



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1769A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Sacchiero Giulia

MATERIA: Scienza e tecnologia dei materiali, Teoria + Temi d'esame - prof. Lombardi, Scavino

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

M. Lombardi

INTRODUZIONE AI MATERIALI	1
RIGIDITÀ	4
STRUTTURE CRISTALLINE	11
DIFETTI NEI SOLIDI CRISTALLINI	16
PROVE STATICHE	20
FRATTURA	28
FATICA	33
MATERIALI POLIMERICI	39
MATERIALI CERAMICI	43
PROPRIETÀ TERMICHE	46
DIAGRAMMI DI STATO	52
MAPPE DI ASHBY	57
TEMI D'ESAME	60
RIASSUNTI	68
RIASSUNTI METALLURGIA	77
TEMI DI ESAME METALLURGIA	85

2

PROCESSI PRODUTTIVI

- PRIMARI
- impartiscono una forma
 - OPERAZIONI DI COLATA
 - STAMPAGGIO
 - DEFORMAZIONE (laminazione, fregiatura)
 - DA POLVERI
 - FORMATURA DA COMPOSITI
 - TECNICHE SPECIALI

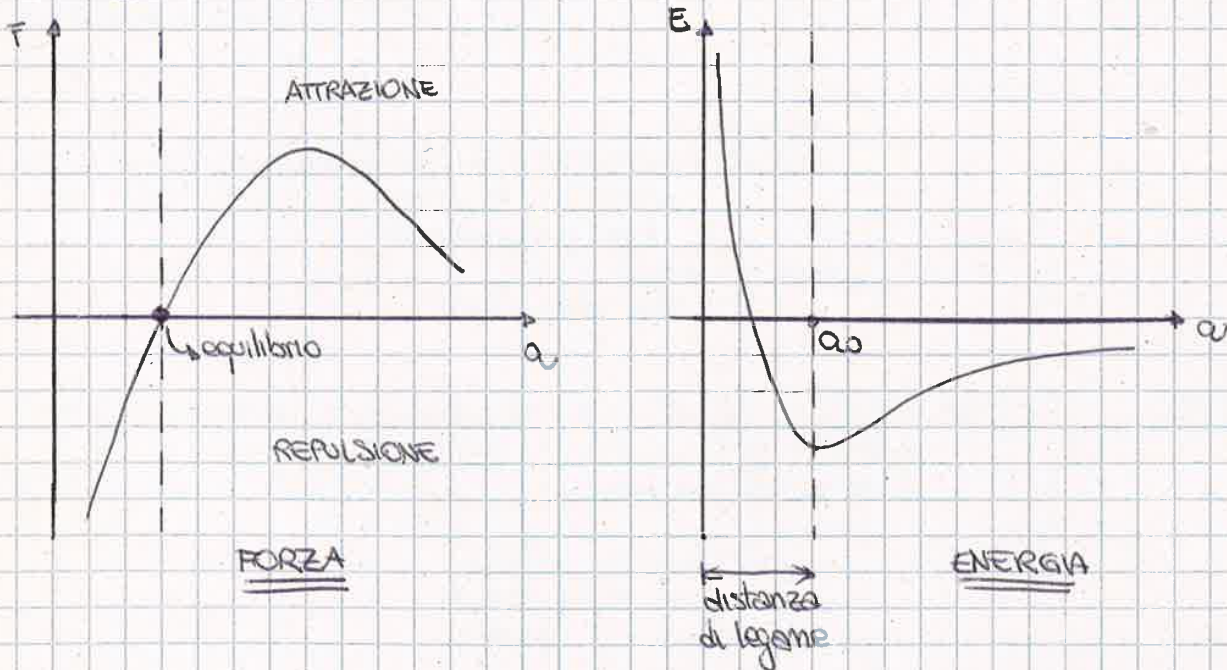
- SECONDARI
- a utensile (taglio, piegatura, abrasione ecc)
 - trattamento termico

- GIUNZIONI
- connettori
 - saldatura
 - abrasivi

- TRATTAMENTI SUPERFICIALI → verniciatura, pittura ecc

CURVA DI CORDON-MORSE

Definisce l'interazione tra due atomi isolati che, partendo da una distanza infinita si avvicinano



Come si evince dal secondo principio della termodinamica, un sistema tende a evolvere verso un minimo di energia.

Per questo motivo la situazione di massima stabilità (ovvero il legame) si ha in corrispondenza del minimo di energia.

4

RIGIDEZZA

Se un materiale viene sollecitato gli verrà provocata una deformazione. La deformazione dipenderà dall'entità della sollecitazione e dalle modalità di carico.

Le proprietà dei materiali da studiare per capire come reagiscono alle sollecitazioni sono:

- RIGIDEZZA, ovvero resistenza al cambiamento di forma manifestata elasticamente, viene misurata tramite il modulo elastico E
- RESISTENZA, ovvero la capacità di opporsi alla deformazione permanente o alla rottura si misura tramite il limite elastico σ_y o la resistenza a trazione σ_{TS}

DENSITA'

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

DETERMINAZIONE: bilancia di precisione o doppia pesata (Archimede)

MODALITA' DI CARICO

Sono: TRAZIONE, COMPRESSIONE, FLESSIONE, TORSIONE e PRESSIONE INTERNA. Generalmente una sola di queste modalità è predominante, a seconda di qual è l'elemento: TIRANTE, PILASTRO, TRAVE o GUSCIO.

SOLLECITAZIONE

Immaginiamo una forza F applicata perpendicolarmente alla superficie di un elemento di materiale. Questa forza è controbilanciata da una forza uguale e contraria di verso opposto.

Definiamo una superficie A

- SOLLECITAZIONE A TRAZIONE $\left[\frac{kg}{cm^2} \right]$ $\sigma = \frac{F}{A}$ (più comune il MPa)
(agisce \perp ad A)
(col segno meno è compressione)

- SOLLECITAZIONE A TAGLIO $[MPa]$ $\tau = \frac{F}{A}$
(agisce \parallel ad A)

DEFORMAZIONE

- DEFORMAZIONE A TRAZIONE $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$

provocano un allungamento o accorciamento

- DEFORMAZIONE A TAGLIO $\gamma \approx \tan(\gamma) = \frac{w}{L_0}$

provoca uno scorrimento (w) delle superficie

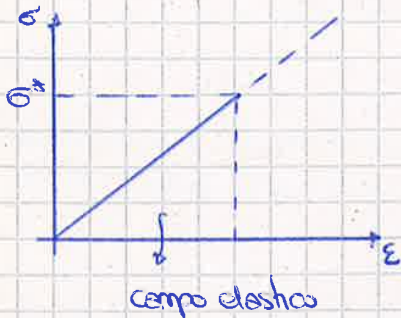


ENERGIA ELASTICA: il materiale immagazzina energia che rilascia quando la sollecitazione che lo ha deformato viene a cessare

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

Quindi il lavoro necessario per la deformazione elastica è

$$W = \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon = \int_0^{\sigma^*} \sigma \left(\frac{d\sigma}{E} \right) = \frac{(\sigma^*)^2}{2E}$$



σ^* : deformazione limite per la quale non si verifica più deformazione elastica (prevale le forze repulsive)

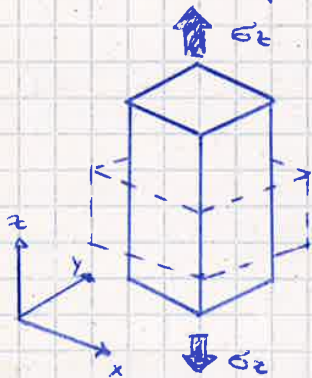
Definiamo quindi il MODULO DI POISSON (quando c'è sia deformazione tangenziale che trasversale)

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{tr}}{\varepsilon_{ax}} = - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

La deformazione trasversale è negativa se quella longitudinale è positiva (la sezione si allunga)
 ↳ trazione uniaassiale

La deformazione trasversale è positiva se quella longitudinale è negativa
 ↳ COMPRESSIONE uniaassiale

Se il solido è isotropo $\varepsilon_y = \varepsilon_x$



$$\nu = - \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon} = - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon}$$

• Se $\nu = 0,5 \rightarrow$ il volume si conserva costante sotto deformazione

$$|\varepsilon_x| = \frac{1}{2} |\varepsilon| \text{ e anche } |\varepsilon_y| = \frac{1}{2} |\varepsilon|$$

$$\rightarrow |\varepsilon_x| + |\varepsilon_y| = |\varepsilon|$$

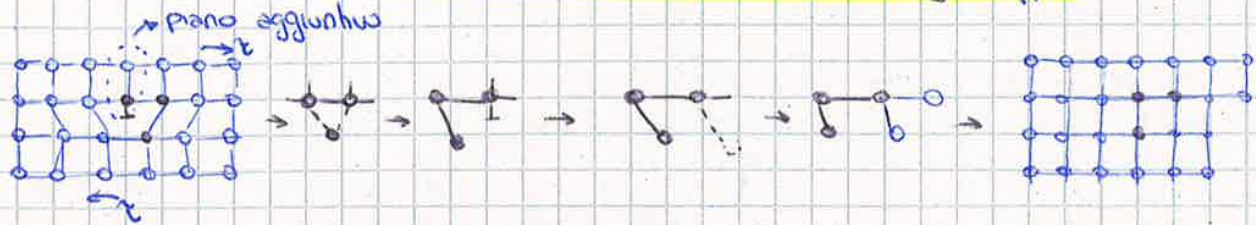
Il volume per trazione aumenta tanto longitudinalmente quanto si riduce trasversalmente

Nella realtà il materiale risponde con un aumento di volume perché hanno $0 < \nu < 0,5$

8
 favoriscono lo scorrimento $\left\{ \begin{array}{l} \text{zone di compressione: metà del reticolo in cui c'è il piano aggiuntivo (nelle} \\ \text{metà superiore)} \\ \text{zone di trazione: nel semipiano inferiore} \end{array} \right.$

Per sforzi di taglio bassi si riesce a spostare tutta la parete superiore (fino a quando il semipiano aggiuntivo arriva alla fine del reticolo)

L'energia fornita viene dissipata per la formazione di legami e il materiale non ha più energia per tornare allo stato iniziale una volta finito lo sforzo di taglio applicato



La direzione di scorrimento però può essere anche più di una...

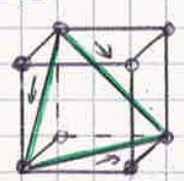
Direzioni di scorrimento favorite: piani più compatti in cui gli atomi sono più vicini (alta densità planare \rightarrow la distanza tra gli atomi è minore).

Le dislocazioni si muovono anche sui piani meno compatti, ma richiedono maggiore energia affinché il meccanismo si innesci.

Parametri da cui dipende lo scorrimento $\left\{ \begin{array}{l} \text{piano di scorrimento} \\ \text{direzione di scorrimento} \\ \text{distanza di scorrimento = distanza che deve coprire un atomo} \\ \text{per spostarsi di un posto} \end{array} \right.$

SISTEMI DI SCORRIMENTO FAVORREOLI

CFC



- piano compatto $\{1,1,1\}$ (distanza di scorrimento minima)
- direzione $\{1,1,0\}$ (che individua 3 direzioni preferenziali)
- 4 piani con max densità planare \rightarrow 12 sistemi di scorrimento

CCC

- 2 direzioni compatte per 6 piani non compatti
 \downarrow
12 sistemi di scorrimento: le possibilità di scorrimento sono le stesse per le cfc
 \downarrow
 i materiali si deformano con la stessa facilità, ma in realtà i materiali più duttili i cfc perché gli atomi sono più compatti

ESC

\rightarrow sono materiali fragili, hanno un unico piano di scorrimento ad alta compattazione con 3 direzioni.
3 sistemi di scorrimento

Con la T bassa si attivano altri piani di scorrimento

- cfc 24 sistemi
- CCC 12 duttilità non viene influenzata
- ESC 6 sistemi \rightarrow per questo motivo i materiali che presentano reticolo esc sono generalmente lavorati a caldo

10

Per i metalli \rightarrow legame metallico (non direzionale) \rightarrow facilmente deformabile.

I materiali ceramici sono invece più fragili a causa della direzionalità del legame covalente che non permette il movimento delle dislocazioni.

CURVE SOLLECITAZIONE-DEFORMAZIONE



TECNICHE DI RINFORZO DEI METALLI

- si possono inserire dei difetti puntuali, aggiungendo atomi interstiziali o sostituzionali
- riduzione delle dimensioni del grano
- formazione di precipitati
- incrudimento: si aggiungono altre dislocazioni

12

CFC

es Cromo, molibdeno, tungsteno

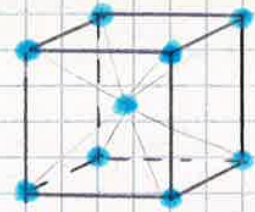
→ atomi per cella $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$

→ fattore di compattazione atomica

$$\frac{V_{\text{atomi}} \times \text{atomi cella}}{V_{\text{cella}}} = \frac{2 \times \left(\frac{4}{3} \pi R^3\right)}{a^3} = 0,68 \quad \leftarrow \text{fattore di riempimento}$$

→ lungo la diagonale del cubo esiste una continuità degli atomi $\sqrt{3} a = 4R$

→ numero di coordinazione → numero di atomi vicini = 8



CFE

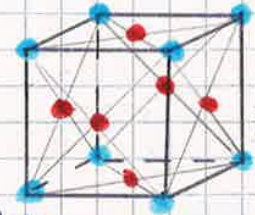
es Rame, alluminio, oro, nichel

→ atomi per cella $\frac{1}{8} \times 8 + 6 \times \frac{1}{2} = 4$

→ FCA $\frac{4 \times \left(\frac{4}{3} \pi R^3\right)}{a^3} = 0,74$ → massimo valore di riempimento possibile

→ relazione R e a → $\sqrt{2} a = 4R$ → la compattazione è lungo la faccia, non lungo diagonale

→ NC = 12



EC

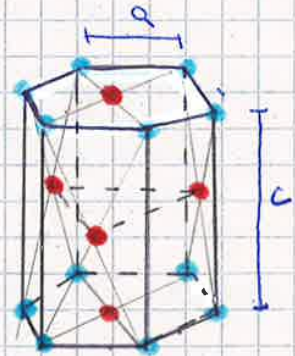
es Cadmio, magnesio, titanio

→ atomi per cella $12 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{2} + 3 = 6$

→ la struttura EC è assimilabile a una CFC ruotata, quindi il FCA è uguale = 0,74

→ NC = 12

→ relazione R e a → $a = 2R$
 $c = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 4R$

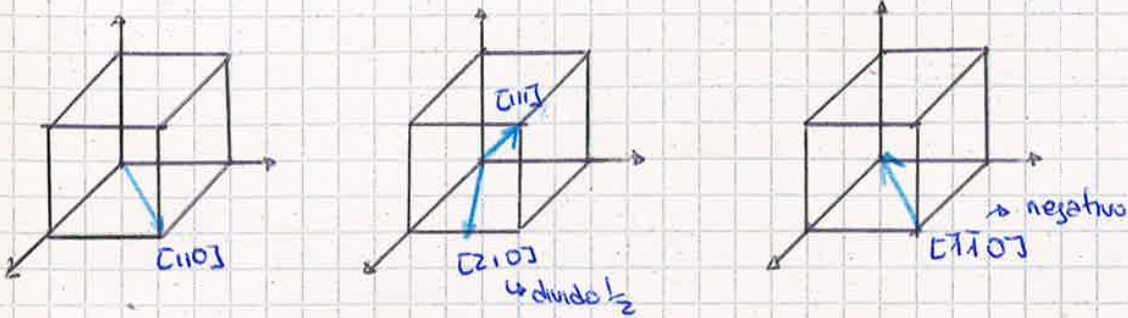


14

DIREZIONI $[U \ V \ W]$ → non si usano indici frazionari

↳ direzione lungo la quale avviene una deformazione

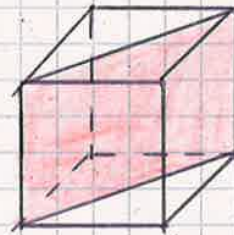
- 1) Posiziono il sistema cartesiano
- 2) stabilisco il punto di partenza della direzione
- 3) si determina poi la posizione del punto di arrivo



PIANI $(h \ k \ l)$ → INDICI DI MILLER

1) Individuare il piano da indicizzare e determinare le intersezioni tra piano e assi.
NB il piano non deve passare per l'origine degli assi, se passa per l'origine si deve traslare 0

- 2) fare i reciproci delle intersezioni $\frac{1}{2} \rightarrow 2 \quad \infty \rightarrow 0$
- 3) normalizzare le frazioni



DEFINIAMO

• Densità atomica lineare $\rho_l = \frac{n^{\circ} \text{ atomi intersecati}}{\text{lunghezza linea}}$

• Densità atomica planare $\rho_p = \frac{n^{\circ} \text{ atomi sezione}}{\text{area sezione}}$

• Densità atomica volumetrica teorica $\rho_v = \frac{\text{massa cella elementare}}{\text{volume " "}} = \frac{n^{\circ} \text{ atomi} \cdot \rho_A}{N_{\text{Avogadro}} \cdot V_{\text{CE}}}$

È teorica perché non vengono considerati i vuoti tra gli atomi

16 DIFETTI NEI SOLIDI CRISTALLINI

La presenza di difetti influenza alcune proprietà dei materiali, quali p. fisiche (conduttività elettrica), meccaniche (resistenza, allungamento ecc) e tecnologiche (deformabilità, corrosione)

DIFETTI RETICOLARI

Sono i luoghi in cui viene meno la periodicità della struttura cristallina.

- DI PUNTO : vacanze, interstiziali, sostituzionali
- DI LINEA : dislocazioni
- DI SUPERFICIE : bordi di grano, superfici esterne
- DI VOLUME

DIFETTI PUNTUALI

Questo difetto prevede

- mancanza di un atomo nel reticolo (VACANZA)
- presenza di un atomo più piccolo in posizione intermedia (INTERSTIZIALE)
- atomo diverso che sostituisce un atomo del reticolo (SOSTITUZIONALE)



↓
 + FRENKEL (vacanza + interstiziale)
 + SCHOTTKY (catione + anione vacanza)

Tutti i solidi reali sono impuri es C nel Fe → acciaio
 Cu in Al → lega di alluminio
 Zn in Cu → ottone

IMPUREZZE NEI SOLIDI : tutti i materiali metallici sono soluzioni solide

- SOLVENTE : componente presente in % maggiore
- SOLUTO : " " " minore

SOLUZIONE SOLIDA SOSTITUZIONALE

Gli atomi di impurezza o di soluto riempiono e sostituiscono alcuni atomi del reticolo ospite.

Si ha SOLUBILITÀ TOTALE se sono rispettate le regole di HUME-ROTHERY.

- FATTORE DI DIMENSIONE ATOMICA : la differenza tra i raggi atomici deve essere minore del 15%.
- STRUTTURA CRISTALLINA : soluto e solvente devono solidificare nella stessa struttura
- ELETTRONEGATIVITÀ : deve esserci bassa differenza di elettronegatività, altrimenti si sarebbe il rischio della formazione di legami covalenti intermetallici
- VACANZA : deve essere uguale

Hanno solubilità totale Cu-Ni, MgO-FeO
 Hanno solubilità parziale Ag-Cu

Le leghe Rame-Nichel sono solubili in tutte le proporzioni
 Le leghe Alluminio-Nichel sono poco solubili (in entrambe le direzioni)

DIFETTI DI SUPERFICIE

- SUPERFICI ESTERNE (fenomeni di ossidazione o riduzione)
- BORDI DI GRANO

La superficie esterna è considerata un difetto perché gli atomi che ne fanno parte non hanno il massimo numero di legami consentiti e quindi sono più reattivi (i catalizzatori sfruttano questa caratteristica)

I bordi di grano sono visibili attraverso le HR-TEM o di microscopio ottico basato sul principio della riflessione.

Sono ricchi di legami distorti, impurezze, dislocazioni, atomi con vic differenti.

Sono zone più energetiche ad elevata reattività e diffusività.

Evidenziabili da opportune reazioni di attacco chimico.

I bordi di grano si formano durante la solidificazione o la ricristallizzazione o la precipitazione allo stato solido.

Possono essere

- ↳ EQUIASSICI: hanno le stesse dimensioni in tutte le direzioni
- ↳ COLONNARI: hanno la forma più allungata in una direzione

DIFETTI DI LINEA

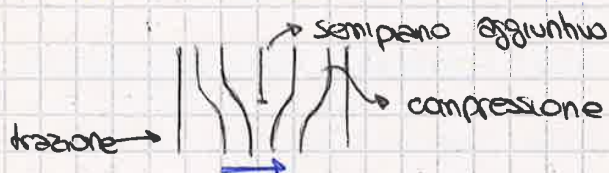
Sono le dislocazioni. Possono essere

- ↳ A SPIGOLO
- ↳ A VITE
- ↳ MISTE

NB più energia possiede il materiale, minore è la probabilità che si formino questi difetti.

DISLOCAZIONE A SPIGOLO

È una porzione di piano aggiuntiva i cui spigoli terminano entro il cristallo



Per sapere in che verso è avvenuta la dislocazione si utilizza il vettore di Burgers (perpendicolare alla linea di dislocazione)

DISLOCAZIONE A VITE

È una distorsione del reticolo sottoposto a sforzo di taglio. Il reticolo ha quindi subito uno scorrimento

Ci sono diversi piani lungo cui gli atomi possono scorrere

- ↳ CCC 12
- ↳ FCC 12
- ↳ EC 3

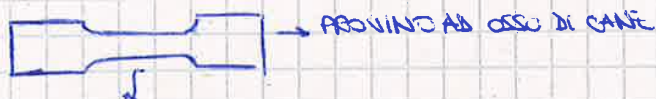
DISLOCAZIONI MISTE: somma di una dislocazione a spigolo e una a vite

PROVE STATICHE

Servono a valutare ~~la resistenza~~ il comportamento dei materiali se sottoposti a sollecitazioni a lungo termini.
Sono prove distruttive (in qualsiasi prova si arriva a stressare il materiale fino alla rottura fino a valutare il massimo carico).

PROVA A TRAZIONE

PROVINO: è a sezione rettangolare o circolare a lunghezza variabile.
gli estremi sono più grandi per potersi fissare meglio nelle morse.

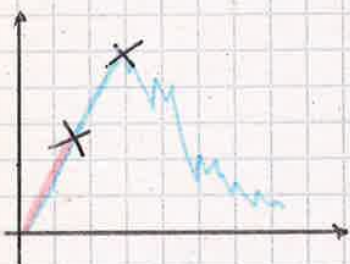


ZONA UTILE: è la zona interessata per lo studio di uno sforzo

La macchina per svolgere la prova ha un braccio fisso e uno mobile

Solitamente la prova si svolge a regime costante, la deformazione sarà quindi costante, l'allungamento quindi dipenderà dalla forza applicata, dall'area e dalla lunghezza iniziale.
Il programma deve quindi sapere l'area e la lunghezza iniziale (si vincola quindi dalla geometria del provino) ed elabora poi una curva SFORZO-DEFORMAZIONE

CERAMICI



I materiali ceramici resistono bene a compressione ma male a trazione.
Le curve hanno la stessa pendenza, ma il PUNTO DI SFORZO UTILE (limite di rottura) è molto minore risp. nella curva di trazione (le regioni di questo sono atomiche)

● trazione
● compressione

La regione scheggiata è dovuta al fatto che la macchina continua a registrare lo sforzo sui pezzetti di ceramico rimasti dopo la rottura tra i due masselli.

METALLI



Dopo un tratto lineare che segue la legge di Hooke, non c'è più una vera e propria dipendenza tra sforzo e deformazione.

Dopo il limite di snervamento la deformazione entra nel regime plastico e le deformazioni diventano irreversibili.
Questo perché le dislocazioni hanno cominciato a muoversi, se interrompiamo la trazione il materiale non sarà più in grado di tornare alle condizioni iniziali.

Dopo aver raggiunto la trazione massima la curva scende rapidamente e il materiale si rompe.

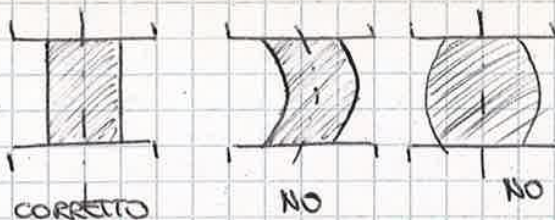
Come faccio a individuare il limite di snervamento?

PRIMO APPROCCIO: vedo nel grafico quando cambia l'andamento. Non è sempre possibile perché in molti casi il diagramma risulta poco preciso



22

Bisogna inoltre stare attenti che non si verifichino sbandamenti o rigonfiamenti



Il macchinario che si utilizza è lo stesso della prova a trazione, ma al posto delle morse si usano dei piani paralleli (solitamente a forma cilindrica).

Il provino è un parallelepipedo a base circolare o non.

PRONA A FLESSIONE

Lungo la superficie va sviluppato un gradiente di pressione: una superficie viene sottoposta a trazione, l'altra a compressione.

PROVINO: è un rettangolo le cui dimensioni sono date dalla norma



Il macchinario è sempre lo stesso, ma vengono cambiati gli alloggi - un punzone è collegato al braccio mobile, mentre gli altri due a quello fisso



Attraverso queste prove, sulla base del carico, delle dimensioni del provino e delle distanze tra appoggi e tra appoggi e punzone, posso calcolare la resistenza a flessione.

PRONA DI DUREZZA

È sempre una prova statica, ma a differenza delle altre prove non è distruttiva.

Si compie "pungendo" la superficie del materiale con un INDENTATORE. Si valuta la durezza in base all'area di contatto.

A seconda del tipo di indentatore si hanno:

- BRINNEL (sfera di acciaio)
- ROCKWELL (sfera di acciaio o cono di diamante)
- VIKERS (piramide di diamante a base quadrata)
- KNOOP (" " romboidale)

Le punte sono fatte di diamante perché ~~è~~ è il materiale più duro in assoluto e così si è sicuri che l'indentatore non si deforma.

Sulla base dell'impronta lasciata dalla punta, delle dimensioni della punta e della forza applicata vedo a calcolare la durezza del materiale.

Per valutare le dimensioni dell'impronta di solito si usa il microscopio ottico (se il materiale è tenace e quindi l'impronta è grande) o elettronico (se l'impronta è piccola).

È importante indicare con quale prova è stata ~~misurata~~ valutata la durezza perché cambiano i valori delle scale (quindi oltre al numero sono indicate anche delle lettere).

24

Il legame tra gli atomi metallici è metallico, di per sé non provocherebbe una grande resistenza al moto delle ~~resistenze~~ dislocazioni.

Questo non è un grande vantaggio perché, se spendo l'energia per muovere le dislocazioni, non resisterà a lungo alla deformazione.

Conviene dunque ostacolare il moto, e per fare ciò aggiungiamo degli ostacoli avvalendoci dei difetti.

Per aggiungere difetti posso:

- RAFFINAMENTO DI SOLUZIONE SOLIDA (aggiungo elementi allo lega)
- " PER PRECIPITAZIONE (si crea un composto)
- INCRUDIMENTO
- TAGLIA DI GRANO

L'effetto di bloccaggio si chiama effetto PINNING.

Per valutare l'effetto del rafforzamento devo valutare di quanto aumenta la resistenza ↓
Per conoscere ↓ occorre sapere la distanza degli ostacoli.

Se un difetto (atomo di precipitato o di lega) si trova sufficientemente poco lontano dalla dislocazione riesce a riannestarsi con questo per ristabilizzare il reticolo.

SOLUZIONE SOLIDA

Cgni volta che vado ad aggiungere un ostacolo aumento la porzione di lavoro del reticolo di:

$$\Delta \gamma = p/b$$

Sundi ora dobbiamo aggiungere ancora sollecitazione perché è maggiore la forza opposta dal reticolo.

Quello che succede nel momento in cui inseriamo un atomo di soluto all'interno del reticolo è che gli atomi del reticolo devono fargli spazio.

Questo spostamento è sempre nei limiti della curva cordon-morse, se non la dovesse rispettare i legami verrebbero alterati.

Dobbiamo tener conto di questo andando a considerare che il bloccaggio dovuto a questi difetti cresce di un fattore Eb^2 .

In conclusione lo sforzo di taglio sarà $\tau = (\alpha Eb^2)/L$

dove α è una costante che tiene conto degli effetti delle imperfezioni.

Inoltre gioca un ruolo importante la concentrazione di queste imperfezioni, perché più ce ne sono più è probabile che si combinino con le dislocazioni, ma non si può nemmeno inserire troppi difetti perché andrebbero ad alterare la struttura del reticolo (MISCIBILITÀ)

La dislocazione inizia a muoversi se $\tau_{ss} = \alpha Ec \frac{1}{2}$
↳ concentrazione

α deve tener conto del contributo dell'inserimento degli atomi di impurità per quanto riguarda la variazione del reticolo (elettronegatività, distanza ecc)

Nel momento in cui creiamo una soluzione solida la resistenza del materiale aumenta. Con una forza applicata maggiore le dislocazioni riescono ancora a muoversi, ma con una mobilità limitata.

26 RAFFORZAMENTO AI BORDI DI GRANO

Una dislocazione non può muoversi da un bordo di grano all'altro perché hanno direzioni e allineamenti diversi (non hanno gli stessi piani di scorrimento)

Contributo alla resistenza dato dai bordi di grano:

$$\tau_{gb} = k_p / \sqrt{D}$$

Con k_p = costante di Petch

D = dimensioni nominali del bordo di grano ($1 \pm 100 \mu\text{m}$)

Se il materiale è microcristallino ($D < 1 \mu\text{m}$) o nanocristallino ($D > 1 \text{nm}$) il contributo di τ_{gb} diventa significativo

RELAZIONE DI HALL - PETCH: non è valida all'infinito, ma per ogni materiale esiste un D critico sotto il quale la resistenza del materiale diminuisce

$$\sigma_y = \sigma_{\text{monocristallo}} + k D^{-1/2}$$

La più sono piccoli i bordi di grano più resistente è il materiale

INCRUDIMENTO A FREDDO

Si compie costringendo il materiale a passare tra due rulli a T.C. ricristallizzazione, si assottiglia quindi il materiale con una lavorazione meccanica a freddo.

Con l'incrudimento quindi si deformano i grani cristallini che si allungano lungo una direzione si formano molte delle nuove dislocazioni che ostacolano il moto delle precedenti dislocazioni.

all'interno dei grani i reticoli si "ristruiscono" secondo l'ordine della cella elementare. La diminuzione della sezione inoltre fa sì che il numero di dislocazioni siano molte più di quelle iniziali.

Definiamo DENSITÀ DI DISLOCAZIONI la lunghezza di linee di dislocazione per volume unitario. Quando i metalli sono deformati le dislocazioni si moltiplicano provocando la crescita della loro densità da fino a 10^{12} m/m^3

una dislocazione in movimento trova il suo piano di scorrimento occupato da una miriade di nuove dislocazioni con una distanza media

$$L = \rho_d^{-1/2} \quad \text{con } \rho_d = n^2 \text{ di dislocazioni per area unitaria.}$$

La dislocazione in movimento però continua ad avanzare scendendo su un piano superiore al suo creando un piccolo gradino.

I balzi hanno però una loro energia potenziale, e quindi ciascuno può esercitare una forza di bloccaggio

$$P = (E b^2) / 2 \quad \text{sulla dislocazione in movimento}$$

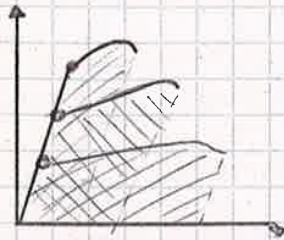
ricordando che $\Delta \tau = P / bL$ abbiamo che

$$\tau_{wb} = (E b^2 \sqrt{\rho_d}) / 2$$

FRATTURA

A seconda delle applicazioni ci può servire che il materiale non arrivi mai al punto di snervamento oppure che si deformi plasticamente ma non giunga a rottura.

Le caratteristiche di tenacità possono essere dedotte dal diagramma sforzo-deformazione.



TENACITÀ: energia che serve a far giungere a rottura il materiale.

Per quanto riguarda ad esempio l'acciaio, a seconda dei contenuti di carbonio avrà maggiore o minore energia.

Maggiore è la quantità di carbonio più è alto il limite di snervamento, ma si arriva prima a rottura (diminuisce la deformazione plastica).

In dipendenza dalla quantità di carbonio all'interno del ferro il modulo elastico è praticamente costante.

PROVE DI RESILIENZA

Sono prove che servono per valutare la tenacità di un materiale resistendo a sollecitazioni impulsive.

Il provino è intagliato (è presente una cricca), a seconda di come si propaga la cricca si valuta la tenacità.



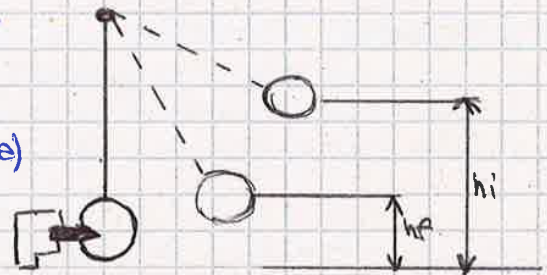
Essenzialmente per essere buona una prova deve propagare la cricca a tutto il provino (che quindi si rompe).
una volta avvenuta la rottura si valuta l'energia fornita.

Il macchinario prende il nome di PENDOLO DI CHARPY.

funzionamento:

1) si libera il braccio x valutare l'altezza massima che può raggiungere (x calcolare energia)

2) si pone il provino nel mezzo, l'altezza raggiunta dal pendolo dopo l'urto, rapportata a quella iniziale ci indica l'energia fornita al provino



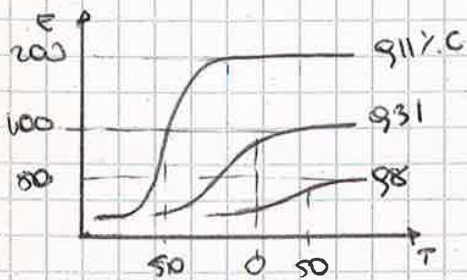
3) Si modifica l'altezza iniziale del pendolo fino a trovare quella giusta che porta a rottura il provino (naturalmente ogni prova si fa con un provino nuovo)

Il provino può avere diverse tipologie di forma (sempre dettate dalla normativa)

Se il materiale è FRAGILE il provino reagirà spezzandosi in due pezzi netti

Se il materiale è DUTILE si mescheranno dei fenomeni plastici attorno alla cricca.

3) ACCIAIO



Minore è il contenuto di carbonio più basse sono le temperature di transizione.

Se la concentrazione di carbonio è bassa ci si assicura un comportamento duttile → acciai dolci.
Se ho bisogno di un materiale duttile ad alte temperature ho più scelta (anche se le energie in gioco sono differenti)

TEORIA DI GRIFFITH

È fondamentale per capire come la presenza di una cricca (superficiale o interna) vada a modificare le resistenze alla rottura.



p = raggio minimo di curvatura del difetto

c = dimensione caratteristica
 ↳ lunghezza se è in integ. superficiale
 ↳ semilunghezza interna

Sia σ_{nom} la sollecitazione nominale, ovvero la forza esterna applicata riportata alla sezione originale (senza difetti).

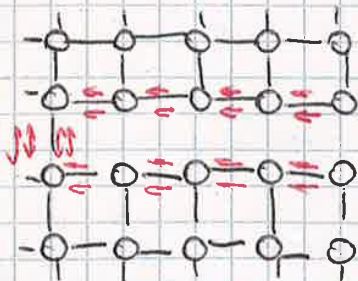
La tensione massima sopportabile dal materiale è:

$$\sigma_{max} = \sigma_{nom} [1 + \alpha (c/p)^{1/2}]$$

con $\alpha \approx 2$ a trazione
 $\alpha \approx 1/2$ a flessione

Il fattore di concentrazione di sollecitazione è:

$$K_{sc} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} = 1 + \alpha \left(\frac{c}{p}\right)^{1/2}$$



Lungo la cricca gli atomi presenti sono in condizioni energetiche non stabili (manca un legame)

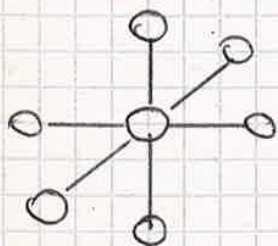
I legami rimasti devono assorbire la fatica che sopporterebbe i legami che vengono a mancare con la cricca.
 Lo sforzo si concentra all'apice della cricca

es $p = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$ $2c = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ $\sigma = 170 \text{ MPa}$

$$\sigma_{max} = 170 \left(1 + 2 \left(\frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/2} \right) = 2574 \text{ MPa} !!!$$

MECCANICA DELLA FRATTURA

MATERIALI FRAGILI

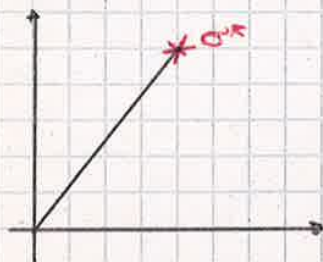


Ogni atomo ha sei legami, la propagazione della cricca va ad indurre la rottura di un legame.

Chiamiamo γ la TENSIONE SUPERFICIALE, ovvero il lavoro che occorre per aumentare unitariamente l'estensione superficiale della cricca.

Per i materiali fragili la tensione è $G_c = 2\gamma$

La rottura di un materiale fragile si ha quando si arriva con deformazione elastica a σ^*



Il lavoro per rompere il materiale è dato da

$$dW = \frac{F \cdot dl}{A \cdot l} = \sigma \cdot d\epsilon \rightarrow W = \frac{(\sigma^*)^2}{2E}$$

Il σ^* dipende dalla lunghezza della cricca stessa

Il materiale che si trova nell'intorno della cricca non subisce una tensione uguale a quella applicata perché si induce una liberazione dell'energia elastica in essa contenuta (porzione semicilindrica) → rilassamento di sollecitazione



$$W_c = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E} \Rightarrow \frac{1}{2} \pi c^2 \quad \text{lunghezza cricca}$$

Questa energia liberata va però usata per compensare il lavoro per formare le due superfici. Per fare questo la cricca deve aumentare per aumentare l'energia dissipata

$$\frac{dW}{dc} = \frac{\sigma^2 \pi c}{2E} \quad , \quad \frac{dW}{dc} = G_c \cdot \pi c$$

↑ energia elastica dissipata ↑ energia per creare superficie

Abbiamo quindi

$$\sigma^2 \pi c = k_{Ic}^2 \rightarrow \boxed{G_c = \frac{k_{Ic}^2}{2E}}$$

Da un'analisi approfondita si ricava $k_{Ic} = \sigma^* \sqrt{\pi c} = \sqrt{E G_c}$

33

FATICA

21/11/2014

Con delle sollecitazioni cicliche è possibile che un componente si danneggi anche se non arriva mai al limite di snervamento.

Questo significa che almeno localmente si possono avere delle modifiche nelle strutture elementari che a lungo termine possono andare a degradare progressivamente la struttura fino ad arrivare a rottura.

Questa cosa non creerebbe gravi problemi se il degrado avesse un comportamento lineare, ma il danneggiamento è spesso molto piccolo (quindi difficile da individuare) per far rompere improvvisamente la struttura.

Introduciamo il concetto di COEFFICIENTE DI SMORZAMENTO η , ovvero la capacità del materiale di dissipare l'energia per non arrivare a rottura. Questo comporta però la creazione di tensioni interne.

Questa proprietà costituisce un problema nei carichi ciclici perché questo lento accumulo di energia nasconde la formazione della fessura (semplicemente perché non si sa dove cercarla, dato che non dà origine a fenomeni visibili).

Per evitare il danneggiamento è importante avere delle strutture che limitino la possibilità di rottura. Si possono per esempio usare metalli alligati (struttura cristallina) con atomi di dimensioni molto diverse in modo che siano difficili da muovere le dislocazioni.

Con un alto valore di η si smorzano le vibrazioni, ma l'energia viene assorbita dal materiale.

Se vogliamo che un componente duri a lungo non conviene che abbia un alto valore di η (unite invece per le molle).

CERAMICI → non hanno deformazioni plastiche, possono avere dislocazioni o difetti ma non si possono muovere.

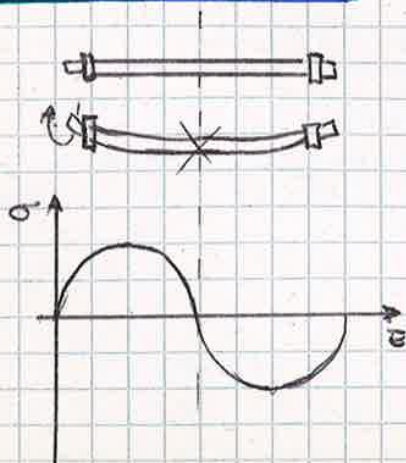
Si innescano direttamente le rotture.

Per avere un margine di sicurezza devo stare al di sotto di σ di rottura (per sapere quanto sotto mi conviene stare devo valutare la grandezza prevista dei difetti).

POLIMERICI → sono molto sensibili (soprattutto i termoplastici).

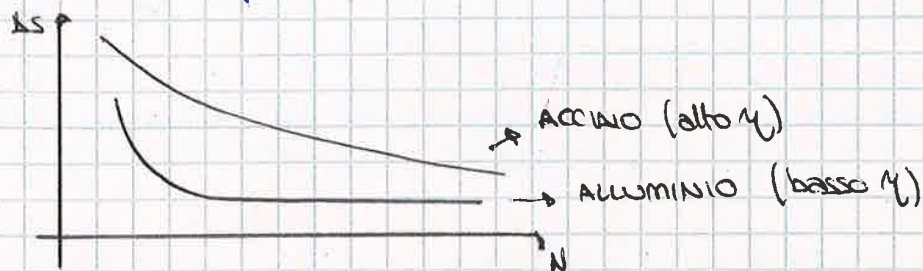
I termoindurenti sono meno deformabili (le catene di carbonio sono legate tra loro, a differenza dei termoplastici) e quindi sono meno soggetti all'usura dovuta alle vibrazioni.

CARICHI CICLICI



35

A seconda del numero di cicli previsto devo scegliere il materiale adatto.
Ci sono materiali che sotto un certo valore di $\Delta\sigma$ hanno un comportamento plasticamente lineare (dipende da ν)



LEGGI DI COFFIN e BASQUIN

La legge di Basquin serve a dare una valutazione approssimativa del comportamento a alto numero di cicli

$$\Delta\sigma N_p^b = C_1$$

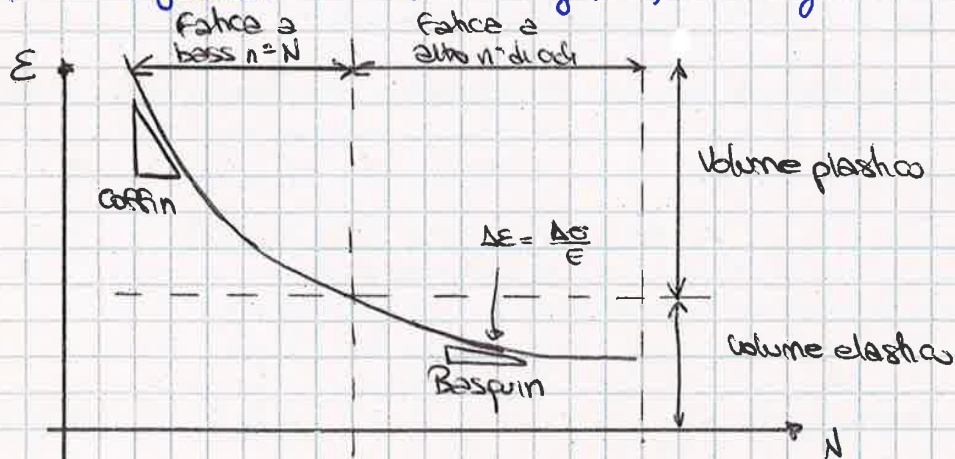
Con b e C_1 costanti che variano a seconda del materiale

b : VITA A FATICA AD ALTO NUMERO DI CICLI (basinocchi) $\rightarrow 0,07 \div 0,13$
 \hookrightarrow viene definito in maniera semiempirica

Possiamo andare a ricavare la deformazione che subisce il materiale per un dato numero di cicli

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{E} = \frac{C_1/E}{N_p^b}$$

In forma logaritmica si ottiene $\log(\Delta\varepsilon) = -b \log(NF) + \log(C_1/E)$



La legge di Coffin vale invece per basso numero di cicli

$$\Delta\varepsilon^c = \frac{C_2}{N_p^c}$$

con $c \cong 0,7$

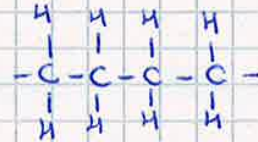
MATERIALI POLIMERICI

I polimeri sono macromolecole formate dalla ripetizione di un gruppo funzionale legato agli altri gruppi funzionali da legami covalenti.

Il tipo di legame (singolo, doppio o triplo) influisce sulle caratteristiche geometriche e meccaniche.

Ad esempio un legame doppio rende il composto più elastico.

La maggior parte delle molecole dei polimeri deriva dalla struttura base.



La molecola base è il carbonio, a seconda del tipo di ibridizzazione di questo e dei gruppi funzionali attaccati alla catena cambiano le proprietà.

Le celle elementari devono essere almeno bidimensionali (altrimenti non si formerebbero le catene).

Come si strutturano le catene nello spazio?

- 1) Ripiegandosi in modo disordinato nello spazio, la struttura risulta quindi AMORFA (sono trasparenti) → TERMOPLASTICI
- 2) mentre si raffredda il polimero si "restringe" e inizia a sistemarsi in modo ordinato. La struttura diventa SEMICRISTALLINA
- 3) La struttura diventa debolmente ordinata, si iniziano a formare delle catene da legami anche tra catene diverse → ELASTOMETRI
- 4) La struttura è fortemente compatta → TERMOINDURENTI

TERMOPLASTICI: flessibili e resistenti a temperatura ambiente, si ammorbidiscono ad alte temperature

TERMOINDURENTI: durante la sintesi diventano rigidi e resistenti

ELASTOMETRI: possono subire grandi allungamenti senza subire deformazione plastica

POLIMERIZZAZIONE

I materiali polimerici sono materiali di sintesi di varie unità fondamentali

ADDIZIONE

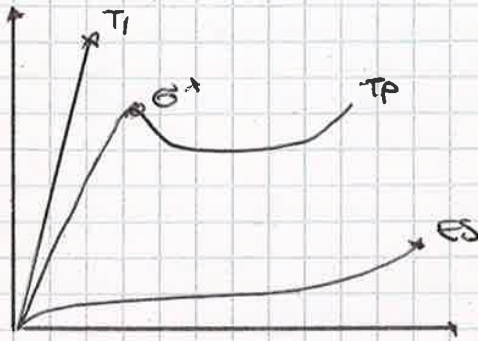
Avvengono semplicemente aggiungendo dei reagenti alle molecole elementari che hanno il compito di rompere i legami preesistenti e formarne di nuovi per formare le catene polimeriche.

Non ci sono prodotti di scarto.

CONDENSAZIONE

Si ha produzione di acqua

COMPORTAMENTO MECCANICO



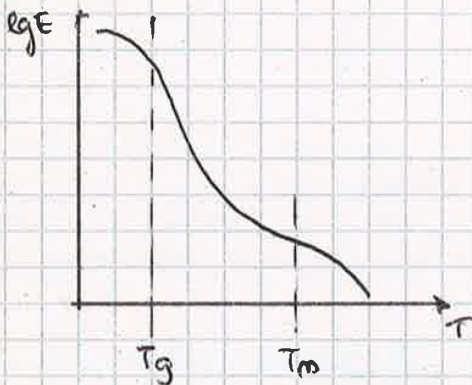
TI: resistenza alla deformazione elastica è lineare decrescente
comportamento è fragile al termine del tratto lineare elastico \rightarrow si giunge alla rottura
senza entrare nel campo di deformazione plastica.

TP: se le catene sono svincolate tra loro

La deformazione possibile per un materiale polimerico è maggiore di quella di un
materiale metallico (le molecole sono molto grandi)

ELASTOMETRI: non si ha una netta divisione fra tratto elastico e plastico (non c'è un
 σ di snervamento) \rightarrow la transizione si ha quando cambia pendenza la curva.
hanno una rigidità molto bassa (pendenza tratto lineare della curva)

RISCALDAMENTO



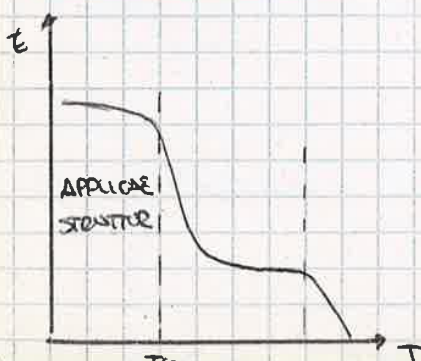
umentando la temperatura vedo a perdere di forza
intermolecolare, si perde di rigidità.

umentando progressivamente la temperatura allontanano
leggermente le catene (E diminuisce in modo continuo)

Immediatamente a valle di T_g E crolla molto rapidamen-
te perché i legami dello stato solido se ne sostituiscono
no altri tipici dello stato liquido \rightarrow stato vetroso

Lo stato è solido, ma nel momento in cui si applica una pressione la forma cambia.
La pendenza è dovuta al fatto che nel polimero sono presenti degli atomi con
elettronegatività diversa del carbonio e quindi registrano in modo diverso all'umento
della temperatura.

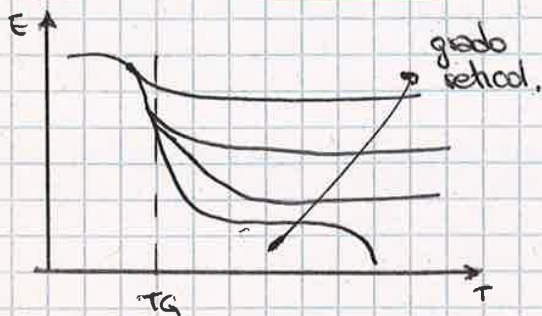
TP: POLIMERI AMORFI



Per $T > T_g$, polimeri termoplastici possono essere utilizzati
solo in applicazioni non strutturali \rightarrow non mantengono la loro
forma sotto l'applicazione di un carico

Se l'effetto della trazione permangono le creste possono trasformarsi in vere e proprie creche e il materiale può rompersi.
 Se invece di trazione comprimiamo il polimero sono ancora possibili delle deformazioni plastiche (se la compressione diventa continua vi è un aumento delle bande di scorrimento che porta un aumento della deformazione totale).

TP: RISPOSTA MECCANICA



A seconda del grado di reticolazione il polimero termoplastico ha comportamenti differenti

$T < T_g$ non è praticamente influenzato dal grado di reticolazione

$T > T_g$ si tende ad avere una riduzione di E sempre meno sensibile all'aumentare della temperatura di reticolazione

Generalmente la T_g del TP è maggiore di quella del FP, per questo motivo vengono usati a temperature minori di T_g

VISCOELASTICITÀ E VISCORASTICITÀ

Anche il tempo influisce sulla risposta meccanica del TP

VISCOELASTICITÀ

CHIEDERE

APPUNTI

MATERIALI CERAMICI

PROPRIETÀ MECCANICHE

A temperatura ambiente i ceramici subiscono una rottura fragile, il che significa che si verifica la rottura prima che si possano deformare plasticamente.

Questo succede perché nei ceramici è impossibile il moto delle dislocazioni e quindi non ci possono essere deformazioni.

MATERIALE CERAMICO COVALENTE: atomi legati da un LEGAME DIREZIONALE → se si rompono i legami per lo sforzo, si riassemblano prima che si possano spostare abbastanza le dislocazioni per formare nuovi legami.

MATERIALE CERAMICO IONICO: i sistemi sono poco compatibili → ci sono pochi piani di scorrimento possibili.

• TEST DI CARATTERIZZAZIONE

Generalmente i materiali ceramici sono molto fragili in trazione, ma resistono bene alla compressione.

Per questo motivo per caratterizzarli di solito non si fanno prove a trazione, ma a flessione e compressione.

Essendo materiali fragili la frattura avviene secondo il modello di Griffith.

CRICCHE → compressione: si chiudono → non intacca la resistenza
→ trazione: vedi Griffith (pag 30)

TENACITÀ A FRATTURA $K_{IC} = Y \sigma_c \sqrt{a}$ ($\leftarrow \text{KOHAR}/\text{m}$)

CERAMICI INGEGNERISTICI

Sono materiali di sintesi sviluppati recentemente per migliorare specifiche proprietà necessarie in particolari situazioni.

PRODUZIONE

① PRODUZIONE DI POLVERI: devono avere composizione omogenea e purezza costante

② FORMATURA

Consiste nel creare un CRUDO, ovvero un primo oggetto che non ha ancora proprietà ceramiche molto fragili (è tenuto assieme da deboli interazioni e forze di attrito superficiali).

I crudi acquisteranno poi proprietà ceramiche tramite un trattamento termico

15

③ COTTURA

Per evitare che i pezzi si rompano per uno stress termico passano prima da un preborno e prima di uscire in un impianto di raffreddamento.

Tutto il processo di cottura è sempre areato

SINTERIZZAZIONE

Per aumentare la coesione del materiale (per migliorare le caratteristiche meccaniche) il processo più comune è quello della sinterizzazione, ovvero si saldano i grani superficiali

SINTERIZZAZIONE

PER CRESCITA DI GRANI

↳ MATURAZIONE DI OSTWALD

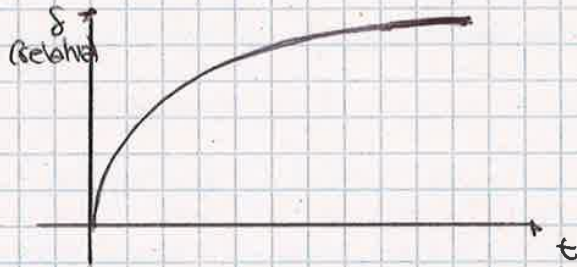


SINTERIZZAZIONE

PER DENSIFICAZIONE

→ viene aumentata la densità superficiale dei grani finché non è così alta da unire gli atomi → più efficace, lascia meno vuoti

Il processo avviene in più fasi, prima vengono chiuse le distanze tra un grano e l'altro, poi si chiudono i pori che rimangono all'interno → l'aumento di densità non è costante nel tempo



↑
I pori hanno lo stesso effetto delle cricche

→ TEORIA DI GRIFFITH

47.

Si definisce COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA LINEARE

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta T}$$

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

CAPACITÀ TERMICA

La capacità termica è l'energia necessaria per aumentare di un grado la temperatura di 1 kg di materiale.

In questo modo è possibile confrontare le caratteristiche di due materiali → due materiali diversi con la stessa massa richiedono diverse quantità di energia per raggiungere la stessa temperatura.

CONDUCIBILITÀ TERMICA

La conducibilità termica è la capacità di un materiale di portare calore da una zona a temperatura maggiore a zone a temperatura minore

Il flusso termico obbedisce alla 1ª LEGGE DI FOURIER

$$q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \rightarrow \text{LEGGE DI FOURIER}$$

con $\lambda \rightarrow$ CONDUCIBILITÀ TERMICA

Il flusso termico è la variazione della quantità di calore nel tempo in una data area

$$q = \frac{(\Delta Q / \Delta t)}{A}$$

si ricava dall'equazione di Fourier

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

Il coefficiente di conducibilità λ è differente a seconda dei materiali

45

DIFFUSIVITÀ TERMICA

È una misura della velocità di trasmissione di calore in un solido.

Dato che la superficie varia nel tempo (espansione termica) andiamo a valutare il coefficiente di diffusività in base alla densità

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

RESISTENZA ALLO SHOCK TERMICO

I materiali possono dare origine a fratture con rapide variazioni di temperatura.

Le tensioni che inducono frattura sono dovute a \rightarrow gradiente di temperatura
 \rightarrow anisotropia dei materiali

RESISTENZA A VARIAZIONE BRUSCA DI TEMPERATURA

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

σ : resistenza meccanica
 λ : conducibilità termica
 ν : coefficiente di poisson
 E : modulo elastico
 α : espansione termica

SCORRIMENTO VISCOSO

A temperatura elevata carichi che a temperatura ambiente comporterebbero solamente una deformazione elastica, inducono al fenomeno dello scorrimento viscoso che può portare alla rottura del materiale.

La deformazione ad elevate temperature è però lenta e continua.

INTERVALLI DI TEMPERATURA
 x scorrimento viscoso \rightarrow METALLI \rightarrow 0,5 Tf
 \rightarrow CERAMICI \rightarrow 0,7 Tf

I ceramici vengono usati per temperature operative più elevate perché già di per sé la temperatura di fusione è più alta, inoltre lo scorrimento viscoso si innesca al 70% della temperatura di fusione.

Per analizzare il comportamento viscoso ad alte temperature si procede con una prova di trazione.

In questa prova però il carico applicato viene mantenuto costante, così come la temperatura, e si osserva cosa succede nell'intervallo di tempo.

51

L'andamento lineare si perde nel CREEP TERZARIO, dove si giunge anche a rottura.

La legge di MONKMAN-GRANT ci dice che, conoscendo la costante di vita a creep del materiale e la velocità di deformazione, si può ricevere in quanto tempo il materiale giungerà a rottura.

$$\dot{\epsilon} \cdot t_r = C$$

Dato che il creep è un fenomeno non eliminabile, in questo modo si può prevedere quando il pezzo giungerà a rottura e in questo modo sostituirlo prima.

ASPETTI POSITIVI

Nel momento in cui aumento la temperatura posso deformare il materiale con sollecitazioni molto contenute.

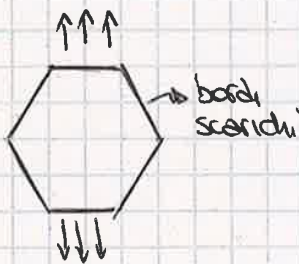
In questo modo è possibile compiere lavorazioni, come trafilatura e laminazione, che a temperatura ambiente sarebbero molto più complicate e dispendiose.

SUPER PLASTIC FORMING

Si sfrutta la deformazione plastica in condizioni di σ e T tali da garantire flusso DIREZIONALE.

In questo modo si modificano le forme dei grani, ma non si innescano fenomeni che potrebbero portare alla rottura.

Nel bordo di grano la vacanza trova infatti le condizioni ottimali per fermarsi, perché va a "allentare" le tensioni che si creano nei bordi dovute al contatto dei reticoli orientati in modo diverso.



Sui lati perpendicolari alla sollecitazione (quelli che partecipano attivamente alla risposta del materiale) cercano di rafforzarsi il più possibile.

Per fare questo eliminano le vacanze e inseriscono atomi.

Gli atomi provengono dai bordi non sollecitati, al loro posto si formano le vacanze.

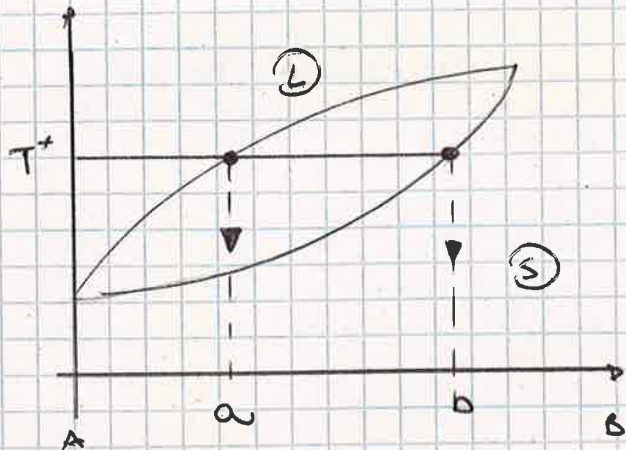
Si modifica di conseguenza la forma.



Questo flusso può creare però delle cavità sul bordo che possono essere origini di difetti e cricche.

53

TOTALE MISCIBILITÀ ALLO STATO SOLIDO e LIQUIDO



A temperatura T il solido ha composizione

$b \rightarrow 80\% B + 20\% A$

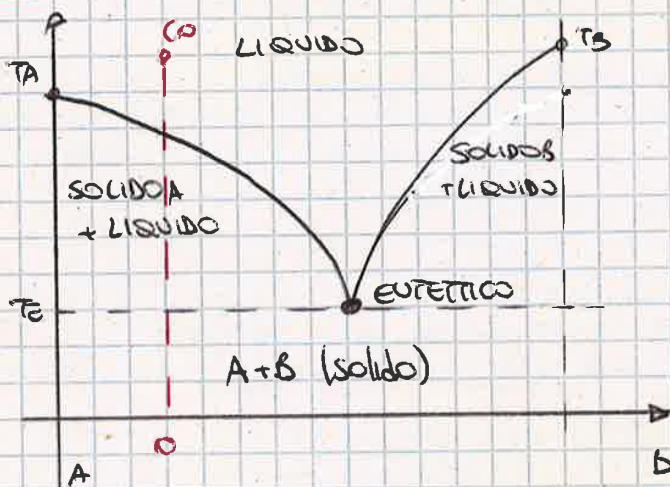
Sempre a temperatura T il liquido ha composizione $a \rightarrow 30\% B + 70\% A$

Quando c'è miscibilità totale i grani cristallini che si formano hanno tutti medesima composizione.

REGOLA DELLA LEVA

La frazione in peso di una fase in una lega bifasica è pari al rapporto tra le lunghezze del segmento sulla linea orizzontale che si trova dalla parte opposta rispetto alla fase di interesse e l'intero segmento.

TOTALE IMMISCIBILITÀ ALLO STATO SOLIDO



Sotto la temperatura eutettica c'è solo solido, ma non è in soluzione

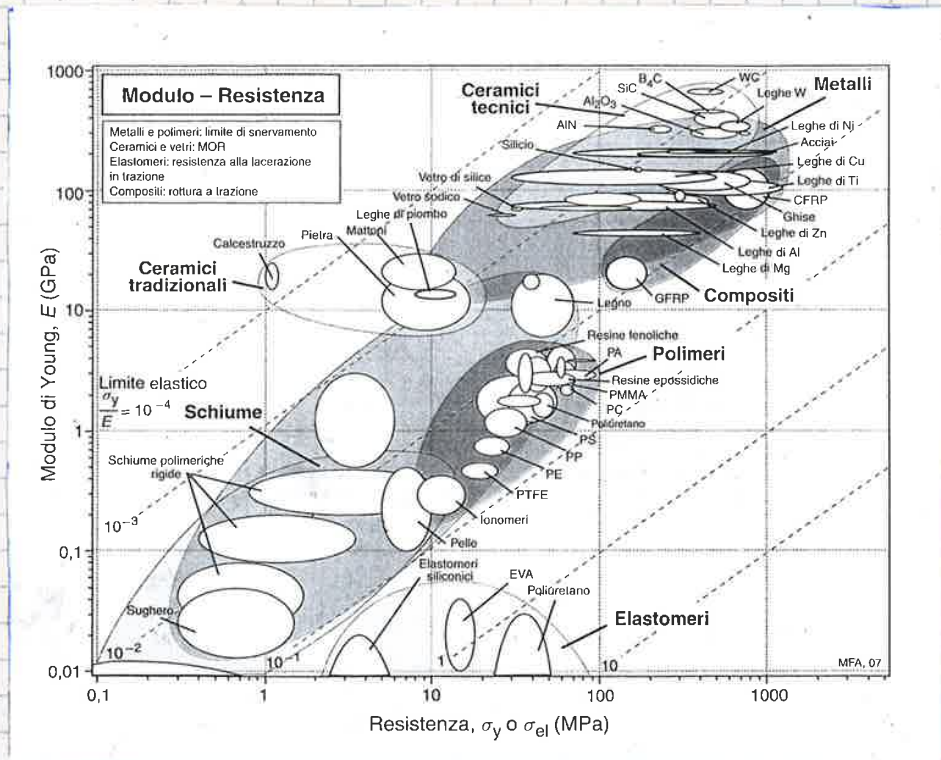
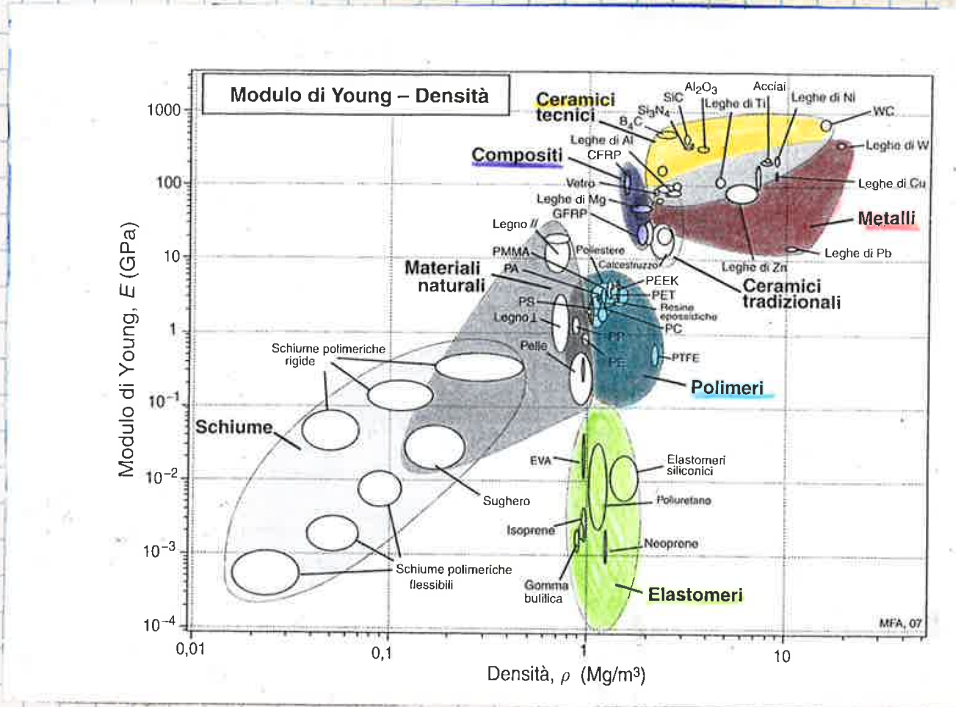
↓
la struttura del solido è a CAMELLE

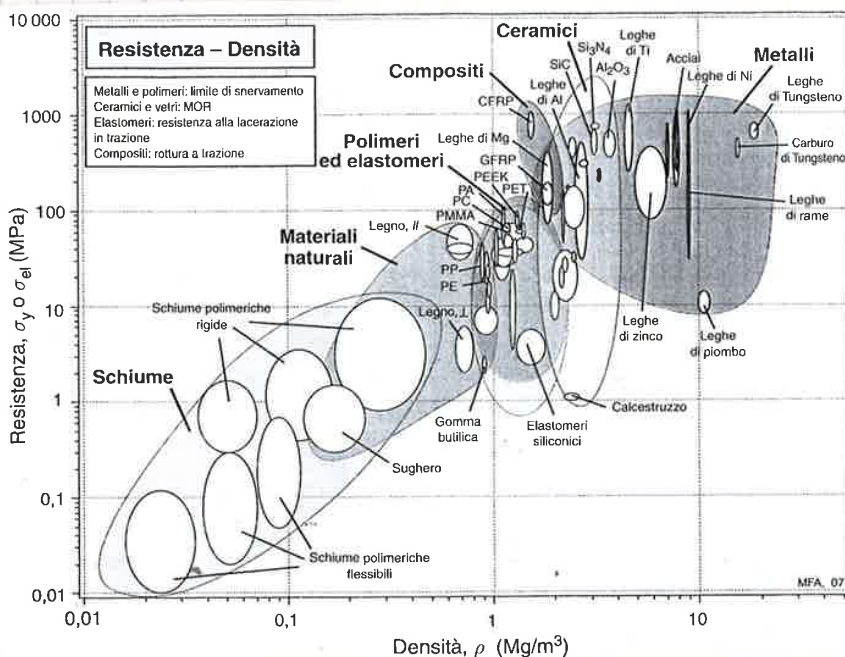
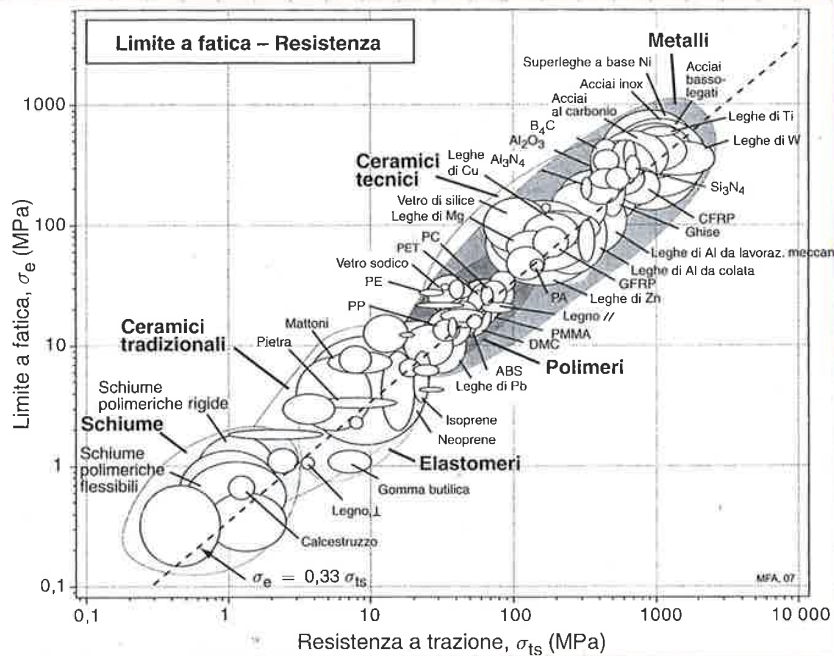
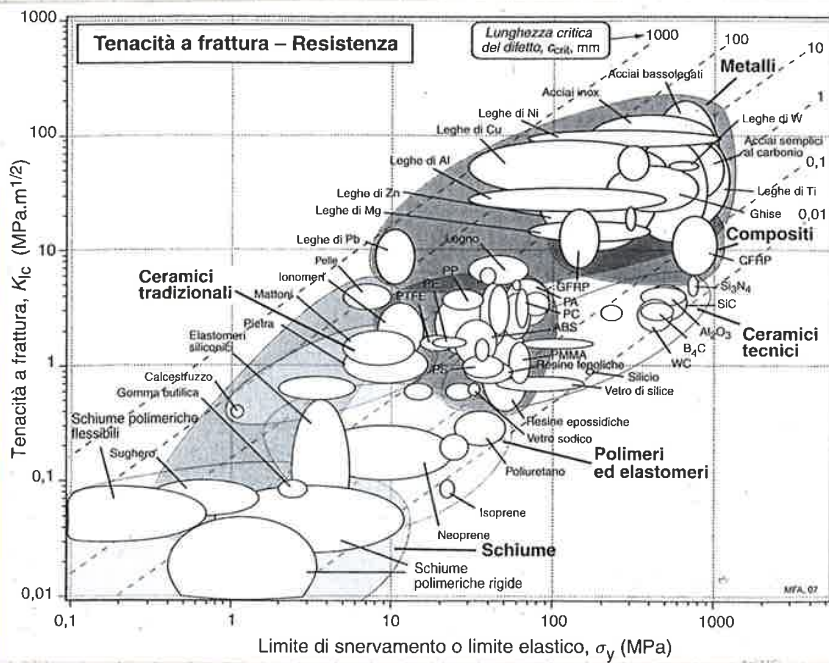
COMPORTAMENTO AL RAFFREDDAMENTO

o : LIQUIDO (con composizione o)
 SOLIDO A (solido primario) + LIQUIDO (con composizione eutettica)
 SOLIDO A + SOLIDO B (puri)

57

MAPPE DI ASHBY





1

1) $A \left[\frac{1}{3}, 1, 0 \right]$ $B [0, 1, 0]$ $C [0, 1, 1]$ $D \left[0, -\frac{1}{3}, 1 \right]$

2) $A \left[-1, \frac{1}{2}, 1 \right]$ $B [0, 1, -1]$ $C [0, 1, 1]$ $D \left[\frac{1}{2}, 0, -1 \right]$

3) $A \left[\frac{1}{2}, 1, -\frac{1}{2} \right]$ $B [1, 1, 0]$ $C \left[0, \frac{1}{3}, 1 \right]$ $D [1, -1, -1]$

4) $A [0, 1, 0]$ $B \left[\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1 \right]$ $C [-1, 1, 0]$ $D \left[1, 0, -\frac{1}{2} \right]$

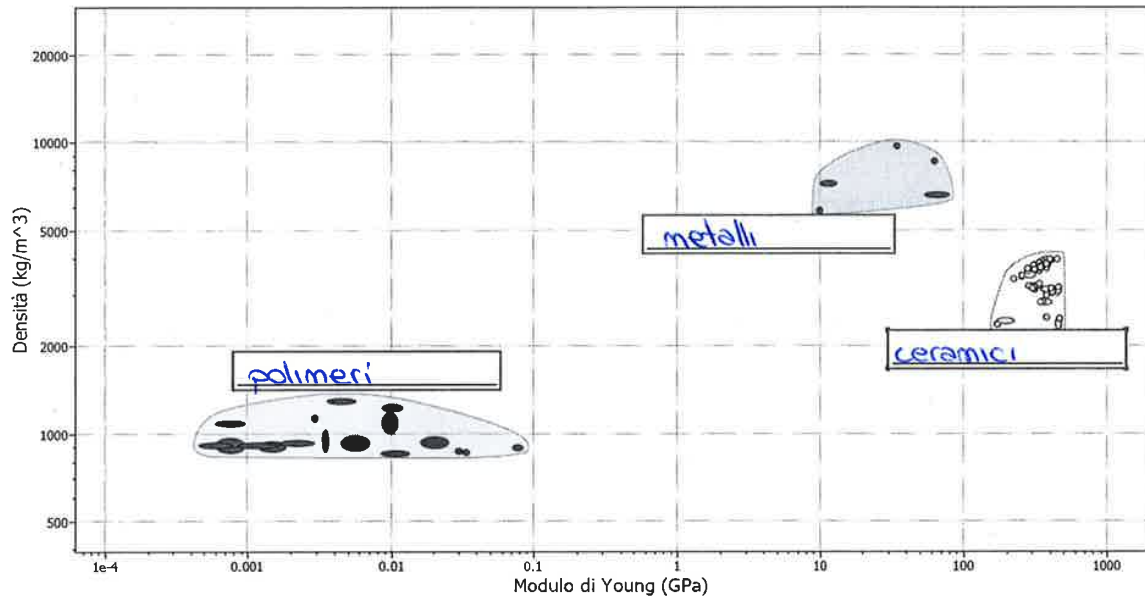
Prova scritta del Modulo di SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Struttura della prova da svolgere in 1 ora:

1 domanda sulle proprietà generali di ceramici/metalli/polimeri (mappa)	PUNTI max 3
1 domanda sulla deformazione elastica dei materiali (domanda aperta)	PUNTI max 4
1 domanda sui difetti (domanda aperta)	PUNTI max 4
1 domanda su deformazione plastica/rafforzamento (domanda aperta)	PUNTI max 4
1 domanda su tenacità/fatica/creep (domanda aperta)	PUNTI max 4
1 domanda su polimeri <i>completamento</i>	PUNTI max 3
1 domanda su ceramici <i>completamento</i>	PUNTI max 3
1 esercizio sui DdS	PUNTI max 4
1 esercizio su cristallografia	PUNTI max 3

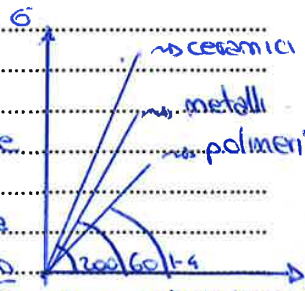
DEF. ELASTICA: modulo di Poisson
DEFETTI: soluzione solida sostituzionale
DEF. PLASTICA: rafforzamento \times inacidimento
TENACITÀ/FATICA/CREEP: meccanismi di tenacizzazione
Q
curve di Vöhler
DdS \rightarrow immiscibilità allo ss
MAPPA \rightarrow modulo di Young - tenacità a fatica
CERAMICI \rightarrow formatura
POLIMERI \rightarrow accoppiamento meccanico

1. Identificare ed indicare in figura la famiglia di materiali corrispondente ad ognuna delle tre zone evidenziate.



2. Definire con le opportune equazioni, esplicitando tutti i parametri, e descrivere il modulo elastico dei materiali, mostrando nell'opportuno grafico la differenza tra i moduli elastici di un ceramico, un metallo ed un polimero.

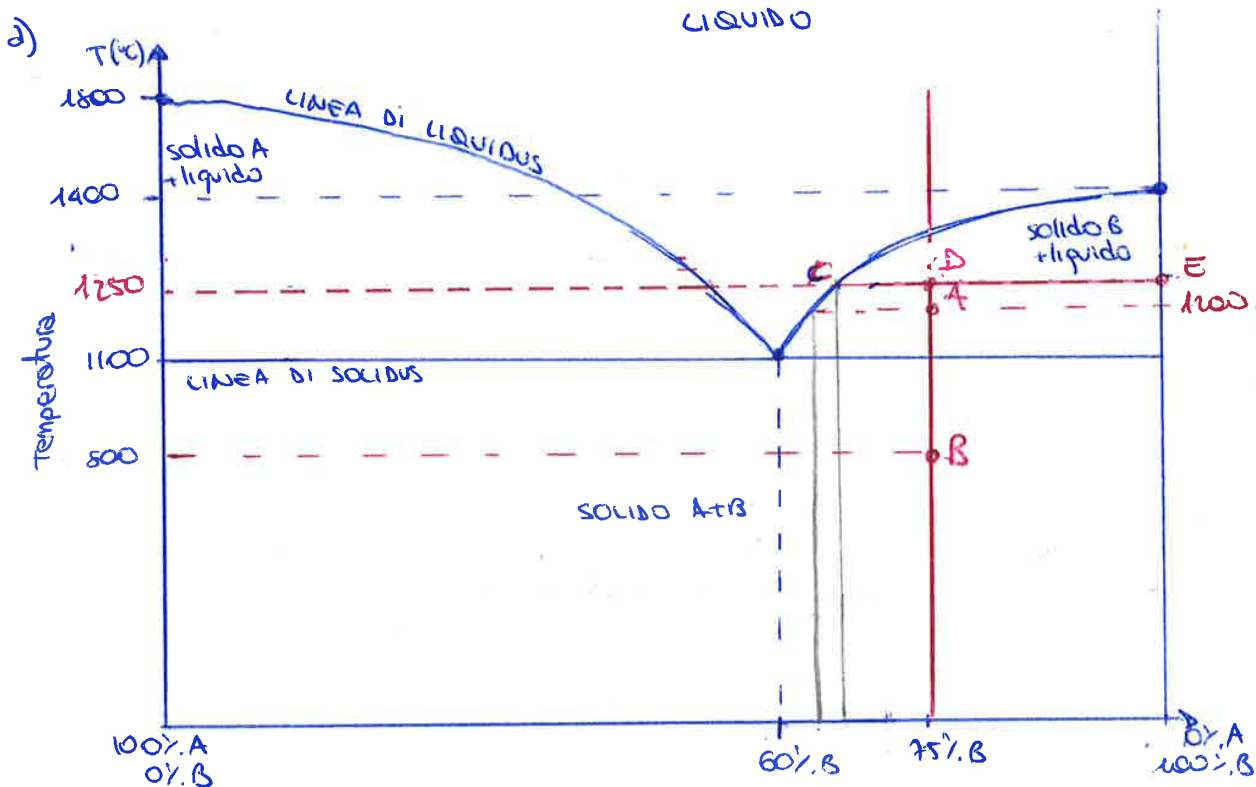
Il modulo elastico è definito dalla prima legge di Hooke $\sigma = E \cdot \epsilon$ (dove σ è la sollecitazione applicata $\sigma = \frac{F}{A}$, E è la deformazione $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$). È una misura della resistenza del materiale (maggiore è E , minore è la deformazione che subisce a parità di sollecitazione). Si misura con prove dinamiche e trazione. Il valore di E (che graficamente altro non è che la pendenza del tratto lineare elastico della curva sforzo-deformazione) è tanto maggiore quanto maggiore è l'energia di legame. Quindi in ordine decrescente avremo ceramici (con legame covalente), metalli (con legame metallico) e polimeri (con deboli legami intermolecolari).



3. Definire e descrivere una soluzione solida interstiziale, specificando le condizioni necessarie per la sua formazione.

La soluzione solida interstiziale è un difetto di punto dei solidi cristallini. Gli atomi di soluto riempiono i vuoti presenti tra gli atomi del reticolo ospitante. Le concentrazioni tollerate sono in genere molto basse (< 10%) e gli elementi interstiziali sono non metalli di piccole dimensioni (H, C, N, O).

8. (a) Si disegni un diagramma di stato di due componenti A e B, totalmente miscibili allo stato liquido e totalmente immiscibili allo stato solido. La temperatura di fusione di A è 1800 °C, quella di B di 1400 °C. E' presente un punto eutettico alla composizione al 60 % di B e alla temperatura di 1100 °C.
- (b) Considerando il raffreddamento di un liquido al 75 % di B, descrivere il sistema dal punto di vista composizionale e microstrutturale a 1200 e 800 °C. Alla temperatura di 1250 °C si valuti graficamente la percentuale in massa delle due fasi presenti all'equilibrio e si indichino sul grafico le loro composizioni a quella temperatura.



b) • $A \rightarrow T = 1200^\circ C$
 Il sistema è formato da particelle di solido primario B e liquido A+B.
 La composizione del solido è 100% B.
 La composizione del liquido è $C_L \approx 64\%$.

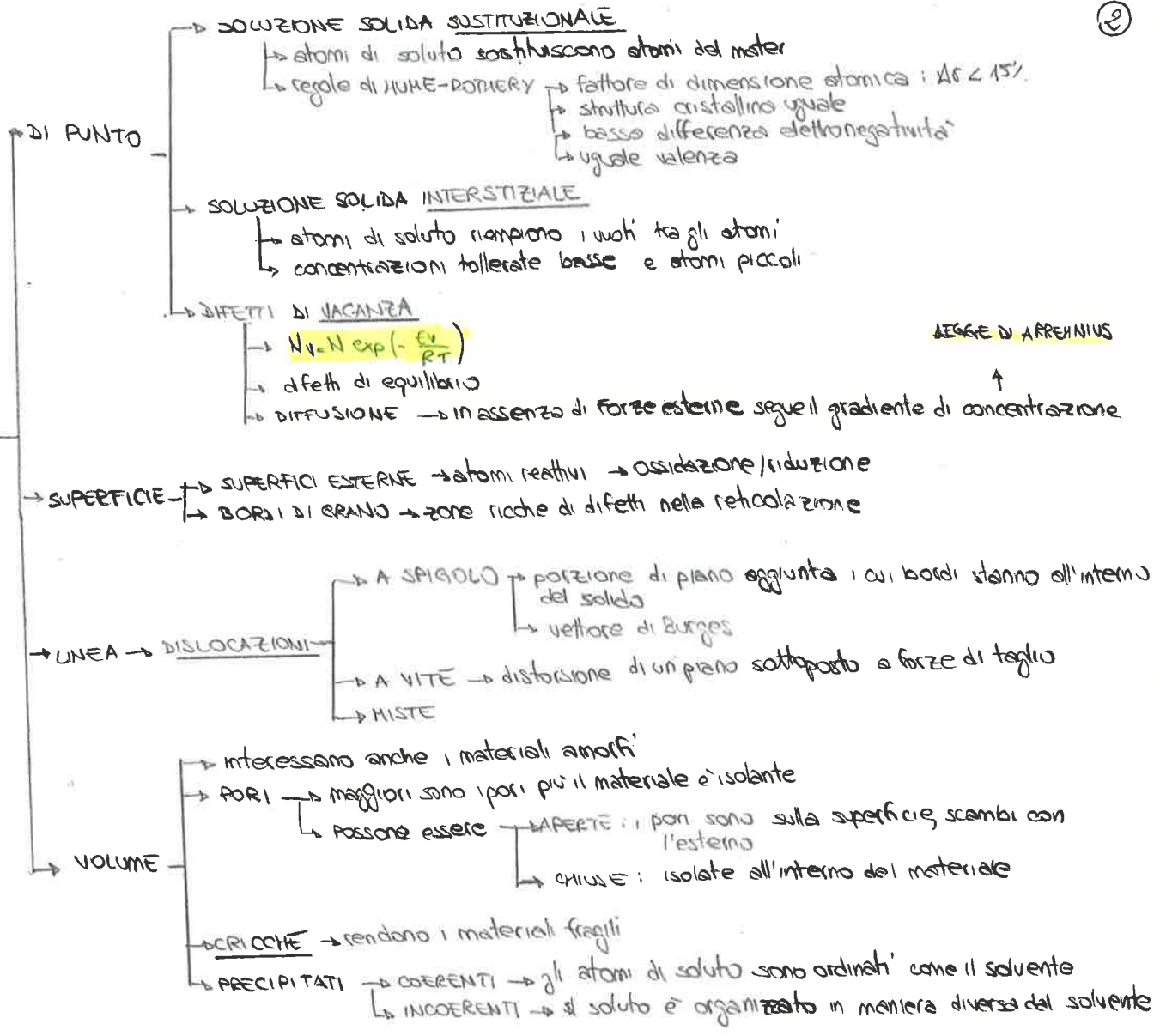


$B \rightarrow T = 800^\circ C$
 Il sistema è formato solamente da particelle solide A+B.
 Ci sono particelle di solido A e solido B.
 La composizione del solido è $C_S = C_0 = 75\% B$, quella dei singoli solidi è $C_A = 100\% A$ e $C_B = 100\% B$.



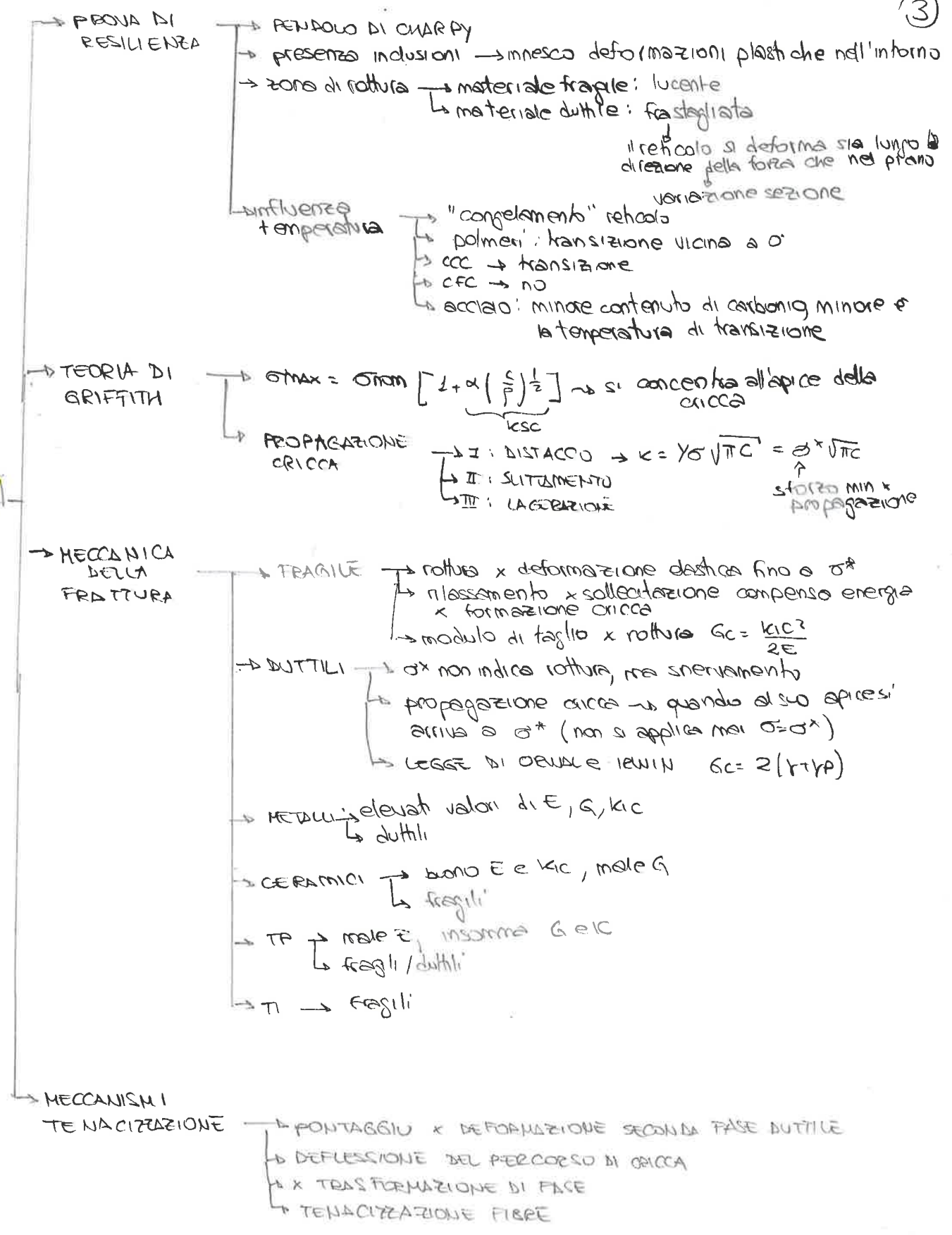
• $m_S = \frac{CD}{CE} = \frac{75-64}{100-64} = \frac{11}{36} \approx 30\% \rightarrow 79\% m_L$

DIFETTI



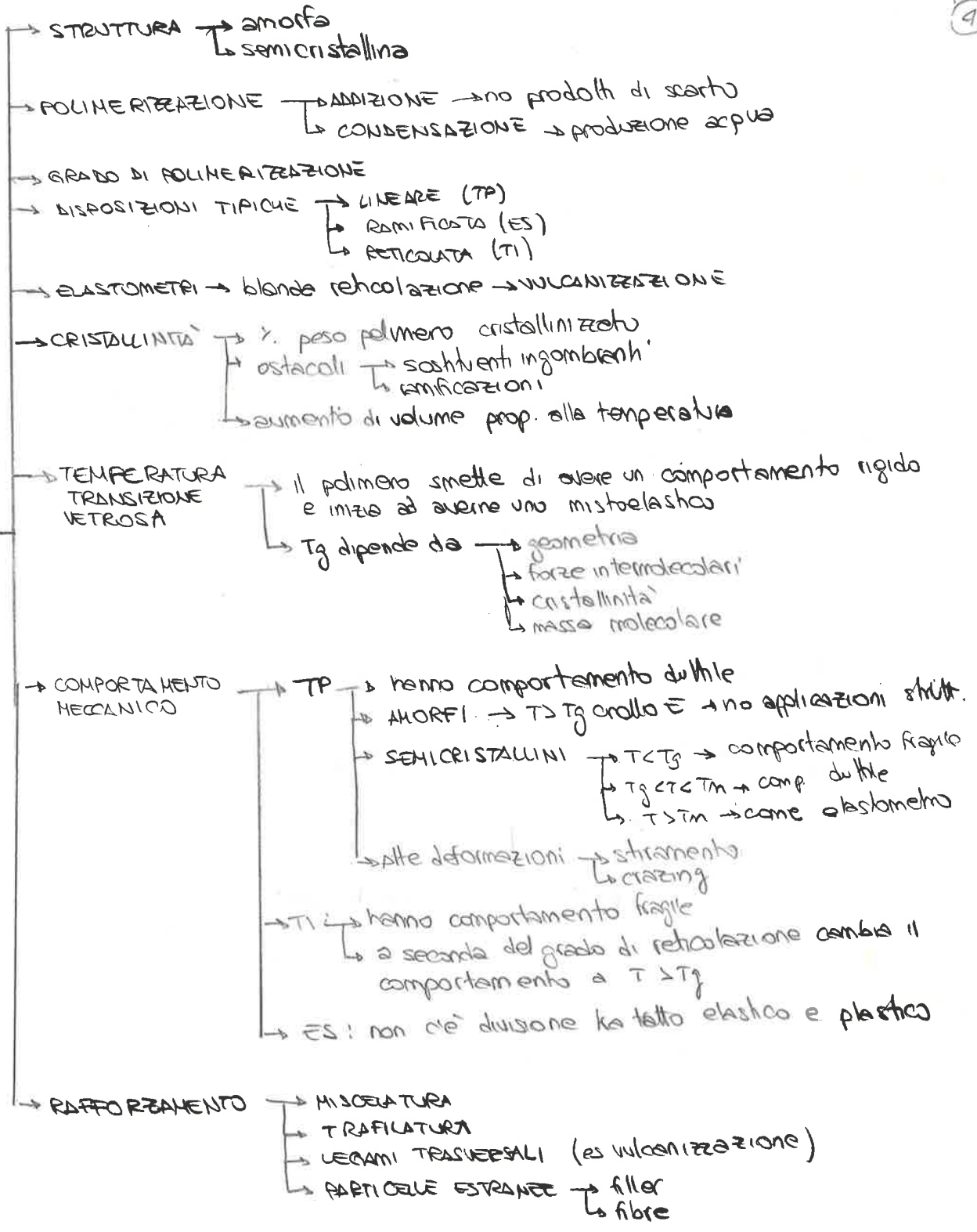
LEGGE DI ARRHENIUS





FRATTURA

POLIMERI



METALLURGIA

①

PRODUZIONE DELL'ACCIAIO

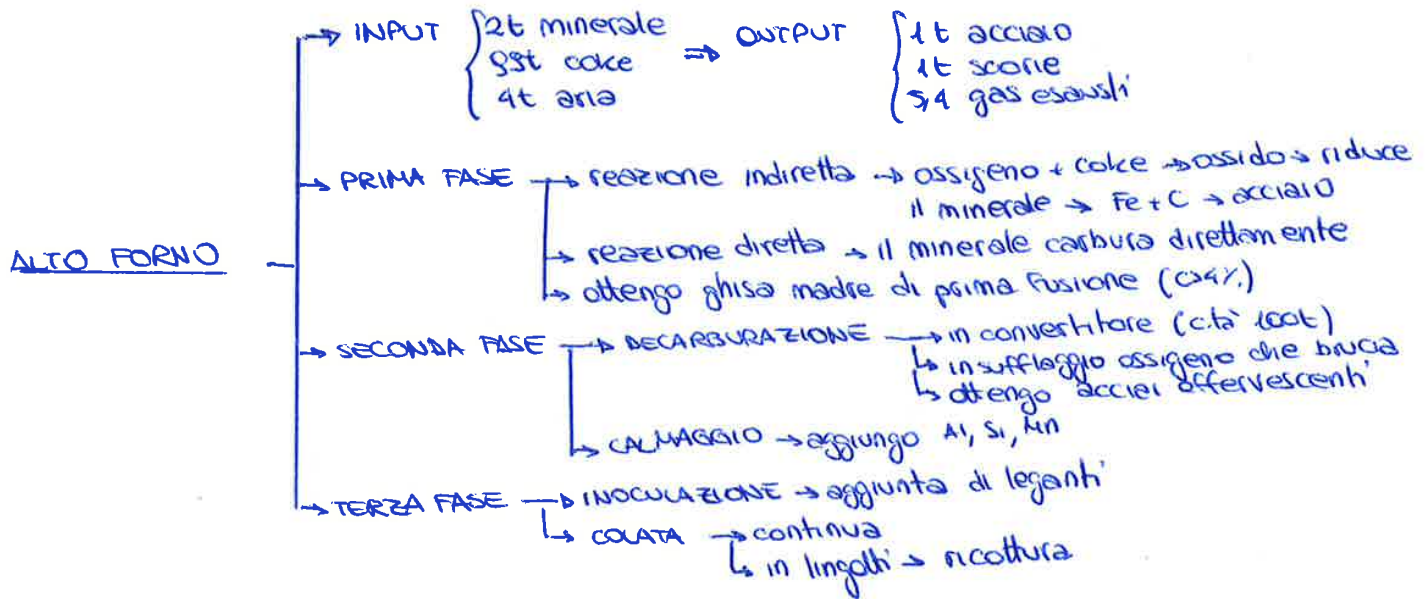
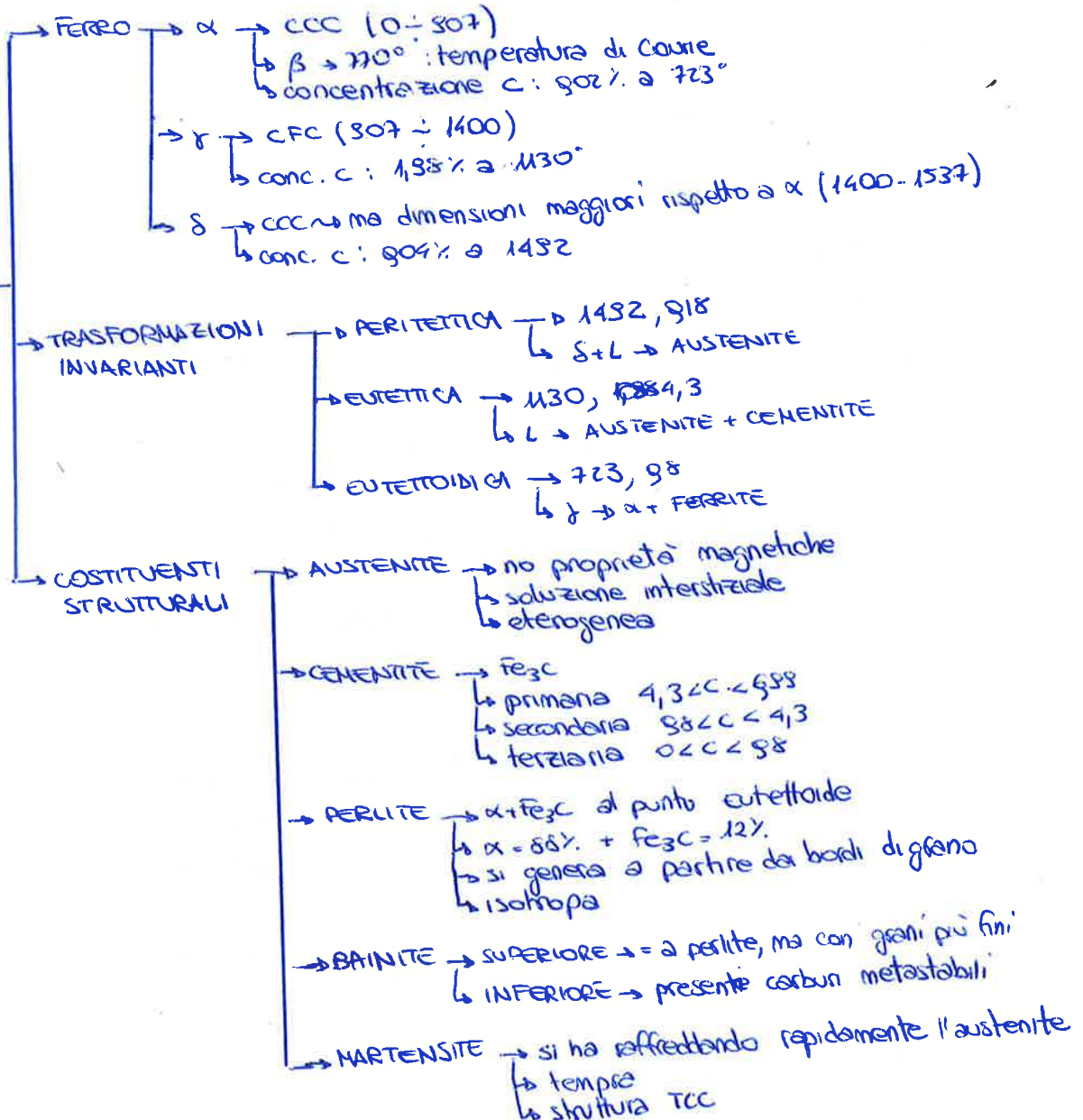
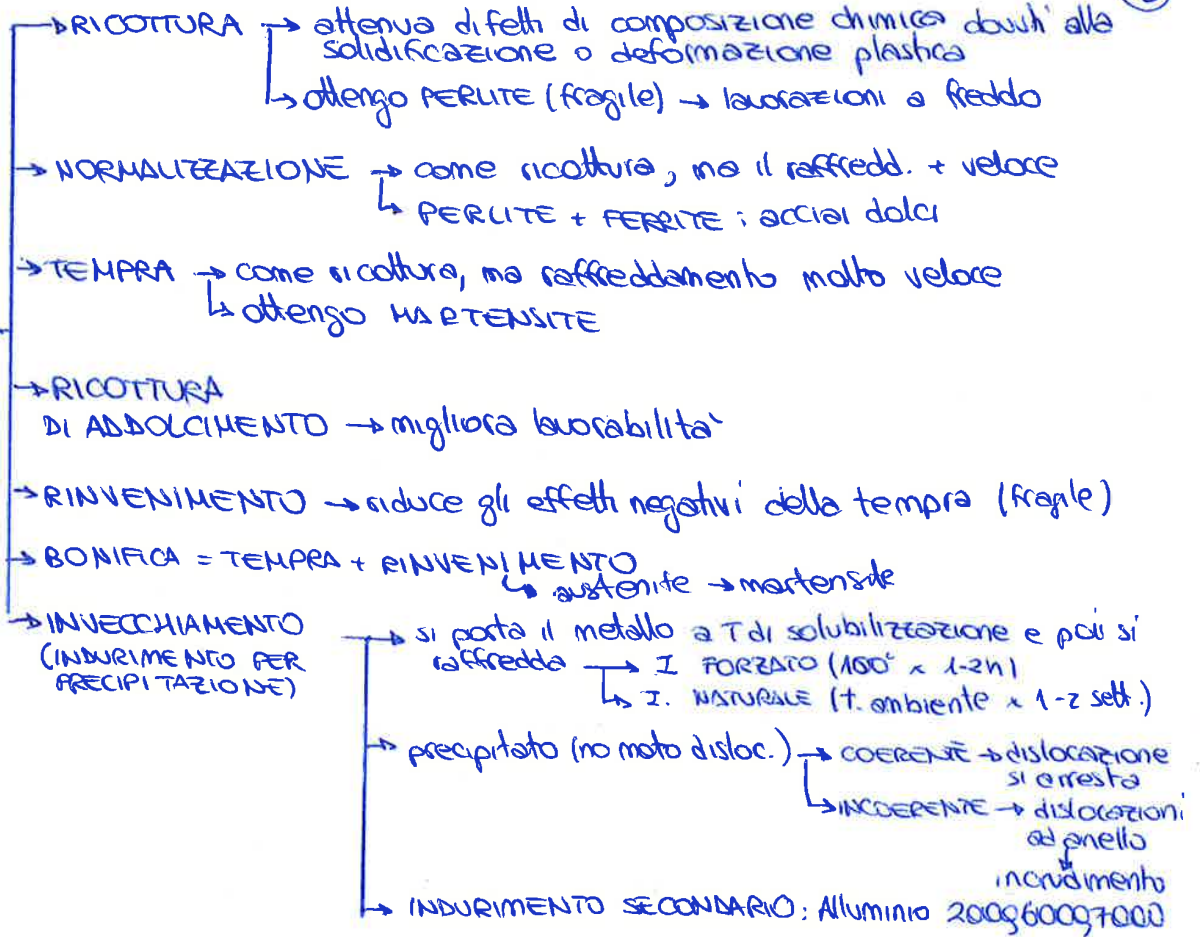


DIAGRAMMA Fe-C

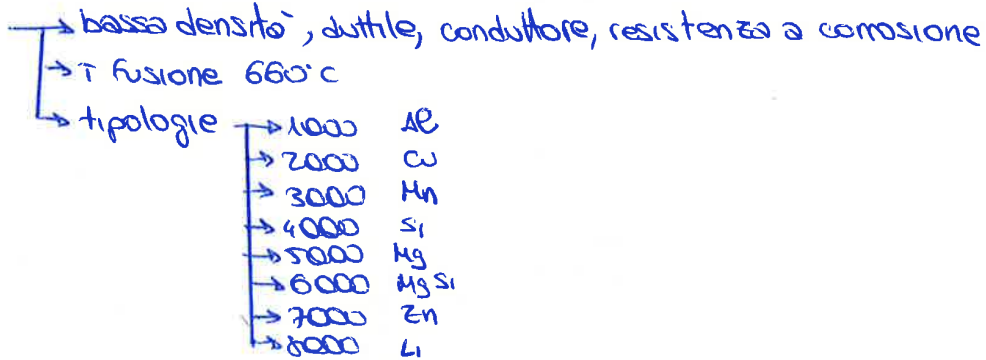


2

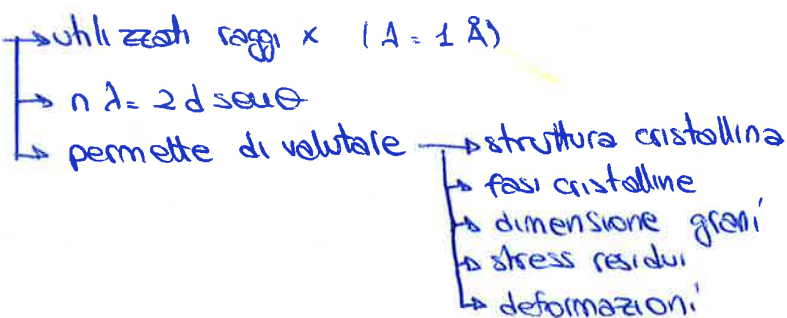
TRATTAMENTI TERMICI



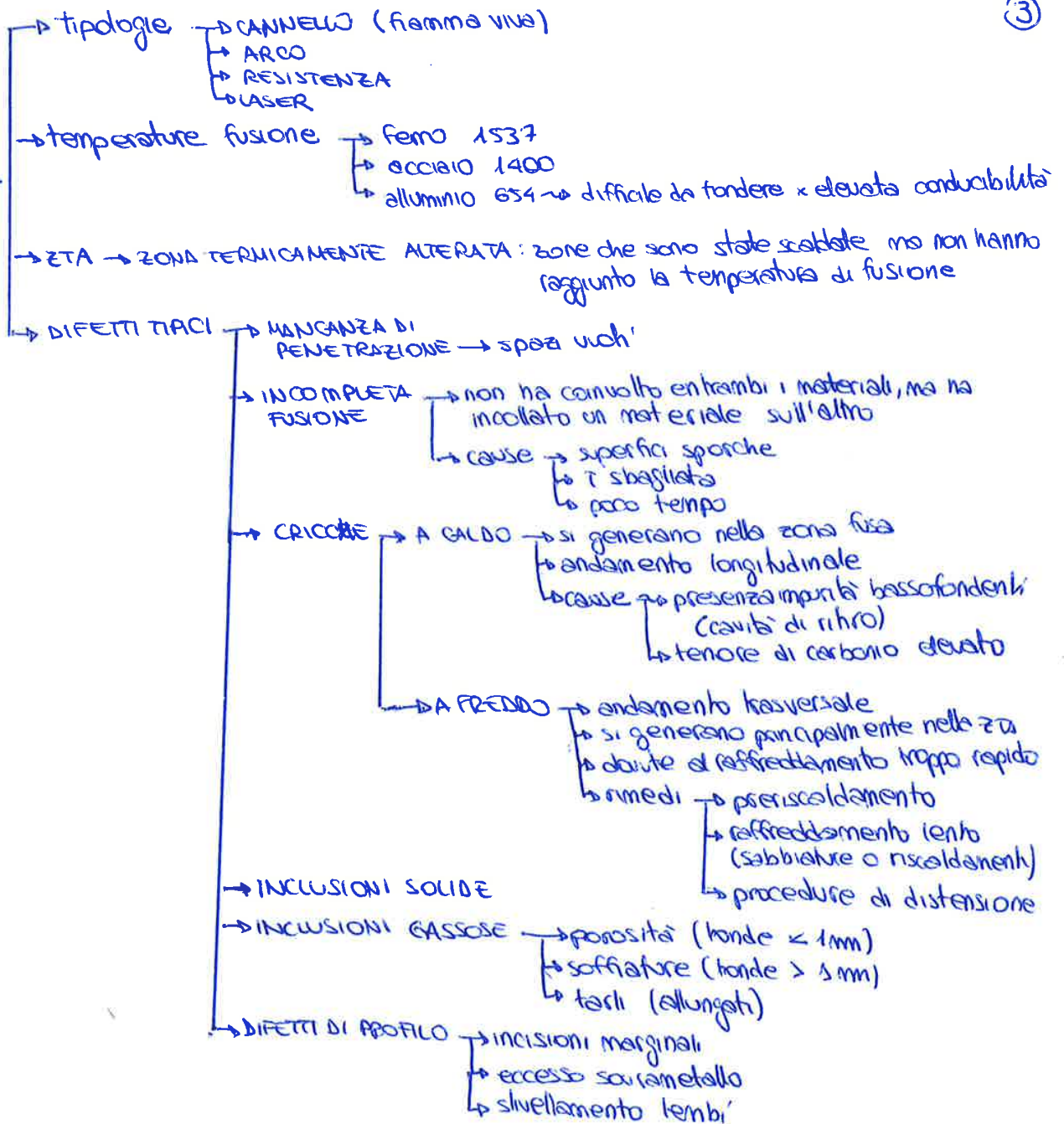
LEGHE DI ALLUMINIO



LEGGE DI BRAGG



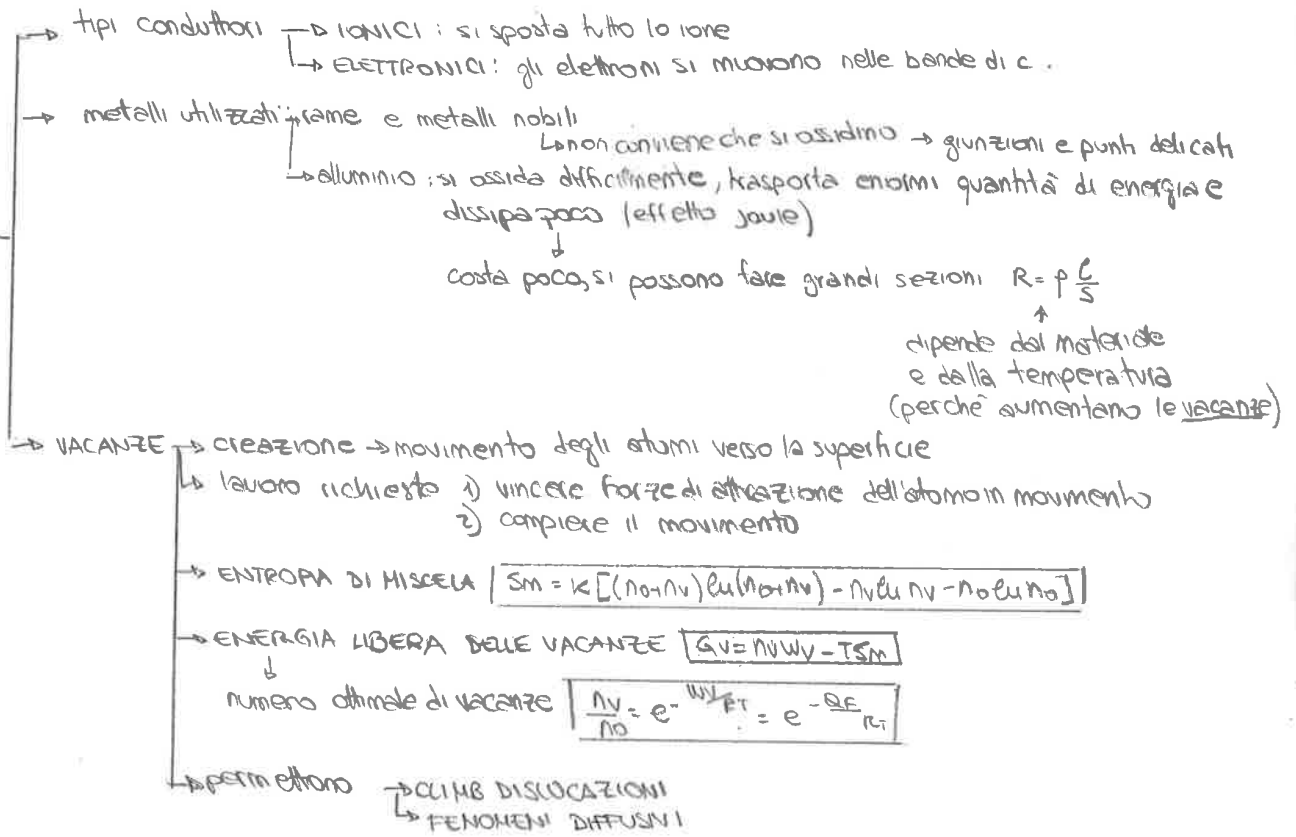
SALDATURA



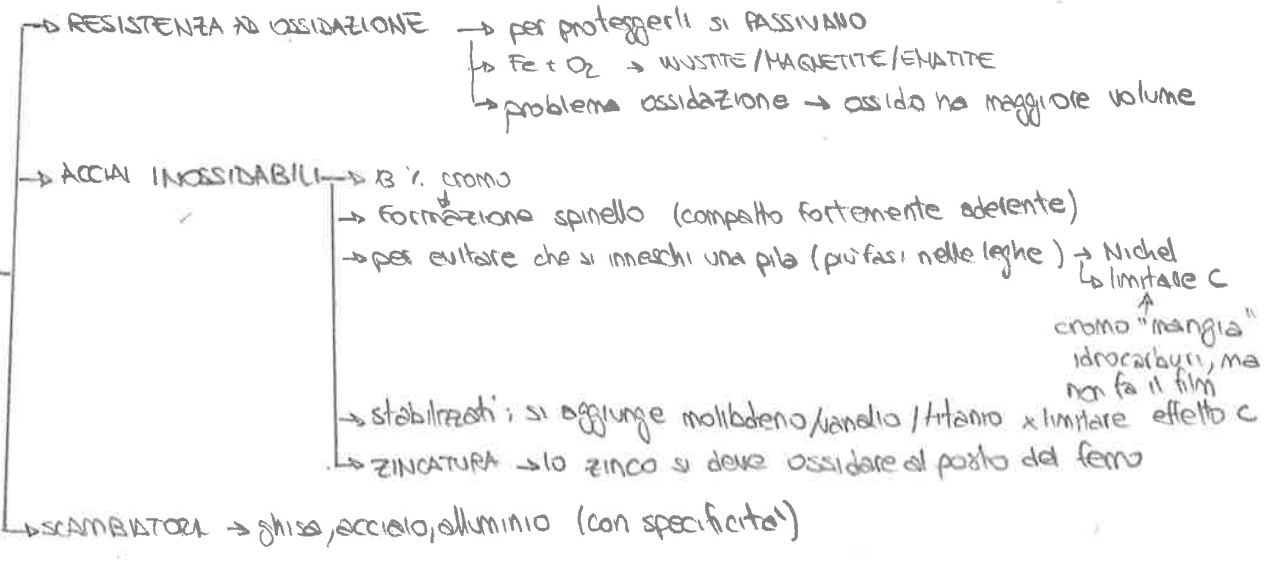
PROPRIETÀ DEI MATERIALI METALLICI

①

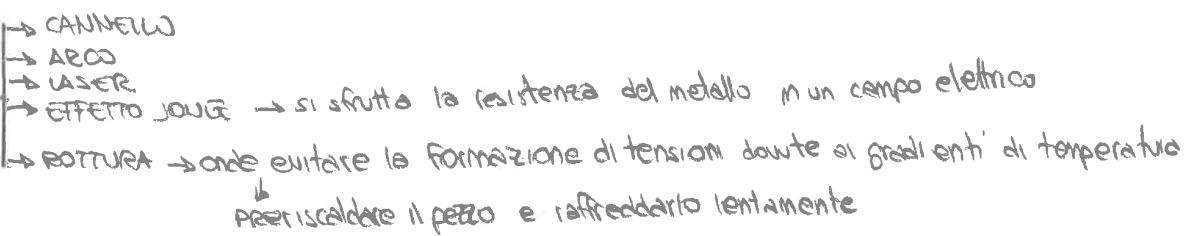
CONDUCIBILITÀ ELETTRICA



CONDUCIBILITÀ TERMICA



ALIDABILITÀ



PROPRIETÀ MAGNETICHE

