



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1981A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Martinacci Gabriele

MATERIA: Scienza e tecnologia dei materiali - Prof. Spriano.pdf

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.**

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

1 LEGAME METALLICO

Sono costituiti da atomi neutri. Sono di norma allo stato **cristallino** (in modo ordinato). Esistono materiali metallici amorfi ma sono poco rilevanti. Vengono preparati per fusione. Sono solidi a temperatura ambiente (non sempre) (il mercurio ma non è un materiale ingegneristico).

Danno origine a Leghe.

Le proprietà sono uguali tra metalli perché hanno le stesse proprietà chimiche (tipo di legame)

Gli atomi sono posizionati in un mare di elettroni che schermava le cariche positive permettendo che i nuclei non si respingano. Gli elettroni non sono legati ad un atomo in particolare, sono liberi di muoversi.

Il legame è **forte** (non molto forte) con legami non direzionali.

PROPRIETÀ METALLI

RIGIDEZZA: (proprietà: risposta ad un carico) - MEDIOALTA
È rigido, si oppone alla deformazione plastica.

DUREZZA: (risposta ad indentazione, ovvero scalfimento) - MEDIOALTA
Cercano di non essere scalfiti.

TEMP FUSIONE - MEDIOALTA poiché i legami hanno legami forti ma non fortissimi.

DILATAZ TERMICA - MEDIOALTA sempre per la forza del legame.

Queste proprietà derivano dal legame. (Rigidità, durezza, fusione, dilata termica).

Le proprietà che derivano dall'energia degli elettroni sono:

ELEVATA CONDUCEBILITÀ TERMICA e ELETTRICA (elettroni delocalizzati).

ELEVATA RIFLETTENZA (indice rifr. elevato).

I ceramici sono utili per i sensori per le loro proprietà

2 piezoelettriche

Hanno un'alta resistenza meccanica, resistono bene alla temperatura e sono stabili chimicamente.

Sono utili per la meccanica.

LEGAMI SECONDARI

I legami secondari sono molto deboli. È un legame fisico, ovvero con coinvolgimento di elettroni.

Legami di London (dipoli temporanei), legami ad idrogeno (dipoli permanenti), Van der Waals (debolissimi).

Sono legami secondari perché avvengono tra molecole.

I materiali con legami secondari sono i polimeri.

I polimeri sono formati da catene di migliaia di molecole. La "cella unitaria" è detto monomero (molecola singola).

A seconda del tipo di legame debole abbiamo un diverso tipo di polimero.

PROPRIETÀ POLIMERI

RIGIDITÀ: BASSA

DUREZZA: BASSA

TEMP. FUSIONE: BASSA

DILATAZIONE TERMICA: ALTA (forte aumento di volume).

- forza di legame

Le proprietà che derivano dall'energia degli elettroni sono:

BASSA CONDUCEBILITÀ (legami localizzati).

BASSA RIFLETTANZA (indice di rifrazione elevato)

I polimeri possono essere materiali strutturali.

MATERIALI CON DIVERSI LEGAMI

Materiali con molti tipi di legami, come la grafite, o i polimeri. La presenza di più tipi di legami ne determina alcune proprietà (la grafite si sfalda).

MATERIALI COMPOSITI

Unione di due o più materiali.

Se ne uniscono le proprietà per creare materiali migliori.

Per aumentare la **durezza** utilizzo metalli con rinforzi ceramica. Per aumentare **rigidità, resistenza** utilizzo polimeri con fibre di vetro / carbonio. Per aumentare la **resilienza tenacità** utilizzo ceramica con rinforzi metallici.

I materiali compositi esistono in natura (ossa, legno).

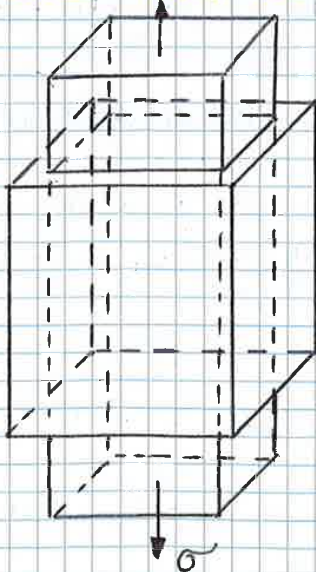
PROPRIETÀ ELASTICHE DEI MATERIALI

L'applicazione di una forza ad una struttura crea uno stato di sollecitazione che determina una deformazione.

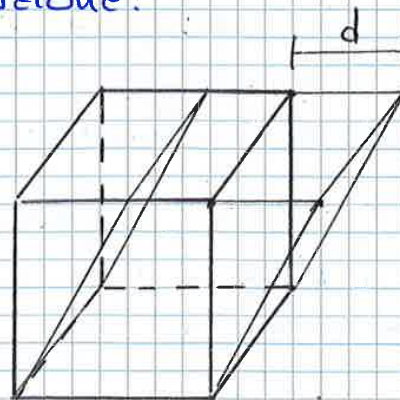
Si definisce **sforzo o tensione** σ il rapporto tra la forza e la superficie.

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

Esistono due stati di sollecitazione:

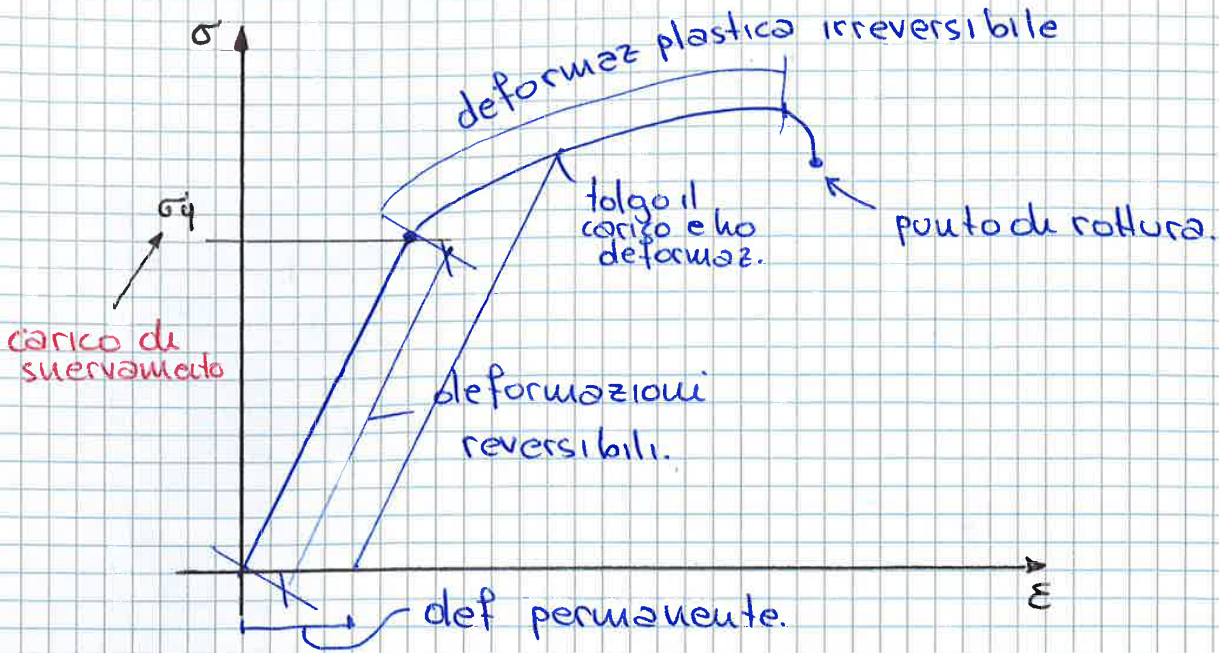


TRAZIONE / COMPRESSIONE



TORSIONE / TAGLIO

Dopo la prova di trazione ho la curva $\sigma - \epsilon$



Per un **comportamento elastico** una volta rimosso il carico torno alle condizioni di partenza. Se vedo nel campo plastico e rimosso il carico avrò una deformazione permanente.

Tutti i materiali allo stato solido presentano deformazioni elastiche.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

(legge di Hooke)
trazione o compressione.

modulo elastico. (pendenza della retta)
(modulo di Young).

$$\tau = G \cdot \gamma$$

τ = sforzo.

modulo di elasticità cubica. modulo di taglio

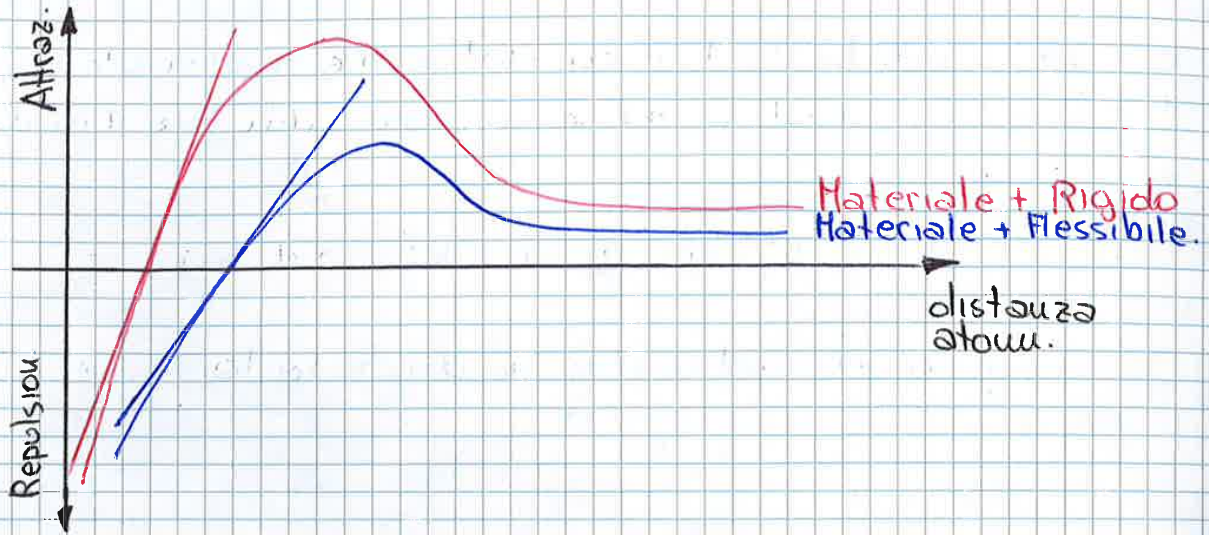
$$p = K \cdot \frac{\Delta V}{V_0}$$

Pressione idrostatica.

Se allontaniamo gli atomi (prova di trazione) gli atomi essendo legati oppongono resistenza.

Più la curva è inclinata più con poco spostamento le forze di attrazione sono forti. (o repulsione).

Ad un massimo corrisponde la rottura del legame.



Per quanto riguarda i **polimeri** la deformazione elastica avviene in maniera diversa.

Le catene si srotolano in maniera reversibile. (accenno).

PROPRIETA' MECCANICHE DEI COMPOSITI

Regola delle miscele media pesata rispetto ai rapporti in volume dei moduli dei componenti.

$$E \approx 200 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,5 \approx 100$$

50% fibre C
50% polim.

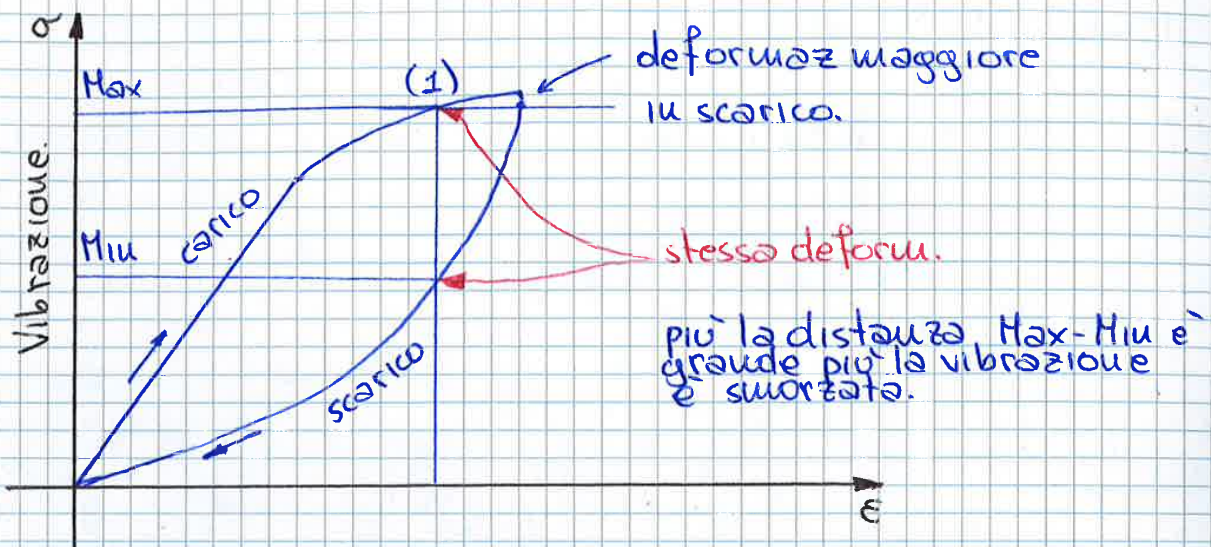
volume
volume

modulo E FC.
modulo E polim

3) le deformazioni sono ancora reversibili. Il pezzo non si deforma permanentemente (polimeri, materiali anelastici o viscoelastici). Non seguono la legge di Hooke.

3

MATERIALI ANAELASTICI - VISCOELASTICI



per uno stesso carico (1) in fase di carico corrisponde una certa def. in fase di scarico c'è una def. maggiore. Perché il recupero non è immediato ma richiede del tempo. Lentamente la deformazione viene recuperata completamente.

Sono materiali che **smorzano le vibrazioni**.

Quando il carico è max ha una def. e quando è min la deformazione è la stessa. Non si accorgono della vibraz.

I materiali che si comportano così sono le gomme e le gluse.

Lo smorzamento è dunque la capacità di un materiale di smorzare le vibrazioni.

DIFETTI RETICOLARI NEI CRISTALLI PI

Irregolarità all'interno dei reticoli cristallini.
Il difetto reticolare però a porta molti vantaggi.

Un materiale reale oltre che difetti reticolari ha anche difetti macroscopici: (pori e cricche). Questi sono difetti "coltivi."

Influenzano proprietà:

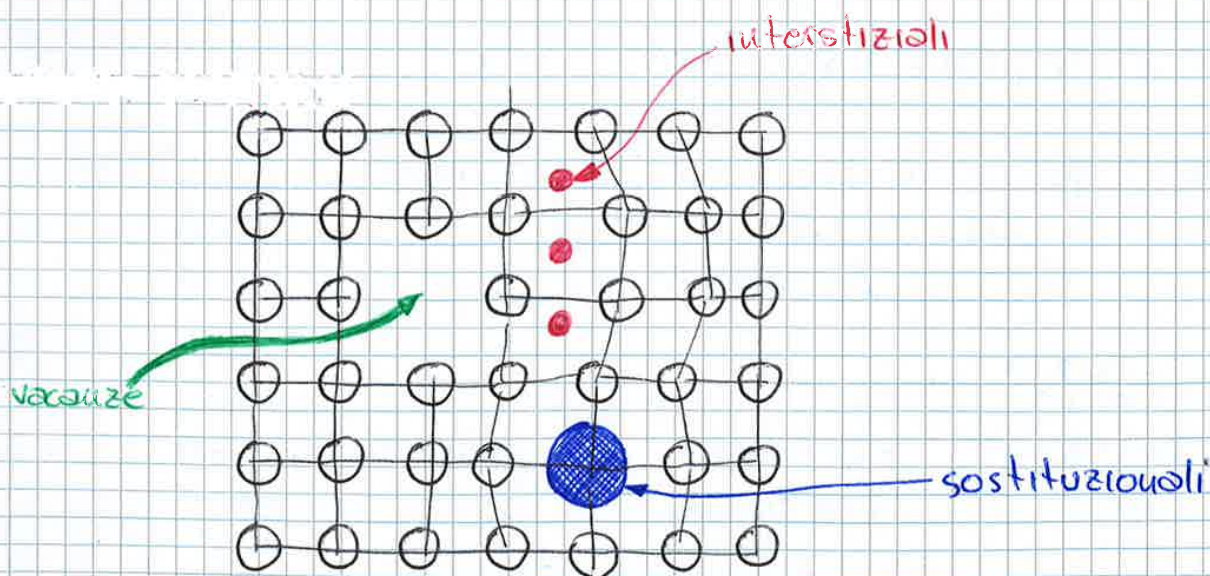
- 1) fisiche
- 2) meccaniche
- 3) tecnologiche.

portano a rottura

DIFETTI PUNTUALI

I difetti puntuali hanno la dimensione di un atomo.
Possano essere di tre tipi:

- 1) mancanza di un atomo nel reticolo (vacanze)
- 2) presenza di un atomo più piccoli in posizione interstiziali (interstiziali)
- 3) presenza di un atomo che sostituisce un atomo del reticolo (sostituzionale)



L'effetto del difetto è una distorsione del gr cristallo reticolo che può essere percepito a centinaja di raggi atomici.
C'è uno stress all'interno del cristallo.

Le vacanze permettono la **diffusione**, ovvero permettono ad un atomo di spostarsi nel posto di una vacanza, lasciando una dietro di sé.

Avengono ad alte temperature perché ci sono molte vacanze e **hanno** energia sufficiente per superare il gap energetico (**barriera di potenziale**).

A T ambiente c'è un salto ogni il giorno circa, a 1350 K ci sono 30 miliardi di salti al secondo. (per il rame).

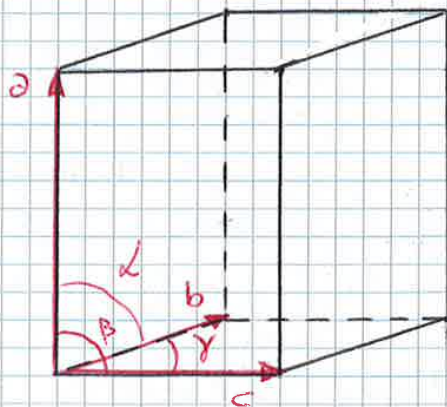
(continua dopo)

STRUTTURA CRISTALLINA

Materiali cristallini \rightarrow atomi o ioni o molecole sono in posizioni geometriche ben definite. Tra atomi ioni o molecole c'è una distanza di equilibrio. (distanza di legame).

Disposizione ordinata di atomi neutri (metalli) ioni (ceramica) molecole (polimeri).

Gli atomi sono ordinati a **lungo raggio**. di celle unitarie.



definiti i parametri di cella e gli angoli di cella posso conoscere la struttura.

$$a, b, c \sim 0,1 - 0,26 \text{ nm.} \\ 1 - 3 \text{ \AA}$$

a, b, c variano con l'applicazione di cariche e con la temperatura. (con aumento la T, a, b, c , aumentano).

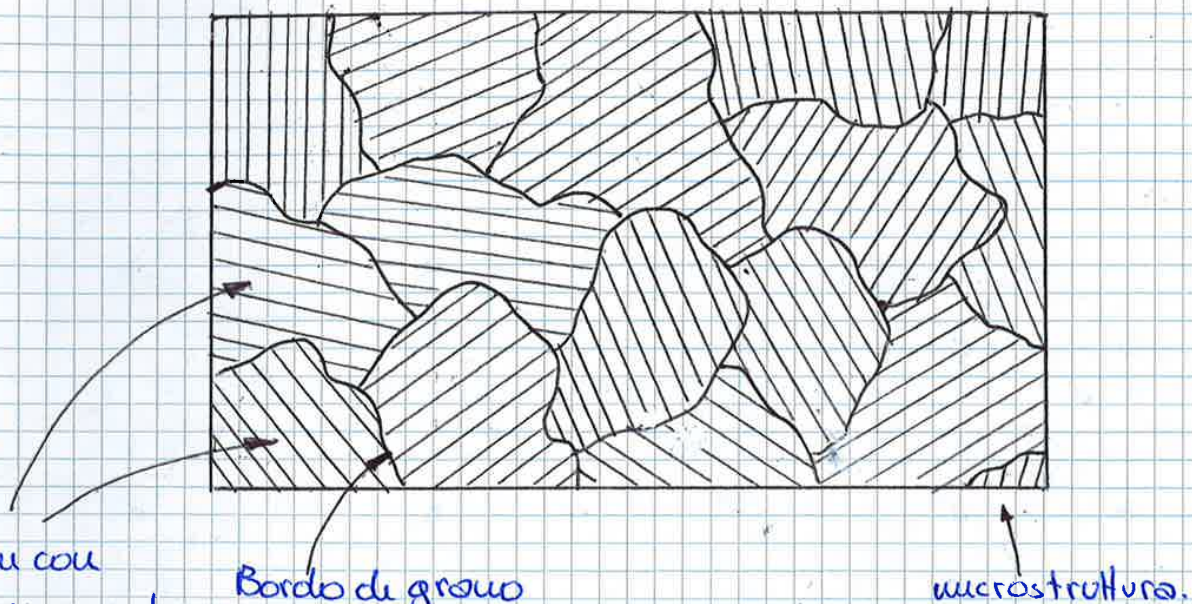
A ϕ K le vibrazioni sono nulle.

Aumentando la T la vibrazione diventa così intensa che fa ublo.

I metalli sono policristallini. Poiché avvengono da fusione. Alla T di solidificazione gli atomi si aggregano dando un tipo dei tre di reticoli cristallini. Più piano viene se aggregano altri seguendo l'orientazione del primo. Si formano tutti aggregati con la stessa orientazione spaziale, chiamati **grani o cristalli** (della cella unit)

I grani sono separati da **bordi di grano**. È una "pellicola" che avvolge il grano.

Sono caratterizzate dal fatto di essere disorientate.



grano con diversa orientazione spaziale della cella unitaria (ogni grano è un cristallo).

SPAZI INTERSTIZIALI

Gli atomi non occupano tutto il volume della cella unitaria. Restano degli **spazi vuoti, o interstizi**.

Gli interstizi possono avere forma tetraedrica o ottaedrica. Grazie agli interstizi esistono le leghe.

Gli interstizi ospitano atomi di piccole dimensioni. (soluzioni solide interstiziali).

Servono anche per le soluzioni solide sostituzionali, perché permettono agli atomi più grossi di inserirsi.

I reticoli BCC hanno **maggiore volume libero** (interstizi **ottaedrici** edria).

I reticoli FCC hanno **minore volume libero** (interstizi **ottaedrici**).

Nell'esagonale compatto gli interstizi **ottaedrici** sono simili al FCC, anche come volume libero.

DIFETTI RETICOLARI NEI CRISTALLI P.2

DIFETTI PUNTUALI INTERSTIZIALI E SOSTITUZIONALI

Permettono la formazione di soluzione solida.

Le soluzioni sono formate da **solvente** (maggiore quantità) e **soluto** (minore quantità).

Viene **mantenuta** la **struttura cristallina del solvente**, la composizione è omogenea (atomi di soluto dispersi uniformemente).

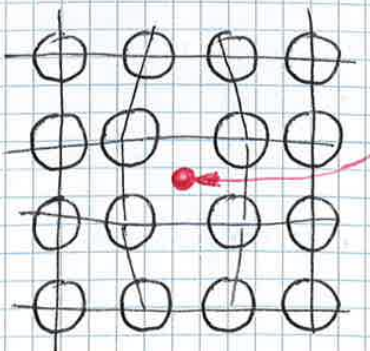
Dopo la soluzione solida "non vedo più" il soluto.

Una condizione necessaria e favorevole è che l'atomo di impurezza è di dimensioni simili ed è di **elettronegatività** simile.

Non si possono fare tutte le leghe immaginabili.

SOLUZIONI SOLIDE INTERSTIZIALI.

Il soluto riempie alcuni interstizi.



Atomi **autointerstiziali** (rari): stesso atomo del solvente.

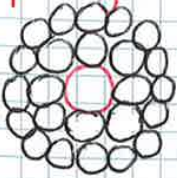
Atomi **eterointerstiziali**: atomi di diversa natura (soluto) si inseriscono negli interstizi.

L'inserimento di atomi interstiziali provoca uno **stress** o una **perturbazione** nel reticolo.

(atomi adiacenti spostati dalle posizioni di equilibrio)

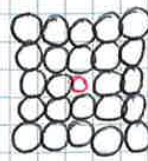
Se l'atomo sostituzionale è:

più grosso:



la forza è di compressione (forza interna dovuta allo stress che sentono gli atomi.

più piccolo



la forza è di trazione. Sono le forze che rafforzano il materiale.

5

RAFFORZAMENTO PER SOLUZIONE SOLIDA

Inserendo in lega elementi con raggi atomici differenti, il reticolo risulta **distorto** e presenta dunque **campi tensionali** (forze che tendono a portare gli atomi alle posizioni di equilibrio) che si oppongono alla **deformazione plastica** (le dislocazioni fanno più fatica a muoversi) perciò aumenta il **carico di snervamento** (*Aumento il limite di linearità), la parte di grafico $\sigma - \epsilon$ con andamento lineare aumenta. Conoscendo la % di un componente in lega si prevede l'aumento di resistenza del materiale.

"si prega a carichi più elevati" (*

REGOLE PER LE SOLUZIONI SOLIDE

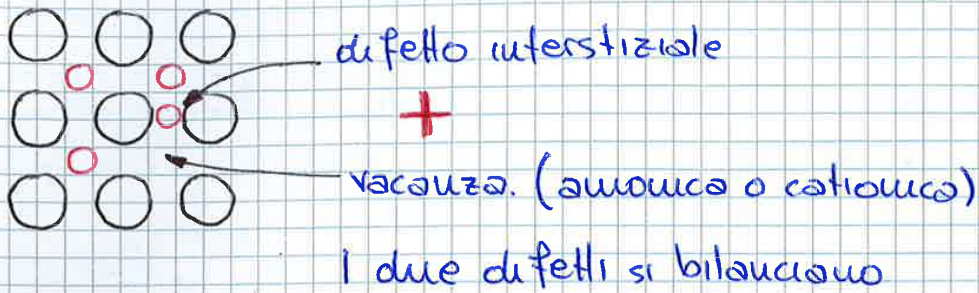
Il limite di solubilità dipende dalle regole di **Hume-Rothery**.

- ① Due elementi sono molto solubili l'uno nell'altro solo se la differenza di raggio atomico è $< 15\%$ se così non è il limite di solubilità diminuisce.
- ② Due elementi sono molto solubili l'uno nell'altro se hanno **la stessa struttura cristallina**. (perché hanno entrambi uno stato energetico unico.) Mettere atomi con strutture cristalline differenti aumenta il gap energetico interno.
- ③ Due elementi sono semplicemente solubili l'uno nell'altro se hanno **valenza simile**.

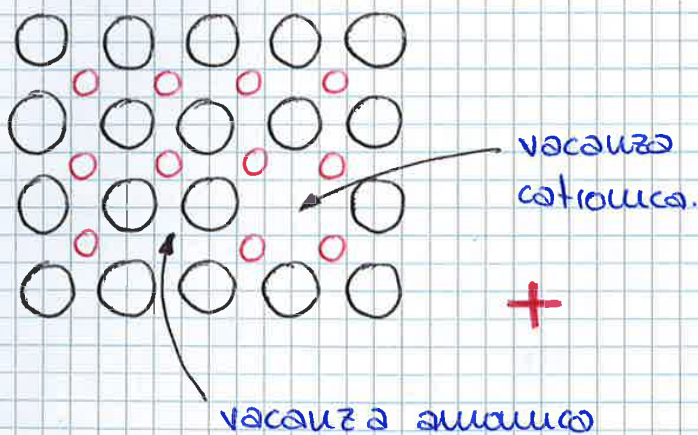
DIFETTI NEI CRISTALLI IONICI

I difetti sono prodotti da coppie di ioni di segno opposto.
I difetti puntuali viaggiano a coppie in modo da bilanciarsi.

DIFETTI DI FRENKEL



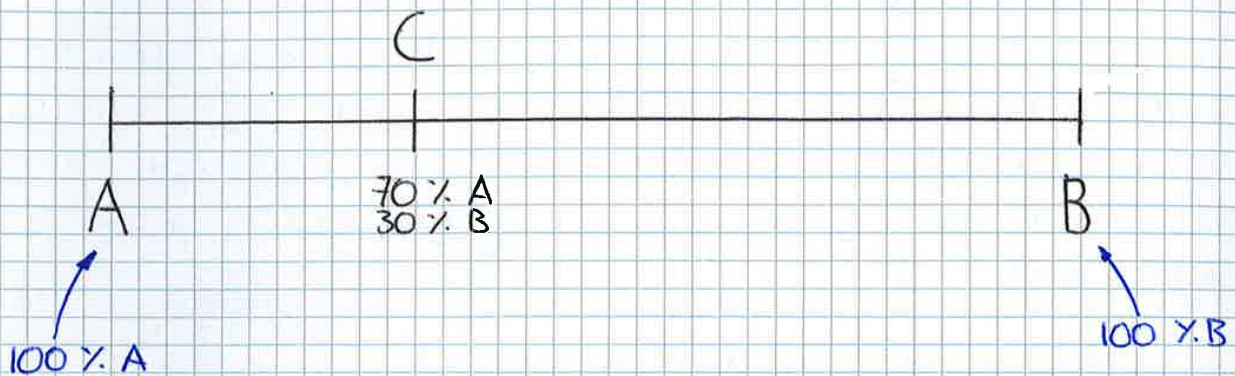
DIFETTI DI SHOTTKY



Nelle soluzioni solide le velocità di trasformazione sono spesso molto basse e l'equilibrio non viene raggiunto. Il livello energetico è però sufficientemente basso da dare fasi metastabili (vetro con il tempo scivola perché sta continuamente a diminuire il livello energetico).

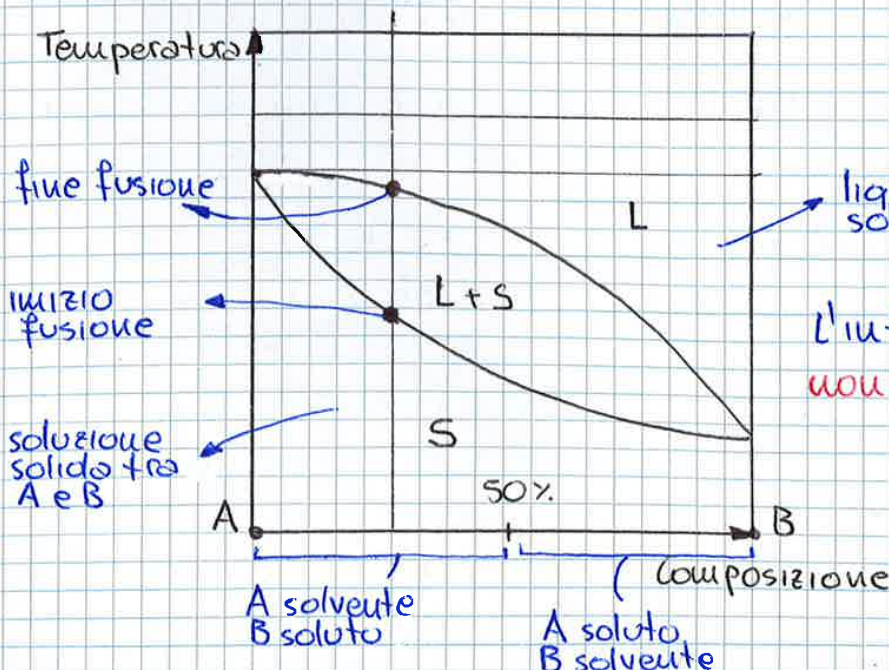
DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Lungo le asse varia la composizione.



DIAGRAMMI DI STATO A MISCIBILITÀ ILLIMITATA

Si ha miscibilità illimitata di due componenti quando questi sono completamente solubili l'uno nell'altro sia allo stato solido, sia allo stato liquido.



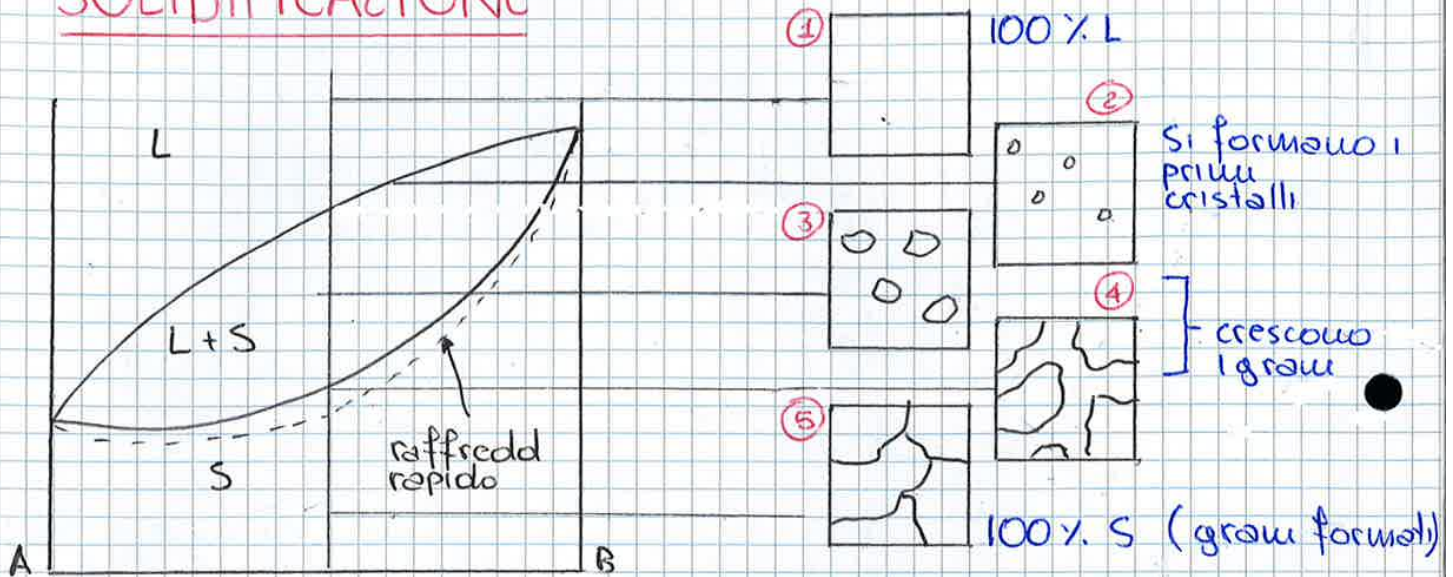
Il diagramma di stato indica la temperatura di inizio e fine fusione.

L'intervallo di fusione non è il ramollimento.

MICROSTRUTTURA LEGA

Si osserva un sistema monofasico policristallino.
(-.-)

SOLIDIFICAZIONE



La formazione della fase solida è la configurazione a minore energia.

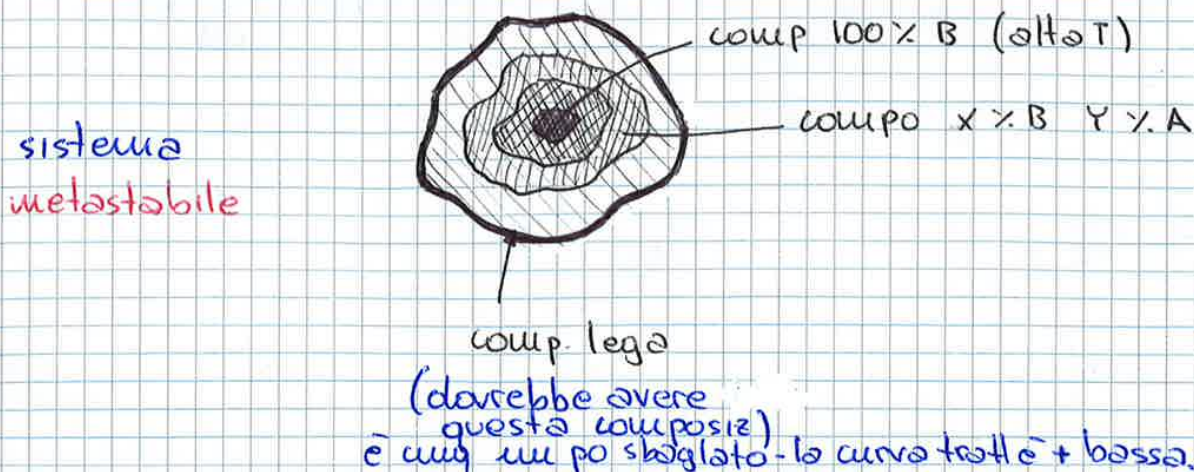
Nello stato 1 ho solo liquido.

Nello stato 3 dopo essersi formati i primi grani ho cristalli con composizioni uguali alla regola della leva.

Devo dare tempo al materiale di raffreddare e per dare grani senza eccessi di una o dell'altra componente.

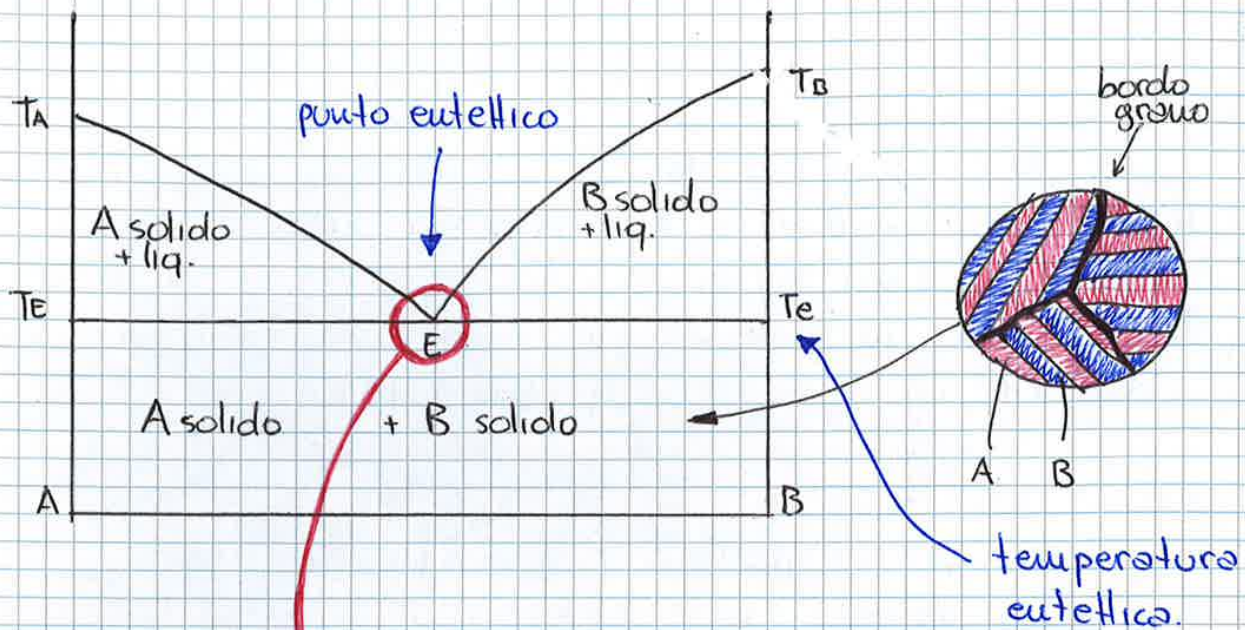
(in modo da avere la composizione della lega).

Se solidifico troppo velocemente ottengo grani di questo tipo:



LEGA EUTETTICA

eutettico = "die foundebeue"



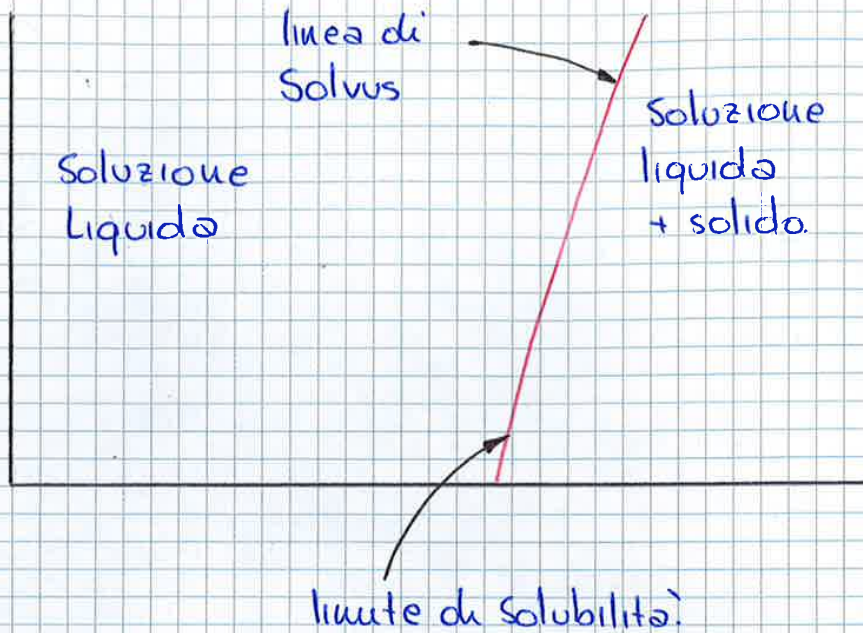
solidificazione (non attraverso campi bifasici)
CONGRUENTE
 avviene ad una
 T precisa.
 (fusione congruente)

Perché i grani formano le lamelle?

A T_e gli atomi (per esempio di A) si formano un cristallo di A poiché è a minore livello energetico.

Per fare ciò allontanano gli atomi di B. Lo stesso vale per B che allontanano A e si trovano due zone ricche di A e ricche di B. Di conseguenza cristallizzano separatamente a forma di lamelle.

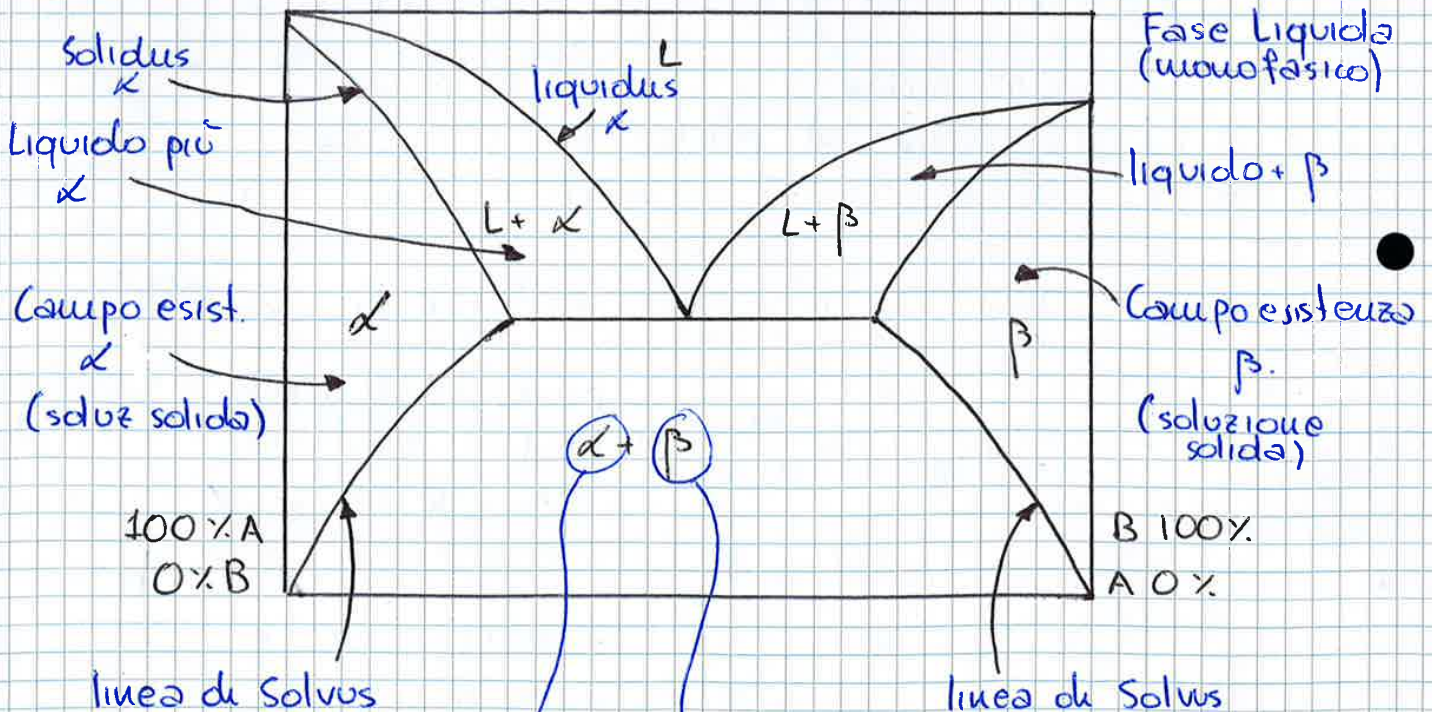
DIAGRAMMI DI STATO A MISCIBILITA' PARZIALE ALLO STATO SOLIDO



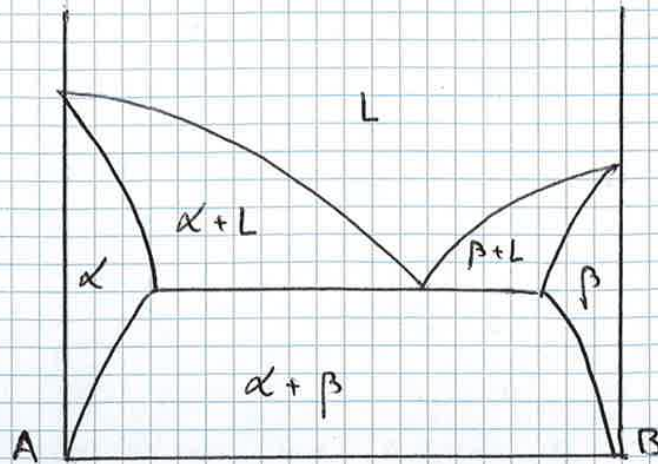
7

Ad esempio Acqua e Zucchero.

Raggiunto il limite di solubilità lo zucchero non si scioglie più.



Cristalli di α
 (soluzione solida con struttura di A
 con disciolti in quantità max cristalli di B)



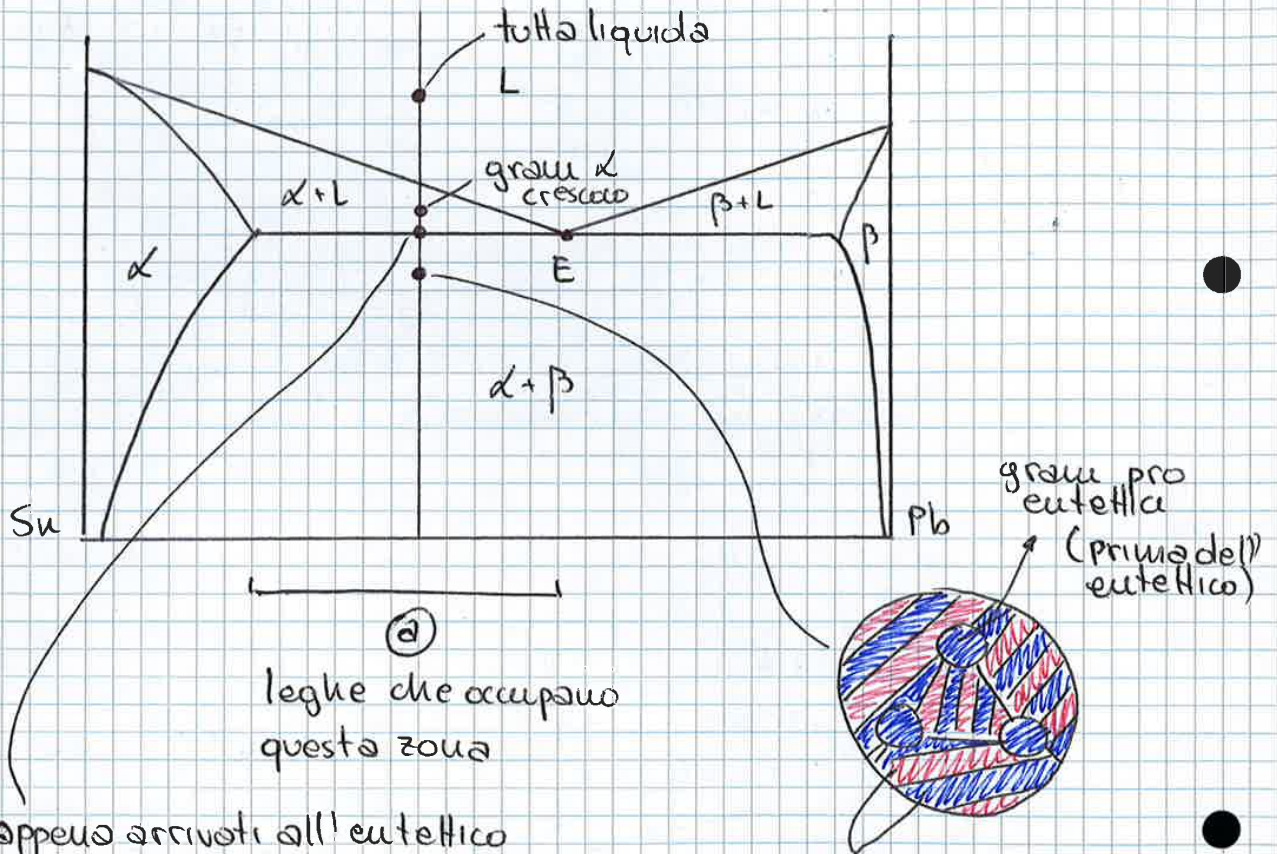
- Campo monofasico α / β / L .
Posso cambiare T e composizione. È un campo **bivariante**.
- All' eutettico ho le tre fasi solo in un punto, perciò è un campo **invariante**.
- In un campo Bifasico ($\alpha+\beta$, $\alpha+L$, $L+\beta$).
Non posso cambiare **independentemente** T e composizione.
Se cambio la T la composizione delle due fasi cambia automaticamente e segue la linea di solvus, se cambio la composizione della lega cambia il rapporto quantitativo tra α e β . Ho perciò un campo **monofasico** (se ho $\alpha+L$ o $L+\beta$ uso liquidus o solidus.)
↓
($\alpha+L$, $\beta+L$)

Ad una determinata T corrisponde una composizione.
Se voglio una determinata composizione devo andare ad una determinata T .

Man mano che raffreddo i grammi di α solubilizzano sempre meno β .

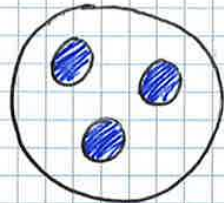
DIAGRAMMI EUTETTICI - 3 - LEGA IPOEUTETTICA

Ha una composizione più bassa dell'eutettica, attraverso la linea di eutettica.



leghe che occupano questa zona

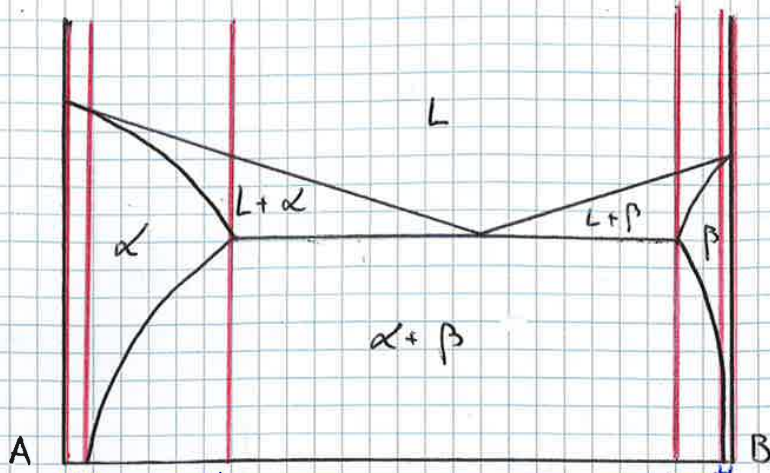
appena arrivati all'eutettico
grammi α con L che
solidificano a E
(Leve)



α e β che solidificano
dopo l'eutettico.
(o lamelle)
raffreddando la
solubilità cambia.

② leghe ipoeutettiche

SISTEMI DI RAFFORZAMENTO



lega 1 sistema di rafforzamento (soluzione solida)

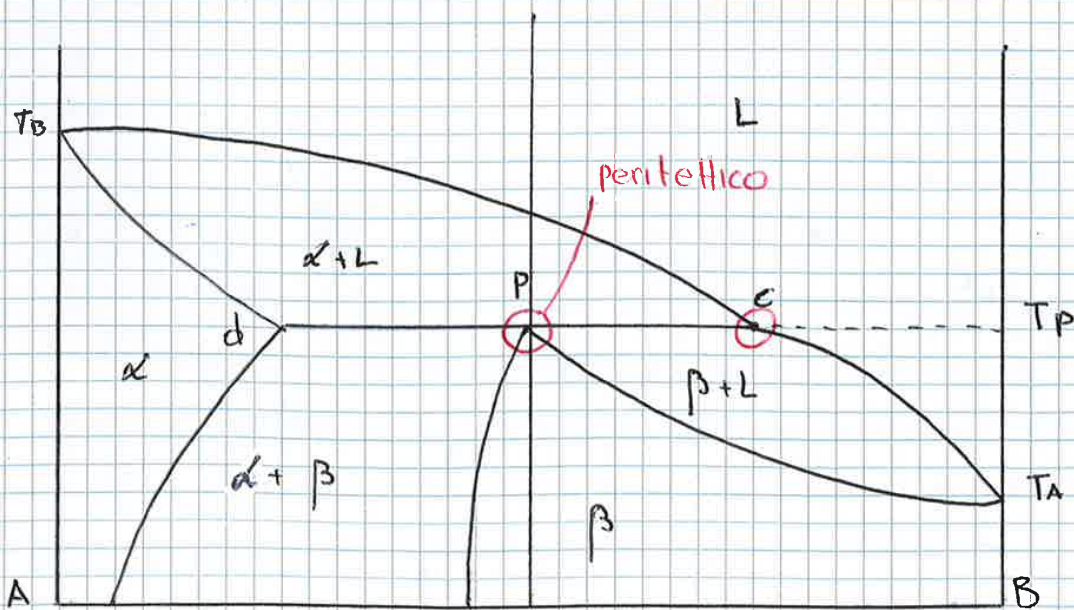
3 sistemi di rafforzamento (soluzione solida, seconda fase, affinamento del grano)

2 sistemi di rafforzamento (soluzione solida + 2^a fase)

soluz solida

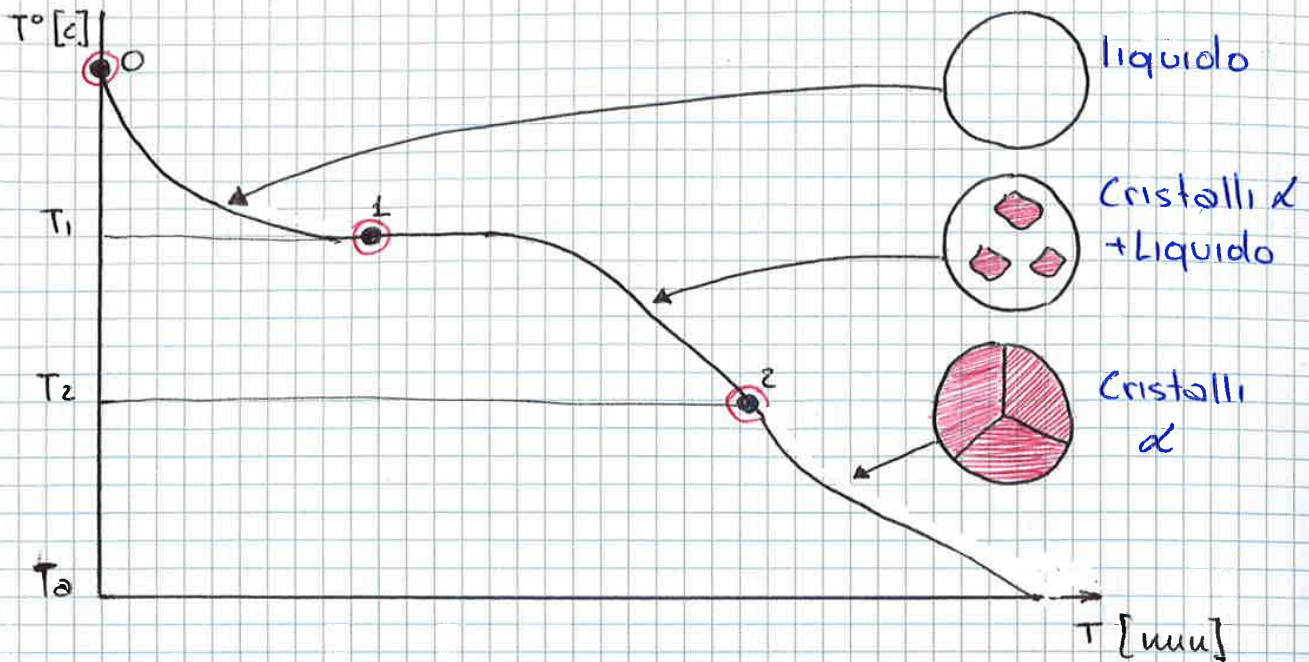
soluz solida + 2^a fase

DIAGRAMMI DI STATO PERITETTICI



al raffreddamento $\alpha + L \rightarrow \beta$

ANDAMENTO TEMPERATURA NEL TEMPO

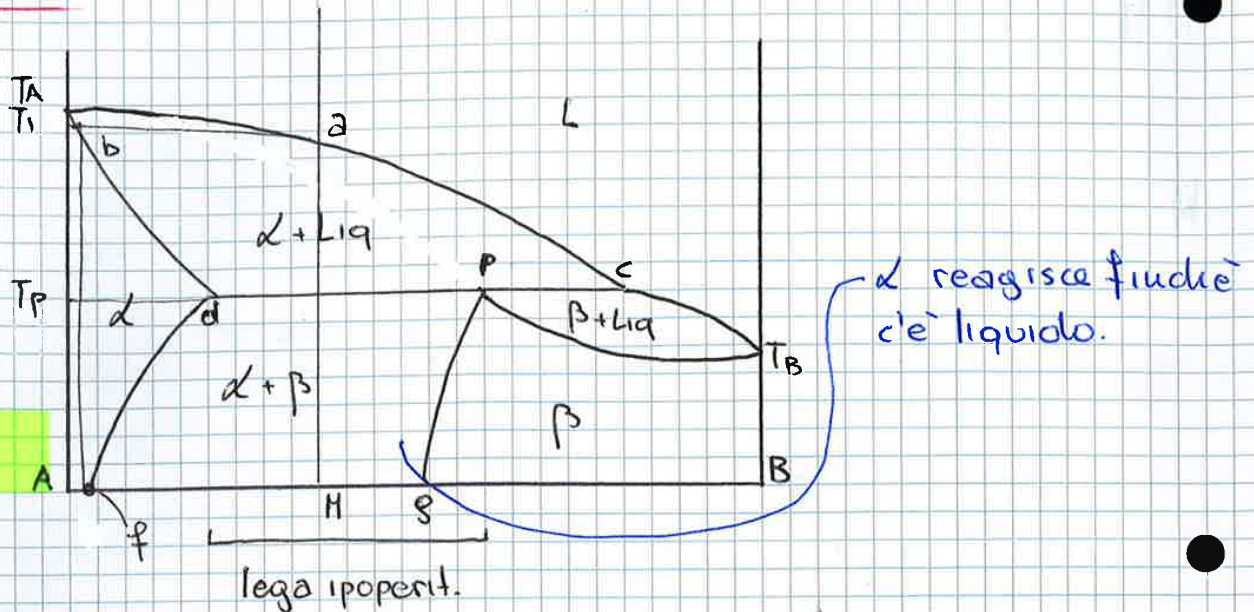


Quando sono nella fase liquida la temperatura scende molto velocemente.

Mi accorgo che la lega inizia a solidificare, quando ho un flesso, poiché si stanno formando dei grani. (devo avere il tempo di formarsi).
I grani di α crescono sino al punto 2.

Mi accorgo che i grani si sono solidificati perché ho un'altro flesso e la temperatura cala di nuovo.

DIAGRAMMI DI STATO PERITETTICI - 3 - LEGA IPOPERITETTICA



Fra T_i e T_p la composizione del solido α e del liquido variano lungo bd e ac

A T_p ha luogo la **trasformazione peritettica** nel corso della quale tutto il liquido c reagisce con parte di α (di composizione d) per dare la soluzione solida β di composizione p .

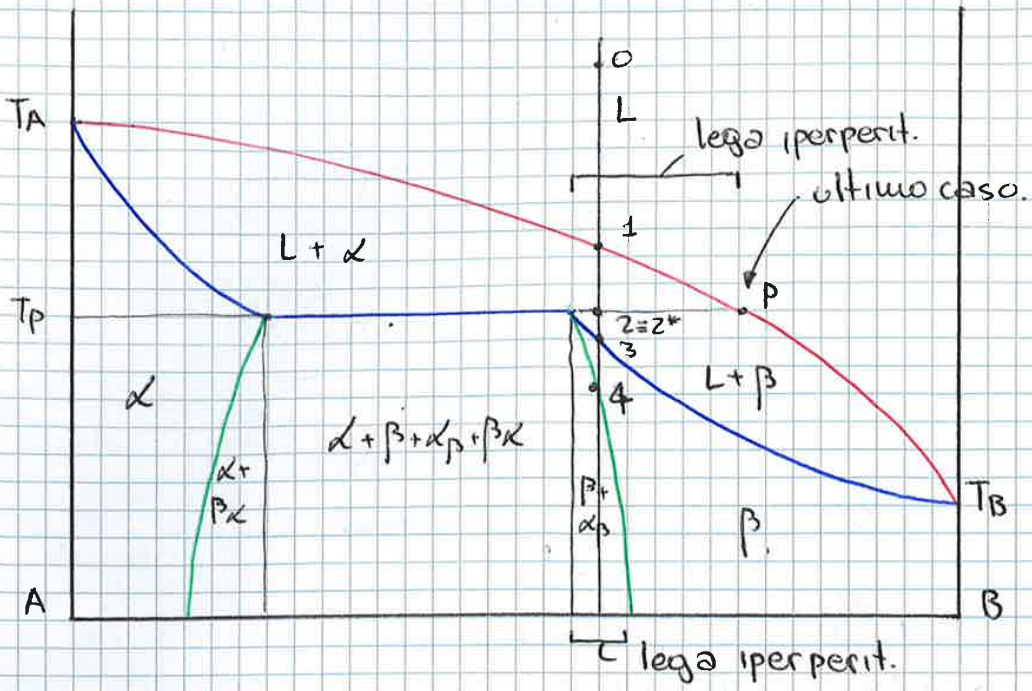
Scomparsa l'ultima goccia di L la temperatura riprende a scendere e le composizioni delle fasi α e β variano lungo le linee df e pg .

Alla T dell'ascissa

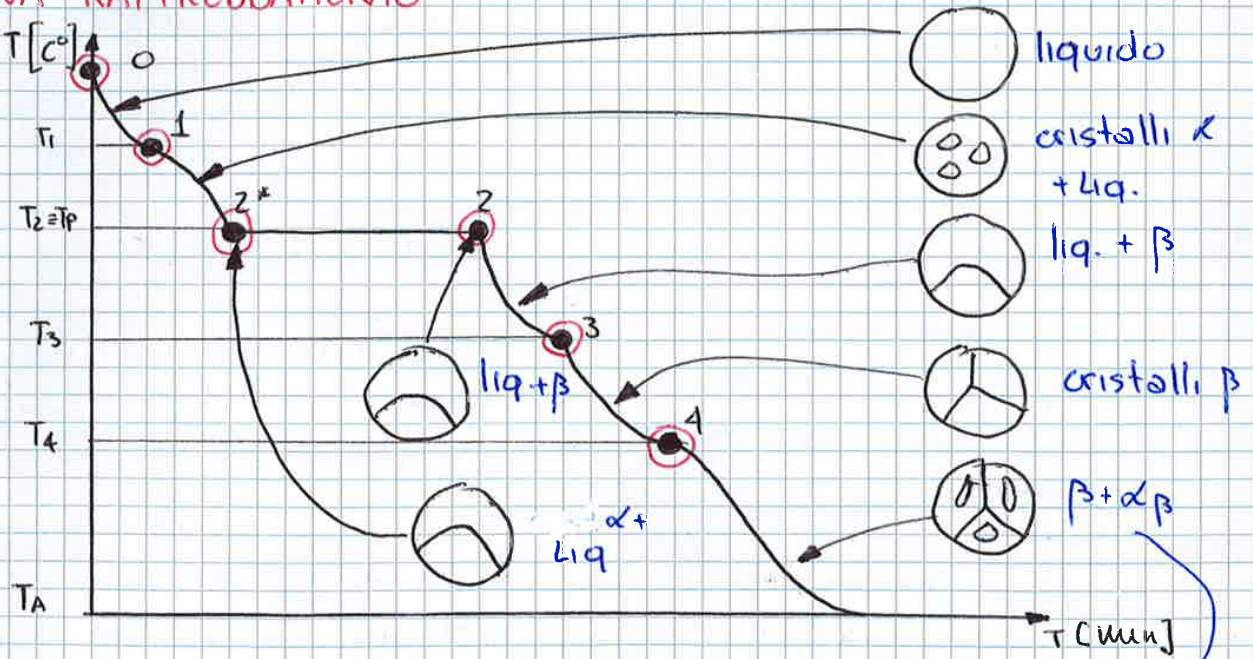
$$\% \alpha = Hg / fg \cdot 100$$

$$\% \beta = fH / fg \cdot 100$$

Nel diagramma di stato reale ho le fasi $\alpha + \beta + \alpha_{\beta} + \beta_{\alpha}$
 α e β si formano dal liquido peritettico.
 grammi di α con struttura di α che derivano da β .
 β ha solubilizzato molto α . Uguale per β_{α} .
 α_{β} e β_{α} si sono formati sotto T_p .



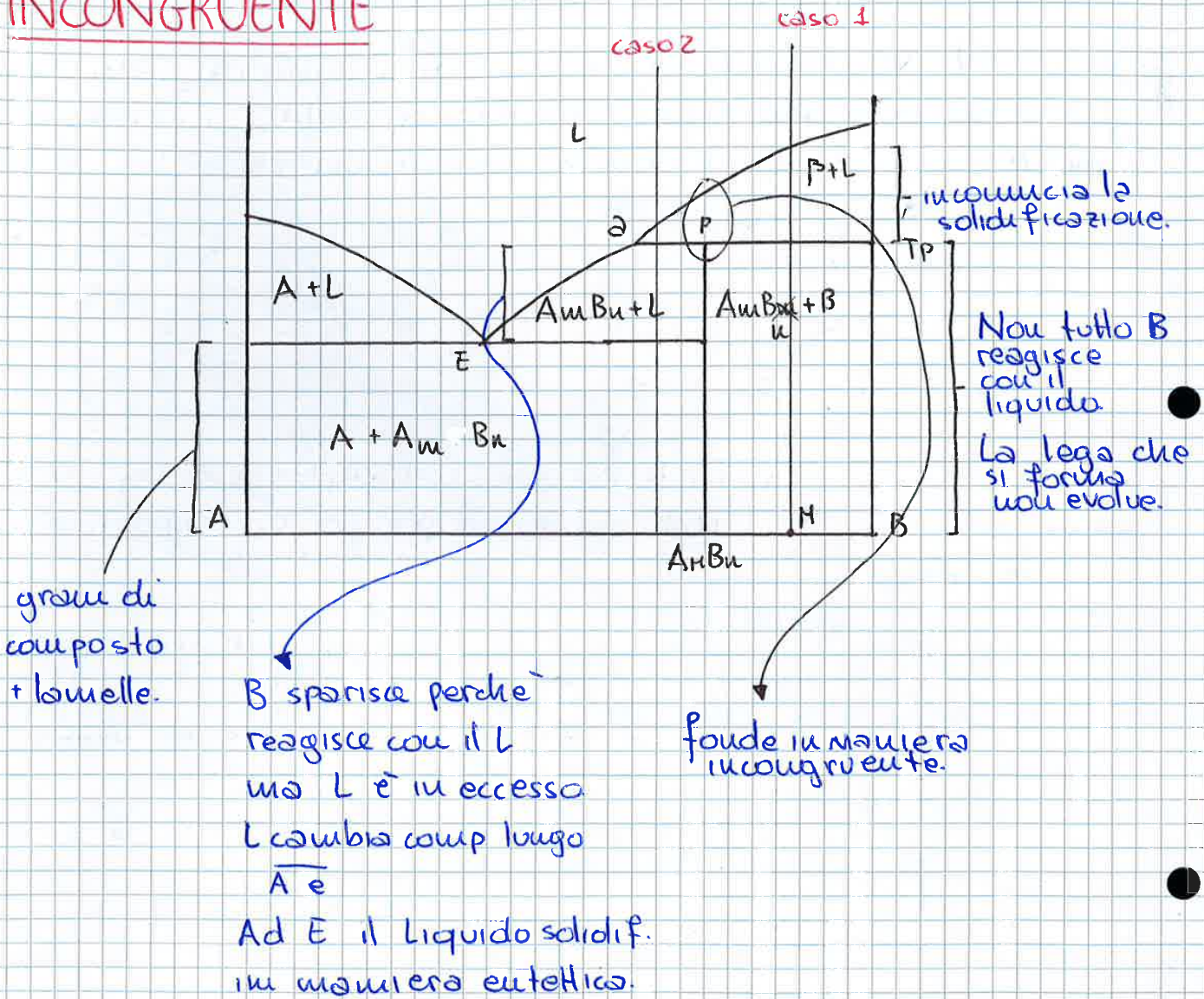
CURVA RAFFREDDAMENTO



nucleazione
cristalli α che
derivano
da β .

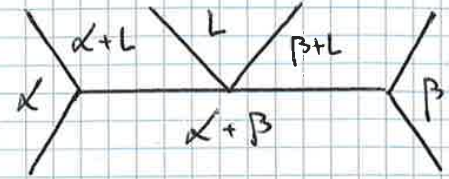
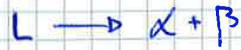
È una fase stabile per un solo punto di composizione.

DIAGRAMMI DI STATO CON COMPOSTI A FUSIONE INCONGRUENTE

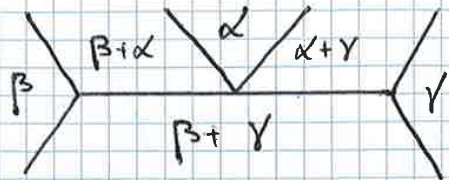


RIASSUNTO

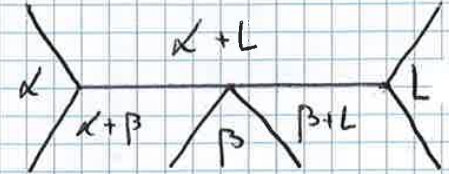
EUTETTICO



EUTETTOIDE



PERITETTICO



PERITETTOIDE

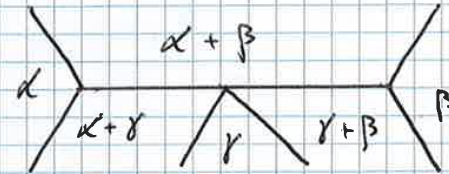
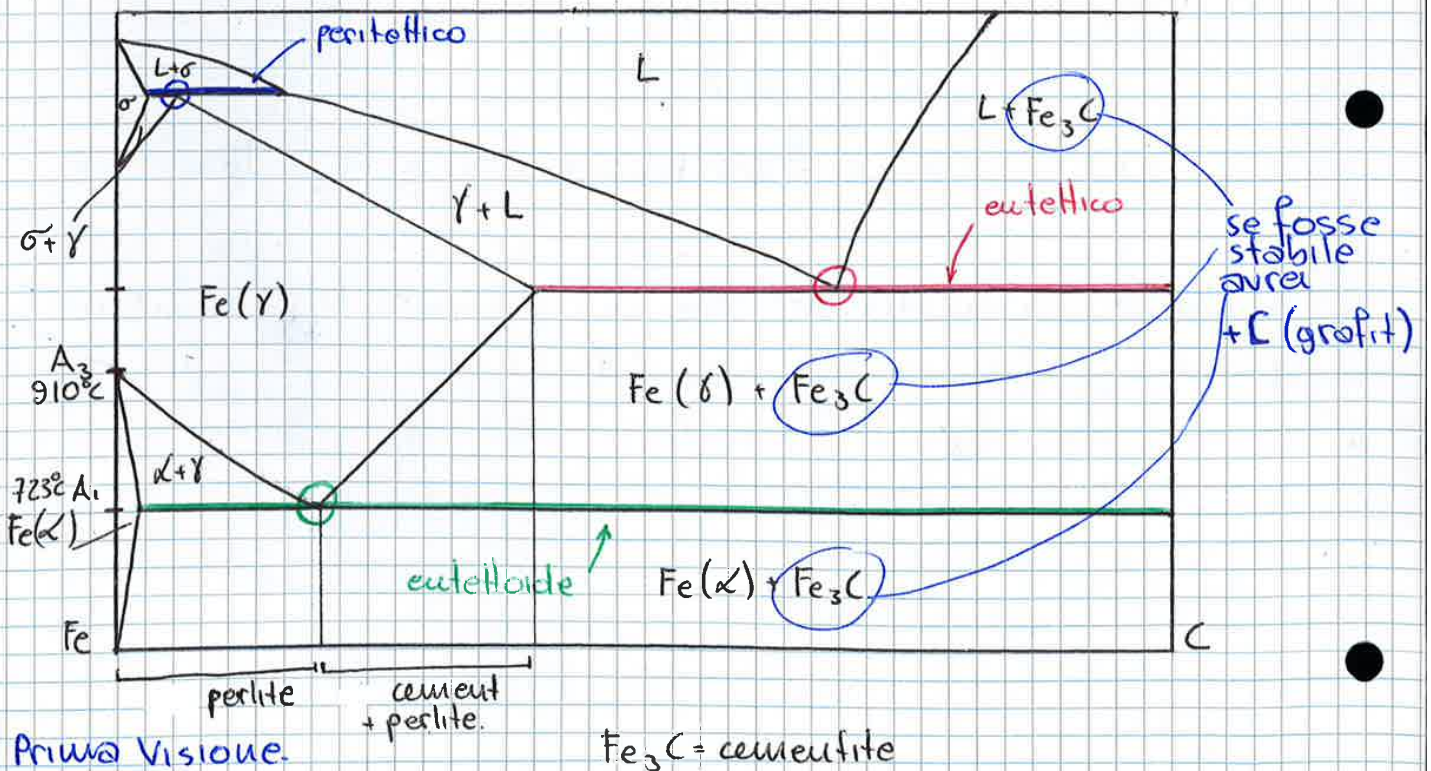


DIAGRAMMA DI STATO REALE Fe-C



TRASFORMAZIONI DI FASE NEL Fe-C

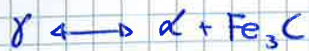
PERITETICA 1493°C (c=0,15%)



EUTETICA 1147°C (c=4,3%)



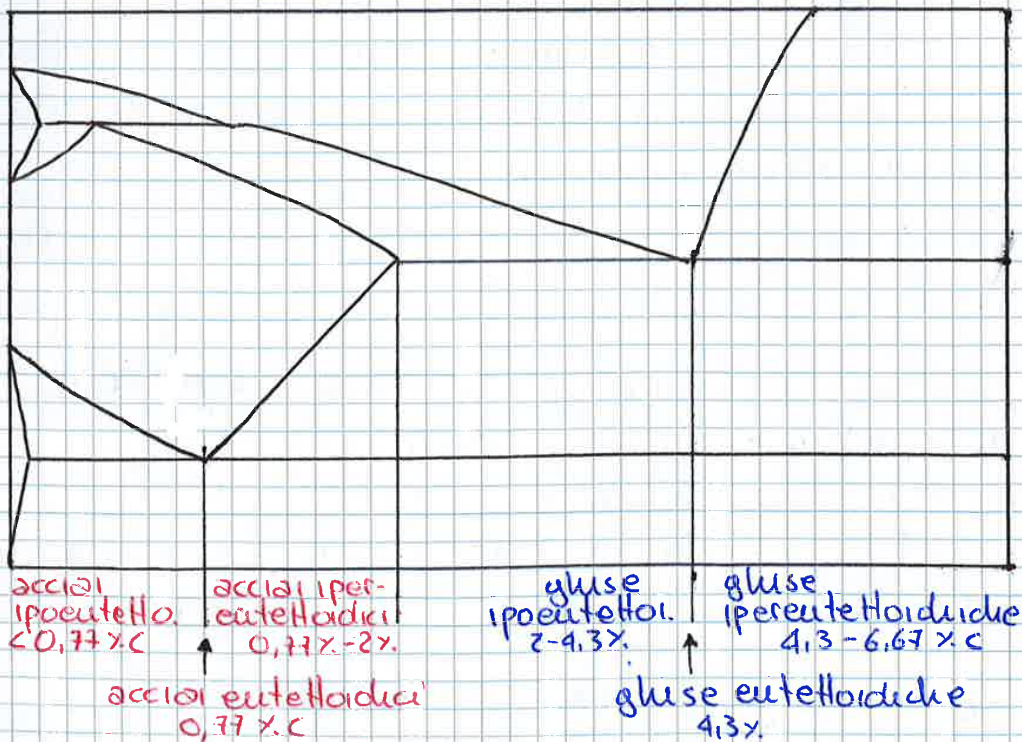
EUTETTOIDICA 723°C (c=0,8%)



LEGHE FERROSE

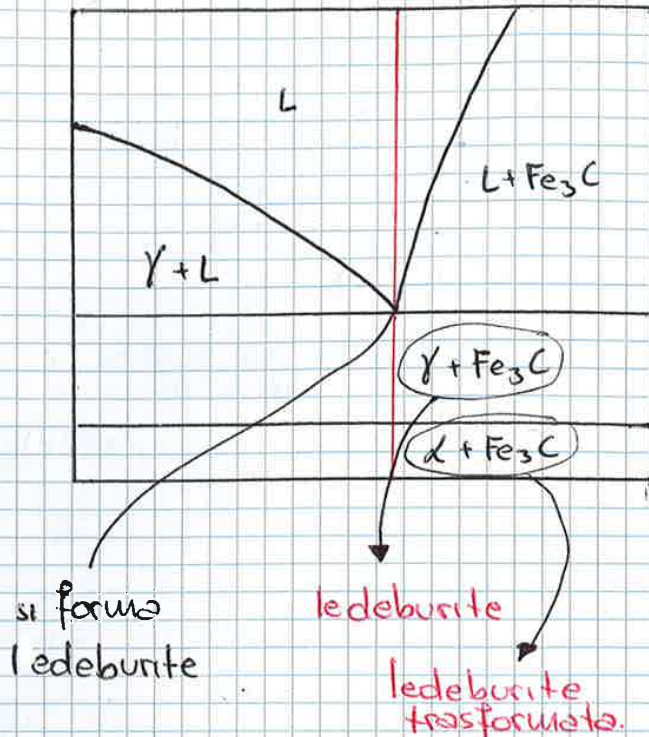
ACCIAI hanno concentrazioni di carbonio inferiori del 2% ed esistono in relazione alle varie T, strutture diverse.

GHISE contengono oltre il 2% di carbonio sino al 6,67%.



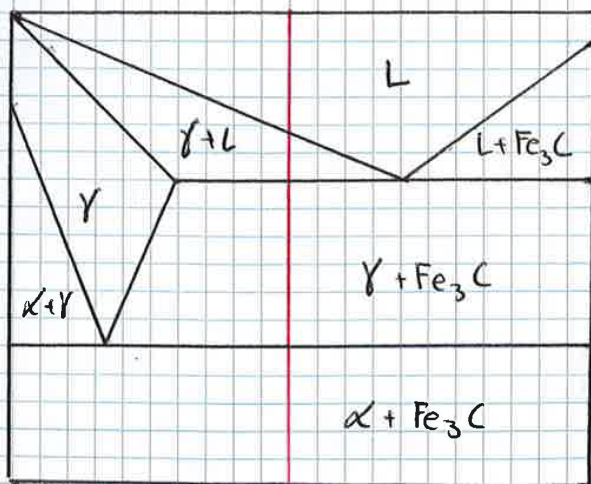
SOLIDIFICAZIONE DELLE GHISE

GHISA EUTETTICA



Fino all'eutettico abbiamo la fase liquida.
 All'eutettico il liquido solidifica in maniera **globulare**.
 Diventa austenite più cementite. (Ledeburite = costituente metallografico)
 Continuando a raffreddare aumenta la cementite.
 Alla T eutettoïdica ledeburite diventa ledeburite trasformata ($\gamma + \alpha \rightarrow \alpha + Fe_3C$ che deriva da un eutettico. È una parente della cementite.)

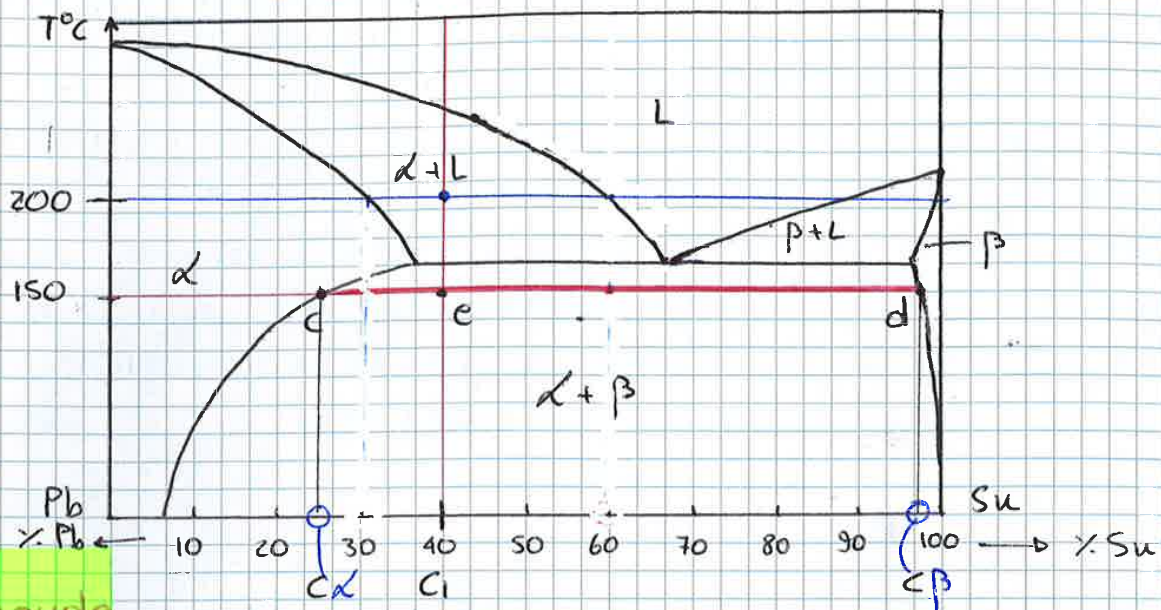
GHISE IPOEUTETTICHE



Inizia la solidificaz formando austenite + liquido.
 All'eutettico il liquido forma ledeburite.
 L'austenite raffreddando perde carbonio che fa la cementite.
 All'eutettoïdico, la ledeburite diventa ledeburite trasformata + dell'austenite che all'eutettoïdico diventa perlite.

ESERCITAZIONE

Esercizio 1



30 Domanda

Per una lega 40% Sn e 60% Pb a 150°C

- 1) Quali fasi sono presenti?
- 2) Quali sono le composizioni delle fasi?
- 3) Calcolare la percentuale in peso delle quantità relative in ogni fase.

Risposte

- 1) Due fasi: α e β
- 2) Basta leggere il grafico!!!

(nel mio caso non è in scala poiché composiz. $\alpha \Rightarrow 89\% \text{ Pb}$ e $11\% \text{ Sn}$
 e $\beta \Rightarrow 99\% \text{ Sn}$ e $1\% \text{ Pb}$)

- 3) Regola della leva.

$$W_{\alpha} = (c_{\beta} - c_i) / (c_{\beta} - c_{\alpha}) = \frac{99 - 40}{99 - 11} = 0,67 \cdot 100 = 67\%$$

$$W_{\beta} = (c_i - c_{\alpha}) / (c_{\beta} - c_{\alpha}) = \frac{40 - 11}{99 - 11} = 0,33 \cdot 100 = 33\%$$

5)



α primario $18,3\% Sn$
 β $97,8\% Sn$
 α eutettico $18,3\% Sn$

a) $V = C + u - f = \underbrace{2 + 1}_{\text{fissi}} - \underbrace{2}_{\text{fasi}} = 1$ (campo univariante)

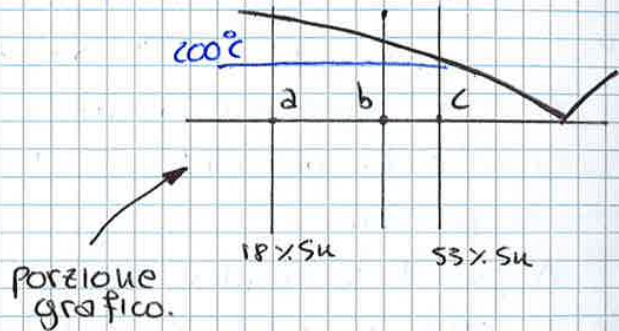
b) $\alpha + L$

c) Leggo il grafico. (cerchietti rossi).

valori corretti: $\alpha = 18\% Sn$ $82\% Pb$ e $\beta = 55\% Sn$ e $45\% Pb$.

d) $\% \alpha = \frac{bc}{ac} \cdot 100 = 14\% \alpha$

$\% L = \frac{ab}{ac} \cdot 100 = 86\% L$



Per un caso a $100^\circ C$

a) $V = C + u - f = 2 + 1 - \underbrace{2}_{(\alpha \text{ e } \beta)} = 1$

b) $\alpha + \beta$

c) Leggo il grafico (cerchietti verdi)

d) $\% \alpha = \frac{cf}{cg} \cdot 100 = 52\%$

$\% \beta = \frac{gf}{eg} \cdot 100 = 48\%$

A ④ avrò dei grossi lamellari (perché attraverserò un eutettico) (potrebbero essere globulari). E dei grossi grani perché attraverserò una zona proeutettica.

All'eutettico la lega inizia fondere (fonde la parte eutettica, la parte lamellare fonde). I grani ② sono di α e β .

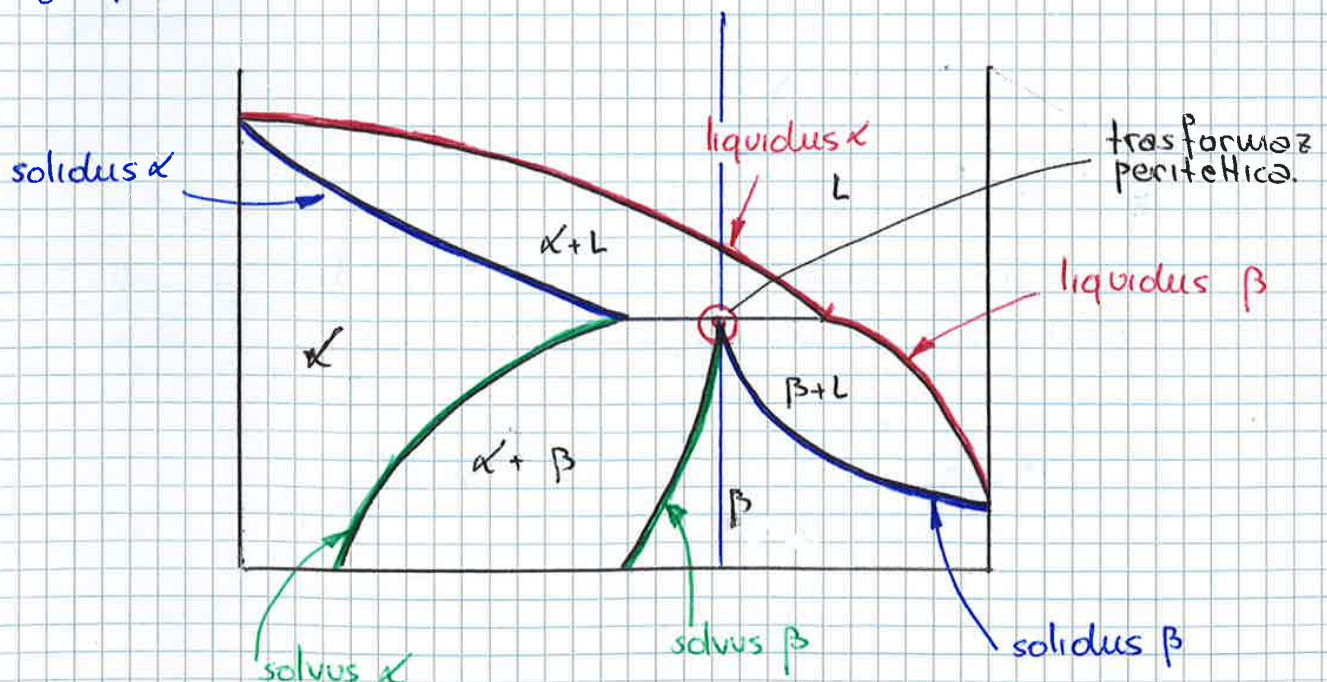
Man mano che T aumenta i grani diminuiscono di dimensione ③ sino a che non è tutto fuso. ④.

$$\% A = \frac{bc}{ac} \cdot 100$$

$$\% \alpha\beta = \frac{ab}{ac} \cdot 100$$

⑤ Tracciare un diagramma di stato con trasformazione peritettica e indicare le fasi presenti, linee di liquidus, solvus e solidus di α e β .

Descrivere al riscaldamento le trasformazioni di fase della lega peritettica.



3 regioni monofasiche α , β , L

3 regioni bifasiche $\alpha + L$, $\beta + L$, $\alpha + \beta$.

La **trasformazione peritettica** al riscaldamento consiste in una lega solida β che si trasforma alla T_p in $\alpha + L$

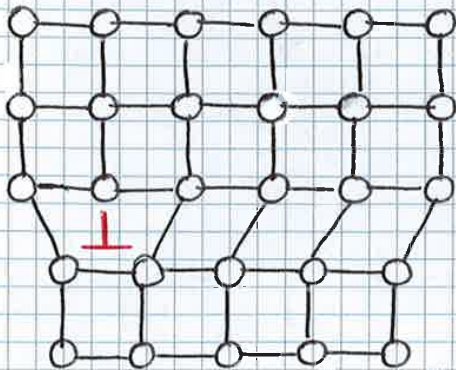
Dopo di che si ha la fusione completa.

DIFETTI RETICOLARI LINEARI - DISLOCAZIONI

Le **dislocazioni** sono imperfezioni che si estendono lungo una direzione. (si presentano come linee irregolari).

Si formano per **solidificazione** e per **deformazione plastica**.
 So presenti (in un metallo) 10^{14} dislocaz / m^3 .

DISLOCAZIONI A SPIGOLO



In una parte del cristallo è presente un **emipiano** in più o in meno.

↑ piano in più (direz)

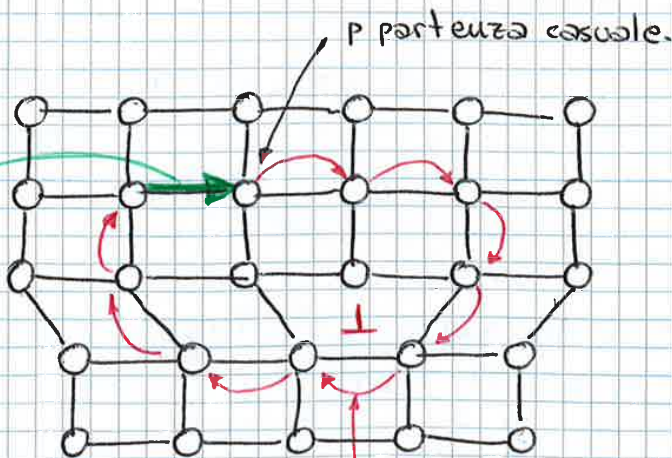
↑ piano in più separa il cristallo in due emicristalli.

Sopra — c'è un emicristallo in più
 sotto — non c'è.



↑ linea di dislocazione (parte inferiore).

VEETTORE DI BURGERS



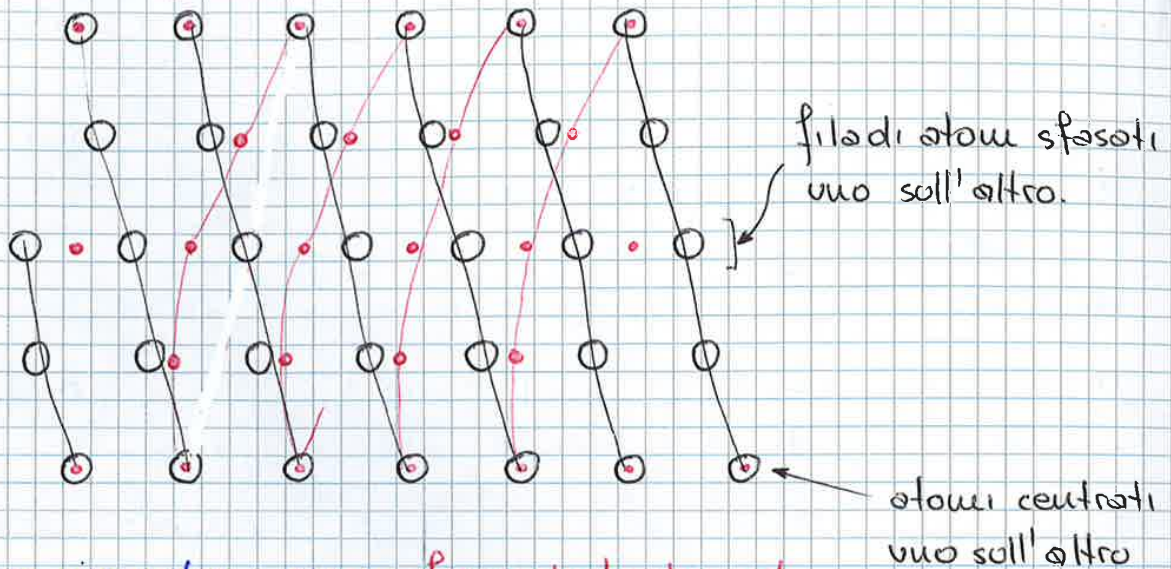
vettore di Burgers.

si deve formare un quadrato attorno alla dislocazione
 $p_{part} \neq p_{finale}$.

DISLOCAZIONI A VITE/ELICA

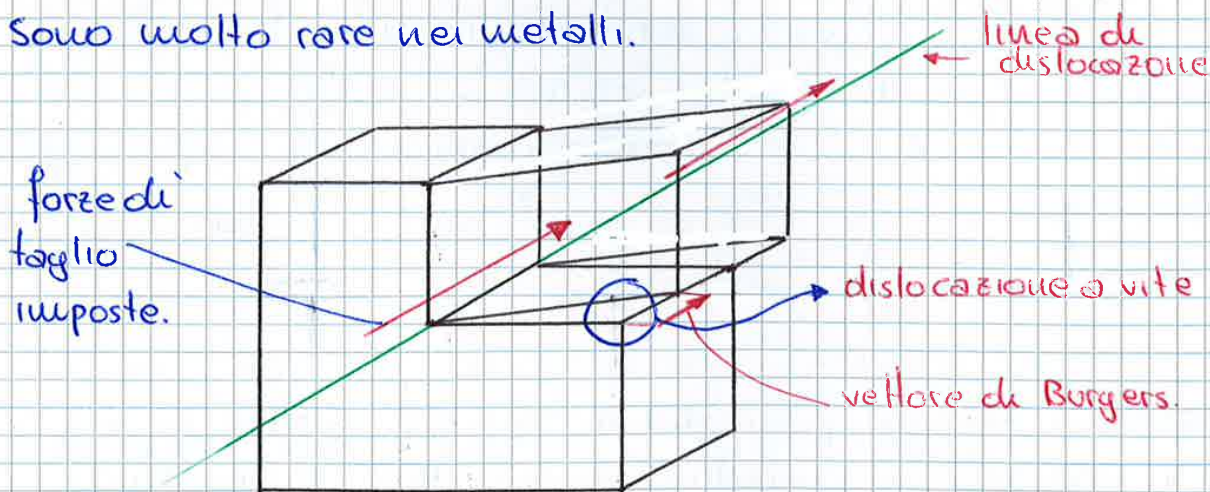
Non si hanno atomi in più ma solo spostamento di atomi già presenti.

È presente una spirale di atomi spostati rispetto alla posizione del reticolo perfetto.



Si creano quando ci sono sforzi di taglio sul cristallo.

Sono molto rare nei metalli.



all'ora alla dislocazione c'è uno stato tensionale che tenta di riportare l'energia interna al minimo.

Ci saranno sforzi di taglio opposti a quelli dati.

Come prima dislocazioni dello stesso segno si respingono, quelle con segno concorde si uniscono attrandosi.

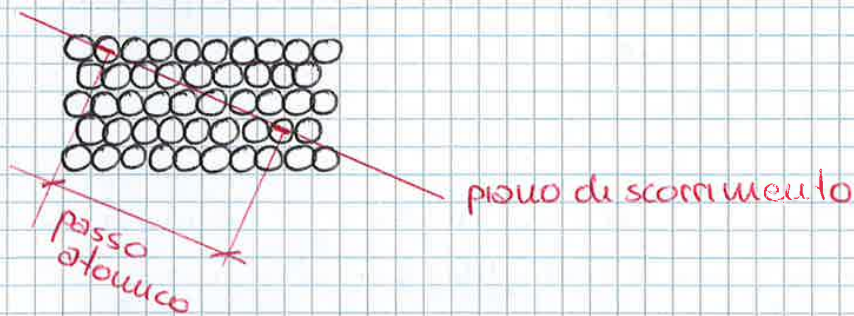
la dislocazione a vite si muove più facilmente poiché può muoversi su più piani e con carichi minori. (hanno più capacità di movimento).

Nella realtà le dislocazioni sono di tipo misto e cambiano continuamente forma nel loro movimento poiché le parti lineari e curve si muovono in modo diverso.

DISLOCAZIONI E PIANI

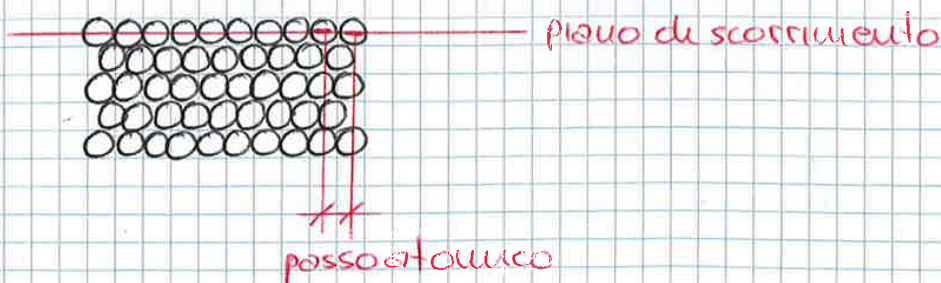
Lo scorrimento è più facile sui piani e nelle direzioni ad elevata densità atomica. Sono i sistemi di scorrimento. Su questi piani gli atomi sono vicini (maggiore densità atomica) e dunque lo spostamento di una dislocazione per avanzare è minore.

Se ho una dislocazione:



il passo atomico è molto grosso, c'è un basso impaccamento, una minore densità atomica. Servono carichi ~~molto~~ maggiori.

Se ho questa dislocazione:



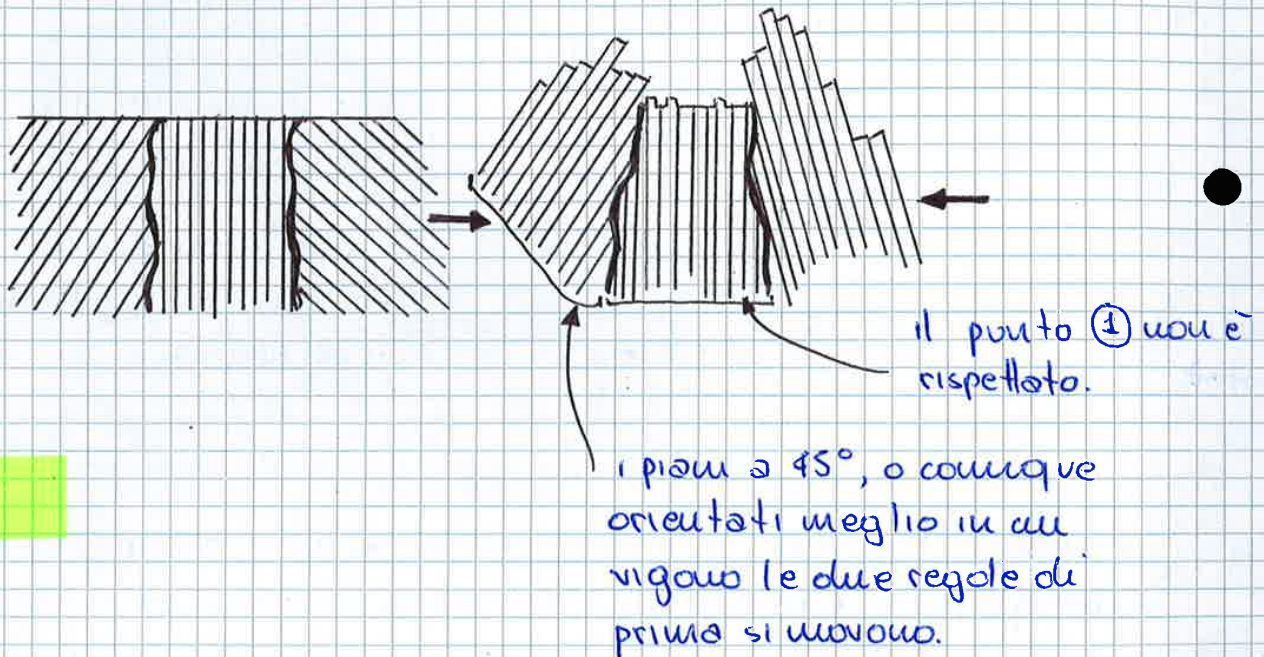
il passo atomico è piccolo. C'è un'alta densità atomica. Servono carichi minori.

Se il passo è così grande talvolta l'energia per rompere il pezzo è minore tutt'è che si spacca.

La possibilità o meno che una dislocazione si muova dipende da due fattori:

- ① Da come il piano di scorrimento è orientato rispetto ai piani ad elevata densità planare (orientamento dislocazione rispetto al cristallo).
- ② Dal fatto che sul piano di scorrimento della dislocazione deve agire una τ superiore a quella critica. (orientamento cristallo rispetto a σ).

Le due condizioni devono essere **entrambe soddisfatte**.



13

INTERAZIONI TRA DISLOCAZIONI

Durante il loro movimento le dislocazioni **generano nuove dislocazioni**. Man mano che la deformazione plastica aumenta si crea una selva di dislocazioni.

Le dislocazioni **si bloccano l'una con l'altra**.

Se una dislocazione nel suo movimento si avvicina ad un'altra dislocazione esse si respingeranno a causa dei campi tensionali (a meno che non ci sia una σ così elevata da vincere le forze di repulsione) \odot

Devono essere dislocazioni piuttosto vicine.

MOTO DISLOCAZIONI SECONDO IL TIPO DI LEGAME

SOLIDI METALLICI

Il moto dislocativo avviene facilmente, poiché:

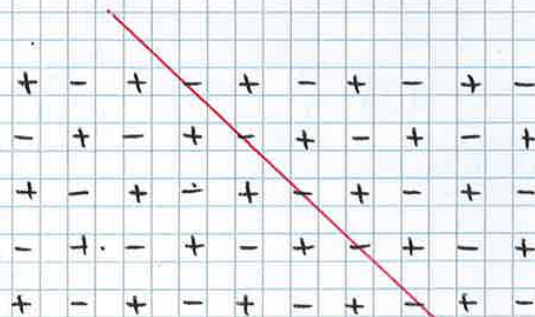
- 1) strutture ad elevato impacchettamento
- 2) i lati dei cubi sono piccoli
- 3) I legami sono adirezionali. Le dislocazioni non sono vincolate da legami.
- 4) Non hanno cariche.

I metalli sono **duttili** e hanno una grande **deformazione plastica**

SOLIDI IONICI

Se due piani vengono slittati si sovrappongono ioni dello stesso segno, l'energia interna aumenta al punto da rompere il cristallo.

Solo se:



piano di scorrimento

lungo tale piano possono avvenire movimenti di dislocazioni.

Inoltre:

- ① i reticoli sono poco densi (poco impacchettati) - lontani tra loro
- ② non ci sono piani ad elevato densità atomica
- ③ i lati dei cubi sono grossi (ioni lontani)

I solidi ionici sono **fragili**, si rompono senza deformazione plastica.

In termini energetici conviene rompere il pezzo piuttosto che muovere le dislocazioni.

PROPRIETA' BORDI DI GRANO - CENNI

In un bordo di grano ho una **rapida diffusione** degli atomi. (si muovono velocemente).

Sono zone fortemente **reattive**.

Sono zone ad elevato contenuto energetico (maggiore è l' κ tra i due grani adiacenti), hanno dunque una maggiore reattività chimica. (tendono ad evolvere in situazioni con un livello energetico minore).

Se viene posto in un reattivo, quest'ultimo attacca quelle zone (IBDG).

I BDG sono zone in cui si ha **ricristallizzazione**. (vedi mat metallica).

Ad **alta temperatura** ho deformazione plastica a causa dello scorrimento viscoso lungo i bordi di grano. (non entrano le dislocazioni).

I BDG influenzano anche le **proprietà elettriche**.

I BDG influenzano anche le **proprietà ottiche**.

I materiali cristallini sono non trasparenti proprio perché ci sono i BDG.

Dove c'è il BDG, la luce viene deviata, una parte riflessa e una parte assorbita. La parte trasmessa (quella che penetra) incontra sempre più bordi di grano.

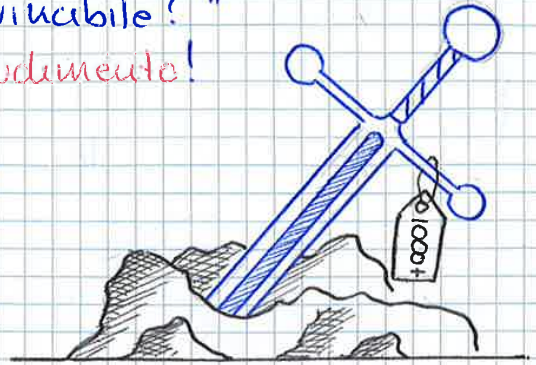
La luce viene deviata moltissime volte, cosicché il fascio luminoso non esce dal materiale. (esce ma fortemente scomposto).

BDG e indice di rifrazione determinano se un materiale è opaco o trasparente.

trasparenti: indice di rifrazione di basso, assenza BDG.
(materiali monocristallini e vetrosi)

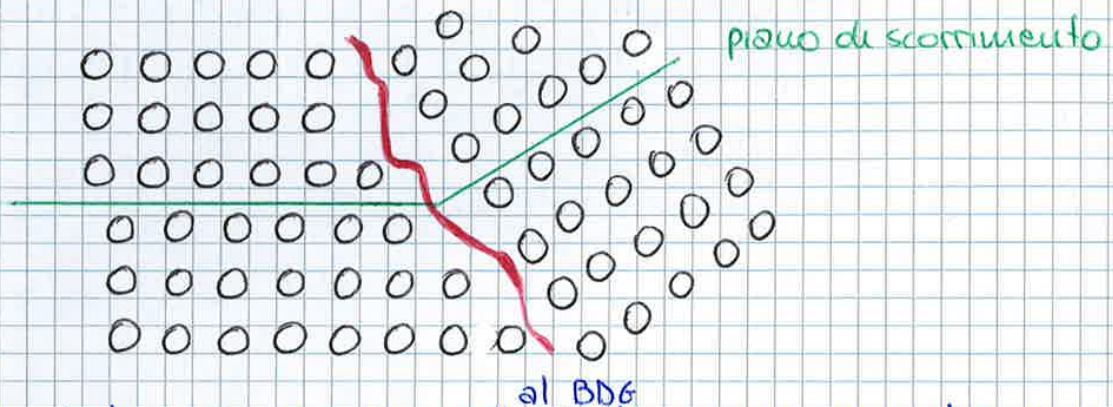
opachi: indice di rifrazione elevato o con molti BDG.
(metalli e ceramica).

" Perché la spada di Re Artù era stata martellata con più di 1000 colpi di maglio per renderla invincibile? "
Perché era stata rafforzata per **incrudimento!**



AFFINAMENTO DEL GRANO

I BDG costituiscono degli **ostacoli alla deformazione plastica**



quando la dislocazione arriva alla dislocazione incontra una **zona amorfa**. Servono carichi elevati per farle sorpassare il BDG.

Avere grani **piccoli**, aumentano il carico di snervamento.
Questo perché incontrano più zone ad elevata energia.

La **legge di Hall-Petch** indica la relazione tra durezza, carico di snervamento e la dimensione del grano.

$$D = D_0 + K d^{-\frac{1}{2}}$$

Labels for the equation:
- D : durezza
- D_0 : costante
- K : costante
- d : dimensione media grano.

La dimensione del grano dipende dalla **velocità di raffreddamento**, maggiore è la velocità di raffreddamento minore è la dimensione del grano.

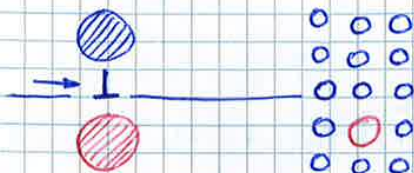
FORZE DI ATRAZIONE (Atmosfere di Cottrell)

Se ho:



una zona di compressione incontra una di trazione e si ottengono.

Se ho:



una zona di trazione incontra una di compressione e si ottengono.

Sono casi particolari.

"Perché l'acciaio è più duro e resistente del ferro?"

Perché rafforzato per soluzione solida interstiziale.

Gli atomi di C inducono stati tensionali nel reticolo che interagiscono con quelli delle dislocazioni. Il carico di snervamento è maggiore poiché bisogna vincere la repulsione.

Le impurezze e i difetti però abbassano la conducibilità ed elettrica.

RAFFORZAMENTO PER SECONDA FASE

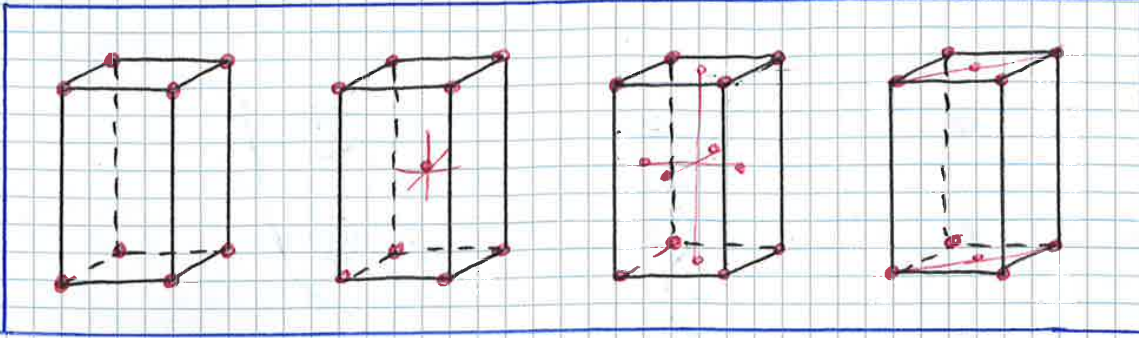
Se metto più soluto del limite di solubilità creo una seconda fase.

Ha un effetto rafforzante perché hanno quasi sempre carattere **ceramico**.

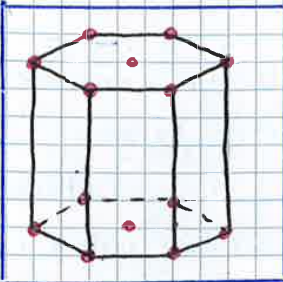
Le dislocazioni in questa fase fanno molta fatica a ~~muoversi~~ muoversi, interrompendo il moto, o meno di carichi più elevati.

Aumentano il carico di snervamento.

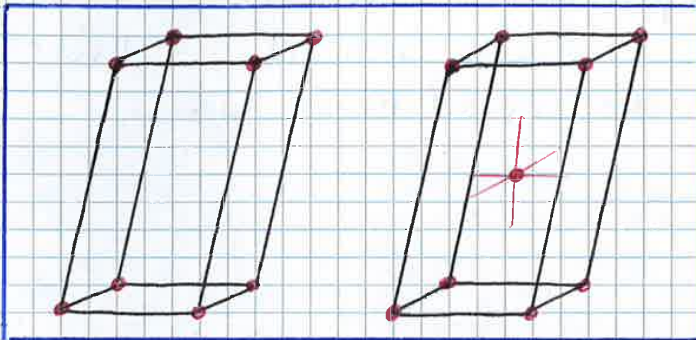
ORTOROMBICA



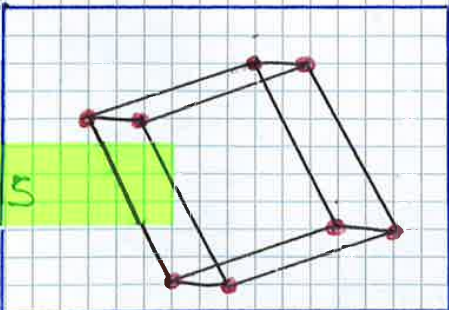
ESAGONALE



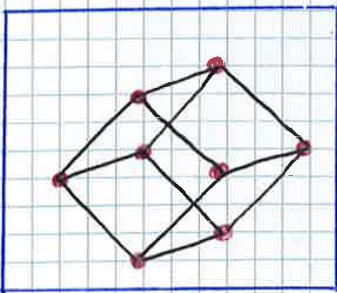
MONOCLINA

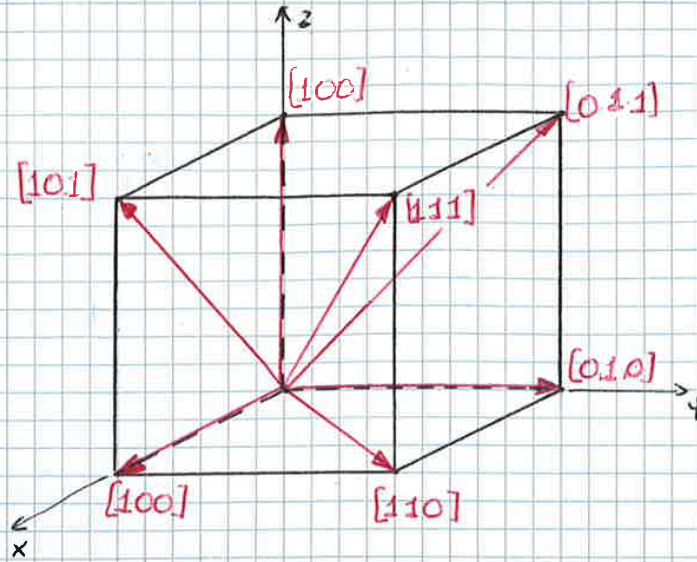


TRICLINA



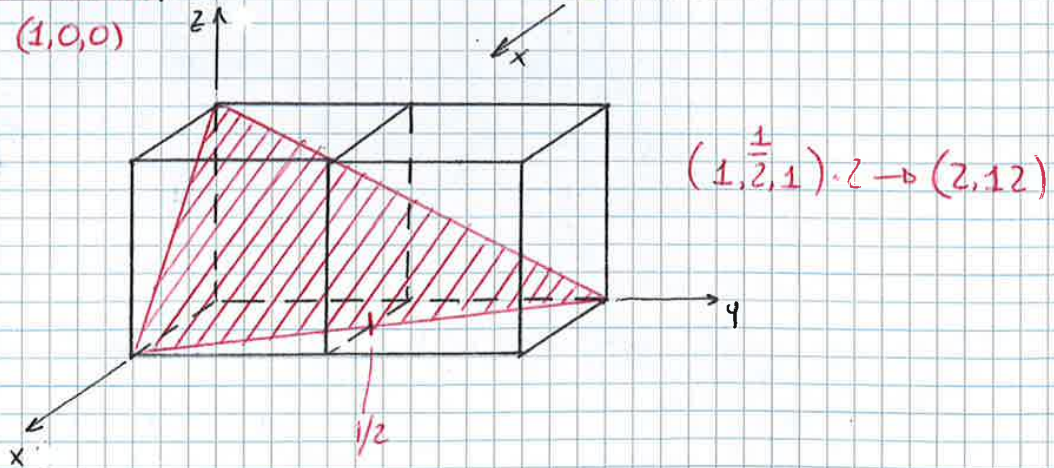
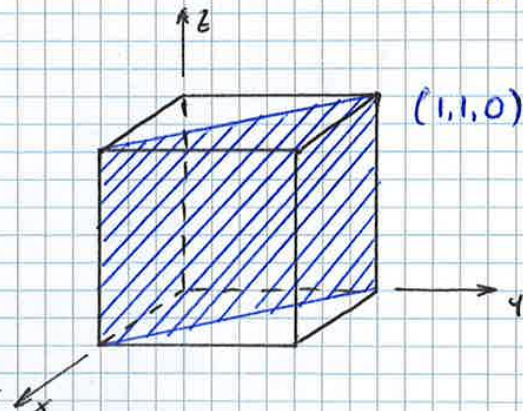
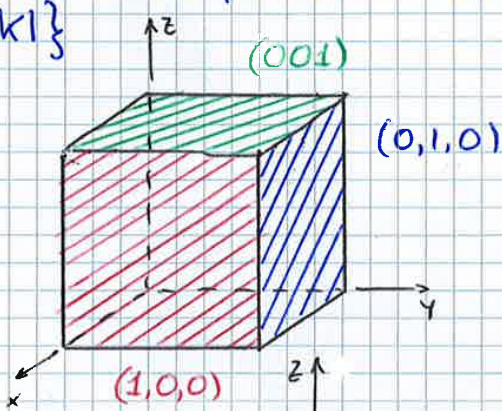
TRIGONALE





Per quanto riguarda i piani reticolari (Indice di Miller)
 (hkl)

Piani tra loro paralleli sono equivalenti e hanno indice uguale.
 $\{hkl\}$



Relazione tra lato della cella e raggio atomico:

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

la diagonale del cubo contiene 4 raggi.

Il fattore di compattazione atomica è la frazione di volume occupato dagli ioni rispetto al volume della cella.

Lo 0,68 è la porzione di spazio occupato dagli atomi.

Densità Lineare

Rapporto tra numero di diametri atomici intersecati dalla linea considerata e la lunghezza della linea stessa.

Densità Planare

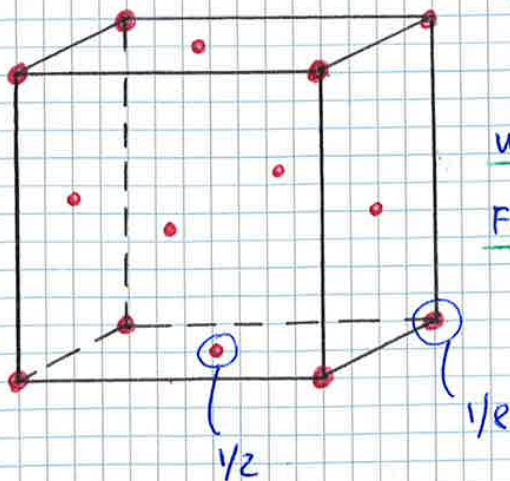
Rapporto tra area occupata dagli atomi i cui centri sono tagliati dall'area in esame e l'area selezionata.

(Rapporto fra pieni e vuoti su un piano).

La direzione di massimo impacchettamento per il Fe è la $\langle 111 \rangle$ per la struttura (CCC)

Il piano con la massima densità planare è il (110) con 0,88%.

CUBICA FACCE CENTRATE



n atomi per cella:

$$\frac{1}{8} \cdot 8 + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4 \quad (\text{più elevato impacch.})$$

n coordinaz: 12

FCA = 0,74

La direzione max impacchettamento è $\langle 011 \rangle$

Il piano con la max densità planare è il (111) con 90,7%.

piano di massimo impacc. →

STRUTTURE DEI MATERIALI CERAMICI IONICI

Rispetto ai metalli ci sono più strutture cristalline.

Non sono strutture cubiche.

Le celle sono fatte da ioni, che hanno una loro repulsione (stesso segno) perciò il parametro di cella maggiore, hanno perciò una densità minore. (sono leggeri.)

I piani reticolari sono a maggiore distanza e con minore densità atomica. (le dislocazioni non si muovono).

Avere degli ioni nel reticolo comporta che:

Bisogna tenere in considerazione la **dimensione relativa degli ioni**. (grandi e piccole) e che posseggono **cariche elettrostatiche**.

Per avere un'energia interna si cerca di avere un gran numero di coordinazione.

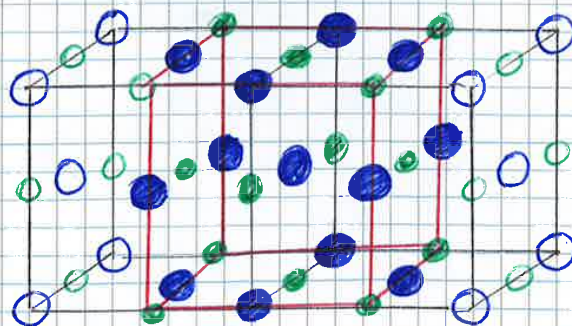
Per ottenere una struttura stabile il maggior numero di anioni deve circondare il catione (alto numero di coord. ↑) e gli anioni devono entrare in contatto con il catione centrale.

(Se non si toccano, non esiste come struttura cristallina)

OSSIDI DEL TIPO M_2O

Na_2O , FeO , NiO , CaO ecc ecc.

La struttura cristallina la vediamo come due reticoli FCC che si **compennano** (non è una struttura cubica!!!)

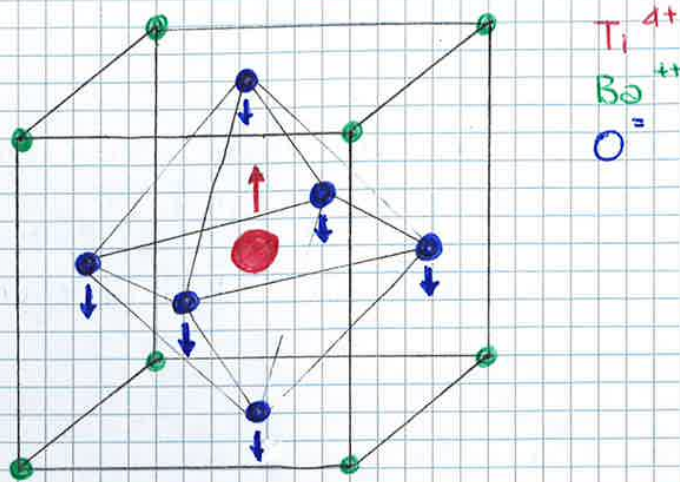


Struttura anioni e cationi si compennano.



(non è un ossido ma è la struttura di riferimento.)

OSSIDI MISTI $MeMe'O_3$ (1:1:3)
 Strutture del tipo perovskite ($BTiO_3$)

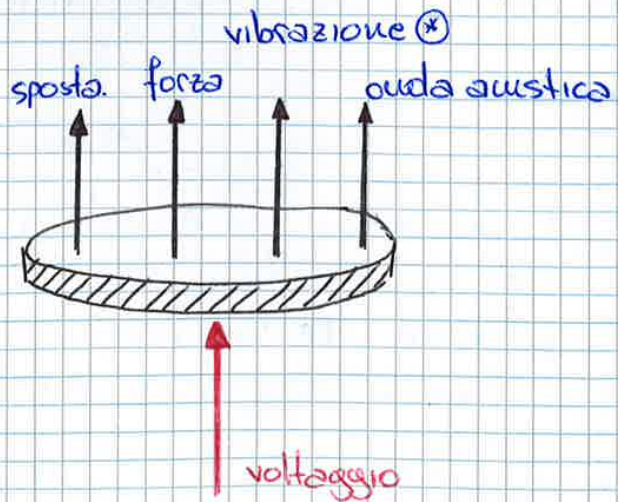
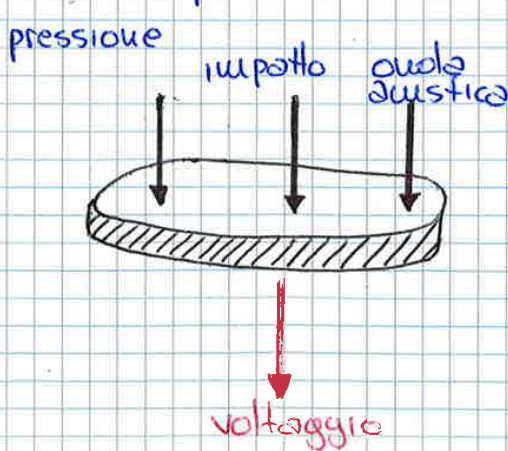


Sono materiali **piezoelettrici!**

Il titanio sta al centro poiché ha una carica elevata e va nella lacuna ottaedrica di un reticolo CFC (lacuna più grande), il catione metallico Ba^{2+} va ai vertici e l' O^{2-} centra le facce.

È un CFC più uno ione al centro.

Lo ione piccolo è carico, se si sposta tutte le cariche attorno si spostano (poiché è molto forte). Gli ioni O^{2-} si spostano per bilanciare la carica. Se sottoposti ad un impulso meccanico genera un segnale elettrico e viceversa. (materiali piezoelettrici).
 In presenza di un campo elettrico la struttura si deforma e dà un impulso meccanico.



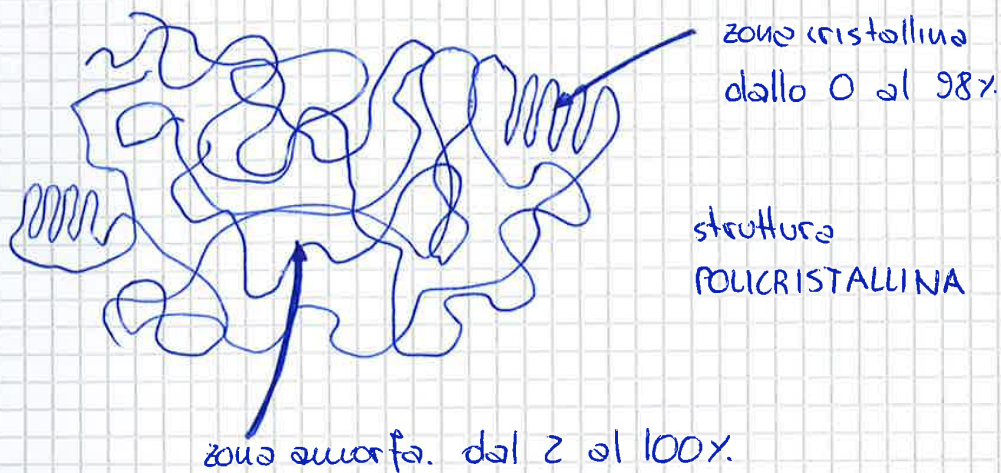
⊛ se il voltage non è continuo ma alternato.
 un minus spostamento genera un suo campo di carica.
 (gli Airbag funzionano per piezoelettrici).

STRUTTURE DEI SOLIDI MOLECOLARI - POLIMERI

Sono strutture **semi cristalline** poiché ci sono zone cristalline (atomi disposti in maniera ordinata) e zone amorfe.

I solidi molecolari hanno basse forze di coesione intermolecolari e alte forze intramolecolari perciò hanno **basse proprietà meccaniche**.

Hanno parametri reticolari alti.



La cristallinità si può controllare in fase di produzione.

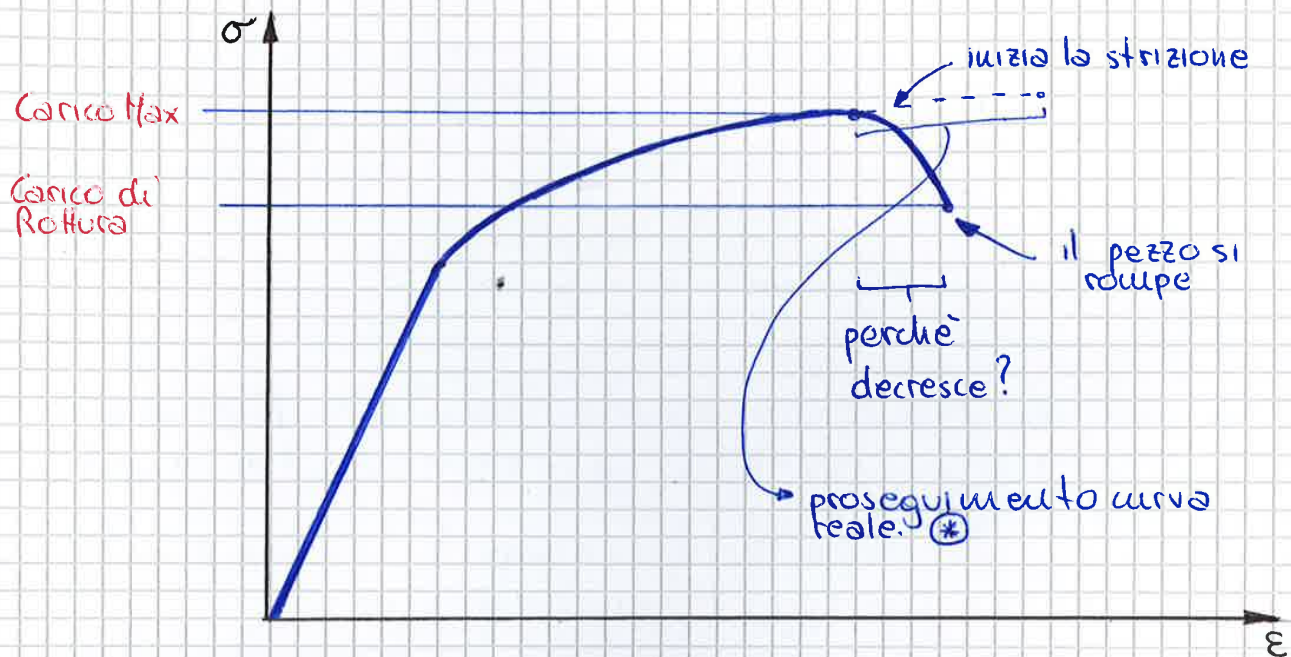
Le forze **intermolecolari** se elevate, favoriscono zone cristalline

Se devo ad esempio stampare un materiale, quindi deformato, devo avere carichi di snervamento bassi.

Esso dipende come già detto, da:

affinamento del grano, soluzioni solide sostituzionali e interstiziali, deformazione e fasi secondarie. (Meccanismi di rafforzamento).

CARICO MASSIMO E DI ROTTURA



Perché decresce?

Il materiale continua ad incrudire, ma la curva scende per il modo in cui eseguo la prova.

Dopo il carico Max cambia la sezione del provino (strizione, zona in cui la sezione diminuisce).

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ ma } A \text{ diminuisce!}$$

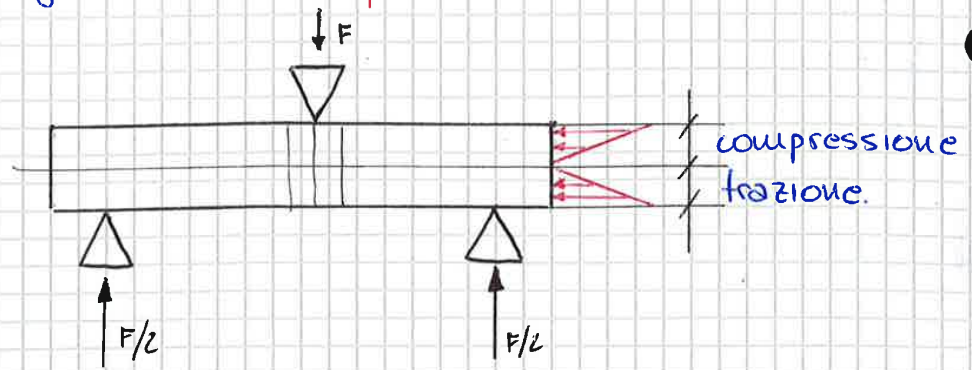
Dunque, siccome il calcolatore non considera la diminuzione di A , ma la mantiene costante, ottengo una deformazione del grafico. (ho una A più grossa!)

Se misurassi la sezione costantemente, la curva non decrescerebbe mai, sino a rottura. (*)

La curva "sbagliata" ci fa capire che dal carico max **cambia la sezione!**

FLESSIONE A 3/4 PUNTI

Per i materiali fragili è utile la prova di flessione.



per ottenere le curve:

$$\sigma = \frac{M_c}{I}$$

M = momento flettente

C = distanza centro provino - fibre esterne

I = momento d'inerzia sezione trasversale

Il test di flessione a 4 punti porta ad avere una parte consistente di campione sottoposto a carico max. Si evita la sottostima.

CREEP

Prova eseguita ad alte temperature. Alte temperature a secondo dei materiali. Si parla di temperatura Omologa.

$$T_0 = \frac{T_{effettiva}}{T_{fusione}}$$

La deformazione è progressiva nel tempo! (fenomeno che avviene lentamente.)

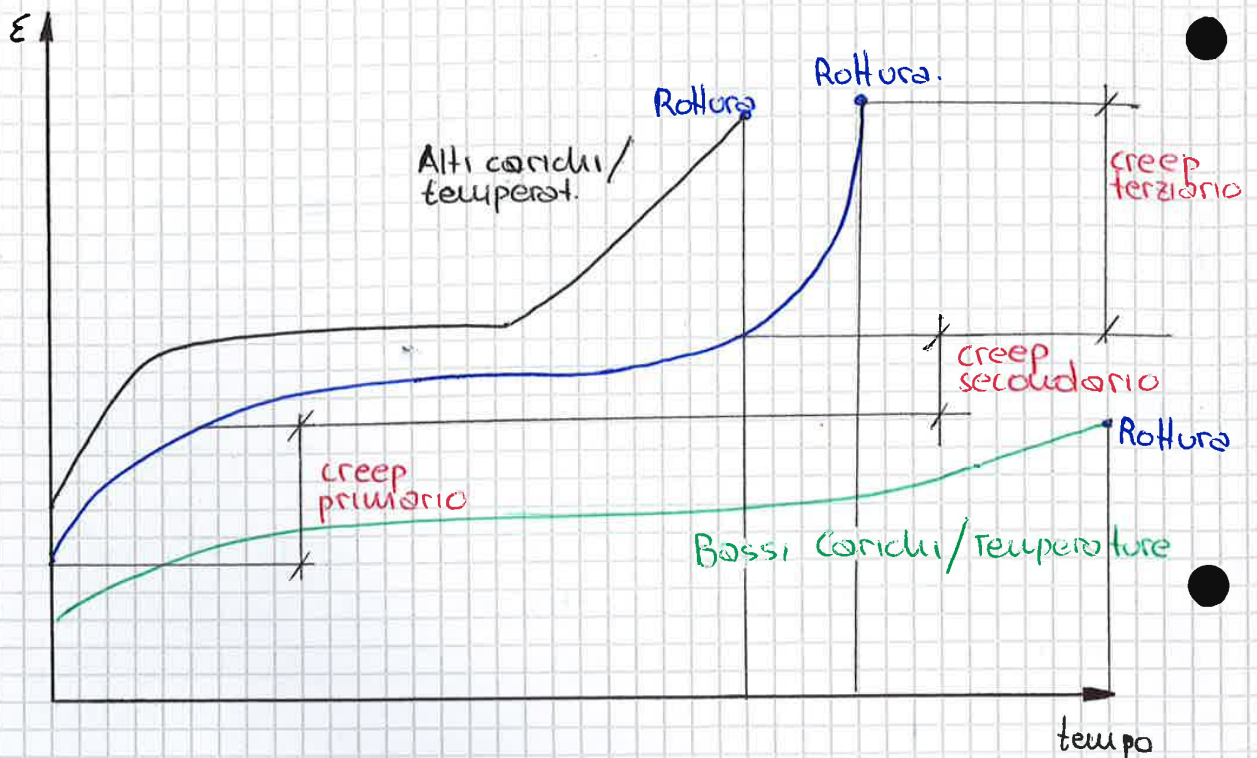
Se la T_0 è $\geq 0,4$ si verificano fenomeni di Creep.

Met Metallica $T_0 > 0,3$ o $0,4 T_{fus}$

Met Ceramica $T_0 > 0,6 - 0,7 T_{fus}$

Polimeri e Vetri $T_0 > T_g$ (Temperatura di transizione vetrosa).

Il Recovery è un fenomeno che richiede molto tempo



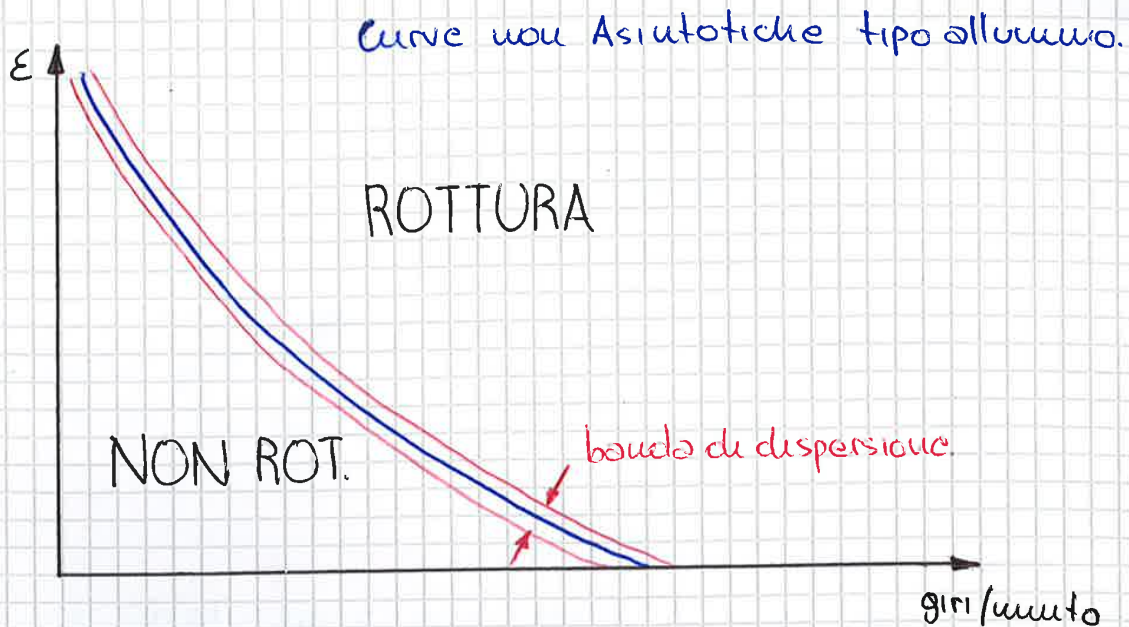
Nel **creep primario** l'incrudimento ha una velocità maggiore rispetto al recovery che è attivato termicamente e richiede tempi lunghi. Il recovery non ha tempo di avvenire.

Nel **creep secondario** ho l'incrudimento (aumentano le dislocazioni) ma ho il recovery (diminuiscono le dislocazioni) perciò il provino si deforma poco. Il recovery avviene poiché ho più tempo, sono a tempi elevati.

Nel **creep terziario** si deforma rapidamente e va subito a rottura. Ai bordi di grano si formano delle microcavità. Da quelle porosità nucleano delle cricche che portano il pezzo a frattura.

Ad alte T è sconsigliabile indurire il materiale per affinamento del grano.

Ad alti carichi diminuisce il creep secondario e il pezzo si rompe prima. Lo stesso vale per la T che velocizza i processi.



La banda di dispersione ci fa capire c'è una dispersione statistica che rende impossibile determinare con precisione dove e quando il pezzo si romperà.

Ma perché il pezzo si rompe?

Attorno alle zone di concentrazione delle sollecitazioni (intagli, spigoli vivi, difetti superficiali) avviene una **deformazione plastica iniziale e localizzata** detta **danno iniziale**.

Lo sforzo non è distribuito in maniera omogenea nel pezzo, il σ diventa così elevato che la deformazione diventa plastica.

I difetti superficiali sono impossibili da eliminare.

Nella zona del danno iniziale avviene l'**innesco** di una o più **cricche**.

La **coalescenza** delle cricche forma una o più **macrocricche**.

Tale macrocricche si **propagano** sino alla **rottura**.

I fattori che influenzano la resistenza a fatica è la concentrazione degli sforzi, la condizione superficiale, l'ambiente corrosivo e la temperatura di esercizio.

Un pezzo che si è rotto a fatica ce lo dice.

Si vede il danno iniziale e le **sup linee di spiaggia**. (il confine a cui è arrivata la cricca, ad ogni ciclo).