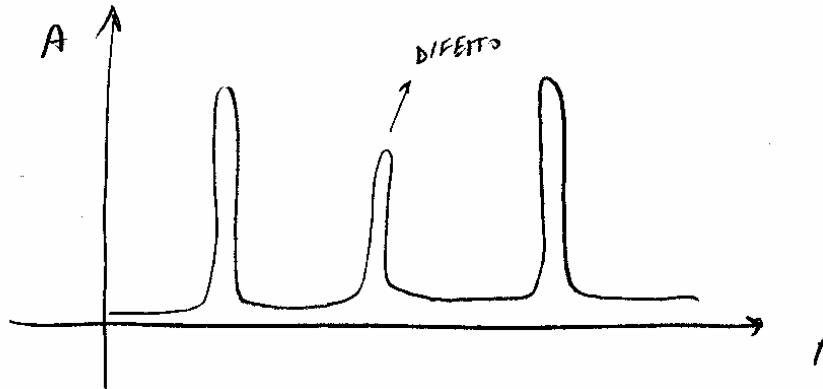
⑥

SUPPOSTO DI AVERE UN PEZZO CON
ALL'INTERNO UN DIFETTO, VI SI APPOGGIA
UNA Sonda CHE FUNGE SIA DA EMETTITORE,
SIA DA RICEVITORE



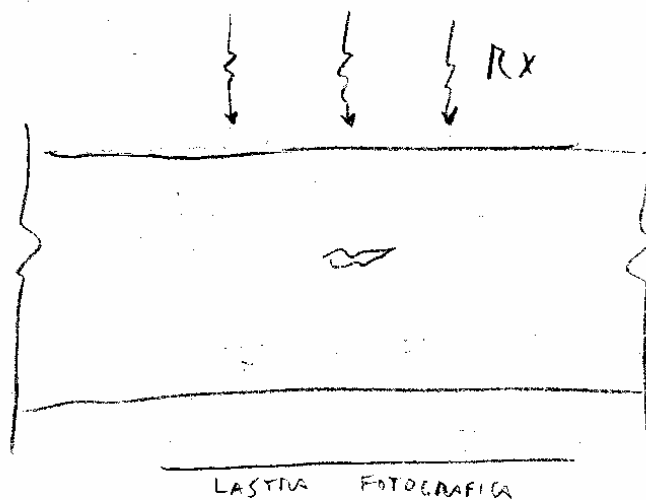
LA Sonda RICEVA UN PRIMO PICCO DOVUTO A
RIFLESSIONE SULLA SUPERFICIE DI APPOGGIO, IL
SECONDO PICCO (PICCO DI FONDO) E' DOVUTO ALLA
RIFLESSIONE DAL FONDO DEL PEZZO.

IN CORRISPONDENZA DEL DIFETTO SI OTTIENE (7)
UN SEGNALE DEL TIPO:



⇒ SI PUÒ ANCHE STIMARE LA PROFONDITA'
DEL DIFETTO.

→ RAGGI X (RX)

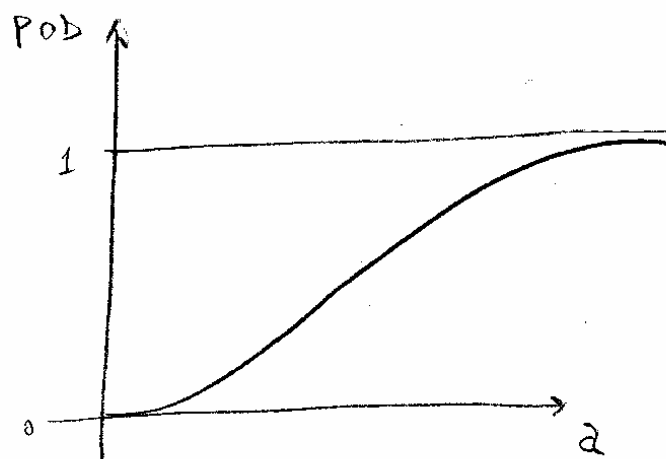


IL METALLO ASSORBE I RAGGI X. IN CORRISPONDENZA
DEL DIFETTO L'ASSORBIMENTO È MINORE ⇒
L'IMMAGINE DEL DIFETTO VIENE IMPRESSA NELLA LASTA.

8

QUESTA TECNICA E' COSTOSA, MA
MOLTO EFFICACE

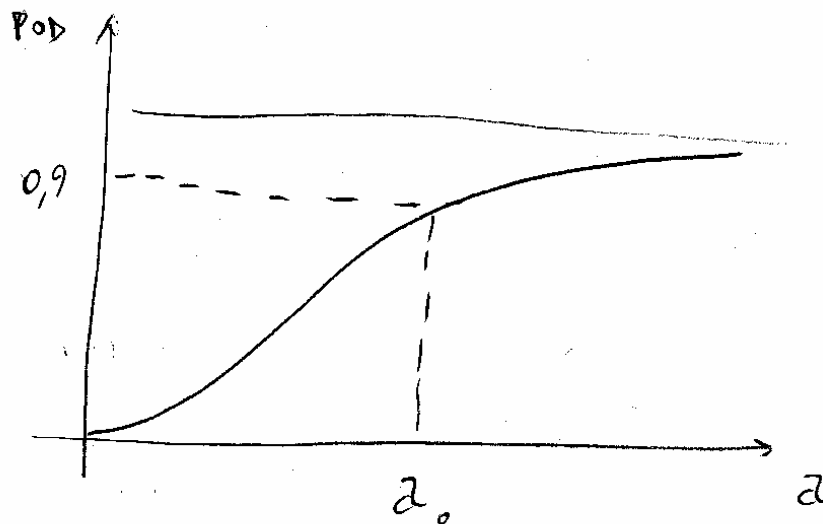
CIASCUNO DEI METODI DI MISURA QUI ESPOSTI
FORNISCE UNA STIMA DI α_0 CON UN CERTO
GRADO DI ACCURATEZZA



POD: PROBABILITY OF DETECTION

OVVIAMENTE, COME DESCRITTO DAL GRAFICO, LA
PROBABILITA' DI VENERE IL DIFETTO CRESCE
AL CRESCERE DEL DIFETTO STESSO.

PER STIMARE a_0 , CON RIFERIMENTO ALLA CURVA POD, SI PRENDE IL VALORE DI a_0 PER IL QUALE SI HA PROBABILITÀ DEL 90% DI AVERLA VISTA:



ABBIAMO STIMATO IL RAGGIO PLASTICO:

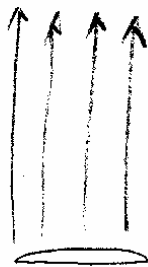
$$r_p \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{II}}{\sigma_y} \right)^2, \quad r_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_{nom, max}^2 \cdot \pi a}{\sigma_y^2}$$

$$\Rightarrow \frac{r_p}{a} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{nom, max}^2}{\sigma_y^2} < 0,1$$

→ IPOTESI DI MFLE

DA QUESTA RELAZIONE SI DESUME CHE, (10)
A PARITÀ DI K_I POSSIAMO AVERE
FRATTURE GRANDI CON TENSIONI PICCOLE, OPPURE
FRATTURE PICCOLE CON TENSIONI GRANDI.

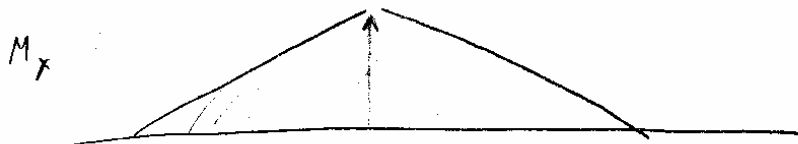
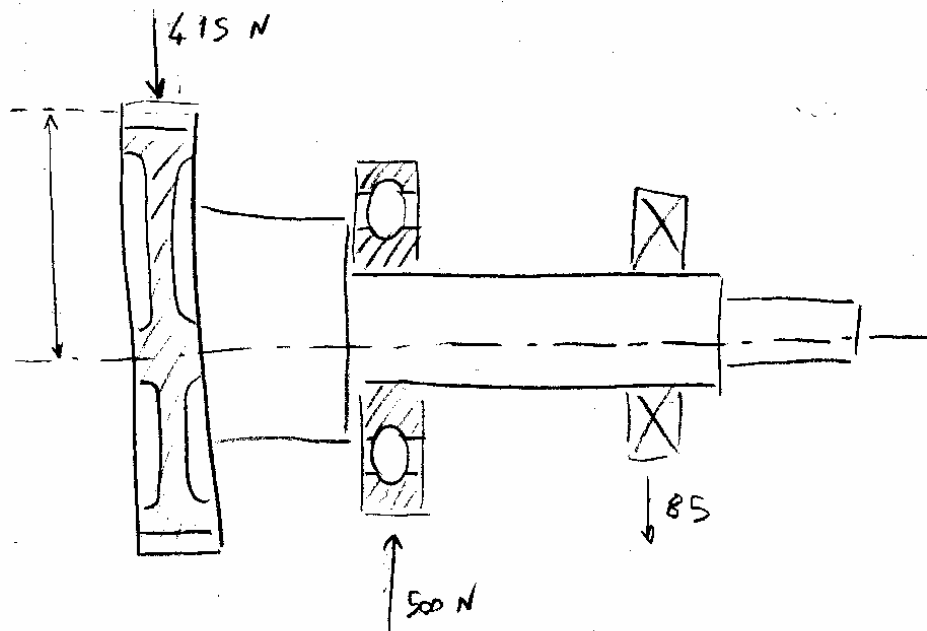
$$\sigma_{\text{nom, max}} < \sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{K_I} ; K_I = \sigma_{\text{nom}} \cdot \sqrt{a}$$



11

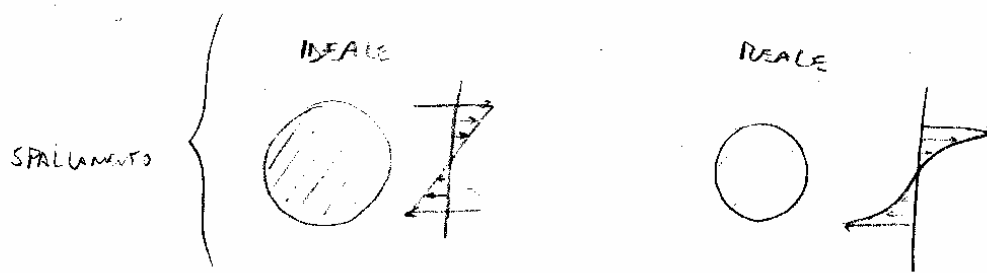
ESERCITAZIONE:

VERIFICA A FATICA...



$$\sigma_z = \frac{M_x}{I_x} \cdot y = \frac{21 \cdot 10^3}{7854} \cdot \frac{20}{2} =$$

$$\tau_{\theta z} = \frac{M_z}{I_o} \cdot \frac{d}{2}$$

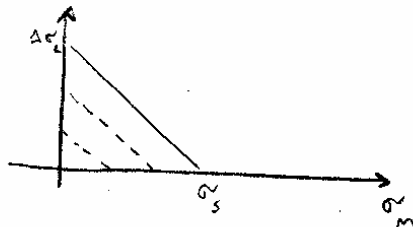


⇒ CALCOLIAMO, o CMA DESUMIAMO K_T DAI
 DIAGRAMMI (SI RICORDI CHE K_T DIPENDE DAL
 RAPPORTO TRA I DIAMETRI)

$$\sigma_{eq} = K_T \sigma_z = 56,7 \text{ MPa}$$

DIAGRAMMI ⇒ $K_T = 2,1$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{3} K_T \tau_{\theta z} = 18,55 \text{ MPa}$$



SODERBERG