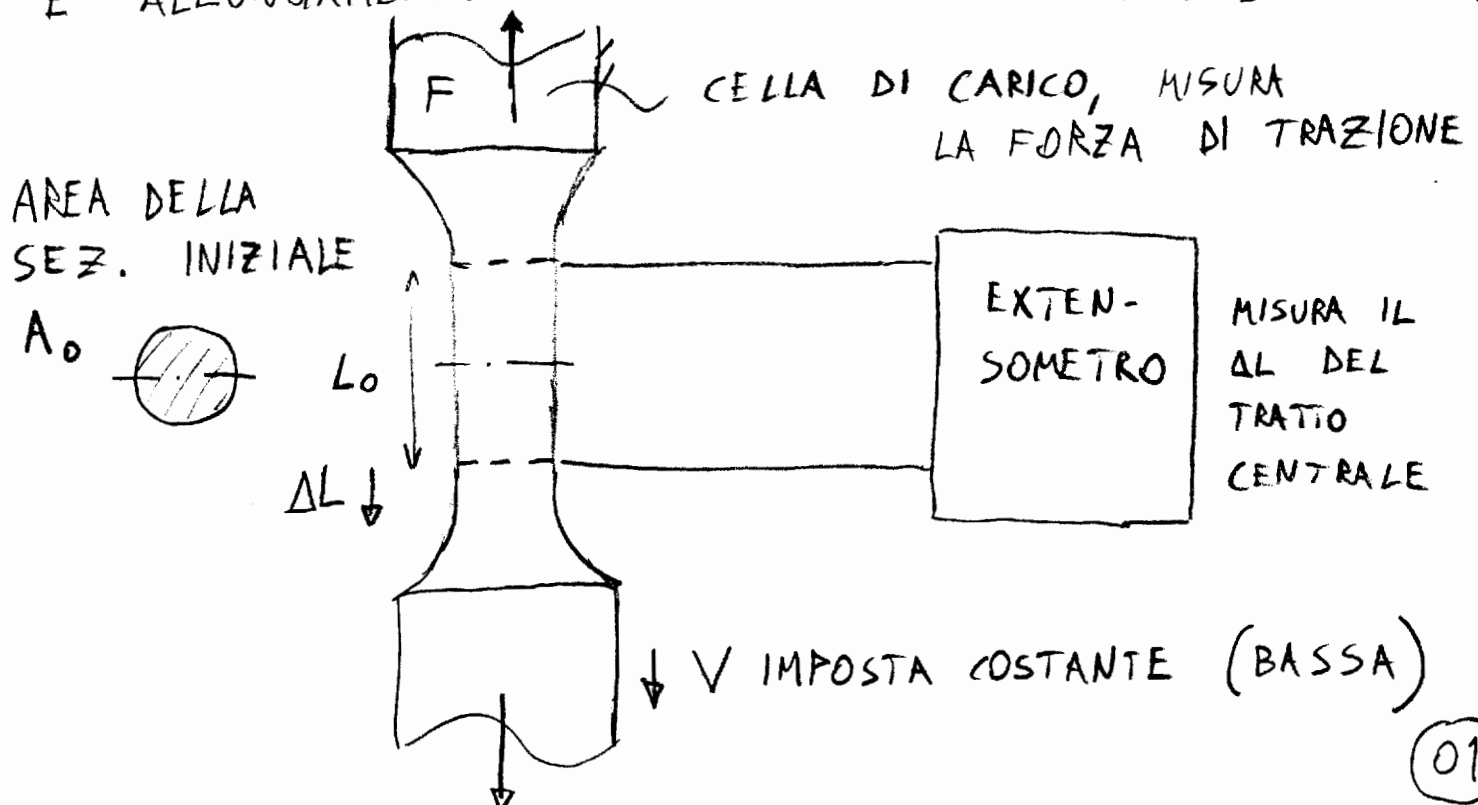


DOPO AVER DETERMINATO LE TENSIONI, AD ESEMPIO NELL'ALBERO PRECEDENTE (IN UNA SPECIFICA SEZIONE) E' NECESSARIO VERIFICARE SE IL MATERIALE E' IN GRADO DI SOSTENERE QUEL LIVELLO DI SOLLECITAZIONE SENZA ECCESSIVE DEFORMAZIONI E/O FRATTURA

LA PROVA PIU' SEMPLICE E PIU' COMUNE E QUELLA DI TRAZIONE

SI PARTE DA UN CILINDRETTO CAMPIONE (PROVINO) A CUI SI APPLICA UN'ALLUNGAMENTO IMPOSTO A VELOCITA' COSTANTE E SI MISURANO FORZA E ALLUNGAMENTO DELLA ZONA CENTRALE A SEZ. UNIFORME



SI DEFINISCONO LE QUANTITA' TENSIONE  $\sigma$   
E DEFORMAZIONE  $\epsilon$

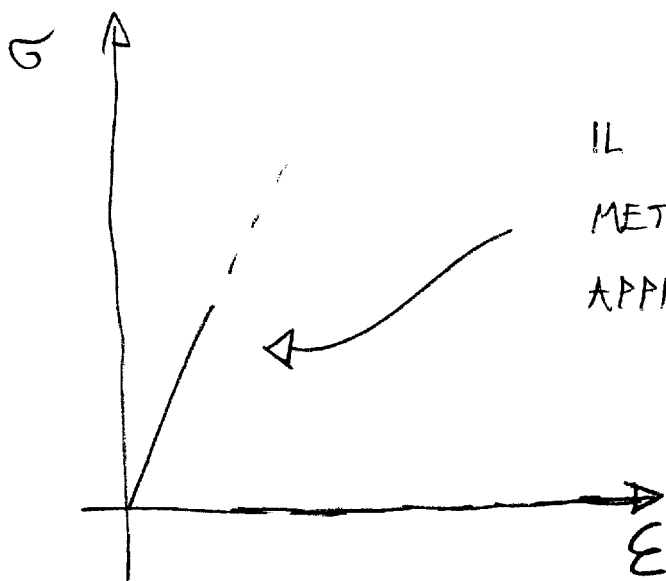
LA  $\sigma$  E' LA TENSIONE NORMALE ESSENDO  
IL PROVINO UNA TRAVE SOLLECITATA A TRAZIONE

$$\sigma = F/A_0$$

LA DEFORMAZIONE E' LA VARIAZIONE DI LUNGHEZZA  
(RELATIVA, O IN PERCENTUALE) DEL TRATTO CENTRALE:

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

SI RAPPRESENTA QUINDI LA CURVA TENSIONE -  
DEFORMAZIONE OTTENUTA

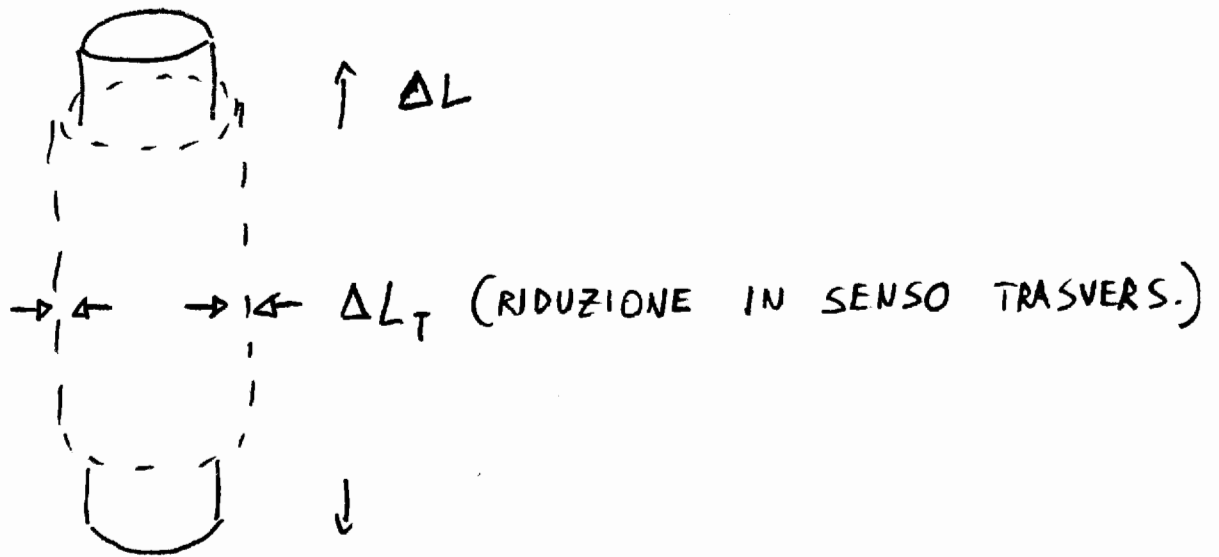


IL PRIMO TRATTO (MATERIALI  
METALLICI) E', CON BUONA  
APPROSSIMAZIONE, RETTILINEO

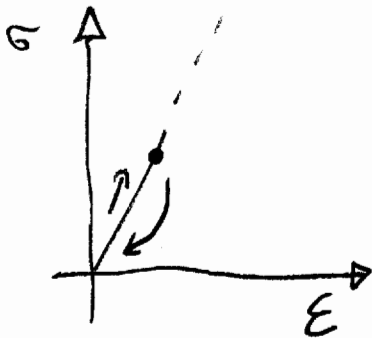
SI DEFINISCE QUINDI IL RAPPORTO DI PROPORZION.:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{MODULO DI YOUNG})$$

ALL'ALLUNGAMENTO ASSIALE CORRISPONDE UNA  
 RESTRIZIONE IN SENSO TRASVERSALE  
 A CUI E' LEGATO IL RAPPORTO DI POISSON  $\nu$  ("NI")

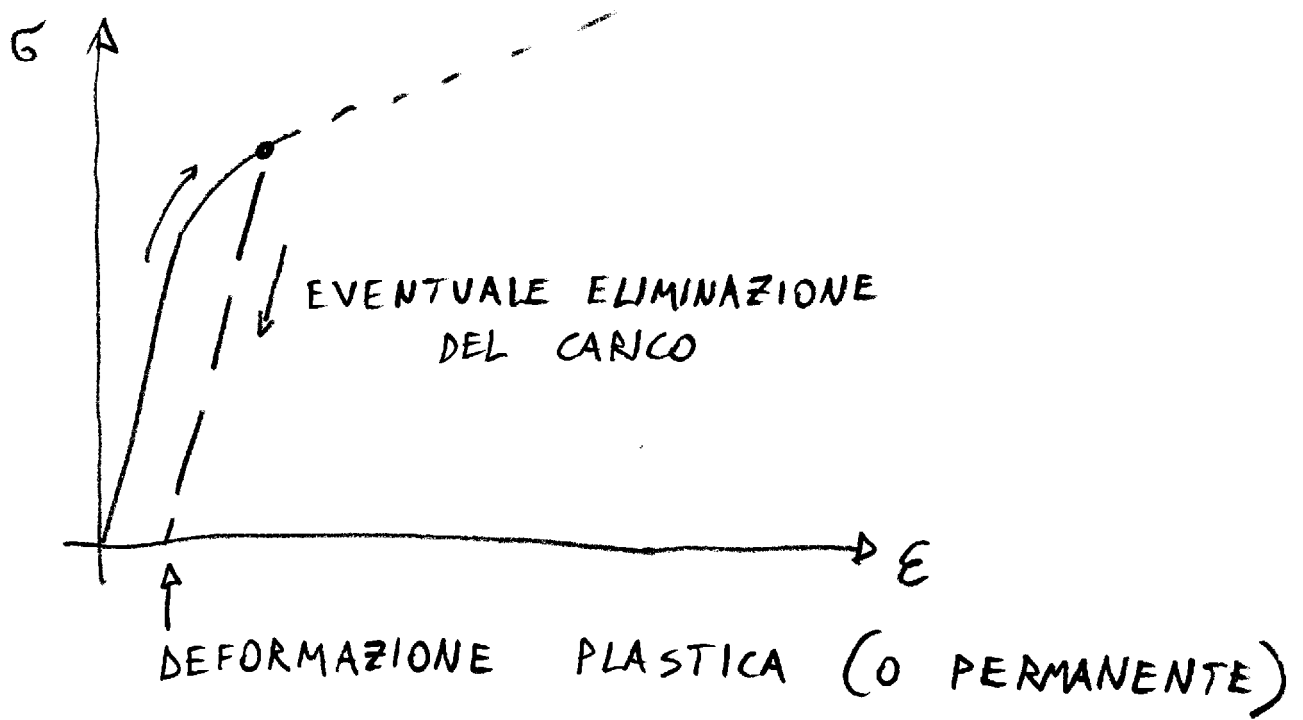


IN QUESTO PRIMO TRATTO SI HA UN COMPORTAMENTO  
ELASTICO: SE IL CARICO VIENE RIMOSSO  
 LA DEFORMAZIONE VIENE RECUPERATA E QUINDI IL  
 CILINDRETTO RITORNA ALLA SUA LUNGHEZZA INIZIALE

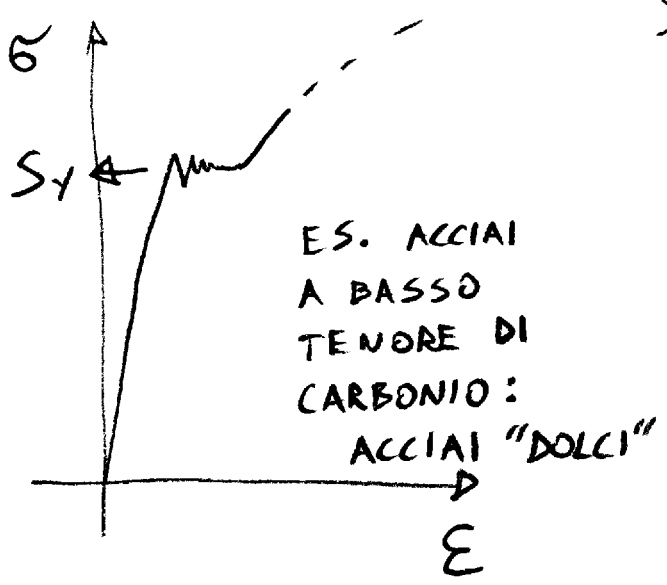


PROSEGUENDO INVECE CON L'APPLICAZIONE DI  
 UNA DEFORMAZIONE PROGRESSIVA SI HA (PER I  
 METALLI) LO SNERVAMENTO A CUI E'  
 ASSOCIATA LA DEFORMAZIONE PLASTICA  
 CHE A DIFFERENZA DI QUELLA ELASTICA

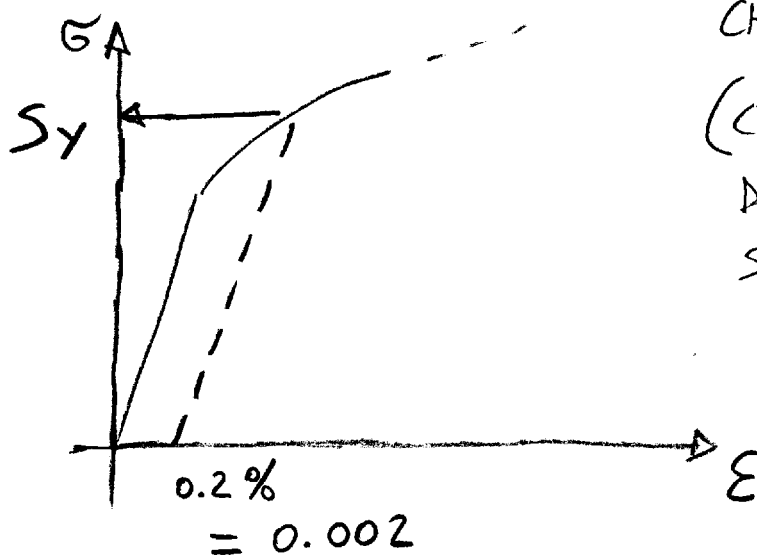
NON VIENE RECUPERATA QUALORA SI ELIMINASSE IL CARICO



ALCUNI MATERIALI HANNO LO SNERVAMENTO "MANIFESTO" E QUINDI SI PUO' DEFINIRE LA TENSIONE DI SNERVAMENTO  $S_Y$  (Y: YIELD)

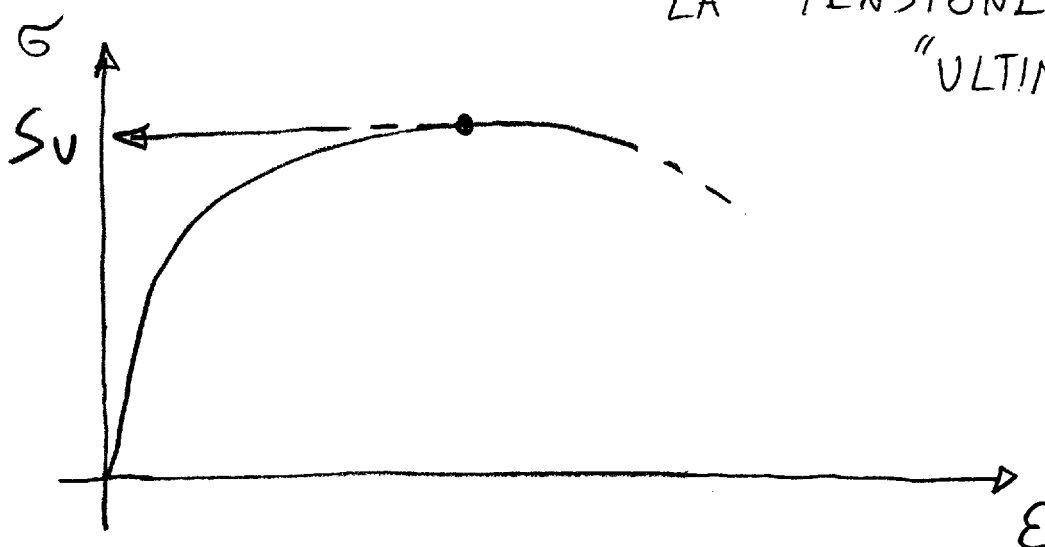


LA MAGGIOR PARTE DEI MATERIALI HA UNO  
SNERVAMENTO PROGRESSIVO E QUINDI LA  
TENSIONE DI SNERVAMENTO VIENE DEFINITA  
RISPETTO AD UNA DEF. PLASTICA MINIMA



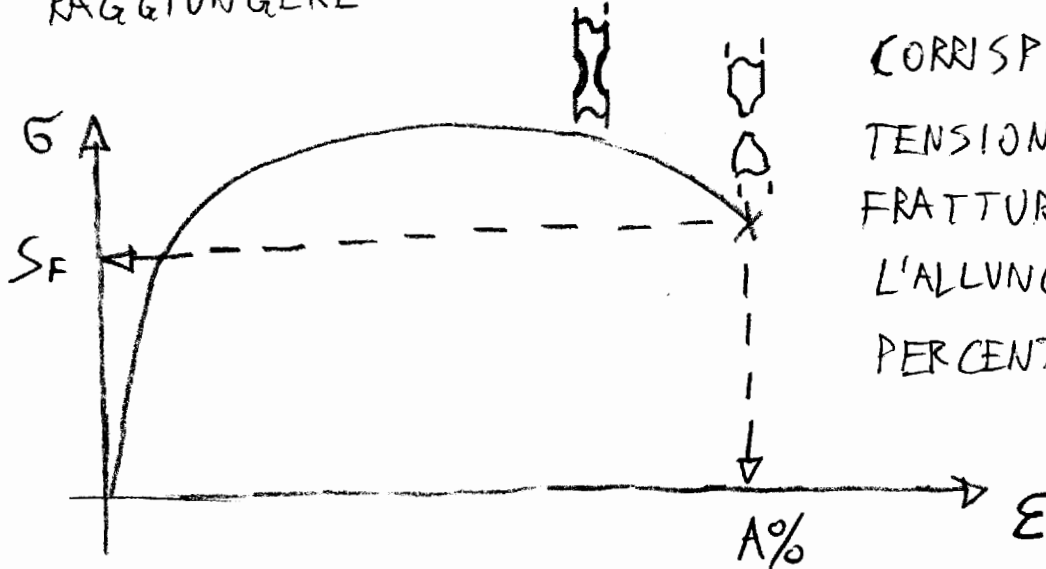
CHE E' PARI ALLO 0.2%  
(CHE PUO' ESSERE  
DETERMINATA BENE  
SPERIMENTALMENTE)

SUCCESSIVAMENTE IL CARICAMENTO PROSEGUE,  
LA TENSIONE AUMENTA (INCRUDIMENTO) FINO  
A RAGGIUNGERE UN MASSIMO A CUI CORRISPONDE



LA TENSIONE  
"ULTIMA":  $S_u$

IN CORRISPONDENZA DI QUESTO MASSIMO INIZIA IL FENOMENO DELLA STRIZIONE, PIU' O MENO MARCATA PER DIVERSI MATERIALI. IN UNA ZONA DEL PROVINO LA SEZIONE DIMINUISCE FINO A RAGGIUNGERE LA FRATTURA FINALE A CUI



CORRISPONDE LA TENSIONE DI FRATTURA  $S_F$  E L'ALLUNGAMENTO PERCENTUALE  $A\%$

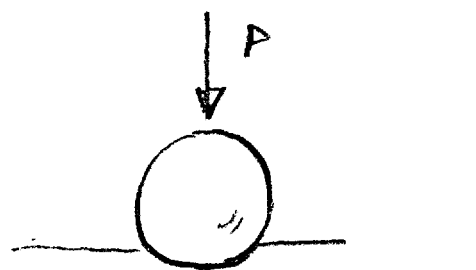
LA  $A\%$  E' LA  $\epsilon$  (MOLTIPLICATO X 100%) A CUI SI HA LA FRATTURA, RAPPRESENTA QUINDI UNA MISURA DELLA DUTTILITA': LA CAPACITA' DI DEFORMARSI, DI UN MATERIALE, PRIMA DI SUBIRE LA FRATTURA. INVECE I 2 VALORI  $S_y, S_u$  RAPPRESENTANO LA RESISTENZA

INFINE IL PRODOTTO RESISTENZA X DUTTILITA' E LA TENACITA' CHE RAPPRESENTA LA CAPACITA' DI ASSORBIRE MOLTA ENERGIA PRIMA DI RAGGIUNGERE LA FRATTURA

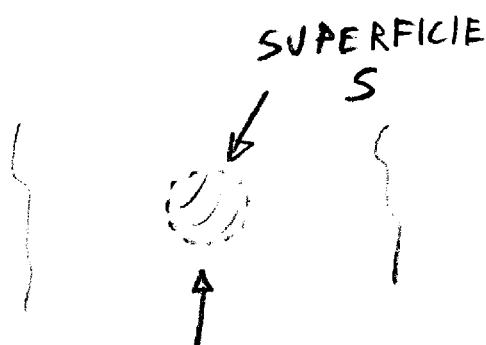
UN ALTRO TIPO DI PROVA MOLTO FREQUENTE E' LA DUREZZA. LA DUREZZA E' LA CAPACITA' DI UN MATERIALE DI NON SUBIRE DEFORMAZIONI PLASTICHE LOCALI E/O GRAFFIATURA.

ESISTONO VARIE SCALE, LE PIU' COMUNI PER I METALLI, SONO LA BRINELL E LA ROCKWELL C

NELLA BRINELL ABBIAMO L'INDENTAZIONE DI UNA SFERA E IL VALORE DI DUREZZA E' DATO DAL RAPPORTO FRA LA FORZA MASSIMA APPLICATA E LA SUPERFICIE DELL'IMPRONTA RIMASTA DOPO AVER RIMOSSO LA SFERA



$$HB = \frac{P}{S}$$



IMPRONTA  
(SFERICA)

VISUALIZZATA E  
MISURATA CON UN  
MICROSCOPIO OTTICO

LA P (FORZA MAX.)  
E' SEMPRE ESPRESSA  
IN  $\text{kgf}$  MENTRE  
LA S IN  $\text{mm}^2$ ,  
L'UNITA' DI MISURA DI HB  
NON SI SPECIFICA PERO',  
AD ESEMPIO: 300 HB

LA ROCKWELL C HA COME INDENTATORE UN CONO (IN DIAMANTE) E SI MISURA LA PROFONDITA' DI PENETRAZIONE A PARTIRE DA UN CARICO MINIMO A CUI SEGUE IL CARICO MASSIMO. LA DUREZZA VIENE OTTENUTA DALL'INVERSO DI QUESTA PROFONDITA' DI PENETRAZIONE FRA IL MIN. E IL MAX. ANCHE IN QUESTO CASO SI RIPORTA IL NUMERO SENZA UNITA' DI MISURA

LA R.C E' PIU' ADATTA PER DUREZZE MOLTO ELEVATE, ES. TEMpra O CEMENTAZIONE, MENTRE LA BRINELL SI USA PER I METALLI DI DUREZZA NON ECCESSIVA

TIPICAMENTE SI PASSA DALLA DUREZZA B. ALLA R.C PER HB 500-600 A CUI CORRISPONDE HRC 50-55 RISPETTIVAMENTE

---

INFINE, PER GLI ACCIAI VALE UNA BUONA CORRELAZIONE (LINEARE) FRA DUREZZA BRINELL E TENSIONE ULTIMA  $S_u$ :

$$S_u = 3.45 HB$$

SPESSO SI PREFERISCE FARE LA DUREZZA (PIU' VELOCE ED ECONOMICA) E DEDURRE  $S_u$ , SENZA FARE LA P. DI TRAZ. (08)



# VALORI DI RIFERIMENTO PRINCIPALI METALLI

AISI 1020 ↔ C 20 (0.2 % CARBONIO)

$$S_y = 290 \text{ MPa}$$

$$A\% = 25\%$$

$$S_u = 390 \text{ MPa}$$

$$110 \text{ HB}$$

---

ACCIAI A BASSO TENORE CON DESIGNAZIONE  
IN BASE ALLE PROP. MECCANICHE

Fe 360 ↔ S 235 | Fe 430 ↔ S 275 | Fe 510 ↔ S 355



$$S_u = 360 \text{ MPa}$$

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

---

ACCIAIO BONIFICATO

AISI 4340 ↔ 39 Ni Cr Mo 3

$$S_y = 855 \text{ MPa}$$

$$S_u = 965 \text{ MPa}$$

$$A\% = 19\%$$

$$\approx 300 \text{ HB}$$

---

ACCIAIO TEMPRATO

AISI 440

$$S_y = 1700 \text{ MPa}$$

$$S_u = 1850 \text{ MPa}$$

$$A\% = 6-8\% \geq 55 \text{ HRC}$$

---

LEGA DI ALLUMINIO 7075 - T6

$$S_y = 470 \text{ MPa}$$

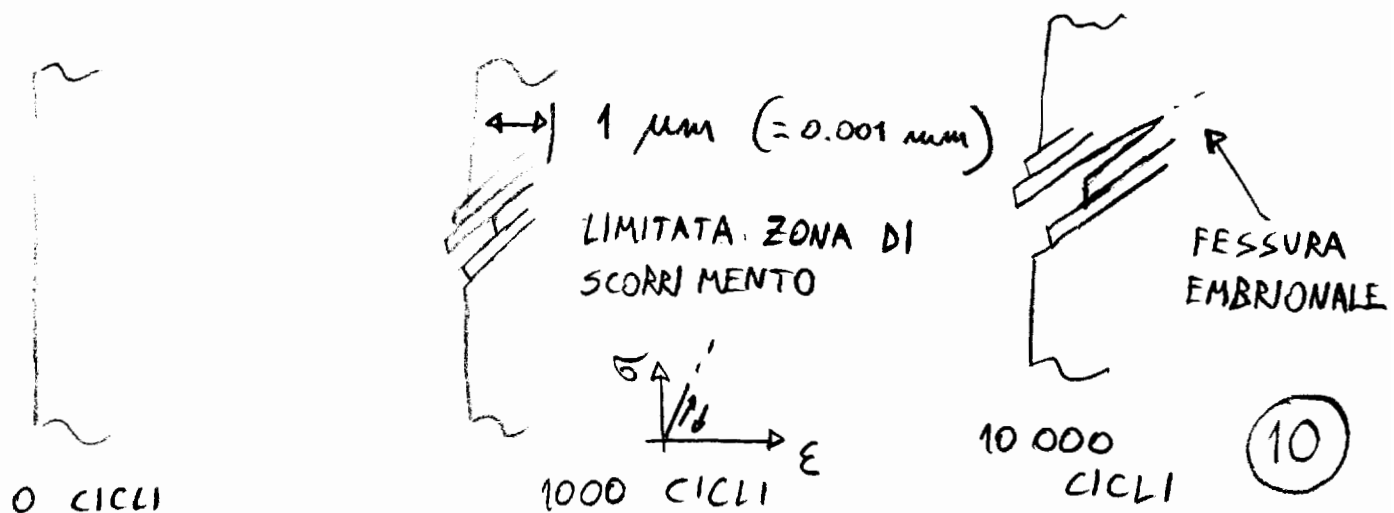
$$S_u = 580 \text{ MPa}$$

$$A\% = 11\% \approx 200 \text{ HB}$$

# RESISTENZA A FATICA

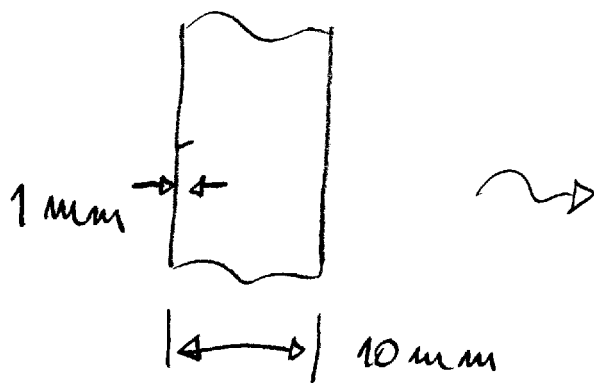
SE AD UN PROVINO DI MATERIALE METALLICO (ES. ACCIAIO) VIENE APPLICATO UN CARICO, INFERIORE ALLA TENSIONE DI SNERVAMENTO, E SUCCESSIVAMENTE RIMOSSO, APPARENTEMENTE IL MATERIALE NON HA SUBITO DEFORMAZIONI MACROSCOPICHE PERMANENTI E QUINDI L'APPLICAZ. DEL CARICO NON HA COMPORTATO NESSUNA CONSEGUENZA. IN REALTA' A LIVELLO MICROSCOPICO SI HANNO DELLE ZONE DI DEFORMAZ. PLASTICA CHE ESSENDO DI VOLUME MOLTO PICCOLO NON HANNO EFFETTI VISIBILI MACROSCOPICI

SE IL CARICO VIENE RIPETUTO UN NUMERO MOLTO ELEVATO DI VOLTE (ES. 10 000 CICLI) IN QUESTE ZONE DI DEF. PLASTICA (A LIVELLO MICRO) SI HA LA FORMAZIONE DI UNA FESSURA "EMBIONALE"

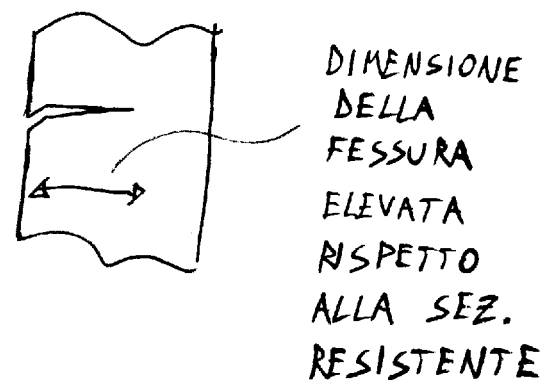


QUESTA FASE VIENE DEFINITA "NUCLEAZIONE"  
 (OPPURE "INIZIAZIONE") DELLA FESSURA DI  
 FATICA. IL TERMINE "FATICA" INDICA APPUNTO  
 UN DANNEGGIAMENTO CHE SUBISCE IL MATERIALE  
 A SEGUITO DI UNA RIPETIZIONE DEL CARICO  
 PER UN NUMERO ELEVATO DI VOLTE

SEGUE POI LA FASE DI "PROPAGAZIONE"  
 DELLA FESSURA IN CUI SI HA UN ACCRESCI-  
 MENTO E LA DIMENSIONE DELLA FESSURA  
 DIVENTE MACROSCOPICA



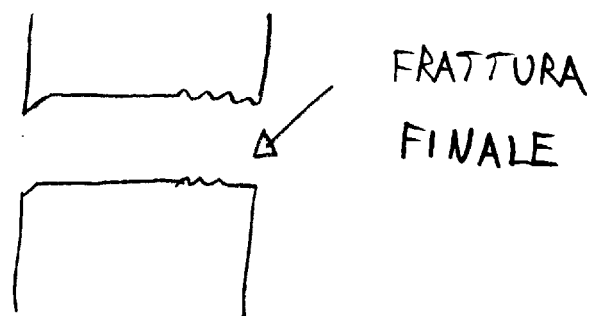
20 000 CICLI



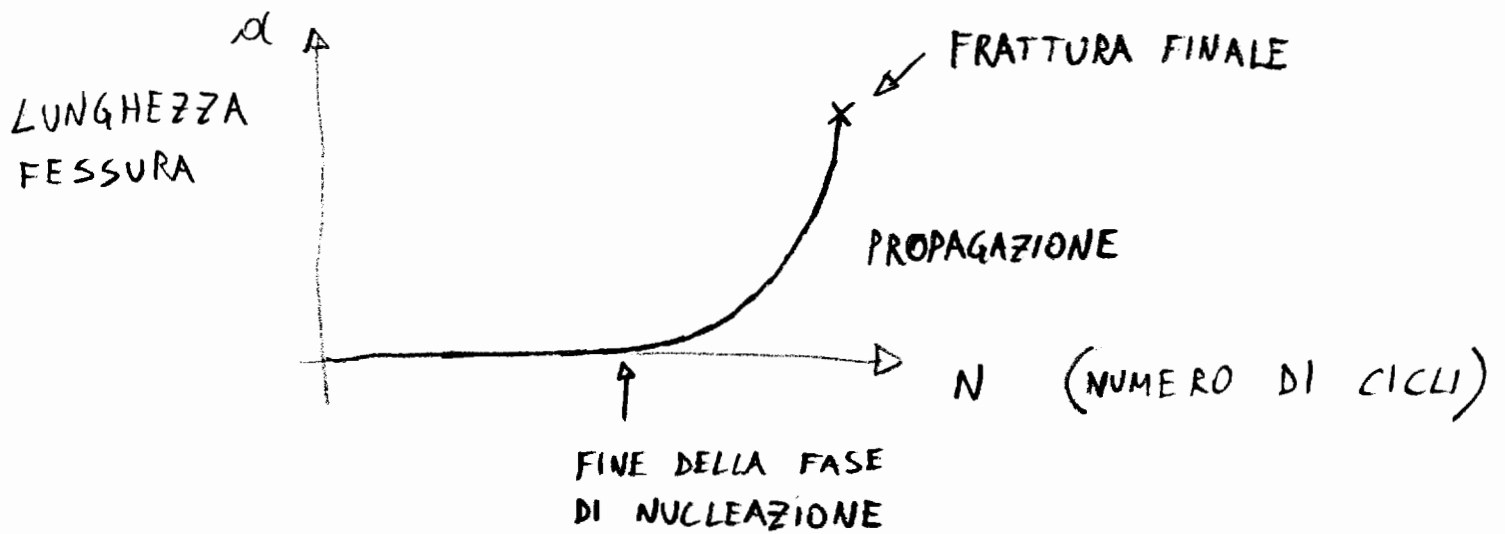
30 000 CICLI

ESSENDO LA SEZIONE RESISTENTE SEMPRE PIU'  
 PICCOLA, INEVITABILMENTE, SI ARRIVA ALLA  
 FRATTURA FINALE

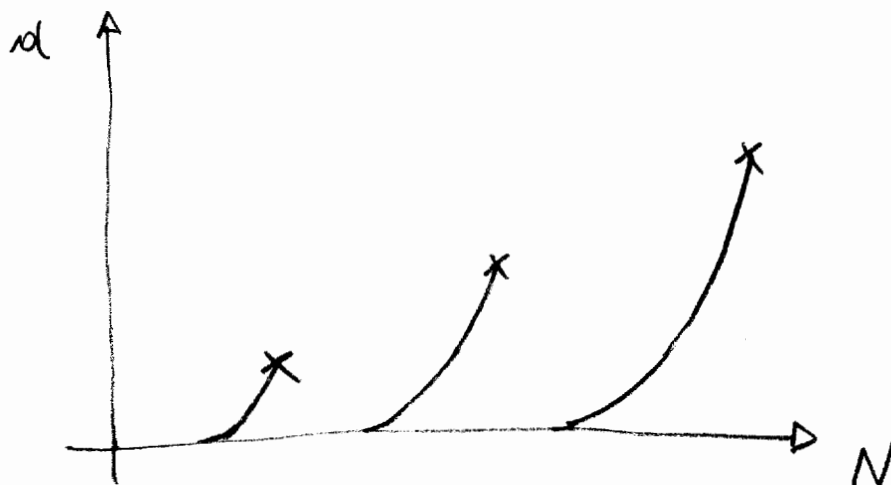
30 500  
 CICLI



LA NUCLEAZIONE E' RELATIVAMENTE PIU' LUNGA DELLA PROPAGAZIONE E QUINDI HA UN'IMPORTANZA PREDOMINANTE



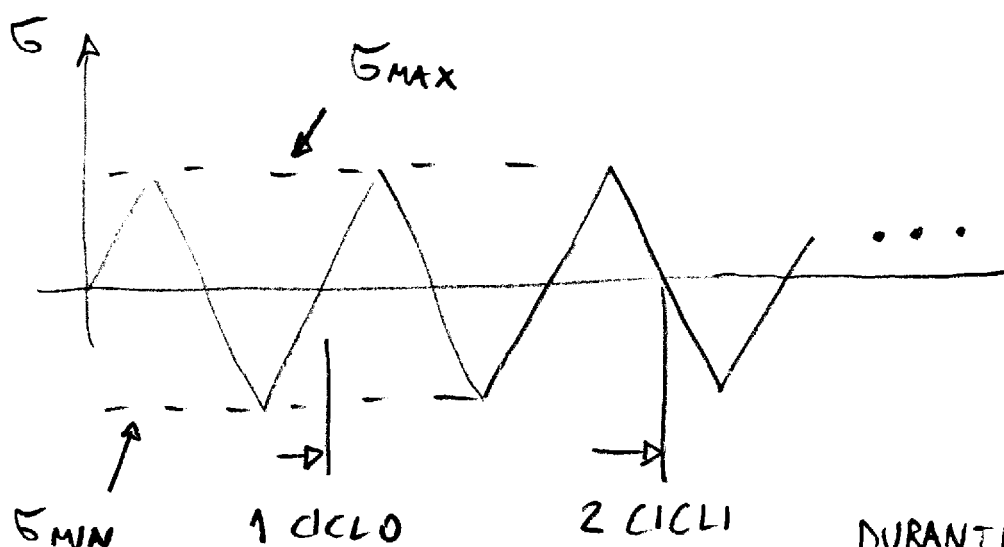
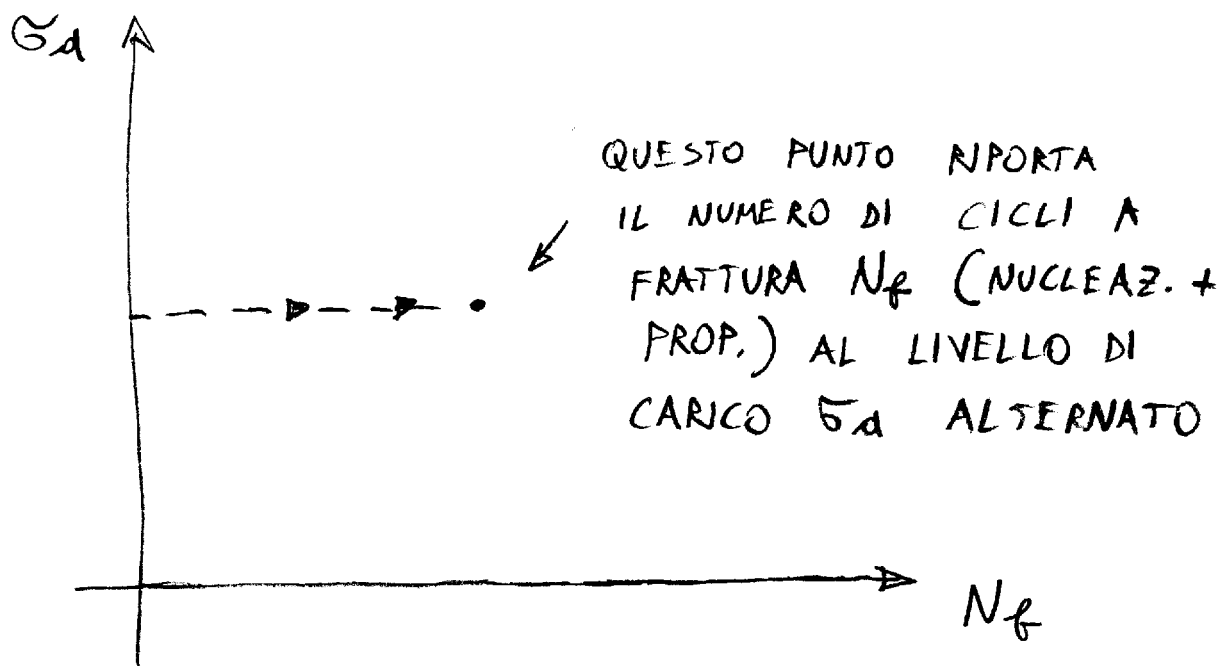
OVVIAMENTE MAGGIORE E' IL CARICO E PIU' RAPIDAMENTE SI HA NUCL. E PROP.



INOLTRE E' ANCHE INFERIORE IL VALORE MASSIMO DELLA FESSURA AL MOMENTO DELLA FRATTURA FINALE

PER CONOSCERE LA RESISTENZA A FATICA DI UN MATERIALE SI ESEGUONO DELLE PROVE DA CUI SI RICAVANO LE CURVE S-N: SFORZO ( $\sigma$ ) - NUMERO DI CICLI A FRATTURA

SI OTTENGONO RACCOGLIENDO PIU' PROVE A DIVERSO LIVELLO DI CARICO ALTERNATO



TENSIONE ALTERNATA

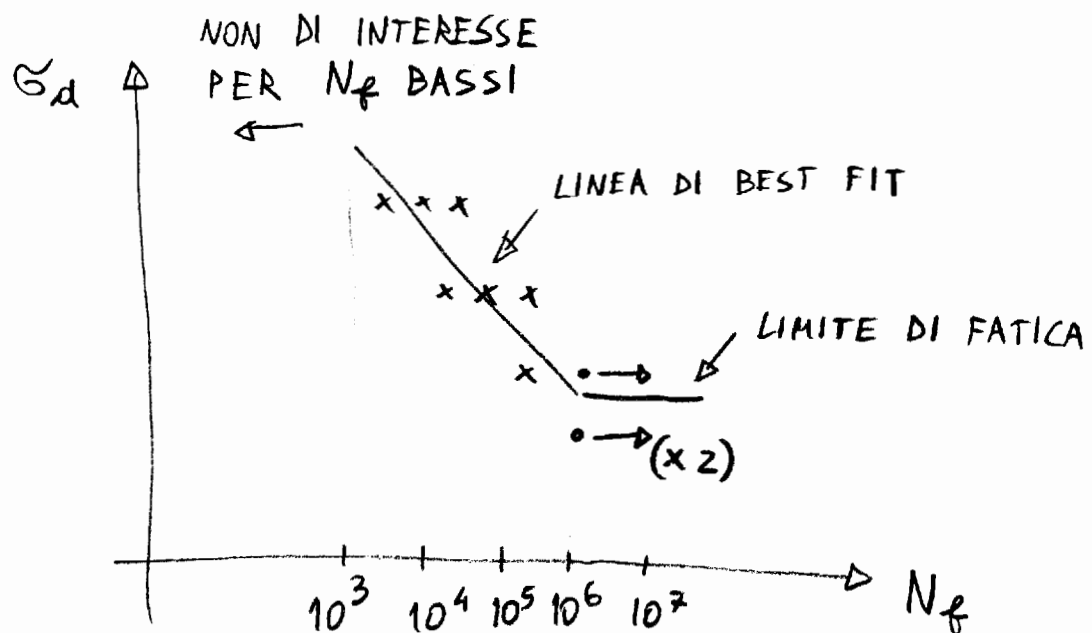
$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

DURANTE TUTTA LA PROVA LA  $\sigma_a$  VIENE MANTENUTA COSTANTE



QUESTE PROVE, CONCLUSE CON NON FRATTURA, VENGONO INDICATE COME (RUN-OUT) E SONO MOLTO IMPORTANTI PERCHE' INDICANO IL LIVELLO DI RESISTENZA DEL MATERIALE CHE DIVENTA IL CARICO DI PROGETTO

SOLITAMENTE INVECE DEI PUNTI VIENE RIPORTATA LA LINEA DI "BEST FIT", QUINDI LA MIGLIORE APPROSSIMAZIONE LINEARE FINO A  $10^6$  CICLI



OLTRE  $10^6$  SI CONSIDERA IL LIMITE DI FATICA:

SE NON C'E' STATA FRATTURA ENTRO  $10^6$

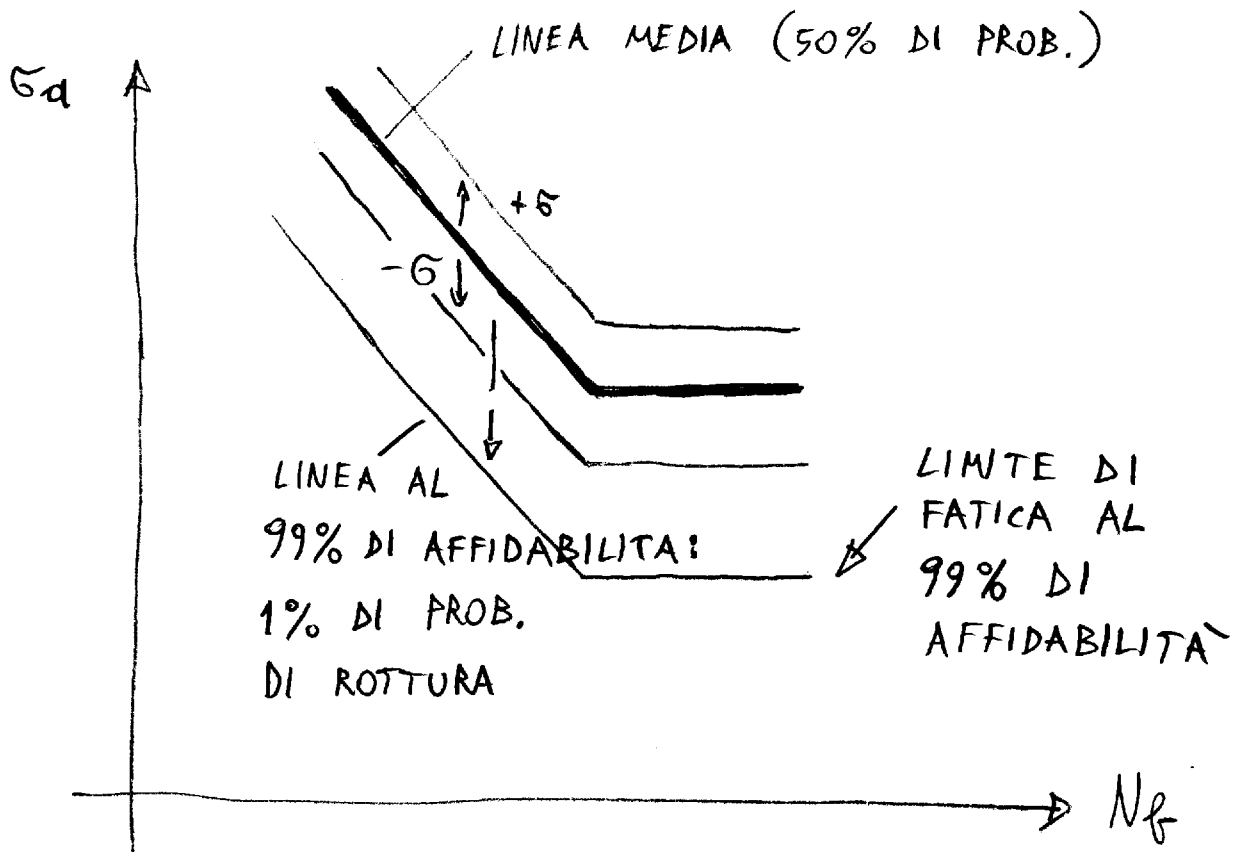
ALLORA NON SI HA FRATTURA NEMMENO PER NUMERI DI CICLI MOLTO PIU' ELEVATI, ES.:  $10^7 - 10^8$

PER GLI ACCIAI IL CONCETTO (MODELLO) DEL LIMITE DI FATICA E' ABBASTANZA REALISTICO

LA FATICA E' UN FENOMENO FORTEMENTE DISPERSO

TEORICAMENTE PER DEFINIRE LA RETTA BASTEREBBERO 2 PUNTI, INVECE E' NECESSARIO FARE MOLTE PROVE E POI UNA LINEA MEDIA

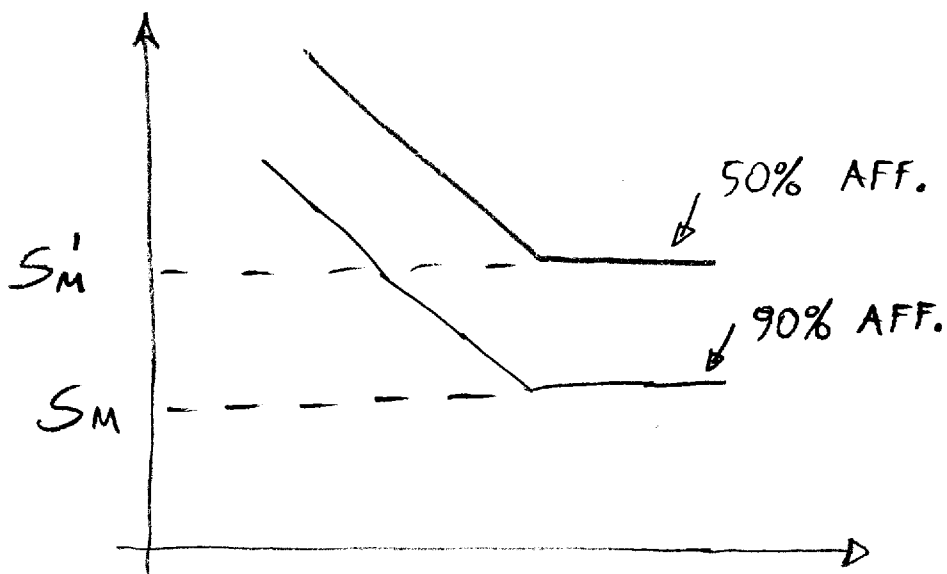
ALLA LINEA DI FATICA QUINDI E' ASSOCIATA UNA DEVIAZIONE STANDARD CHE RAPPRESENTA LA LARGHEZZA DI DISPERSIONE DEI PUNTI, CHE E' FONDAMENTALE DA CONSIDERARE NELLA FASE DI PROGETTO



SI DEVE QUINDI SCENDERE DI UN CERTO NUMERO DI DEVIAZIONI STANDARD PER RAGGIUNGERE UN LIVELLO DI AFFIDABILITA' SUFFICIENTEMENTE ELEVATO, UTILE QUINDI PER IL PROGETTO



# DETERMINAZIONE DEL LIVELLO DI TENSIONE ALTERNATA DI PROGETTO



CON BUONA APPROSSIMAZIONE, PER GLI ACCIAI:

$$S'_M = \frac{S_u}{2} \quad (S_u : \text{TENSIONE ULTIMA, PROVA DI TRAZIONE})$$

SUCCESSIVAMENTE SI CORREGGE  $S'_M$  TENENDO CONTO SIA DELL'AFFIDABILITA' RICHIESTA SIA ANCHE DI ALTRI EFFETTI, IN PARTICOLARE LO STATO DELLA SUPERFICIE (RUGOSITA' E/O CORROSIONE)

QUESTI EFFETTI VENGONO CONSIDERATI CON UN UNICO COEFFICIENTE  $C$ , MINORE DI 1, TIPICAMENTE  $\approx 0.5$

$$S_M = C S'_M$$

(IN PRATICA UN'ULTERIORE RIDUZIONE DI UN FATTORE 2)

A QUESTO PUNTO SI VERIFICA LA RESISTENZA A FATICA CONFRONTANDO  $S_m$  CON IL LIVELLO (ALTERNATO) DI CARICO  $\sigma_d$

SI PUO' QUINDI DEFINIRE UN COEFFICIENTE DI SICUREZZA:

$$M_F = \frac{S_m}{\sigma_d}$$

OVVIAMENTE SE  $M_F > 1$  LA VERIFICA E' SODDISFATTA

SE INVECE  $M_F < 1$  LA PROBABILITA' DI AVERE FRATTURA A FATICA (PRIMA DI  $10^6$  CICLI) E' MAGGIORE DELL' 1%

DI SOLITO SI RICHIEDE CHE  $M_F$  SIA ABBONDANTEMENTE MAGGIORE DI 1, AD ESEMPIO

$M_F = 2-3$  O ADDIRITTURA SUPERIORE SE LE CONSEGUENZE DELLA FRATTURA SONO O POSSONO ESSERE PARTICOLARMENTE GRAVI

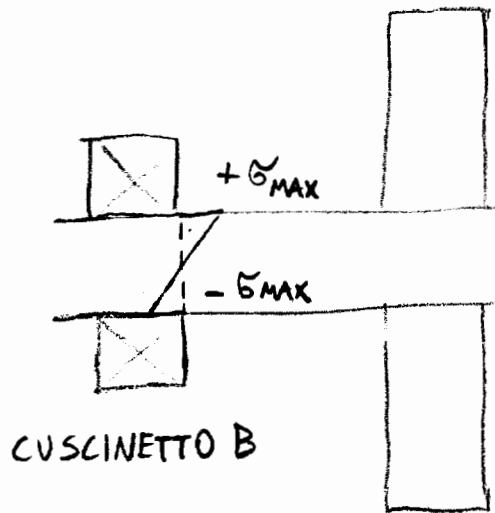
$M_F$  RICHiesto  $> 1$  (ES.  $M_F = 3$ ) TIENE CONTO

DI VARIE INCERTEZZE: SUL CARICO, SUL MODELLO,

SULLA GEOMETRIA, SULLA FORNITURA DEL

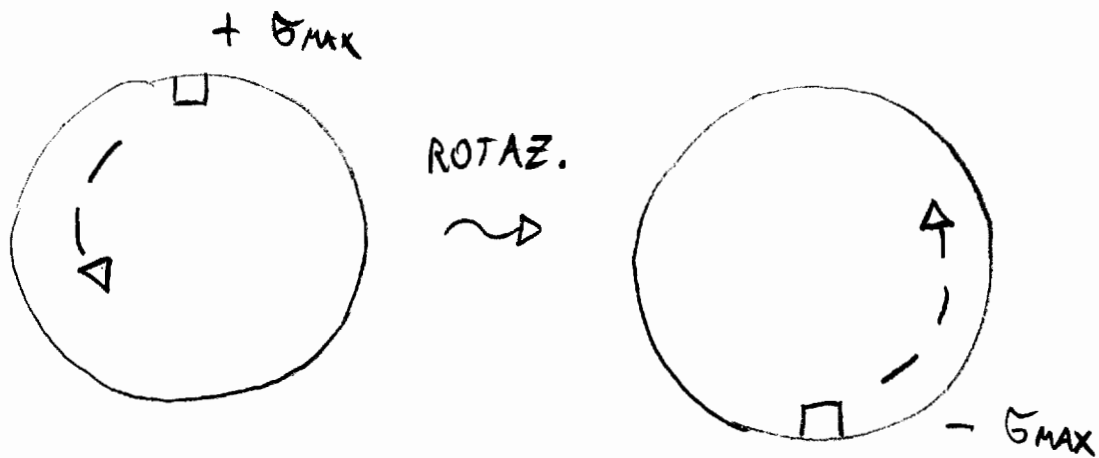
MATERIALE, ETC.

# APPLICAZIONE ALL'ESERCIZIO PRECEDENTE



ALL'ESTREMITA' DX  
DEL CUSCINETTO B  
ABBIAMO  
"FLESSIONE ROTANTE"

LA SINGOLA PORZIONE DI MATERIALE, RUOTANDO,  
SUBISCE UNA TENSIONE ALTERNATA



QUINDI  $\sigma_d = \sigma_{max}$

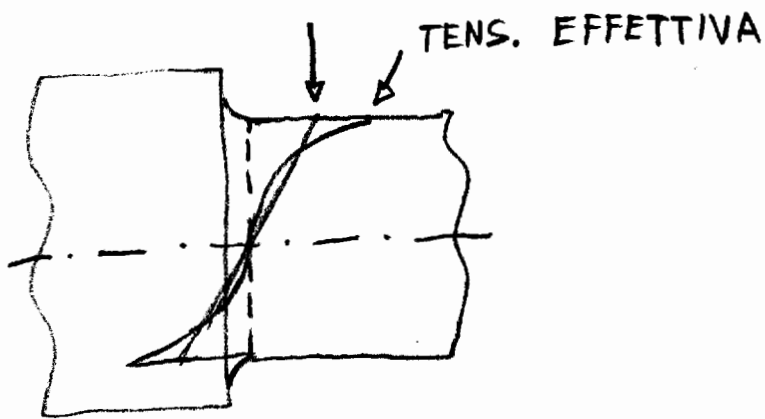
SI POTREBBE PROCEDERE AL CALCOLO DI MF

IN REALTA' SI DEVE CONSIDERARE UN ULTIMO  
ASPETTO: LA CONCENTRAZIONE DELLE  
TENSIONI

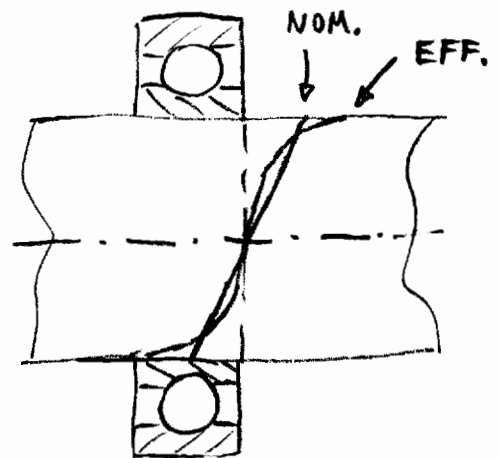
IN CORRISPONDENZA DI SPIGOLI O CONTATTI  
 LA TENSIONE CALCOLATA CON LA TEORIA  
 DELLE TRAVI E' SOLO LA TENSIONE "NOMINALE"  
 CHE SUBISCE UN'AMPLIFICAZIONE PER EFFETTO  
 DELLA GEOMETRIA

ESISTONO VARI ESEMPI NEGLI ELEMENTI DI MACCHINE

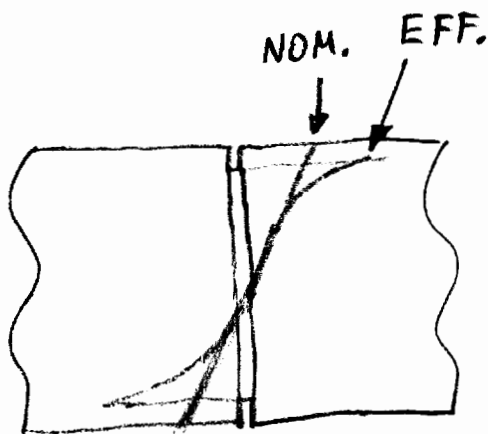
TENS. NOMINALE (TRAVE)



ALBERO CON VARIAZIONE  
 DI DIAMETRO  
 (SPALLAMENTO)



CONTATTO CON  
 ELEMENTO ESTERNO



SEDE ANELLO SEEGER  
 (OPPURE SEDE DI UNA LINGUETTA)

... TANTI  
 ALTRI ESEMPI  
 ANCHE NON ALBERI

SI TIENE CONTO DELLA CONCENTRAZIONE DELLE TENSIONI CON UN COEFFICIENTE  $K_f$  CHE VA MOLTIPLICATO PER LA TENSIONE NOMINALE, A TRAVE, ALTERNATA

E QUINDI SI PUO' FINALMENTE TROVARE IL COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$M_F = \frac{S_m}{K_f \sigma_d}$$

E VERIFICARE CHE SIA (ABBONDANTEMENTE) MAGGIORE DELL'UNITA'

RITORNANDO ALL'ESEMPIO PRECEDENTE, SUPPONIAMO DI AVERE:

$$S_u = 900 \text{ MPa} \quad (\text{ACCIAIO BONIFICATO})$$

$$C = 0.6 \quad K_f = 1.6$$

$$\text{RICORDANDO CHE } \sigma_{\max} = 130 \text{ MPa}$$

$$S_m' = S_u / 2 = 450 \text{ MPa}$$

$$S_m = C S_m' = 270 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \sigma_{\max} = 130 \text{ MPa}$$

$$M_F = \frac{S_m}{K_f \sigma_d} = 1.3$$

VERIFICA SODDISFATTA ANCHE SE CON UN MARGINE MOLTO RIDOTTO