



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1663A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Marangi

MATERIA: Scienze dei Materiali. Prof.Lombardi

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

SCIENZE DEI MATERIALI

SI DEFINISCE MATERIALE QUALSIASI SOSTO IN GRADO DI SVOLGERE ALMENO UNA FUNZIONE (MECCANICA, TERMICA, ...). VARI MATERIALI POSSONO SVOLGERE LA STESSA FUNZIONE, OCCORRE QUINDI SAPER OPERARE LA SCELTA MIGLIORE

MATERIA ↔ ESIGENZA/FUNZIONE

UN MATERIALE SI SCEGLIE IN BASE A LE SUE PROPRIETÀ

I MATERIALI SI CLASSIFICANO COME:

- NATURALI, DI ORIGINE GEOLOGICA (PIETRE, ROCCE, ARGILLE) O CHIMICA (GOMMA, CARBONE, ...)
- SINTETICI, (METALLI OTTENUTI DA MINERALE, CERAMICI, MATERIE PLASTICHE, ...)

I MATERIALI SI DIVIDONO IN 6 FAMIGLIE:

- METALLI (Fe, Al, Cu) E LORO LEGHE (ACCIAI, GHISE, ...)
- VETRI
- CERAMICI
- POLIMERI
- ELASTOMERI
- IBRIDI

PER PRODURRE UN GENERICO OGGETTO CON UN MATERIALE È NECESSARIO ACCOPPIARGLI UN PROCESSO COMPATIBILE CON IL MATERIALE CHE SI DESIDERA IMPIEGARE.

I REQUISITI DI PROGETTO DEFINISCONO LE PRESTAZIONI RICHIESTE AI MATERIALI DEFINITE DA VALORI SOGGI

- OTTIMI CONDUTTORI DI ELETTRICITÀ E CALORE
- ELEVATE RESISTENZE MECCANICHE PUR ESSENDO DURI, CIOÈ DEFORMABILI PLASTICAMENTE
- TEMPERATURE DI FUSIONE ASSAI VARIABILI
- ~~ALTE~~ DENSITÀ MEDIO-ALTE
- SI CORRODONO FACILMENTE
- FORMATURA PREVALENTEMENTE DA FUSO

CERAMICI

SONO MATERIALI INORGANICI NON METALLICI MATERIALI FORMATI DALLA COMBINAZIONE, IN RAPPORTI STE CHIOMETRICAMENTE DEFINITI, DI ELEMENTI METALLICI E NON METALLICI, CARATTERIZZATI DALLA PRESENZA DI LEGAMI IONICI E/O COVALENTI.

POSSONO PRESENTARE STRUTTURE ORDINATE (CRISTALLI) O CAOTICHE (VETRI)

- CERAMICI TRADIZIONALI, SOPRATTUTTO DERIVATI DELL'ARGILLA (PORCELANE)
- CEMENTI, CALCI...
- VETRI (A BASE SILICE)
- CERAMICI INGEGNERISTICI (CARBURI, OSSIDI, BORURI)

UN CERAMICO PRESENTA LE SEGUENTI CARATTERISTICHE:

- ISOLANTI TERMICI ED ELETTRICI
- GENERALMENTE AUTOPRODENTI
- RESISTONO BENE ALE ALTE TEMPERATURE → REFRATTARIETÀ, MANTENERE INALTERATE LE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE-MECCANICHE ANCHE

LE CARATTERISTICHE SONO:

- BASSA DENSITÀ
- FACILMENTE FORMABILI
- BASSA RESISTENZA MECCANICA
- BASSA TEMPERATURA DI DECOMPOSIZIONE OPPURE DI FUSIONE
- ALTA REATTIVITÀ CHIMICA
- RICICLABILE A FINE VITA (TP)

COMPOSITI

COMBINAZIONE DI DUE O PIÙ MATERIALI DIVERSI, FINALIZZATE ALL'ACCOPPIAMENTO DELLE MIGLIORI CARATTERISTICHE DI CIASCUNO DI ESSI (EFFETTO SINERGICO)

- MATRICE
- RINFORZO

+ COMPOSITI NATURALI → LEGNO, NEL QUALE LA MATRICE DI LIGNINA È RINFORZATA DALLE FIBRE CELLULOSICHE.

+ COMPOSITO SINTETICO → VETRORESINA:

- ELEVATA RESISTENZA A TRAZIONE DELLE FIBRE DI VETRO, INTRINSECAMENTE FRAGILI
- NOTEVOLE DUTTILITÀ E FLESSIBILITÀ DEL MATERIALE POLIMERICO

SI CONFERISCE ALLA MATRICE POLIMERICA LA CAPACITÀ DI SOPPORTARE I CARICHI RICHIESTI AD UN MATERIALE STRUTTURALE

• LEGAME METALLICO → METALLI

DA ATOMI SI PASSA A IONI POSITIVI (ES: $Al \rightarrow Al^{3+}$)
IMMERSI IN UNA NUBE DI ELETTRONI LIBERI.

È UN TIPO DI LEGAME ELETTROSTATICO E QUINDI
ADIREZIONALE.

CARATTERISTICHE:

• ENERGETICAMENTE FORTE

→ MEDIO-ALTA RIGIDEZZA

→ MEDIO-ALTA RESISTENZA A ROTTURA

→ MEDIO-ALTA TEMPERATURA DI FUSIONE

→ BASSA DILATAZIONE TERMICA

• ADIREZIONALE

→ DUCTILITÀ

• ELETTRONI LIBERI

→ OTTIMO CONDUTTORE TERMICO

→ OTTIMO CONDUTTORE ELETTRICO

• LEGAME COVALENTE, PREVALENTE SU IONICO → CERAMICI

IL LEGAME COVALENTE ESISTE PERCHÉ DUE ATOMI
CONDIVIDONO ELETTRONI. QUESTI DUNQUE RISULTANO
NON LIBERI. LE DIREZIONI ~~DELLI~~ QUINDI SONO
BEN DEFINITE E IL LEGAME RISULTA ESSERE DIRE-
ZIONALE.

CARATTERISTICHE:

• ENERGETICAMENTE MOLTO FORTE

→ ALTA RIGIDEZZA

→ ALTA RESISTENZA A ROTTURA

→ ALTA TEMPERATURA DI FUSIONE

→ BASSISSIMA DILATAZIONE TERMICA

LA RIGIDEZZA DEL LEGAME $S = \frac{F}{\delta}$. SOTTOPONENDO A TRAZIONE O COMPRESSIONE IL LEGAME SI INDUCE UNO SPOSTAMENTO δ E SI IMMAGAZZINA ENERGIA $U = \frac{F\delta}{2}$.

QUESTA ENERGIA, ESSENDO LA MATERIA CONCENTRATA IN PICCOLE REGIONI, ~~SECONDO~~ SEGUIRÀ IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

I MATERIALI RESISTONO ALE SOLLECITAZIONI ESTERNE DEFORMANDOSI.

VI SONO 2 TIPI DI DEFORMAZIONI POSSIBILI:

- REVERSIBILI, RECUPERABILI APPENA ~~LA DEFORMAZIONE~~ LO STRESS ESTERNO SI ANNULLA: DEF. ELASTICA
- IRREVERSIBILI, NON PIÙ RECUPERABILI ANCHE SE LO STRESS ESTERNO SI ANNULLA: DEF. PLASTICA

TUTTI I MATERIALI PRESENTANO DEF. ELASTICA MA IN DUE MODI DIVERSI:

- SOLO DEFORMAZIONI ELASTICHE FINO A ROTURA
→ MATERIALI FRAGILI
- DEFORMAZIONI SIA ELASTICHE CHE PLASTICHE PRIMA DI ROMPERSI → MATERIALI DUTTI

DIFFERENZA TRA "FRAGILE" E "BRITTLE":

- FRAGILE → MATERIALE CHE SI ROMPE SOTTO SOLLECITAZIONI ESTERNE CONTENUTE → POCO RESISTENTE
- BRITTLE → MATERIALE CHE SI ROMPE AVENDO SPERIMENTATO SOLO DEF. ELASTICHE

LA REAZIONE È UN ALLUNGAMENTO LUNGO LA DIREZIONE DI TRAZIONE $\Delta L = L - L_0$.

DEFINIRE IL BINOMIO $F \leftrightarrow \Delta L$ DÀ INFORMAZIONI SULLO SPECIFICO COMPONENTE AVENTE QUELLE DIMENSIONI E QUELTA SUPERFICIE PORTANTE. IN QUESTO MODO CI SI PUÒ SVINCOLARE DALLO SPECIFICO PER DARE INFORMAZIONI DI VALORE ASSOLUTO PER IL MATERIALE.

SI DEFINISCE LA SOLLECITAZIONE $\sigma = \frac{F}{A} = [\text{MPa}]$

E LA DEFONAZIONE $\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$

PER LA LEGGE DI HOOKE QUESTE SONO COLLEGATE DALLA RELAZIONE $\sigma = E\varepsilon$, DOVE 'E' RAPPRESENTA IL MODULO ELASTICO O MODULO DI YOUNG.

IL MODULO ELASTICO E QUANTIFICA LA RIGIDEZZA DEL MATERIALE



LA DEFONAZIONE ELASTICA È LA RESISTENZA AL CAMBIAMENTO DI FORMA DEL MATERIALE SOTTO SOLLECITAZIONE, CHE SI MANIFESTA ELASTICAMENTE.

È RAPPRESENTA ANCHE LA RELAZIONE TRA LIVELLO ATOMICO E LIVELLO MACROSCOPICO.

$$E = \frac{S}{\delta_0}, \text{ DOVE } S \rightarrow \text{RIGIDEZZA DEL LEGAME}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$\delta_0 \rightarrow$ DISTANZA DI LEGAME

• COEFFICIENTE DI POISSON

$$\nu = \frac{\text{DEFORMAZIONE TRASVERSALE}}{\text{DEFORMAZIONE LONGITUDINALE}}$$

SI ASSUME MATERIALE ISOTROPO

- UN MATERIALE È DETTO ISOTROPO SE IL VALORE DELLA PROPRIETÀ È INDIPENDENTE DALLA DIREZIONE LUNGO LA QUALE SI MISURA.
- UN MATERIALE È DETTO ANISOTROPO SE IL VALORE DELLA PROPRIETÀ DIPENDE DALLA DIREZIONE LUNGO LA QUALE SI MISURA

PER UN MATERIALE ISOTROPO I MODULI SONO CORRELABILI L'UN L'ALTRO COME SEGUE

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

L'ENERGIA ELASTICA

DEFORMANDOSI ELASTICAMENTE, IL MATERIALE IMMAGAZZINA ENERGIA CHE RILASCIAMO QUANDO LA SOLLECITAZIONE CHE LO HA DEFORMATO VIENE A CESSARE. SI PUÒ DEFINIRE QUINDI UN LAVORO PER UNITÀ DI VOLUME

$$dW = \frac{F \cdot dl}{AL} = \sigma \cdot d\varepsilon$$

QUANDO LO SFORZO CRESCE DA ZERO FINO AD UN VALORE σ^* , IL LAVORO SVOLTO PER UNITÀ DI VOLUME È PARIA ALL'AREA SOTTESA ALLA CURVA SFORZO-DEFORMAZIONE

ABCABC È LA STRUTTURA È DETTA CUBICA A FACCE CENTRATE

QUESTA PICCOLA DIFFERENZA NELLA DISPOSIZIONE INFLUENZA LE PROPRIETÀ, IN PARTICOLARE QUELLA DI DEFORMAZIONE PLASTICA.

NON TUTTE LE STRUTTURE SONO IMPACCHATE IN MODO COMPATTO. QUELLE CHE SI DISPONGONO CON UNA STRUTTURA DEL TIPO ABABA NON COMPATTO SONO LE CUBICHE A CORPO CENTRATO.

IL FATTORE DI IMPACCAIMENTO ATOMICO F.I.A. È IL RAPPORTO TRA IL VOLUME EFFETTIVAMENTE OCCUPATO DA ATOMI DELLA CELLA E IL VOLUME STESSO DELLA CELLA. ESSO ASSUME I SEGUENTI VALORI:

- CCC $\rightarrow 0,68$
- CFC $\rightarrow 0,74$
- EC $\rightarrow 0,74$

OGNI IMPACCAIMENTO DI ATOMI CHE SI RIPETE UGUALE A SE STESSO È DETTO CRISTALLO. GLI ATOMI SI POSSONO IMPACCHARE ANCHE IN MANIERA NON CRISTALLOGRAFICA IN STRUTTURE AMORFE IL CUI FATTORE DI IMPACCAIMENTO NEL MIGLIORE DEI CASI ARRIVA A 0,64.

L'UNITÀ GEOMETRICA CARATTERIZZANTE LA STRUTTURA DI UN CRISTALLO È LA SUA CELLA ELEMENTARE. PIÙ CELLE ELEMENTARI SI UNISCONO PER OCCUPARE LO SPAZIO E LA DISPOSIZIONE RISULTANTE È DETTA RETICOLO CRISTALLINO.

COME MODIFICO MODULO ELASTICO E DENSITÀ?

SI DEFINISCONO:

- PROPRIETÀ INTRINSECHE, QUELLE CHE DIPENDONO DA PROPRIETÀ ATOMICHE (P.A., IMPACCAMENTO, ENERGIA DI LEGAME) → DIFFICILMENTE MODIFICABILI → COMPOSITI, SCHIUME
- PROPRIETÀ ESTRINSECHE, QUELLE CHE DIPENDONO DALLA MICROSTRUTTURA → CONTROLLABILI.

IL MODULO ELASTICO PUÒ ESSERE MODIFICATO ATTRAVERSO LA PRODUZIONE DI COMPOSITI, MISCELANDO FIBRE RIGIDE O PARTICELLE IN UNA MATRICE A MINOR RIGIDEZZA

SI SEGUE LA REGOLA DELLA MISCELA

- FRAZIONE IN VOLUME DELLA MATRICE

$$f_m = \frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_m + \bar{V}_f}$$

- FRAZIONE IN VOLUME DELLE FIBRE

$$f_f = \frac{\bar{V}_f}{\bar{V}_m + \bar{V}_f}$$

SI HA CHE $f_m + f_f = 1$

SAPENDO CIÒ SI PUÒ DIRE CHE:

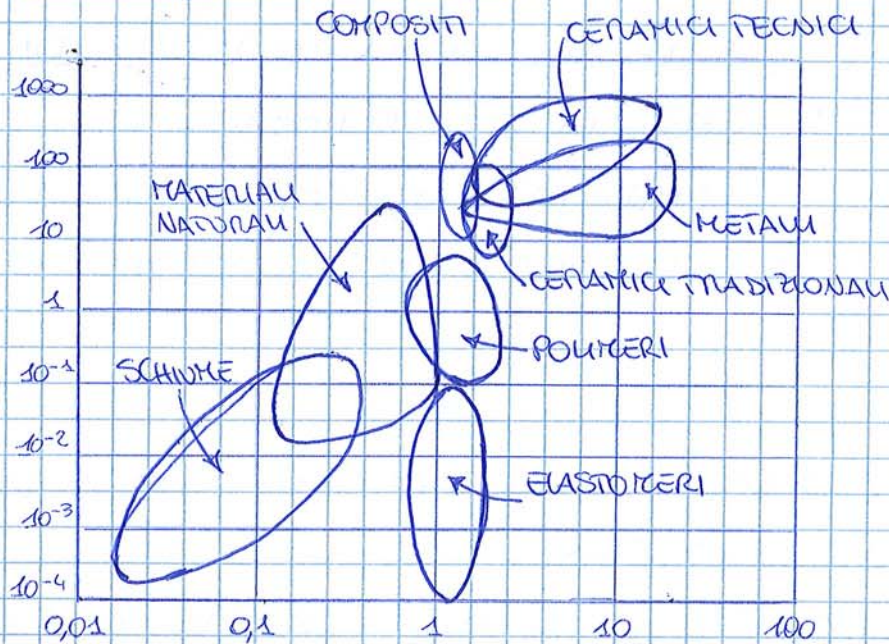
- LE PROPRIETÀ DEL COMPOSITO VARRANNO

$$P_c = f_f P_f + f_m P_m = f_f P_f + (1 - f_f) P_m$$

- LA DENSITÀ VARrà:

$$\rho_c = f_f \rho_f + f_m \rho_m = f_f \rho_f + (1 - f_f) \rho_m$$

MAPPA MODULO-DENSITÀ



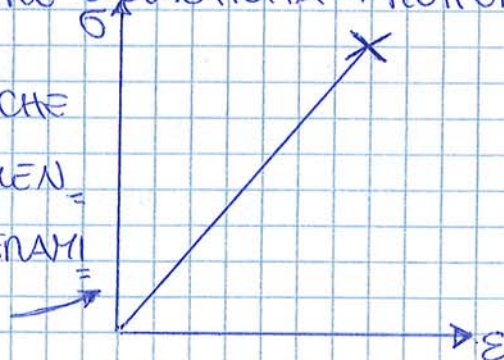
LA DUTTILITÀ

NEVA CURVA SFORZO DEFORMAZIONE ESISTE UN PUNTO ALLA FINE DEL TRATTO ELASTICO, OLTRE IL QUALE UN MATERIALE SI PUÒ COMPORTARE IN DUE MODI DIVERSI IN BASE ALLA SUA NATURA:

- CASO a) IL MATERIALE SI ROMPE: COMPORTAMENTO ELASTICO FINO A ROTURA → MATERIALI FRAGILI
- CASO b) IL MATERIALE SUBISCE OLTRE ALLA DEFORMAZIONE ELASTICA, ANCHE DEFORMAZIONE IRREVERSIBILE PLASTICA PRIMA DI RIENTRARE A ROTURA → MATERIALI DUTTI

CASO a: NON SI VA OLTRE L'ELASTICITÀ → ROTURA

QUESTA È LA CURVA CHE DESCRIVE IL COMPORTAMENTO SOTTO STRESS DI CERAMICI E T.I.



AD UNA INTERSTIZIALE. QUESTI DIFETTI RICHIEDONO PIÙ ENERGIA E SI VERIFICANO PERCIÒ PIÙ RARAMENTE.

- UN DIFETTO INTERSTIZIALE È UN ATOMO SITUATO ~~TRA~~ NEL LO SPAZIO FRA GLI ATOMI CHE OCCUPANO I PUNTI DEL RETICOLO. TALE ATOMO PUÒ ESSERE UN ELEMENTO DEL CRISTALLO OSPITANTE OPPURE UN'IMPUREZZA

LE CONSEGUENZE DELLA PRESENZA DEI DIFETTI PUNTIUALI SONO:

- 1) LA CREAZIONE DI SOLUZIONI SOLIDE (LEGHE)
- 2) LA DIFFUSIONE ALLO STATO SOLIDO

1) SOLUZIONI SOLIDE

ALCUNE IMPUREZZE VENGONO DELIBERATAMENTE AGGIUNTE CREANDO LE LEGHE. IN PRATICA NEL MATERIALE, SOLVENTE, VENGONO DISCIOLTI ATOMI DI UN SECONDO ELEMENTO, SOLUTO.

UNA SOLUZIONE SOLIDA PUÒ ESSERE DI DUE TIPI:

- SOSTITUZIONALE, CIOÈ GLI ATOMI DISCIOLTI SOSTITUISCONO QUELLO DEL MATERIALE OSPITANTE.

AFFINCHÉ CIÒ AVVENGA SI DEVONO RISPETTARE LE REGOLE DI HUME-ROTHERY:

- STESSA VALENZA
- STESSO RETICOLO CRISTALLINO
- SIMILE ELETTRONEGATIVITÀ
- DIFFERENZA TRA RAGGI ATOMICI $< 15\%$

SI POSSONO AVERE QUINDI TRE DIVERSE CONFIGURAZIONI:

CEMENTAZIONE (CARBONAZIONE) DEGLI ACCIAI È LA DENSIFICAZIONE (SINTERIZZAZIONE) DEI CERAMICI.

C'È DIFFERENZA TRA SOLUBILITÀ E DIFFUSIVITÀ.

CONSIDERIAMO IL CASO DEL CARBONIO NEL FERRO

- DIFFUSIVITÀ DEL C NEL Fe CFC < DI QUELLA NEL CCC. UNA STRUTTURA MENO COMPATTA (CCC FIA = 0,68) PERCHÉ DI REALTÀ DIFFUSIVITÀ MAGGIORI
- SOLUBILITÀ DEL C NEL Fe CFC > DI QUELLA NEL CCC. UNA STRUTTURA CON INTERSTIZI PIÙ GRANDI ($r_{CFC} = 0,053 \text{ nm} > r_{CCC} = 0,0192 \text{ nm}$) SOLUBILITÀ QUANTITÀ PIÙ GRANDI DI C.

DIFETTI DI LINEA → DISLOCAZIONI

LA DISLOCAZIONE È UN DIFETTO RIPETUTO IN UN MATERIALE E RESPONSABILE DELLA DUTTILITÀ, OGNERO DELLA DEFORMABILITÀ PERMANENTE DEI METALLI.

- UNA CONFIGURAZIONE FORMATA DAL BORDO DI UN SEMPIANO AGGIUNTIVO È DETTA DISLOCAZIONE A SPIGOLO.

IN QUESTA CONFIGURAZIONE IL CRISTALLO È INTERROTTO LUNGO UN PIANO ATOMICO FINO ALLA LINEA DI DISLOCAZIONE. LA PARTE SUPERIORE È SCIVOLATA RISPETTO A QUELLA SOTTOSTANTE DI UNA SPAZIATURA ATOMICA COMPLETA E GLI ATOMI SI SONO RICONGIUNTI LUNGO IL PIANO DI SEPARAZIONE COSÌ DA CREARE UN SEMPIANO AGGIUNTIVO.

QUINDI:

	CFC	CCC	EC
FIA	0,74	0,68	0,74
n° PIANI	12	12	3

SCALA DI DUTTILITÀ \rightarrow CFC > CCC > EC

LE DISLOCAZIONI SONO PRESENTI IN TUTTI I CRISTALLI MA I METALLI SONO DUTTI E I CERAMICI NO. QUESTO PERCHÉ I LEGAMI METALLICI ADINEZIONALI SI OPPONGONO DEBOLMENTE AL MOTO DISLOCATIVO MENTRE I LOCALIZZATI LEGAMI COVALENTI E IONICI DEI CERAMICI BLOCCANO LE DISLOCAZIONI.

TUTTI I DIFETTI INTERAGISCONO CON LE DISLOCAZIONI E HANNO UN RUOLO SULLA DUTTILITÀ.

BORDI DI GRANO

I SOLI POLICRISTALLINI SONO COMPOSTI DA CRISTALLI PERFETTI DISPOSTI TRA LORO CON ORIENTAZIONE DIFFERENTE. I SINGOLI CRISTALLI SONO DETTI GRANI E LE SUPERFICI DI CONTATTO BORDI DI GRANO. NELLA REALTÀ CIÒ AVVIENE NEI MATERIALI PURI E NELLE LEGHE.

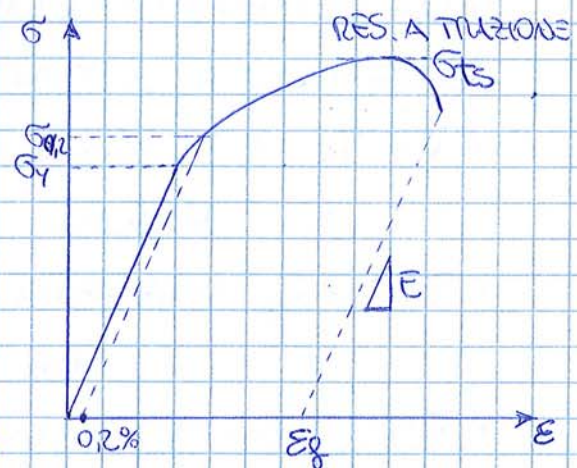
QUESTI BORDI OSTACOLANO IL MOTO DISLOCATIVO. UNA DISLOCAZIONE PRESENTI IN UN ~~grano~~ ^{GRANO} NON PUÒ SEMPLICEMENTE SCIVOLARE NEL SUCCESSIVO IN QUANTO I PIANI DI SCORRIMENTO NON SONO ALLINEATI. PIUTTOSTO NUOVE DISLOCAZIONI DEVONO FORMARSI NEL GRANO 2 CON VETTORI DI SCORRIMENTO CHE EGUAGUINO QUELLO DELLA DISLOCAZIONE NEL

- A TRAZIONE
 - A FLESSIONE
 - A COMPRESSIONE
 - DI DUREZZA
- DINAMICHE, QUANDO LA SOLLECITAZIONE VIENE APPLICATA BRUSCAMENTE SOTTO FORMA DI IMPULSO DI ENERGIA
 - DI FATICA, QUANDO LA SOLLECITAZIONE È APPLICATA CICLICAMENTE PER UN GRAN NUMERO DI VOLTE FINO A PRODURRE, DOPO UN CERTO NUMERO DI CICLI, LA ROTTURA.

IL LIMITE ELASTICO (o DI SNERVAMENTO) DI UN MATERIALE È LA SOLLECITAZIONE OLTRE LA QUALE ESSO ASSUME COMPORTAMENTO PLASTICO E SI DEFORMA IN MODO PERMANENTE.

VI SONO DIVERSE TIPOLOGIE DI CURVE SFORZO-DEFORMAZIONE PER LE DIVERSE CLASSI DI MATERIALI.

- PER I METALLI L'INIZIO DELLA DEFORMAZIONE PLASTICA NON È SEMPRE FACILMENTE DISTINGUIBILE, COSÌ CHE SI IDENTIFICA IL VALORE DI σ_y CON IL LIMITE ELASTICO CONVENZIONALE AWO 0,2%. QUESTO È



VALIDO SIA IN TRAZIONE CHE IN COMPRESSIONE. QUANDO DEFORMATI OLTRE IL LIMITE ELASTICO LA MAGGIOR PARTE DEI MATERIALI INCRUBISCE, IL CHE INDUCE UNA RIPRESA DELLO SFORZO PER AVERE DEFORMAZIONI CRESCENTI, FINCHÈ NON SI RAGGIUNGE UN MASSIMO, LA RESISTENZA A ROTTURA.

- $T \gg T_g \Rightarrow$ I TERMOPLASTICI DIVENTANO VISCOSI E POSSONO ESSERE FORMATI
I TERMOINDURENTI DIVENTANO GOMMOSI E POI SI DECOMPONGONO.

- I CERAMICI E I VETRI SONO FRAGILI A TEMPERATURA AMBIENTE. ESISTONO DEI LIMITI ELASTICI MA I VALORI SONO COSÌ ESAGERATAMENTE ELEVATI CHE A TRAZIONE NON SI RIESCONO



MA A RAGGIUNGERE PERCHÉ IL MATERIALE SI ROMPE PRIMA. ANCHE IN COMPRESSIONE SI ROMPONO PRIMA DI MANIFESTARE DEFORMAZIONE PLASTICA. È TUTTAVIA OPPORTUNO DISPORRE DI MISURE E QUINDI SI FA RICORSO ALLA RESISTENZA A TRAZIONE A COMPRESSIONE σ_{el} E LO CHIAMEREMO UGUALMENTE LIMITE ELASTICO.

LA DEFORMAZIONE PLASTICA, ϵ_{pl} , È LA DEFORMAZIONE PERMANENTE CHE DERIVA DALLA PLASTICITÀ. PERTANTO È DATA DALLA DEFORMAZIONE TOTALE ϵ_{tot} MENO LA PARTE ELASTICA:

$$\epsilon_{pl} = \epsilon_{tot} - (\sigma/\epsilon)$$

LA DUTTILITÀ DEFINISCE QUANTA DEFORMAZIONE PLASTICA UN MATERIALE PUÒ SUBIRE. È MISURATA NELLE PROVE A TRAZIONE STANDARDIZZATE ATTRAVERSO LA DEFORMAZIONE PLASTICA A ROTTURA ϵ_g

LE PROVE A TRAZIONE E COMPRESSIONE SONO PROVE DISTRUTTIVE. LA PROVA DI DUREZZA PERMETTE DI EVITARE QUESTO PROBLEMA. NEL CORSO DI QUESTA PROVA, LA COMPRESSIONE DI UNA PIRAMIDE IN DIAMANTE O DI UNA SFERETTA IN ACCIAIO PROVOCANO UNA PICCOLA IMPRONTA (INDENTAZIONE) PERTINENTE LA CUI DIMENSIONE VIENE MISURATO CON UN MICROSCOPIO. LA COMPARSA DELL'IMPRONTA SIGNIFICA CHE C'È STATA DEFORMAZIONE PLASTICA, E LA RESISTENZA ALLA PENETRAZIONE È DATA DAL CARICO F DIVISO L'AREA DELL'IMPRONTA PROIETTATA SU UN PIANO PERPENDICOLARE ALLA DIREZIONE DI APPLICAZIONE DEL CARICO

$$H = \frac{F}{A}$$

• GEOMETRIE DI INDENTAZIONE

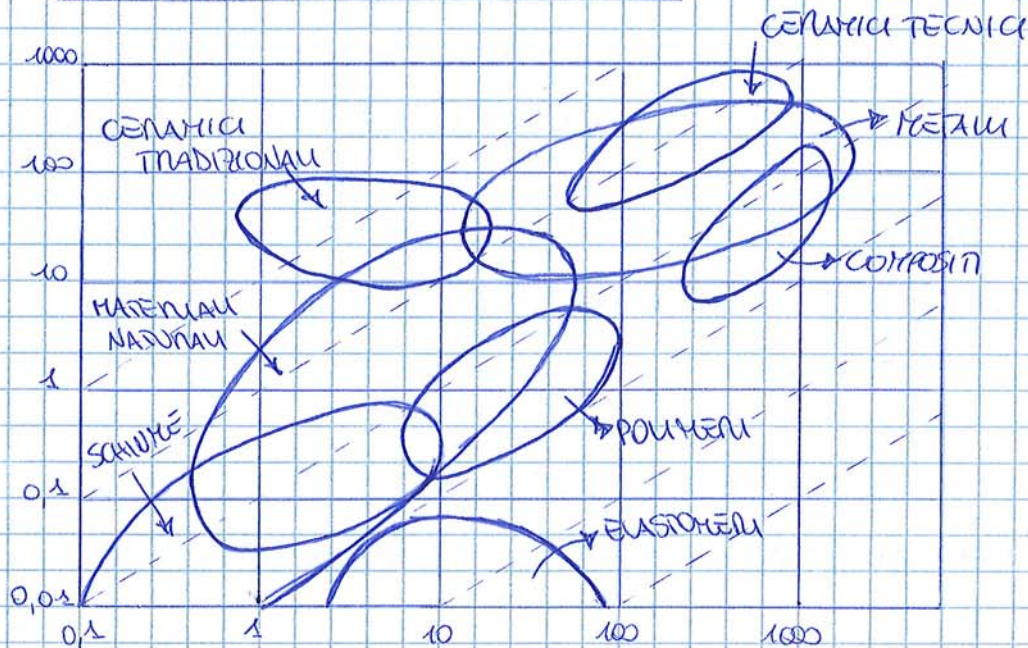
- BRINELL : SFERA DI ACCIAIO O WC
- VICKERS : PIRAMIDE DI DIAMANTE A BASE QUADRATA
- KNOOP : PIRAMIDE IN DIAMANTE A BASE ROMBOEDRICA
- ROCKWELL : CONO DI DIAMANTE O SFERA DI ACCIAIO

LA ZONA INDENTATA È CIRCONDATA DA MATERIALE CHE NON È STATO DEFORMATO, E QUESTO LA VINCOLA COSÌ TANTO CHE H È SUPERIORE AL LIMITE ELASTICO σ_y . IN PRATICA SI HA CHE: $H \approx 3\sigma_y$

LA RESISTENZA È MISURATA IN MPa, E POICHÉ H È UNA RESISTENZA SAREBBE LOGICO ESPRIMERE ANCHE ESSA IN MPa.

TUTAVIA UNA SCALA COMUNEMENTE UTILIZZATA, QUELLA VICKERS, H_v , USA COME UNITÀ DI MISURA IL kg/mm^2

MAPPA MODULO - RESISTENZA



LA PERFEZIONE: LA RESISTENZA IDEALE

UN LEGAME ATOMICO SI SPEZZA SE ALLUNGATO PER OLTRE IL 10%. PERTANTO LA FORZA NECESSARIA A ROMPERLO È

$$F = \frac{S \Delta l_0}{l_0}, \quad S \text{ È LA RIGIDEZZA DEL LEGAME} \\ \Delta l_0 \text{ LA LUNGHEZZA " " "}$$

CONSIDERANDO UN ATOMO COME CUBICO, COSÌ CHE UNA FORZA F CORRISPONDA AD UNA SOLLECITAZIONE $F/\Delta l_0^2$, ALLORA SI PUÒ DIRE CHE LA RESISTENZA IDEALE VALE

$$\sigma_{id} = \frac{F_{max}}{\Delta l_0^2} = \frac{S}{10 \Delta l_0} = \frac{E}{10}$$

CALCOLI ANCORA MIGLIORI FORNISCONO $\sigma_{id} \approx \frac{E}{15}$

QUESTO VALORE NON È MAI RAGGIUNTO E I MATERIALI NEMMENO SI AVVICINANO PERCHÉ SONO PIENI DI DIFETTI.

- CONTRO LA RESISTENZA f PER LUNGHEZZA UNITARIA
- O MEGLIO CONTRO fL_1 PER UNA LUNGHEZZA PARI A L_1 , IN CORRISPONDENZA DI UNO SPOSTAMENTO L_2 (PERCHÉ LA LINEA DI DISLOCAZIONE SI MUOVE DI QUESTA ENTITÀ IN OPPOSIZIONE A f), FORNENDO UN LAVORO TOTALE CONTRO f DI fL_1L_2

UGUAGLIANDO I DUE VALORI DI LAVORO W :

$$W = \tau L_1 L_2 b = f L_1 L_2$$

SI OTTENE, PER OGNI TIPO DI DISLOCAZIONE:

$$\tau b = f \Rightarrow \tau = f/b$$

FORNENDO UNO SFORZO DI TAGLIO $\tau > f/b$ SI INDUCE IL MOTO DELLA DISLOCAZIONE E SI PROVOCA SCORRIMENTO NEL CRISTALLO.

LA TENSIONE LINEARE \bar{T}

GLI ATOMI VICINI AL VERTICE DELLA DISLOCAZIONE SONO SPOSTATI RISPETTO ALLE LORO POSIZIONI IDEALI

→ ESSI POSSIEDONO UNA PIÙ ELEVATA ENERGIA POTENZIALE

PER MANTENERE L'ENERGIA DEL CRISTALLO PIÙ BASSA POSSIBILE, LA DISLOCAZIONE CERCA DI MANTENERSI LA PIÙ CORTA POSSIBILE → SI COMPORTA COME SE LE FOSSE ASSOCIATA UNA TENSIONE LINEARE \bar{T} , COME AVVIENE PER LA STRUSCIA ELASTICA

LA TENSIONE LINEARE È UN'ENERGIA PER LUNGHEZZA UNITARIA (ANALOGAMENTE A CIÒ CHE AVVIENE PER LA

MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO

- AGGIUNGENDO ELEMENTI IN LEGA PER CREARE IL RAFFORZAMENTO DA SOLUZIONE SOLIDA $\rightarrow \sigma_{SS}$
- AGGIUNGENDO PRECIPITATI O PARTICELLE DISPERSE PER DARE VITA AL RAFFORZAMENTO PER PRECIPITAZIONE
- O PER DISPERSIONE $\rightarrow \sigma_{ppt}$
- AGGIUNGENDO ALTRE DISLOCAZIONI PER INDURRE INCRODIMENTO $\rightarrow \sigma_{WHB}$
- AGGIUNGENDO BORDI DI GRANO PRODUCENDO UN RAFFORZAMENTO PER TAGLIA DI GRANO $\rightarrow \sigma_{gb}$

OGNI OSTACOLO ESERCITA UNA FORZA DI BLOCCAGGIO (EFFETTO PINNING) SULLA LINEA DI DISLOCAZIONE

IL CONTRIBUTO AL RAFFORZAMENTO

GLI OSTACOLI AL MOTO DISLOCATIVO FANNO AUMENTARE LA RESISTENZA σ E PERTANTO LA RESISTENZA MECCANICA. PER CALCOLARE IL CONTRIBUTO A σ , OCCORRE CONOSCERE LA LORO DISTANZA E LA LORO RESISTENZA.

DEFINITA L LA DISTANZA CHE LI SEPARA SUL PIANO DI SCORRIMENTO, IL NUMERO DI OSTACOLI N_L CHE TOCCANO UNA LINEA DI DISLOCAZIONE DI LUNGHEZZA UNITARIA È DATO DA:
$$N_L = \frac{1}{L}$$

OGNI OSTACOLO ESERCITA UNA FORZA DI BLOCCAGGIO p (PINNING) SULLA LINEA DI DISLOCAZIONE - UNA FORZA CHE SI OPpone PER LUNGHEZZA UNITARIA DI DISLOCAZIONE - TALE CHE IL CONTRIBUTO DEGLI OSTACOLI ALLA RESISTENZA

ALL'INTERNO DEL RETICOLO LO DISTORCONO. QUESTO CURVA IL PIANO DI SCORRIMENTO, COSÌ DA RENDERSI MENO FAVOREVOLE AL MOTO DISLOCATIVO, APPORTANDO PERTANTO UNA RESISTENZA ADDITIVA σ_{SS} CHE SI OPPONE AL MOVIMENTO DELLE DISLOCAZIONI.

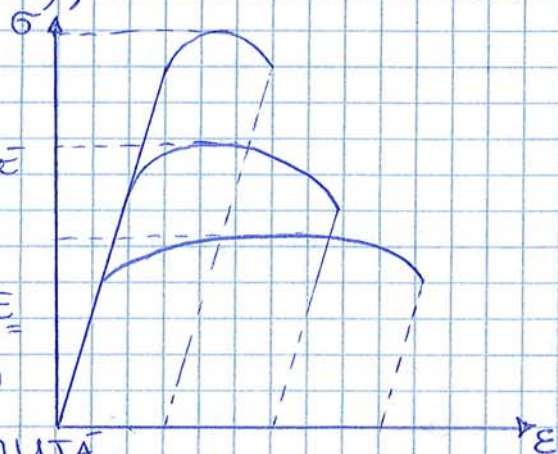
IL CONTRIBUTO DELLA SOLUZIONE SOLIDA ALLO SFORZO DI TAGLIO NECESSARIO AL MOTO DISLOCATIVO È:

$$\|\sigma_{SS} = \alpha E c^{1/2}\|$$

σ_{SS} CRESCE CON LA RADICE QUADRATA DELLA CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO.

LA CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO È IN MEDIA $c = b^2/L^2$. I SOLUTI DIFFERISCONO SOLO PER L'ENTITÀ DELLA DISTORSIONE DEL RETICOLO INDOTTA DAL SOLUTO (MISMATCH TRA SOLVENTE E SOLUTO), DESCRITTA DALLA COSTANTE α .

IL RAFFORZAMENTO PER SOLUZIONE SOLIDA PRODUCE UN AUMENTO DEL LIMITE DI SNERVAMENTO E DELLA RESISTENZA A ROTURA, CON UNA RIDUZIONE DELLA DUTTILITÀ.



RAFFORZAMENTO PER DISPERSIONE E PER PRECIPITAZIONE

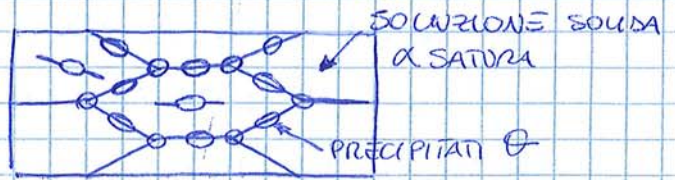
ALTRO MODO PER OSTACOLARE LE DISLOCAZIONI:

DISPERDERE PICCOLE PARTICELLE RESISTENTI LUNGO IL LORO PERCORSO.

DISPERDERE PICCOLE PARTICELLE SOLIDE DI UN COMPOSTO

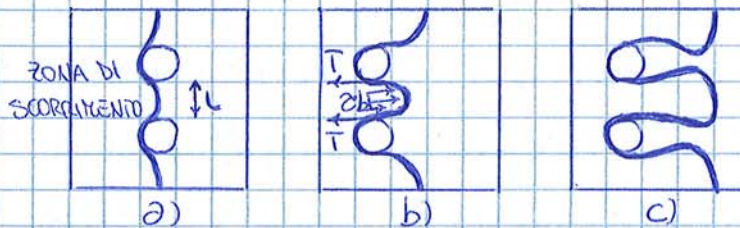
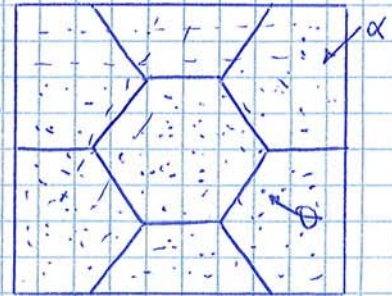
ESEMPIO: Al - Cu

- IL RAFFREDDAMENTO LENTO PORTA AD UNA SEPARAZIONE



DELLA SECONDA FASE A BORDO DI GRANO. SI GENERANO POCHI PRECIPITATI DI GRANDI DIMENSIONI, NON EFFICACI A LIMITARE IL MOTO DISLOCATIVO.

- IL RAFFREDDAMENTO RAPIDO PORTA AD UNA SOLUZIONE SOPRASSATURATA. L'INVECCHIAMENTO PORTA ALLA FORMAZIONE DI PRECIPITATI FINI DELLA SECONDA FASE, DAPPRIMA COERENTI CON LA MATRICE.



POSIZIONI SUCCESSIVE DI UNA DISLOCAZIONE

SE LE PARTICELLE SONO TROPPO RESISTENTI PER PERMETTERE ALLA DISLOCAZIONE DI ATTRAVERSARLE → LA DISLOCAZIONE VIENE SPINTA IN MEZZO AD ESSE E VIA VIA SI FLETTE CREANDO UN RAGGIO SEMPRE PIÙ STRETTO. IL RAGGIO RAGGIUNGE IL VALORE MINIMO QUANDO DIVENTA PARI A METÀ DELLA DISTANZA TRA LE PARTICELLE L ; DOPO PUÒ ESPANDERE SOTTO UNA SOLLECITAZIONE MINORE.

LA CONFIGURAZIONE CRITICA È QUELLA SEMICIRCOLARE b). LA FORZA TOTALE $2\sigma bL$ AGENTE SU UN SEGMENTO DI LUNGHEZZA L È SOLAMENTE CONTROBILANCIATA DALLA

- RELAZIONE DI HALL-PETCH

$$\sigma_y = \sigma_{\text{MONOCRISTALLO}} + K D^{-1/2}$$

LA RELAZIONE TRA LA TENSIONE DI SNERVAMENTO E LE DIMENSIONI DEL GRANO

TEORICAMENTE UN MATERIALE POTREBBE ESSERE INFINITAMENTE RESISTENTE SE I GRANI FOSSENO INFINITAMENTE PICCOLI. QUESTO È TUTAVIA IMPOSSIBILE, POICHÉ IL LIMITE INFERIORE ALLA DIMENSIONE DEI GRANI È LA SINGOLA CELLA UNITARIA DEL MATERIALE.

AVONA EFFETTO HALL-PETCH:

$$\sigma_C > \sigma_{CC} > \sigma_{\text{C}\&C}$$

INCRODIMENTO

• INCRODIMENTO PER DEFORMAZIONE PLASTICA A FREDDO

LAVORAZIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA: LAMINAZIONE A FREDDO: A T INFERIORE A QUELLA DI RICRISTALLIZZAZIONE ($0,3 - 0,5 T_g$ IN T ASSOWTA, K)

L'INCRODIMENTO È UNA DISTORSIONE DEI GRANI CRISTALLINI CAUSATA DA UN ACCUMULO DI DISLOCAZIONI INDOTTO DALLA DEFORMAZIONE PLASTICA.

LA DENSITÀ DI DISLOCAZIONI, ρ_d , È DEFINITA COME LA LUNGHEZZA DI LINEA DI DISLOCAZIONE PER VOLUME UNITARIO.

IN UN METALLO DOLCE RICOTTO, LA DENSITÀ DI DISLOCAZIONI È CIRCA 10^{10} m/m^3 , IL CHE SIGNIFICA CHE 1 cc CONTIENE CIRCA 10 km DI LINEA DI DISLOCAZIONE. QUANDO I METALLI SONO DEFORMATI, LE DISLOCAZIONI

TUTTI I METALLI INCRODISCONO SE LAVORATI A FREDDO

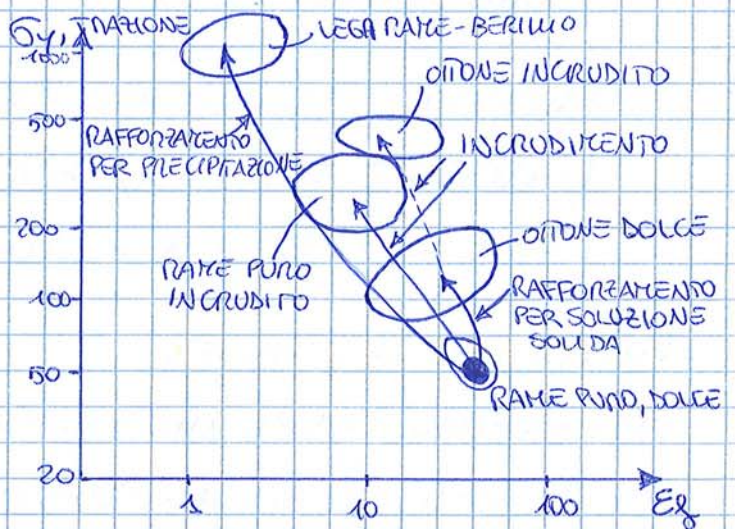
$$\sigma_y = A \epsilon^n$$

DOVE n È IL COEFFICIENTE DI INCRODIMENTO

QUESTO PUÒ ESSERE UN FATTO DESIDERATO OPPURE INDESIDERATO:

- DESIDERATO → FINE LAVORAZIONE → AUMENTO DEL LIMITE ELASTICO/ DI SNERVAMENTO.
- INDESIDERATO → PROSEGUIMENTO LAVORAZIONE → L'INCRODIMENTO FA CRESCERE COSÌ RAPIDAMENTE IL LIMITE ELASTICO CHE SI È COSTRETTI AD INTERROMPERE LA LAVORAZIONE E RICUOCERE IL METALLO (RISCALDARLO IN MODO DA ELIMINARE LE DISLOCAZIONI ACCUMULATE).

L'AUMENTO DI RESISTENZA È QUASI SEMPRE ASSOCIATO AD UNA PERDITA DI DUTTILITÀ, PER CUI SI RIDUCE LA DEFORMAZIONE ϵ_g . IL MATERIALE È PIÙ RESISTENTE MA NON PUÒ PIÙ ESSERE DEFORMATO IN MODO ESTESO SENZA INDURRE ROTURA.



RIGUARDO LA RESILIENZA SI DEFINISCE LA TEMPERATURA DI TRANSIZIONE DUTILE-FRAGILE (DBTT). QUESTA È LA TEMPERATURA SOTTO LA QUALE STO BLOCCANDO LA DEFORMAZIONE PLASTICA. IN PRATICA IL MATERIALE HA UN COMPORTAMENTO FRAGILE COME IL VETRO ED HA BASSI VALORI DI RESILIENZA. TALE TEMPERATURA VIENE RILEVATA TRAMITE UNA PROVA CHARPY.

LA DIMINUIZIONE DELLA TEMPERATURA DI ESERCIZIO PROVOCA INOLTRE L'AUMENTO DELLA TENSIONE DI SNERVAMENTO, SOPRATTUTTO NEI METALLI CON RETICOLO CRISTALLINO CCC, E QUESTO PORTA AD UNA MINORE PLASTICIZZAZIONE, DOVUTA ALLA MINORE CONCENTRAZIONE DI VACANZE NEL RETICOLO - IN PRATICA DIMINUISCE LA MOBILITÀ DELLE DISLOCAZIONI. I METALLI CON STRUTTURA CFC NON VANNO INCONTRO A CIÒ.

INTRODUZIONE ALLA MECCANICA DELLA FRATTURA:

LA TEORIA DI GRUFFITH

LE FESSURE, LE CRICCHE, I DEFETTI MICROSCOPICI, CONCENTRANO LA SOLLECITAZIONE.

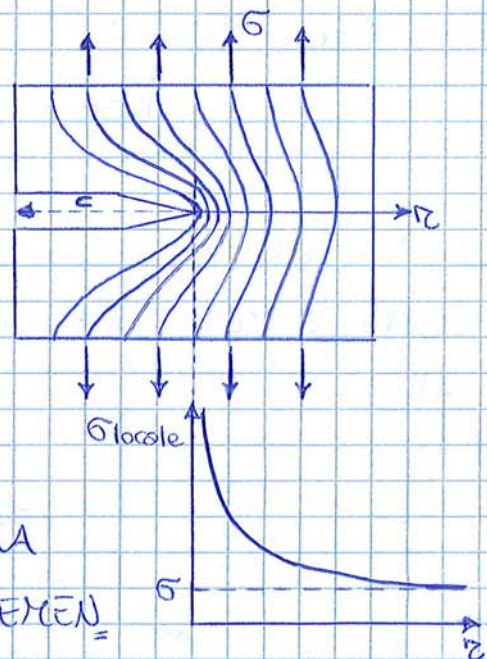
FORI, FESSURE, FILETTATURE, CONCENTRANO LOCALMENTE

LE SOLLECITAZIONI. LA VARIAZIONE

DI SEZIONE CONCENTRA LA

SOLLECITAZIONE TANTO PIÙ FORTEMENTE

QUANTO È IMPORTANTE LA CURVATURA DELLA SUPERFICIE.



- MODO I → (DISTACCO) A TRAZIONE SEMPLICE → PIÙ SEVERO
 - MODO II → (SLITAMENTO)
 - MODO III → (LACERAZIONE)
- } MENO CRITICI

PER FESSURE O CRICCHE APPUNTITE IL RAGGIO AL VERTICE È SOSTANZIALMENTE NULLO ($\rho \rightarrow 0$).

L'ANALISI DEL CAMPO DI SOLLECITAZIONE DI FRONTE ALLA FESSURA DI LUNGHEZZA c MOSTRA CHE LA SOLLECITAZIONE LOCALE A UNA DISTANZA z DAL SUO VERTICE, INDOTTA DA UNA SOLLECITAZIONE UNIFORME σ , APPLICATA IN UN PUNTO LONTANO, È:

$$\sigma_{\text{locale}} = \sigma \left(1 + \sqrt{\frac{\pi c}{2\pi z}} \right)$$

DOVE $\sqrt{\frac{\pi c}{2\pi z}}$ È UNA COSTANTE GEOMETRICA CON VALORE PROSSIMO ALL'UNITÀ.

LONTANO DALLA CRICCA, PER $z \gg c$, LA SOLLECITAZIONE LOCALE SCENDE AL VALORE DI σ . MA IN PROSSIMITÀ DEL VERTICE DELLA CRICCA, PER $z \ll c$, ESSA CRESCE IN MODO SIGNIFICATIVO COME:

$$\sigma_{\text{loc}} = \sqrt{\frac{\sigma \sqrt{\pi c}}{\sqrt{\pi z}}}$$

PER UN DATO VALORE DI z (DISTANZA DAL VERTICE DELLA FESSURA), LA SOLLECITAZIONE LOCALE σ_{loc} VARIA SECONDO UN FATTORE $\sqrt{\pi c}$

SI DEFINISCE COSÌ IL FATTORE DI INTENSITÀ DI SOLLECITAZIONE IN MODO I:

$$K_I = \sqrt{\pi c} \sigma$$

SE SI CONSIDERA UNA LO STESSO MATERIALE CON PROPRIETÀ KICA, SE $C_A > C'_A$, A PARI SOLLECITAZIONE REMOTA σ , AVREMO $\sigma_{loc} > \sigma'_{loc}$ E $\sigma^* < \sigma'^*$.

CASO DEI MATERIALI FRAGILI: GRIFFITH

QUANDO UN PROVINO SI ROMPE, SI CREA UNA NUOVA SUPERFICIE. LE SUPERFICI POSSIEDONO UN'ENERGIA, L'ENERGIA SUPERFICIALE γ (o TENSIONE SUPERFICIALE). LA TENSIONE SUPERFICIALE γ INDICA IL LAVORO CHE OCCORRE SPENDERE PER AUMENTARE UNITARIAMENTE L'ESTENSIONE SUPERFICIALE DI UNA FASE.

NEI MATERIALI FRAGILI (NON PRESENTANO DEFORMAZIONE PLASTICA), FAR CRESCERE UNA CRICCA COSTA L'ENERGIA NECESSARIA A CREARE LE DUE NUOVE SUPERFICI DI FRATTURA.

SI DEFINISCE QUINDI LA TENACITÀ (o VELOCITÀ DI RILASCIAMENTO DELL'ENERGIA DI DEFORMAZIONE CRITICA) PER I MATERIALI FRAGILI COME:

$$\|G_c = 2\gamma\|$$

SI PENSI AD UNA LASTRA DI MATERIALE A SPESORE UNITARIO CHE SOPPORTA UNA SOLLECITAZIONE σ .

L'ENERGIA ELASTICA IMMAGAZZINATA È:

$$W = \frac{\sigma^2}{2E}$$

SI INTRODUCA ORA UNA FESSURA DI LUNGHEZZA C.

LA TEORIA DI GRIFFITH VA SOTTO IN PARTE MODIFICATA -
 CIÒ CHE CAMBIA, IN PARTICOLARE, È LA TENACITÀ G_c CHE
 RISPONDE DELL'ENERGIA SUPERFICIALE γ_p DEL CONTRIBUTO
 PLASTICO. LA TENACITÀ VARIA ORA QUINDI

$$G_c = 2(\gamma + \gamma_p)$$

LA TENACITÀ A FRATURA RIMANE COMUNQUE $K_{Ic} = \sqrt{E G_c}$

DA QUANTO DETTO SI DEDUCE CHE I MATERIALI FRAGILI
 RESISTONO BENE A COMPRESSIONE. INFATTI LA TRAZIONE
 FACILITA L'APERTURA DEI DIFETTI MENTRE LA SOLLECITA-
 ZIONE A COMPRESSIONE TRENDE A RICHIUDERLI O COMUNQUE
 A RIDURLI.

VI SONO COMUNQUE 3 MECCANISMI DI TENACIZZAZIONE:

- a) PER PONTAGGIO CON DEFORMAZIONE PLASTICA DI UNA
 2^a FASE DUTILE
- b) PER DEFLESSIONE DEL PERCORSO DI CRICCA, PONTAG-
 GIO E PULL-OUT DI RINFORZI FIBROSI
- c) PER TRASFORMAZIONE DI FASE.

CARICHI CICLICI E FATICA

I MATERIALI SI AFFATICANO SE SOLLECITATI RIPETUTAMEN-
 TE, IL CHE IMPLICA LA ROTURA COME CONSEGUENZA.

QUANDO I MATERIALI NON OPERANO SOTTO CARICHI STATICI,
 MA RIPETITIVI, CICLICI → DELL'ENERGIA VIENE DISSIPATA
 E QUESTO PORTA A DANNEGGIAMENTO ED IN SEGUITO A
 ROTURA.

SE INVECE SI VOGLIANO SPOZZARE DELLE VIBRAZIONI, OCCORRE SELEZIONARE MATERIALI AD ELEVATO η .

I CERAMICI PRESENTANO BASSI VALORI DI η , PERCHÉ LE LORO DISLOCAZIONI SONO IMMOBILI.

NEI POLIMERI IL MOTO RELATIVO DI SEZZIONI DI CATENE GU UNI RISPETTO AGU ALTRI DISSIPA ENERGIA, SOTTO CARICO.

MA DI NUOVO IL COMPORTAMENTO È FUNZIONE DELLA TEMPERATURA OPERATIVA T :

- SE $T < T_g \rightarrow$ LEGAMI SECONDARI PRESENTI, MODULO ELASTICO PIÙ ELEVATO $\rightarrow \eta$ CONTENUTO.
- SE $T > T_g \rightarrow$ LEGAMI SECONDARI SCOMPARI, MODULO ELASTICO PIÙ BASSO, CATENE PIÙ MOBILI $\rightarrow \eta$ ELEVATO.

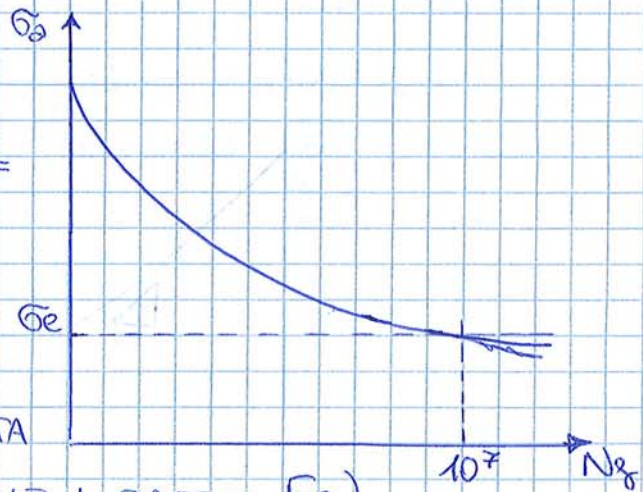
CIRCA L'80% DELLE ROTURE DI COMPONENTI METALLICI SONO DOVUTE A FENOMENI DI FATICA.

- \rightarrow LA FATICA AD ALTI CICLI INDICA UN NUMERO ELEVATO DI CICLI CON CARICHI BEN INFERIORI AL LIMITE ELASTICO σ_y .
- \rightarrow LA FATICA A BASSI CICLI INDICA UN BASSO NUMERO DI CICLI CON CARICHI SUPERIORI AL LIMITE ELASTICO MA INFERIORI ALLA RESISTENZA A TRAZIONE σ_{ts} .

DA UN PUNTO DI VISTA INGEGNERISTICO È PIÙ RILEVANTE LA FATICA AD ALTO NUMERO DI CICLI IN QUANTO COMUNEMENTE LE STRUTTURE E I COMPONENTI VENGONO FATTI LAVORARE IN CAMPO ELASTICO, A VALORI DI STRESS INFERIORI A σ_y .

UN VALORE DI $R = -1$ SIGNIFICA CHE LA SOLLECITAZIONE MEDIA È ZERO; UN VALORE DI $R=0$ SIGNIFICA CHE LA SOLLECITAZIONE CICLICA VARIA DA 0 A σ_{max}

PER MOLTI MATERIALI ESISTE UN LIMITE A FATICA O ENDURANCE LIMIT, σ_e , QUESTO INDICA L'AMPIEZZA DI SOLLECITAZIONE AL DI SOTTO DELLA QUALE NON SI MANIFESTA



MAI ROTURA (CASO DI LEGHE A BASSO Fe)

O QUESTA AVVIENE SOLO PER UN NUMERO ELEVATISSIMO DI CICLI ($N_f > 10^7$) (CASO DELLE LEGHE DI Al, Cu, MOLTI POLIMERI) → TEMPO DI VITA A FATICA

LE LEGGI EMPIRICHE DI COFFIN E BASQUIN

- BASQUIN → FATICA AD ELEVATI CICLI

ESPRIME LA CORRELAZIONE EMPIRICA TRA TEMPO DI VITA A FATICA (N_f) ED INTERVALLO DI SOLLECITAZIONE $\Delta\sigma$ (→ $S = \Delta\sigma/2$)

$$\|\Delta\sigma N_f^b = C_1\|$$

DOVE b E C_1 SONO COSTANTI.

b È L'ESPONENTE DI BASQUIN E ASSUME VALORI TRA 0,07 E 0,13.

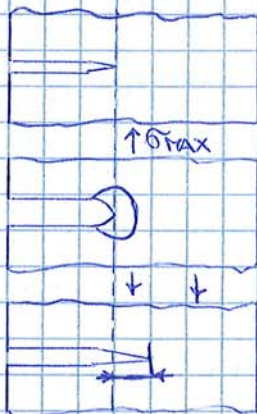
LA FATICA AD ALTI CICLI SI MANIFESTA PER $\sigma < \sigma_y$, QUINDI SI PUÒ DIVIDERE $\Delta\sigma$ PER IL MODULO ELASTICO E , PER RICAVARE L'INTERVALLO DI

DANNEGGIAMENTO E FESSURAZIONE A FATICA

LE IMPERFEZIONI DI UN COMPONENTE, ANCHE PICCOLE, I FORI PER I RIVETTI, LE VARIAZIONI BRUSCHE DI SEZIONE, LE FILETTATURE, GLI INTAGLI, LA STESSA RUGOSITÀ SUPERFICIALE POSSONO AGIRE PER PROMUOVERE L'INNESCO DELLA CRICCA.

ANCHE SE IL LIVELLO DI SOLLECITAZIONE REINOTA È $< \sigma_y$, LA σ LOCALMENTE MOLTIPLICATA AL VERTICE DELLA IMPERFEZIONE PORTA A DEFORMAZIONE PLASTICA.

→ MOTO DISLOCATIVO LIMITATO AL PICCOLO VOLUME IN PROSSIMITÀ DELLA CONCENTRAZIONE DI SOLLECITAZIONE GENERA DANNEGGIAMENTO E SVILUPPO DELLA CRICCA.



PER FATICA AD ALTO NUMERO DI CICLI, UNA VOLTA CHE LA CRICCA È PRESENTE, PROPAGA.

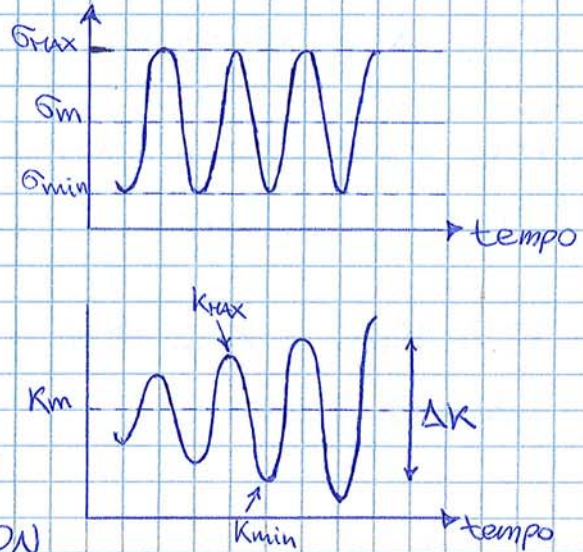
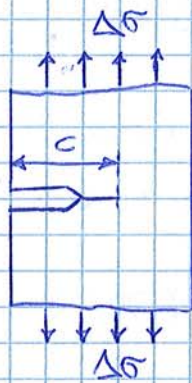
DURANTE LA FASE DI TRAZIONE SI FORMA UNA PICCOLA ZONA PLASTICA AL VERTICE DELLA CRICCA, CHE INDUCE APERTURA E

CREAZIONE DI UNA NUOVA SUPERFICIE.

NELLA FASE DI COMPRESSIONE LA CRICCA SI RICHIUDE E LA NUOVA SUPERFICIE FORMATA SI RIEPIEGA ~~INDUCENDO~~ INDUCENDO UN AVANZAMENTO GRADUALE, CICLO DOPO CICLO, DELLA CRICCA.

CI SI BASA SU VALUTAZIONI SPERIMENTALI.

LA CRESCITA DELLA CRICCA A FATICA VIENE STUDIATA ATTRAVERSO L'APPLICAZIONE DI CARICHI CICLICI SU CAMPIONI PRE-FESSURATI CON



INTAGLIO AFFILATO DI LUNGHEZZA NOTA C.

SEPPURE SOTTO UN'AMPIEZZA DI SOLLECITAZIONE S COSTANTE, DAL MOMENTO CHE LA CRICCA SI ACCRESCE CICLO DOPO CICLO, SI OSSERVA UNA CRESCITA DELL'INTERVALLO DI INTENSITÀ DI SOLLECITAZIONE CICLICA ΔK .

SAPENDO CHE $K_{Ic} = \sigma \sqrt{c}$, SI DEFINISCE ΔK COME:

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} = \Delta \sigma \sqrt{c}$$

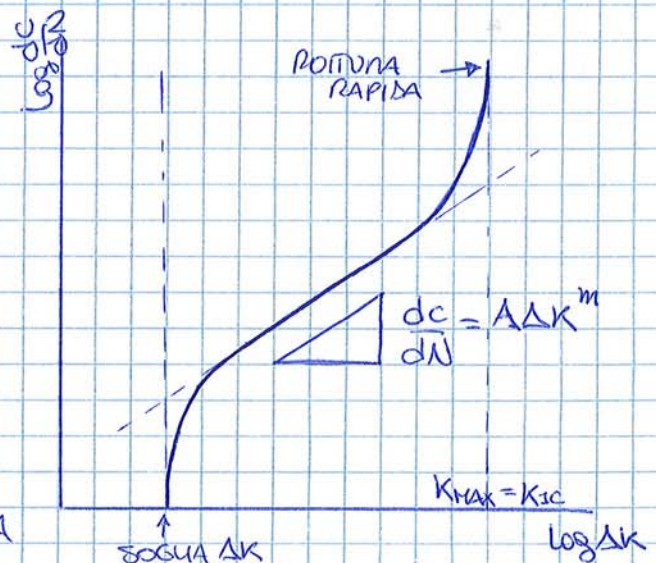
LA VELOCITÀ DI CRESCITA DELLA CRICCA CICLO DOPO CICLO

$\frac{dc}{dN}$ AUMENTA CON ΔK .

- PER $\Delta K < \Delta K_{th}$ (INTENSITÀ DI SOLLECITAZIONE CICLICA DI SOGLIA) \Rightarrow LA VELOCITÀ DI CRESCITA $\frac{dc}{dN}$ È ZERO.

- PER $\Delta K > \Delta K_{th}$ SI OSSERVA

UN REGIME STAZIONARIO DESCRITTO DALLA LEGGE DI PARIS:



MATERIALI POLIMERICI

I POLIMERI SONO MATERIALI COSTITUITI DA MACROMOLECOLE FORMATE DALLA RIPETIZIONE DI UN GRUPPO FUNZIONALE

SI CLASSIFICANO IN:

- TERMOPLASTICI TP (NON RETICOLATI)

FLESSIBILI E RESISTENTI A TEMPERATURA AMBIENTE, RANCOLOSCONO AD ALTE TEMPERATURE.

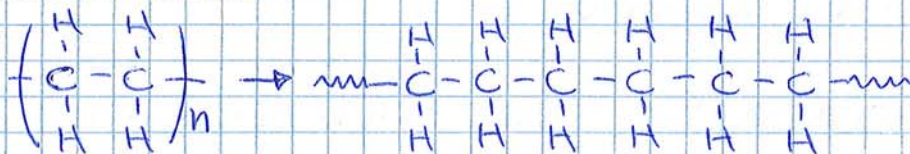
- TERMOINDURENTI (FORTEMENTE RETICOLATI)

PER AZIONE DELLA TEMPERATURA DURANTE LA SINTESI DIVENTANO PIÙ RIGIDI E RESISTENTI DEI TP

- ELASTOMERI (DEBOLMENTE RETICOLATI)

SUBISCONO GRANDI ALLUNGAMENTI (ANCHE FINO A 10 VOLTE LA LUNGHEZZA INIZIALE), RECUPERANDO LA FORMA INIZIALE.

LA POLIMERIZZAZIONE



A SECONDA DELLA NATURA DEL MONOMERO LA POLIMERIZZAZIONE PUÒ AVVENIRE:

- PER ADDIZIONE, IN CUI I MONOMERI DI PARTENZA SI LEGANO TRA DI LORO

- PER CONDENSAZIONE, IN CUI I MONOMERI DI PARTENZA HANNO DUE GRUPPI FUNZIONALI IN GRADO DI REAGIRE FRA LORO CON L'ELIMINAZIONE DI UN SOTTOPOSTO (GENERALMENTE ACQUA).

LE POSSIBILI DISPOSIZIONI NELLO SPAZIO DELLE MACRO

MOLECOLE CHE COSTITUISCONO UN POLIMERO SONO:

- A CATENE RIPIEGATE
- A SPAGHETTI (PIÙ DIFFUSA)
- A FRANGI

GLI ELASTOMERI O LE GOMME SONO POLIMERI AMORFI CON BASSA T_g , CHE HANNO SUBITO UNA BLANDA RETICOLAZIONE. TRAMITE IL PROCESSO DI VULCANIZZAZIONE SI POSSONO CREARE LEGAMI TRASVERSALI TRA LE CATENE CHE AGISCONO DA PUNTI DI RICHIAMO.

LA CRISTALLINITÀ

CON IL PROCESSO DI SOLIDIFICAZIONE SI POSSONO OTTENERE SOLIDI AMORFI O PARZIALMENTE CRISTALLINI.

LA CRISTALLINITÀ INDICA IL RAPPORTO % TRA PESO DEL POLIMERO CRISTALLINO E PESO TOTALE.

LA PROPENSIONE A CRISTALLIZZARE DIMINUISCE:

- CON LA PRESENZA NELLA CATENA DI SOSTITUENTI INGOMBRANTI;
- CON LA PRESENZA DI RAMIFICAZIONI
- CON LA VELOCITÀ DI RAFFREDDAMENTO.

TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA T_g

SI DEFINISCE IL VOLUME PER UNITÀ DI MASSA = $\frac{\bar{V}}{m} = \frac{1}{\rho}$

IL PASSAGGIO DALLO STATO FUSO ALLO STATO SOLIDO AVVIENE IN UN INTERVALLO DI TEMPERATURE (PIÙ O MENO AMPIO A SECONDA DELLA CRISTALLINITÀ) NEI POLIMERI

SEMICRISTALLINI:

→ $T_g < T_a$: PARTE AMORFA GOMMOUSA, PARTE CRISTALLINA RIGIDA E RESISTENTE → RIGIDI E TENACI

→ $T_g > T_a$: RIGIDI MA FRAGILI

LA T_g DI UN POLIMERO DIPENDE:

→ DALLA FLESSIBILITÀ E GEOMETRIA DELLA MOLECOLA, PRESENZA DI GRUPPI LATERALI IN GRADO DI RESPINGERE LE CATENE VICINE

> MOBILITÀ INTERNA < T_g

→ DALLE FORZE INTERMOLECOLARI E PRESENZA DI GRUPPI POLARI, LEGAMI IDROGENO O IONI METALLICI

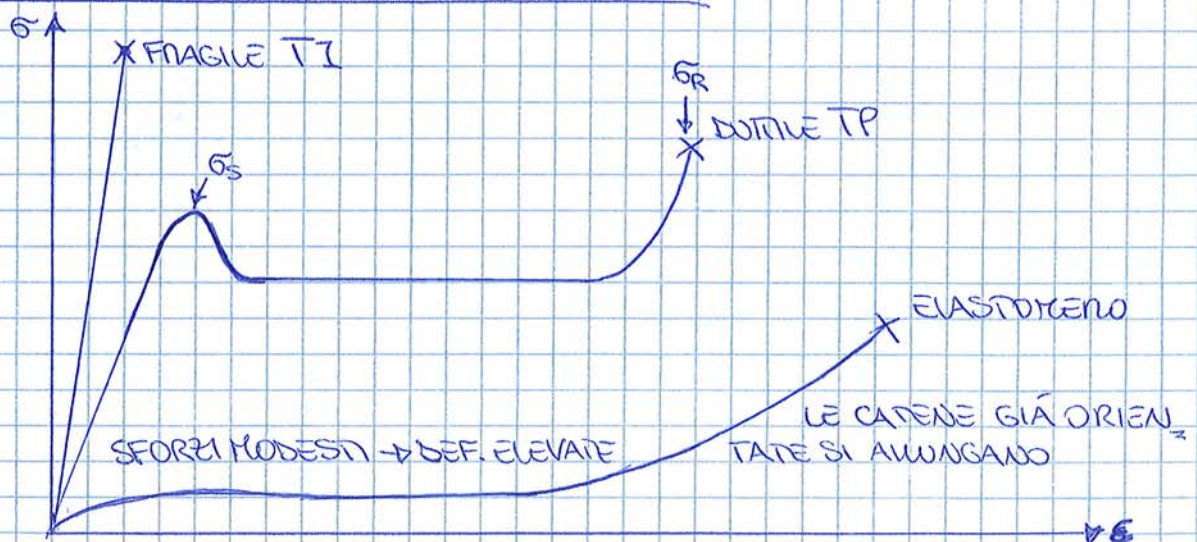
> FORZE INTERMOLECOLARI < MOBILITÀ MOLECOLARE > T_g

→ CRISTALINITÀ (CHE RIDUCE LA MOBILITÀ DELLE ZONE AMORFE)

→ MASSA MOLECOLARE > T_g

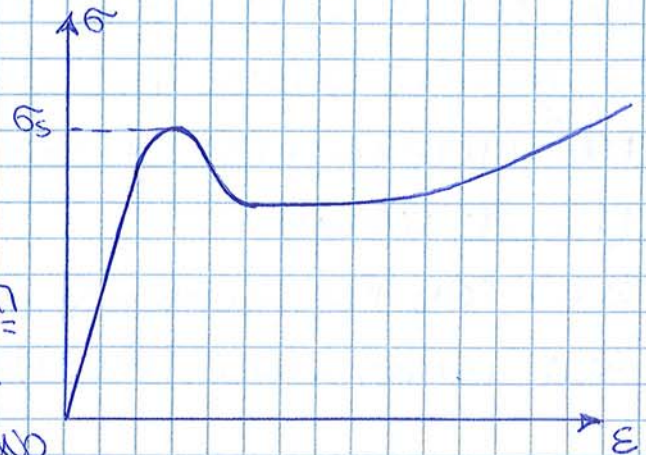
→ GRADO DI RETICOLAZIONE

PROPRIETÀ DELLE MATERIE PLASTICHE



COMPORTAMENTO AD ALTE DEFORMAZIONI

PER SOLLECITAZIONI SUPERIORI AL CARICO DI SNERVAMENTO, SOBISCE UN'ELEVATA E IN CORRISPONDENZA AD UNA PARTE COLANE SEZIONE (STRIZIONE).



LE MACROMOLECOLE SI ALLINEANO

UNGO LA DIREZIONE DI SOLLECITAZIONE CON AUMENTO DELLA RESISTENZA DEL MATERIALE. LA ZONA DI STRIZIONE SI ALLUNGA PROGRESSIVAMENTE E SI PUÒ ESTENDERE A TUTTO IL TRATTO UTILE.

NEHA FASE INIZIALE DELLA E LA FASE CRISTALLINA RIMANE INALTERATA E LE ZONE AMORFE INIZIANO AD ORIENTARSI. SOLO QUANDO LA MAGGIOR PARTE DELLE ZONE AMORFE SONO ORIENTATE, SI ORIENTANO ANCHE QUELLE CRISTALLINE

FLUSSO PASTICO DEI POLIMERI: IL CASO DEL TP

A BASSA TEMPERATURA, A $T < 0,75 \bar{T}_g$, I POLIMERI SONO FRAGILI.

A $T > 0,75 \bar{T}_g$, ESSI DIVENTANO PASTICI. QUANDO SONO POSTI A TRAZIONE LE CATENE SCIVOLANO LE UNE SULLE ALTRE, COSÌ DA ALLINEARSI NELLA DIREZIONE DI TRAZIONE (STIRAMENTO, TRAFIATURA).

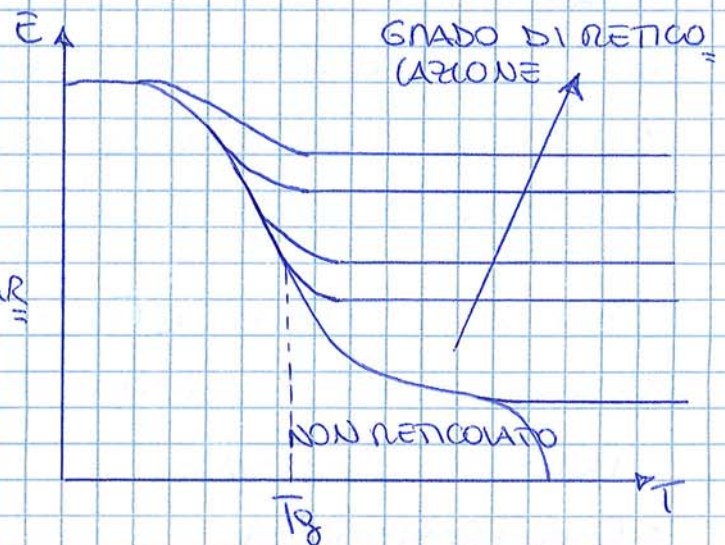
È PIÙ DIFFICILE AVVIARE QUESTO PROCESSO CHE MANTENERLO ATTIVO.

IL MATERIALE STIRATO È PIÙ RESISTENTE E RIGIDO DI QUANTO FOSSE IN PRECEDENZA, DI UN FATTORE CIRCA 8, IL CHE

DELLA DEFORMAZIONE TOTALE.

MATERIALI TI: RUOLO DEL GRADO DI RETICOLAZIONE

PER $T < T_g$, E NON È INFLUENZATO DAL GRADO DI RETICOLAZIONE. ANCHE T_g NON È PARTICOLARMENTE INFLUENZATA DAL GRADO DI RETICOLAZIONE (MODERATO AUMENTO)



MA SI TENDE AD AVERE UNA RIDUZIONE SEMPRE MENO SENSIBILE DI E AL CRESCERE DEL GRADO DI RETICOLAZIONE.

RISPOSTA MECCANICA DELLE RESINE TI

IN GENERE UTILIZZATE AL DI SOTTO DELLA LORO T_g CHE È MEDIANAMENTE PIÙ ELEVATA DI QUELLA DEL TP

RESINA EPOSSIDICA CON $T_g = 150^\circ\text{C}$

- $T < 30^\circ\text{C}$: FRAGILE, SEGUE LA LEGGE DI HOOKE
- $30^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$: FRAGILE, CON DEBOLI VARIAZIONI DALLA LINEARITÀ
- $100^\circ\text{C} < T$: DOPPIA MOLTO CONTENUTA

VISCOELASTICITÀ e VISCOPLASTICITÀ

→ CROSS-LINKING ⇒ LA FORMAZIONE DI LEGAMI TRASVERSALI
GENERA LEGAMI FORTI (C-C) TRA LE MOLECOLE CHE
ERANO PRECEDENTEMENTE CONNESSE SOLO DA DEBOLI
FORZE DI VAN DER WAALS.

LA GOMMA VULCANIZZATA È UNAGOMMA NEVA QUALE
SONO STATI GENERATI DEI LEGAMI TRASVERSALI.

LE RESISTENZE PIÙ ELEVATE DI ALCUNE RESINE
EPOSSIDICHE DERIVANO DAI LORO LEGAMI TRASVERSALI

→ IL RAFFORZAMENTO PUÒ ESSERE OTTENUTO ATTRAVERSO
LA DISPERSIONE DI PARTICELLE DI FILLER (RIEMPITIVI) A
BASSO COSTO - SABBIA, TALCO O SEGATURA.

MOLTO PIÙ EFFICACE È IL RAFFORZAMENTO CON FIBRE - GE
NERALMENTE DI VETRO O DI CARBONIO - SIA CONTINUE
CHE CONTE. → COMPOSITI

MATERIALI CERAMICI

PROPRIETÀ MECCANICHE: LA DEFORMAZIONE

→ DEFORMAZIONE ELASTICA: LEGAMI IONICO E COVALENTE SONO
LEGAMI FORTI → ELEVATI MODULI DI ELASTICITÀ, CHE VARIANO
IN MODO ASSAI LIMITATO CON LA TEMPERATURA.

→ ELEVATI VALORI DI DUREZZA

→ DEFORMAZIONE PLASTICA: A TEMPERATURA AMBIENTE LA
MAGGIOR PARTE DEI CERAMICI SUBISCE ROTTURA PRIMA
CHE SI VERIFICHI LA DEFORMAZIONE PLASTICA (ROTTURA FRAGILE)
LA DEFORMAZIONE PLASTICA È DATA DAL MOTO DELLE
DISLOCAZIONI, MA LE DISLOCAZIONI SONO PRESENTI
IN TUTTI I CRISTALLI MA NEI CERAMICI IL LORO MOTO

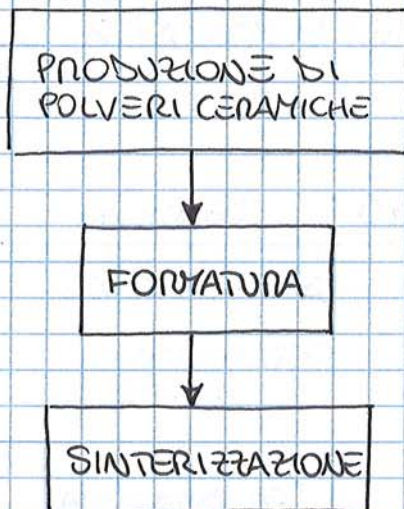
MICA A TRAZIONE O FLESSIONE.

CERAMICI INGEGNERISTICI

SVILUPPATI RECENTEMENTE PER APPPLICAZIONI PIÙ SOSTICATE ED AI QUALI, PERTANTO, SONO RICHIESTE PROPRIETÀ SUPERIORI (AD ESEMPIO, UNA MAGGIOR TENACITÀ A FRATTURA) E SOPRATTUTTO UNA MAGGIOR AFFIDABILITÀ.

PRODUZIONE

NON POSSONO ESSERE PRODOTTI PER FUSIONE PERCHÉ HANNO TEMPERATURE DI FUSIONE MEDIO-ALTE NÉ POSSONO ESSERE LAMINATI PERCHÉ FRAGILI E NON VI È DEFORMAZIONE PLASTICA.



POLVERI CON COMPOSIZIONE OMOGENEA E PUREZZA COSTANTE.

PARAMETRI IMPORTANTI: DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA; AREA DELLA SUPERFICIE SPECIFICA (ESPRIMIBILE IN m^2 DI ESTENSIONE SUPERFICIALE PER GRAMMO DI POLVERE).

LA FORMAZIONE CONSENTE DI OTTENERE IL COSIDDETTO CRUDO (UN COMPATTO DI PARTICELLE CERAMICHE TENUTE INSIEME DA DEBOLI INTERAZIONI E FORZE DI ATRITO SUPERFICIALE), CHE SI TRASFORMERÀ IN UN OGGETTO MONOLITICO, CON FORTI LEGAMI CHIMICI TRA I GRANULI CERAMICI COSTITUENTI, ATTRAVERSO UN TRATTAMENTO TERMICO (COMUNE PER SINTERIZZAZIONE)

→ **PRESSATURA**: APPLICATA A PASTE POCO ~~COMPRESSE~~ PLASTICHE, REALIZZATE CON POLVERI UMIDE (5-7% DI ACQUA) ANNIENE PER COMPRESSIONE MECCANICA (CON PRESSIONI ANCHE SUPERIORI A 50 MPa) SUEA PASTA TRA DUE STAMPI, OTTENENDO UN'ELEVATA ~~COMPRES~~ ~~ESIONE~~ COMPATTAZIONE → ALTA RESISTENZA MECCANICA

PROCESSO IN DUE TEMPI PER ELIMINARE L'ARIA PRESENTE NEL MATERIALE.

LE PROPRIETÀ DEL PRODOTTO DIPENDONO DALLA GRANULOMETRIA, DALL'UMIDITÀ, DALLA COMPOSIZIONE DELLE MATERIE PRIME, DAL CONTENUTO DI ACQUA E DALLA PRESSIONE DI LAVORO.

→ **ESTRUSIONE**: APPLICATA A PASTE SUFFICIENTEMENTE PLASTICHE CON ~~ACQUA~~ IL 15-20% DI ACQUA.

LA PASTA È COSTRETTA AD ATTRAVERSARE UNA MATRICE CON IL PROFILO STABILITO, TAGUANDO IN UN SECONDO MOMENTO I PRODOTTI ALLA LUNGHEZZA PREFISSATA.

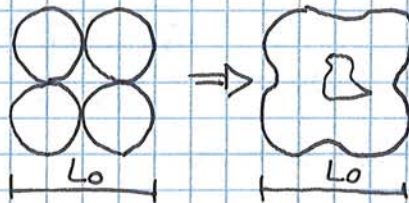
→ **COLAGGIO**: CON AGGIUNTE DI 35-40% DI H₂O E DI ALTRE SOSTANZE (DISPERDENTE, DEFLOCCULANTE, PLASTICIZZANTE, ECC.)

LA SOSPENSIONE È COLATA NELLO STAMPO DI GESSO CHE SVOLGE UN'AZIONE ASSORBENTE → SI FORMA UNO STRATO DI MATERIALE SOLIDO IL CUI SPESSORE AUMENTA COL TEMPO → PER FONTE CAVE, AUMENTAMENTO DELLA BORBOTTINA IN ECCESSO QUANDO SI RAGGIUNGE LO SPESSORE VOLUTO.

DETERMINA UN AUMENTO DELLA COESIONE DEL MATERIALE
 → SINTERIZZAZIONE.

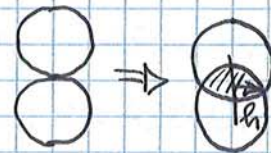
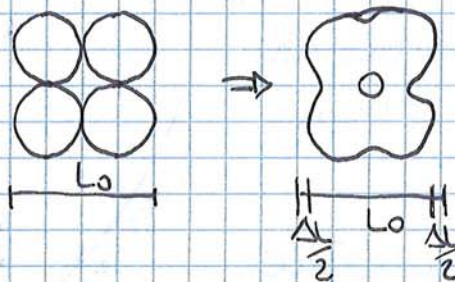
1) CON CRESCITA DEI GRANI:

FORMAZIONE DI COLLI



2) CON DENSIFICAZIONE

RITIRO DA SINTERIZZAZIONE



INFLUENZA DELLA POROSITÀ

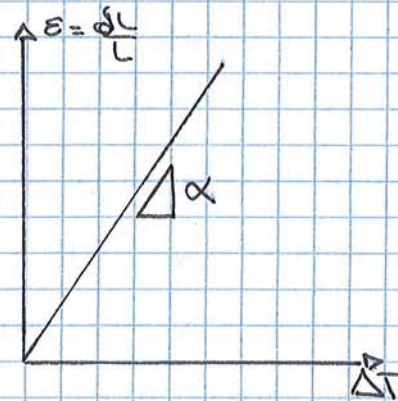
I PORI ASSIEME ALLE CRICCHE, SONO PROPRIO QUESTI DEFETTI DI CUI PARLA GRUFFITH NELLA SUA TEORIA.

MODULO ELASTICO → $\bar{E} = E_0 (1 - \phi, 9P + 0,9P^2)$

ANCHE LA DUREZZA DIMINUISCE AL CRESCERE DELLA POROSITÀ: $\sigma_{gs} = \sigma_0 e^{-nP}$

◦ DILATAZIONE TERMICA

LA ~~DEFORMAZIONE~~ DEFORMAZIONE TERMICA PER OGNI VARIAZIONE DI UN GRADO DI TEMPERATURA È DEFINITA DAL COEFFICIENTE DI ESPANSIONE TERMICA LINEARE α . ESSO È DEFINITO COME



$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} = \left[\frac{1}{K} \right] \circ \left[\frac{1}{^\circ C} \right]$$

◦ RELAZIONE TRA FORZA DI LEGAME E PROPRIETÀ DEI MATERIALI

- SOLIDI DEBOLMENTE LEGATI

- PUNTO DI FUSIONE BASSO
- MODULO DI ELASTICITÀ BASSO
- COEFFICIENTE DI ESPANSIONE TERMICA ALTO

- SOLIDI FORTEMENTE LEGATI

- PUNTO DI FUSIONE ALTO
- MODULO DI ELASTICITÀ ALTO
- COEFFICIENTE DI ESPANSIONE TERMICA BASSO

CON BUONA APPROSSIMAZIONE SI È VISTO CHE

$$\alpha \approx \frac{1,6 \times 10^{-3}}{E}$$

SI È EMPIRICAMENTE VERIFICATO CHE TUTTI I SOLIDI CRISTALLINI ESPANDONO CIRCA DELLA STESSA ENTITÀ RISCALDANDOLI SANA TEMPERATURA DELLO ZERO ASSOLUTO FINO AL PUNTO DI FUSIONE: CIRCA IL 2%.

$$\alpha \approx \frac{0,02}{T_0}$$

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{1}{A} = \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

DAU'EQUAZIONE DI FOURIER SI RICA VA

$$\lambda = - \frac{(\Delta Q / \Delta t)}{A (\Delta T / \Delta x)}$$

• MECCANISMI A LIVELLO ATOMICO: CONDUCEBILITÀ TERMICA

MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE:

→ VIBRAZIONI ATOMICHE (PACCHETTI QUANTICI DI ENERGIA, FONONI: PROPAGAZIONE DI ONDE ELASTICHE)

→ MOTO ED URTI TRA ELETTRONI LIBERI

→ IRRAGGIAMENTO (SOLIDI TRASPARENTI)

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_r$$

↑ METALLI
 CERAMICI & VETRI
 POLIMERI

- METALLI:

ELETTRONI LIBERI + TRASPORTO FONONICO → OTTIMI CONDUTTORI TERMICI

ATOMI IN SOLUZIONE SOLIDA, PRECIPITATI, DISORDINI STRUTTURALE... CONTRASTANO LA CONDUZIONE
 ↳ CENTRI DI DISPERSIONE.

- CERAMICI

NON POSSIEDONO ELETTRONI LIBERI

CONDUZIONE FONONICA SOLO MOLTO EFFICACE IN RETICOLI AD ALTA SIMMETRIA E SEMPLICITÀ

→ ECCEZIONE DEL DIAMANTE $\lambda > 1000 \frac{W}{m \cdot K}$

◦ DIFFUSIVITÀ TERMICA

LA DIFFUSIVITÀ TERMICA È UNA MISURA DELLA VELOCITÀ DI TRASMISSIONE DEL CALORE IN UN SOLIDO.

SI PARLA DI FLUSSO TERMICO TRANSITORIO → LA TEMPERATURA SULLA SUPERFICIE DI RIFERIMENTO VARIA NEL TEMPO.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad \left\| \begin{array}{l} \rho \text{ È LA DENSITÀ} \\ \lambda \text{ È LA CONDUTTIVITÀ} \\ \text{TERMICA} \end{array} \right.$$

RESISTENZA AGLI SBALZI TERMICI E SHOCK TERMICO TSR

I MATERIALI, IN SPECIAL MODO QUELLI FRAGILI, POSSONO DAR LUOGO A FRATTURA A CAUSA DI BRUSCHE VARIAZIONI DI TEMPERATURA. LA FRATTURA NASCE DALL'INSORGERE DI TENSIONI MECCANICHE ALL'INTERNO DEL MATERIALE DOVUTO A:

- GRADIENTI DI TEMPERATURA
- ANISOTROPIA DEL MATERIALE

$$TSR = \frac{\sigma \lambda (1 - \nu)}{E \alpha}$$

TEMPERATURA MASSIMA DI ESERCIZIO

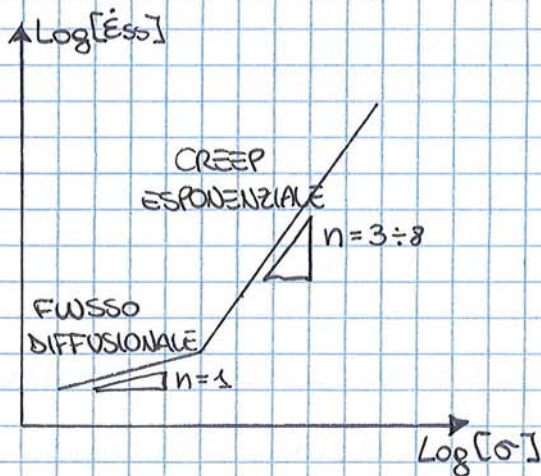
LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI VARIANO CON LA TEMPERATURA IN GENERE PEGGIORANDO QUANDO LA T SALE.

OCCORRE VALUTARE LA RISPOSTA DEL MATERIALE ANCHE A $T > T_{amb}$:

- TRAZIONE A $T > T_{amb}$ (RESISTENZA E MODULO ELASTICO)
- CREEP
- FATICA A $T > T_{amb}$

VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE $\frac{d\varepsilon}{dt} = \dot{\varepsilon}_{ss}$ IN STATO STAZIONARIO

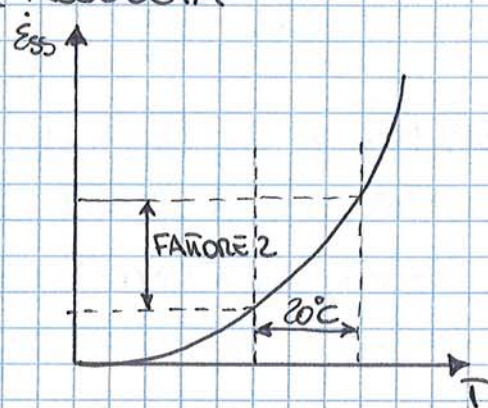
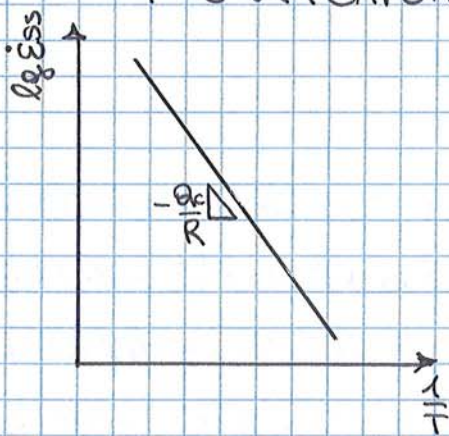
- A T COSTANTE $\dot{\varepsilon}_{ss} = B \sigma^n$



- n : ESPONENTE DEL CREEP
- $n = 3 \div 8$ PER σ ELEVATI
CREEP ESPONENZIALE
- $n = 1$ PER σ CONTENUTI
FWSSO DIFFUSIONALE

- SOTTO σ COSTANTE: $\dot{\varepsilon}_{ss} = C e^{-\frac{Q_c}{RT}}$

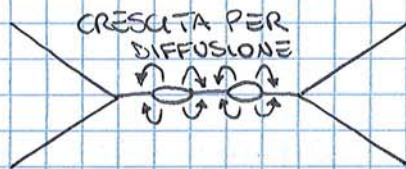
DOVE Q_c È L'ENERGIA DI ATTIVAZIONE DEL CREEP
 R È LA COSTANTE UNIVERSALE DEI GAS
 T È LA TEMPERATURA ASSOLUTA



CREEP TERZIARIO: DANNEGGIAMENTO E ROTTURA

ACCUMULO DI DANNEGGIAMENTO AL PROCEDERE DELLO SCORRIMENTO VISCOSO: DIFETTI E DANNEGGIAMENTI LOCALI, CHE COALESCONO RIDUCENDO LA SEZIONE PORTANTE.

σ_{loc} AUMENTA \Rightarrow AUMENTA $\dot{\varepsilon}_{ss} \Rightarrow$... ROTTURA



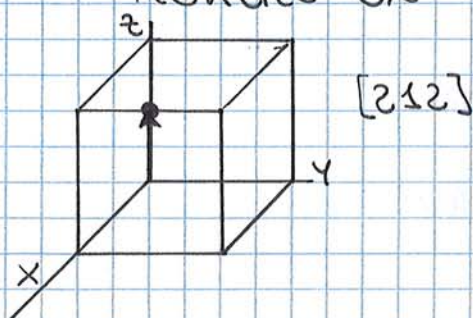
AI BORDI PERPENDICOLARI ALLA DIREZIONE DI SOLLECITAZIONE SI CREANO DELLE CAVITÀ.

MA SE I BORDI DI GRANO SOGGETTI A TRAZIONE PRESENTANO DELLE CAVITÀ AL LORO INTERNO, AGISCONO PURE COME SORGENTI DI ATOMI E NEL FARE QUESTO ESSI CRESCONO. LE CAVITÀ NON POSSONO CONTRIBUIRE A SOSTENERE IL CARICO, COSÌ LA SOLLECITAZIONE CRESCE SUI TRATTI RIMASTI INTATTI DEI BORDI, IL CHE FA CRESCERE SEMPRE DI PIÙ LE CAVITÀ, FINCHÉ ALLA FINE ESSE COALISCONO PORTANDO A ROTTURA.

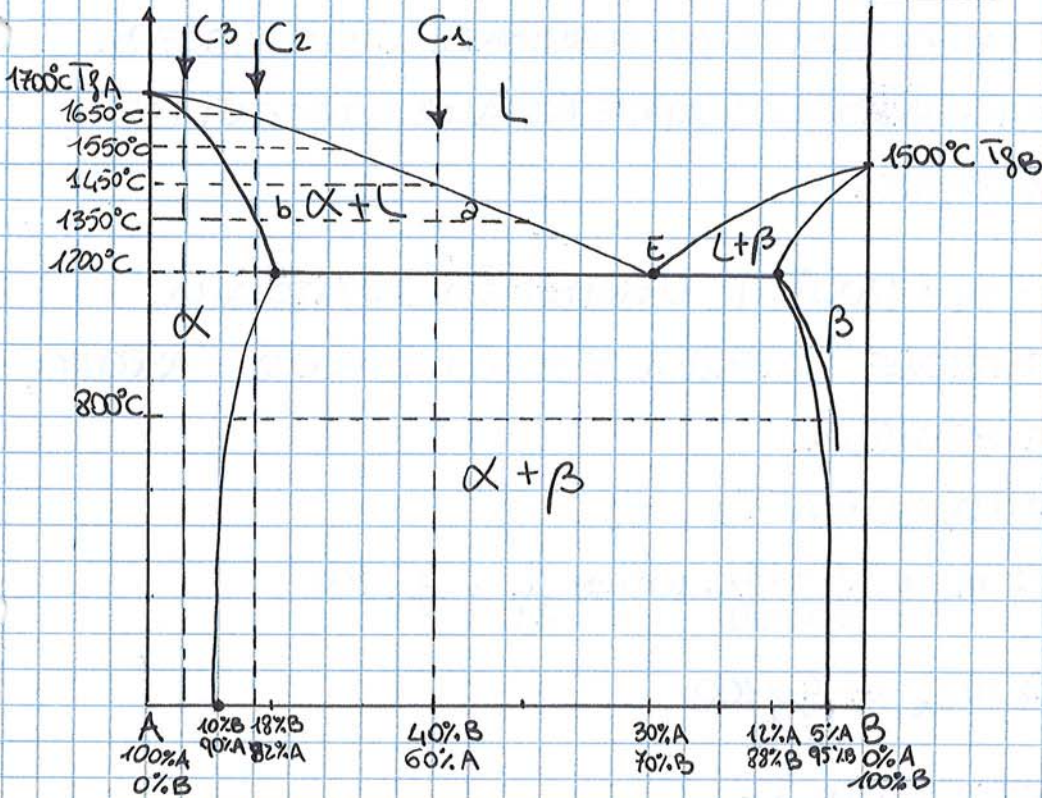
CRISTALLOGRAFIA

- PROCEDURA PER TROVARE GLI INDICI DI DIREZIONE

- 1) PRODURRE IL VETTORE DI DIREZIONE FINCHÉ EMERGE DALLA SUPERFICIE DELLA CELLA CUBICA
- 2) DETERMINARE LE COORDINATE DEL PUNTO DI ARRIVO E DI ORIGINE
- 3) SOTTRARRE LE COORDINATE DEL PUNTO DI ARRIVO ORIGINE DA QUELLE DI ARRIVO
- 4) SONO TUTTI INTERI? SE NO, CONVERTIRLI
- 5) CI SONO VETTORI DI DIREZIONE NEGATIVI? RAPPRESENTARE GLI INDICI TRA PARENTESI QUADRE E METTERE UN - SUO' INDICE NEGATIVO.



PARZIALMENTE MISCIBILI ALLO STATO SOLIDO



RAFFREDDAMENTO CON COMPOSIZIONE C1

• A $T = 1600^{\circ}\text{C}$ HO LIQUIDO COSTITUITO DAL 40% DI B E DAL 60% A

$$L(A+B)$$

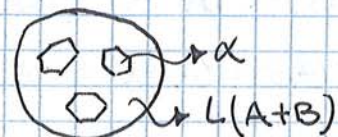
• ALLA $T = 1450^{\circ}\text{C}$ INCONTRO LA CURVA DI LIQUIDUS. QUESTO SIGNIFICA CHE SI VIENE A CREARE IL PRIMO CRISTALLO DI SOLUZIONE SOLIDA α CHE CHIAMEREMO PER QUESTO SOLUZIONE SOLIDA PRIMARIA.

• A $T \approx 1350^{\circ}\text{C}$ AVRO LIQUIDO A+B PIÙ CRISTALLI DI SOLUZIONE SOLIDA PRIMARIA α .

- COMPOSIZIONE LIQUIDO : 47% A ; 53% B

- " " SOLIDA : 85% A ; 15% B

$$\begin{cases} m_s = \frac{a}{a+b} = \frac{1}{3} \cdot 100 \\ m_L = \frac{b}{a+b} = \frac{2}{3} \end{cases}$$



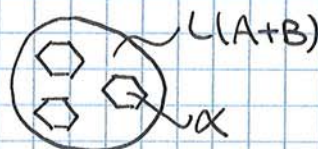
• A $T = 1750^{\circ}\text{C}$ INCONTRO LA CURVA DI LIQUIDUS. QUESTO SIGNIFICA CHE SI VIENE A CREARE IL PRIMO CRISTALLO DI SOLUZIONE SOLIDA α CHE CHIAMEREMO PER QUESTO SOLUZIONE SOLIDA PRIMARIA.

• A $T = 1500^{\circ}\text{C}$ HO SOLIDO PRIMARIO α E LIQUIDO (A+B).

- COMPOSIZIONE SOLIDA: 100% A E 0% B

- COMPOSIZIONE LIQUIDA: 45% A E 55% B

$$\begin{cases} m_s = \frac{a}{a+b} = \frac{3}{11} \\ m_L = \frac{b}{a+b} = \frac{8}{11} \end{cases}$$



CONTINUANDO A RAFFREDDARE LA COMPOSIZIONE SOLIDA RIMANE LA STESSA MENTRE QUEL LA LIQUIDA TENDE AD ARRICCHIRSI DI B ED AD IMPOVERIRSI DI A. ~~LA~~ CONTEMPORANEAMENTE LA m_s AUMENTA E LA m_L DIMINUISCE.

• A $T = 1200^{\circ}\text{C}$ SIAMO ALLA TEMPERATURA EUTETTICA. IL LIQUIDO RAGGIUNGE COMPOSIZIONE EUTETTICA E SI FORMA IL PRIMO CRISTALLO SOLIDO DI β (SECONDARIO)

- COMPOSIZIONE SOLIDO: 100% A E 0% B

- COMPOSIZIONE LIQUIDA: 30% A E 70% B

$$\begin{cases} m_s = \frac{3}{7} \\ m_L = \frac{4}{7} \end{cases}$$

• A $T < T_e$ TUTTO IL LIQUIDO SI TRASFORMA IN SOLIDO α E $(\alpha + \beta)$ LALEUANE CON COMPOSIZIONE 60% A E 40% B