



Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2209A

ANNO: 2017

A P P U N T I

STUDENTE: Caruso Carlotta

MATERIA: Scienza e tecnologia dei materiali - Prof. Ferraris

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

Materiali d'Interesse Ingegneristico e Strutture

I principali materiali d'interesse in campo ingegneristico sono:

- 1) METALLI e le loro LEGHE
- 2) CERAMICI
- 3) POLIMERI
- 4) VETRI
- 5) COMPOSITI

① METALLI e LEGHE

I metalli sono costituiti da ELEMENTI e presentano un GRAN NUMERO di ELETTRONI DELOCALIZZATI, ovvero queste elettroni non sono legati ad un atomo particolare. Da ciò dipendono le loro proprietà:

- sono BUONI CONDUTTORI di CALORE ed ELETTRICITÀ
- presentano SUPERFICIE LUCENTE
- sono PREPARATI per FUSIONE
- sono LAVORABILI MECCANICAMENTE, ma resistenti
- sono SOLIDI a temperatura ambiente
- sono SOGGETTI a CORROSIONE ed OSSIDAZIONE
- danno ORIGINE alle LEGHE
- densità tra 2,7 e 8 g/cm³

② CERAMICI

I ceramici sono costituiti da composti, in genere OSSIDI, CARBURI o NITRURI (Al_2O_3 , SiC, S_3N_4).

Essi hanno proprietà quali:

- sono ISOLANTI sia TERMICI che ELETTRICI
- sono PREPARATI per SINTERIZZAZIONE
- sono DIFFICILMENTE LAVORABILI in quanto DURI e FRAGILI
- FONDONO a TEMPERATURE ELEVATE
- densità tra 3 e 5 g/cm³

③ POLIMERI

I polimeri sono composti ORGANICI MACROMOLECOLARI, naturali o sintetici, costituiti principalmente da carbonio, idrogeno ed elementi non metallici.

Essi hanno proprietà quali:

- sono ISOLANTI TERMICI ed ELETTRICI
- sono PREPARATI per SINTESI ORGANICHE
- sono LAVORABILI MECCANICAMENTE
- hanno SCARSE RESISTENZE MECCANICHE e vanno rinforzati e alla TEMPERATURA
- densità minore di 1 g/cm³ ovvero BASSA DENSITÀ
es) pneumatici, adesivi, vernici, bitumi...

④ VETRI

I vetri sono composti da OSSIDI (SiO_2 , Na_2O , CaO , Al_2O_3 , K_2O , ...).

Esistono

Esistono **PIÙ TIPI** di CELLE CRISTALLINE, più comuni sono:

- CUBICA a FACCE CENTRATE (CFC) o FCC



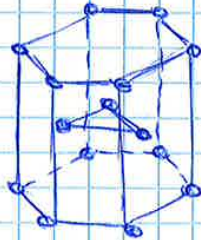
Come rame (Cu), alluminio (Al), argento (Ag), oro (Au)

- CUBICA a CORPO CENTRATO (CCC) o BCC



Come ferro (Fe), tungsteno (W), cromo (Cr)

- ESAGONALE COMPATTA



Come magnesio (Mg), titanio (Ti), zinco (Zn)

Alcuni elementi possono presentare anche più di una struttura cristallina. Questo fenomeno è detto **POLIMORFISMO** (o **ALLOTROPIA** nei solidi di elementi). La struttura cristallina, di volta in volta stabile, dipende dalle condizioni di pressione e temperatura. Può infatti accadere che la cella cristallina cambi forma durante il riscaldamento per tornare allo stato solido. Ciò determina un cambiamento anche delle proprietà meccaniche. Ne sono esempi Titanio, Ferro, Selenio.

Per distinguere un materiale cristallino da uno amorfo e riconoscere il tipo di cella si ricorre alla **DIFFRAZIONE** di RAGGI X. Questo fenomeno è possibile poiché i raggi X sono di dimensioni dello stesso ordine di grandezza degli atomi. Perciò in effetto di diffrazione, ovvero in interferenza costruttiva delle onde riflesse dai piani reticolari, occorre che la differenza di cammino ottico (Δ) fra le onde riflesse sia un multiplo intero della lunghezza d'onda λ . Dato $\Delta = 2d \sin \theta$, con θ l'angolo del raggio incidente, si definisce la **LEGGE di BRAGG**:

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

• **DIFETTI nei SOLIDI CRISTALLINI**

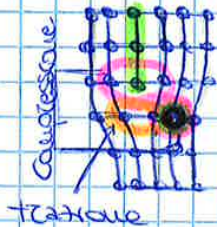
I MATERIALI CRISTALLINI non sono così ordinati in modo perfetto, sono bensì **RICCHI** di **DIFETTI RETICOLARI** che fanno venir meno la periodicità del reticolo cristallino. Si sa che tali difetti non vanno considerati con accettabile negatività, infatti molto spesso migliorano le proprietà meccaniche dei materiali.

Questi difetti possono essere di più tipi:

- DIFETTI PUNTUALI
- DIFETTI LINEARI
- DIFETTI di SUPERFICIE

→ INTERAZIONI tra DIFETTI:

- **INCRODIMENTO** → L'ABBONDANZA di DISLOCAZIONI, detta incrudimento, rende il materiale PIÙ RESISTENTE alle sollecitazioni meccaniche fino al punto in cui l'eccesso delle stesse determina la rottura del solido. Ciò avviene poiché le DISLOCAZIONI "dello stesso segno", invece dello stesso fatto, si RISPINGONO e si OSTACOLANO a vicenda.
- **ADDOLCIMENTO** → L'ELIMINAZIONE progressiva di DISLOCAZIONI poste in verso opposto, ad opera del calore, processo detto addolcimento, permette di COMPENSARE l'ECESSIVO INCRODIMENTO del materiale rendendo possibile così MODULARE le PROPRIETÀ MECCANICHE dello stesso.
- **DISLOCAZIONI e i DIFETTI PUNTUALI** → I DIFETTI PUNTUALI RAFFORTANO il TIPO delle DISLOCAZIONI poiché si presenta di atomi in più o di meno unita l'effetto delle dislocazioni e le blocca.



Come da disegno, il DIFETTO PUNTUALE determina una ZONA di COMPRESSIONE che si ANNULLA compensando la ZONA di TRAZIONE posta in basso alla DISLOCAZIONE e causata dalla stessa. Ciò ostacola il moto dei difetti lineari ed occorre applicare una forza maggiore per deformare.

Si nota che le DISLOCAZIONI si muovono su PIANI di SCORRIMENTO PREFERENZIALI, ovvero ad ALTA DENSITÀ ATOMICA poiché OCCORRE MENO ENERGIA per ROTPERE e RIFORTARE LEGAMI.

▶ DIFETTI SUPERFICIALI o TRIDIMENSIONALI

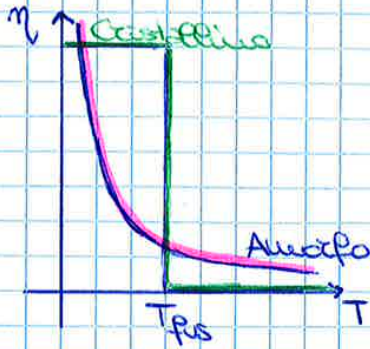
Sono:

- **la SUPERFICIE** → Gli atomi in superficie hanno MINOR NUMERO di COORDINAZIONE, pertanto sono PIÙ REATTIVI e determinano fenomeni come OSSIDAZIONE e CORROSIONE
- **BORDI di GRANO** → CONFINI che separano AREE con DIVERSA ORIENTAZIONE CRISTALLOGRAFICA (di un materiale POLICRISTALLINO) dette GRANI. lungo i BORDI di GRANO gli ATOMI sono legati da LEGAMI DISTORTI detti LEGAMI DIFETTIVI. Essi sono VISIBILI solo DOPO un ATTACCO CHIMICO in quanto, essendo SITI MOLTO REATTIVI, reagiscono solo gli atomi sul bordo di grano e non quelli all'interno. La forte reattività dei bordi di grano è data dall'abbondanza di legami difettivi, di atomi con numero di coordinazione inferiore e varie impurezze.

I BORDI di GRANO OSTACOLANO il TIPO delle DISLOCAZIONI poiché i LEGAMI DIFETTIVI COSTRINGONO le dislocazioni a CAMBIARE ORIENTAMENTO. Inoltre PIÙ sono PICCOLI i GRANI, PIÙ sarà DIFFICILE lo SPOSTAMENTO delle DISLOCAZIONI. Per questo motivo si usa la tecnica dell'AFFINAMENTO del GRANO, processo tecnico che riduce le dimensioni dei grani aumentando così le proprietà meccaniche del materiale.

La PRESENZA dei BORDI di GRANO rende il materiale OPACO poiché essi DIFFONDIRNO la LUCE che si crea.

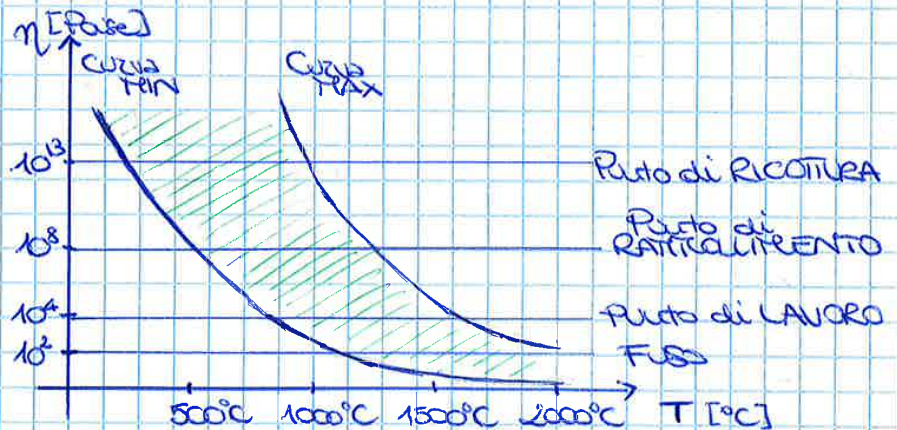
LO STATO AMORFO NON HA UNA TEMPERATURA DI FUSIONE FISSA, occorre bensì conoscere la VISCOSITÀ in FUNZIONE della TEMPERATURA. La VISCOSITÀ (η) è la RESISTENZA allo SCORRIMENTO LAMINARE, in risposta ad una sollecitazione meccanica applicata parallelamente alla superficie. Essa è dovuta all'ATRITO INTERNO fra le varie UNITÀ STRUTTURALI (ad es. le catene di tetraedri di SiO_4^{4-}) che devono scivolare tra loro. La viscosità si misura in POISE ovvero $P \cdot s = (N/m^2) \cdot s$. Ad esempio la viscosità dell'acqua a temperatura ambiente è 10^{-3} Poise.



La VISCOSITÀ degli AMORFI DEGRADA ESPONENZIALMENTE con l'AUMENTARE della TEMPERATURA secondo una curva continua. Dal grafico è evidente la differenza tra materiale cristallino e amorfo. L'AMORFO infatti NON FONDE, bensì RATTOLLISCE. È più comune lo stato amorfo degli solidi poiché ha fuso molto viscosa.

Per OGNI AMORFO non si potrà quindi di temperatura di fusione fissa, bensì di TEMPERATURE CARATTERISTICHE e VALORI FISSI di VISCOSITÀ.

Ci troviamo quindi ad esaminare CURVE di VISCOSITÀ SPECIFICHE per ciascun AMORFO in quanto relative alla composizione dello stesso. Più i LEGAMI sono DEBOLI, più sarà BASSA la CURVA della VISCOSITÀ.



Un materiale molto particolare è il VETRO METALLICO. I VETRI METALLICI sono ottenuti AUMENTANDO la VISCOSITÀ dei METALLI e RAFFREDDANDO VELOCISSIMAMENTE il FUSO in modo da ottenere una STRUTTURA AMORFA. Queste LEGHE METALLICHE hanno proprietà particolari quali un'ALTISSIMA RESISTENZA alle sollecitazioni meccaniche, ALTA DUREZZA, GRANDE CAMPO ELASTICO, INEQUIPARABILE RESISTENZA alla CORROSIONE (→ non vi sono bordi di grano).

ALL'INTERNO DEL CAMPO ELASTICO LA DEFORMAZIONE ϵ È DIRETTAMENTE PROPORZIONALE ALLA TENSIONE APPLICATA σ SECONDO IL MODULO DI YOUNG E (O MODULO ELASTICO).

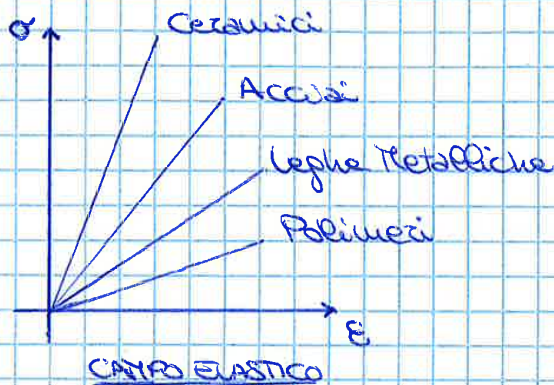
$$\sigma = E \epsilon$$

ALTI VALORI DEL MODULO ELASTICO SIGNIFICANO CHE SONO NECESSARIE TENSIONI ELEVATE PER PRODURRE DEFORMAZIONI MODESTE IN CAMPO ELASTICO, COME PER I CERAMICI.

BASSI VALORI DEL MODULO ELASTICO SIGNIFICANO CHE SONO NECESSARIE BASSE TENSIONI PER PRODURRE GRANDI DEFORMAZIONI IN CAMPO ELASTICO, COME PER I POLIMERI.

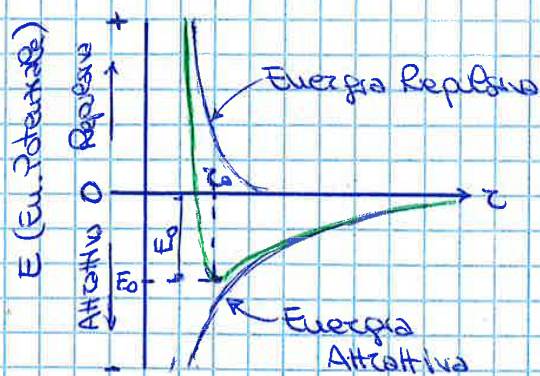
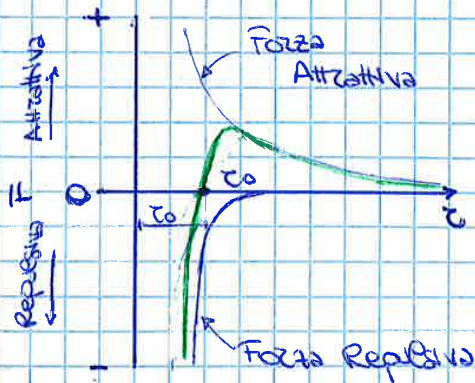
Si ha in fatto che:

$$E_{\text{ceramici}} > E_{\text{metalli}} \gg E_{\text{polimeri}}$$



IL MODULO ELASTICO È DIRETTAMENTE PROPORZIONALE ALLA FORZA DI LEGAME DEL MATERIALE. PERTANTO, POICHÉ I LEGAMI DEI CERAMICI SONO PIÙ FORTI, ESSI PERMETTONO UNA MINOR DEFORMAZIONE CHE IMPLICA UNA ELEVATA RESISTENZA DELLA RETE, OLTRE ALTO MODULO ELASTICO. I CERAMICI INOLTRE NON RAFFRANCONO IL CAMPO ELASTICO IN QUANTO LE DISTANZE NON POSSONO MUOVERSI.

LE DEFORMAZIONI ELASTICHE MACROSCOPICHE DERIVANO DALLA VARIAZIONE DELLE DISTANZE INTERATOMICHE SENZA CHE VI SIA LA ROTTURA DI ALCUNI LEGAMI. APPLICANDO UNA FORZA F SI DETERMINA L'AUMENTO DEGLI ATOMI DALLA POSIZIONE DI EQUILIBRIO z_0 . QUANDO IL MATERIALE NON È PIÙ SOTTO CARICO GLI ATOMI RITORNANO NELLA POSIZIONE DI EQUILIBRIO SOTTO L'AZIONE DELLE FORZE INTERATOMICHE.

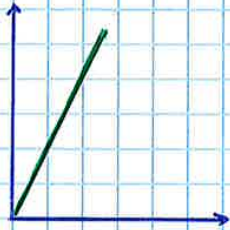


CURVE di CONDON-TORSE

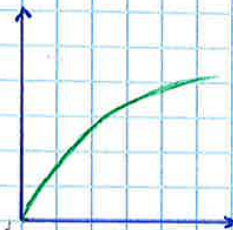
COME SI Vede DALLE CURVE DI CONDON-TORSE, CHE STABILISCONO IL RAPPORTO TRA FORZA ATTRATTIVA E REPULSIVA CHE INTERAGISCE VARIANDO LA DISTANZA E SOLO IN EQUILIBRIO ALLA DISTANZA DI LEGAME z_0 , CI CORRISPONDE UN PRECISO VALORE E_0 DI ENERGIA DETTO ENERGIA DI LEGAME.

IL COMPORTAMENTO IN CAMPO ELASTICO può essere:

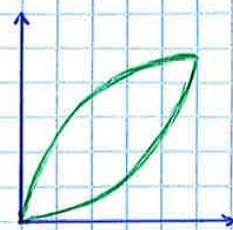
- LINEARE → come per metalli, ceramici e parte dei polimeri
- NON LINEARE → come per calcestruzzo, ghise e alcuni polimeri, in cui il modulo elastico si determina localmente utilizzando modulo secante o modulo tangente
- ANELASTICO → come per alcuni polimeri per cui occorre un certo tempo per deformarsi e per recuperare la deformazione



ELASTICO LINEARE

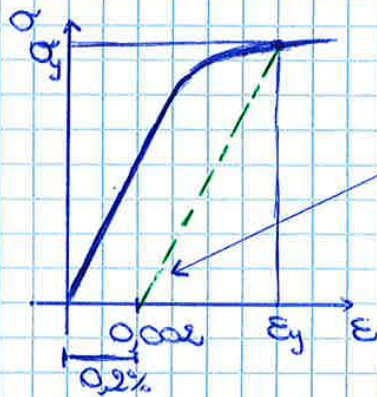


ELASTICO NON LINEARE



ANELASTICO

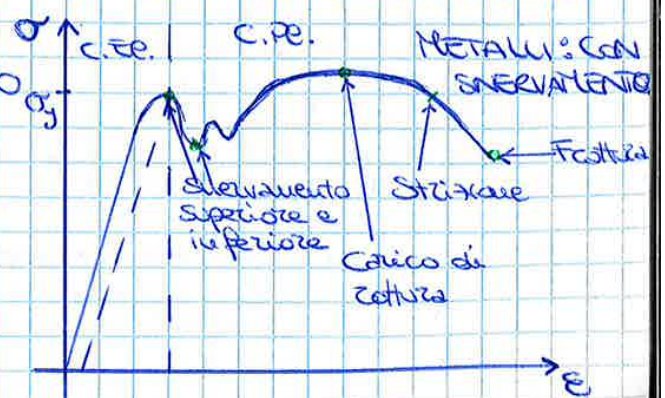
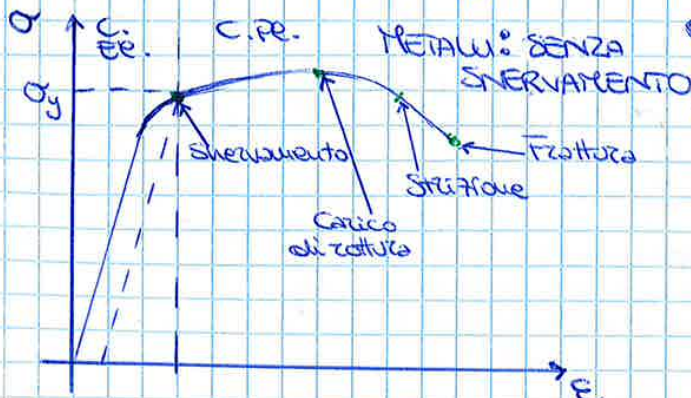
La MISURA del LIMITE ELASTICO o SNERVAMENTO si individua tracciando una PARALLELA ALLA RETTA del CAMPO ELASTICO del 0,2% di DEFORMAZIONE. L'INTERSEZIONE di questa retta parallela con la curva σ - ϵ fornisce il VALORE del LIMITE ELASTICO.

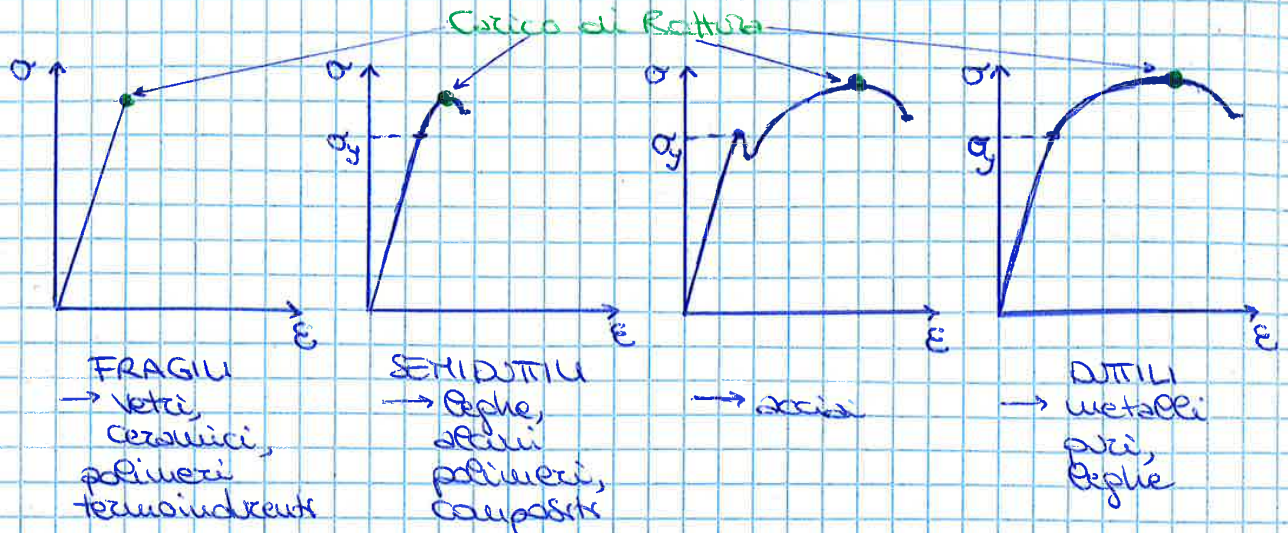


Carico unitario di spostamento delle proporzionalità ($R_{p0,2}$)

• CAMPO PLASTICO

Quando la sollecitazione supera il CARICO di LIMITE ELASTICO ha INIZIO la DEFORMAZIONE PLASTICA, ovvero una DEFORMAZIONE PERMANENTE dovuta alla rottura e al RIFORTARSISI di LEGAMI ATOMICI in ALTRE POSIZIONI. L'inizio della deformazione corrisponde alla TENSIONE σ_y (YIELD STRESS) o LIMITE ELASTICO. Se si rimuove il carico applicato, il provino recupera la DEFORMAZIONE ELASTICA, ma rimane una DEFORMAZIONE RESIDUA.

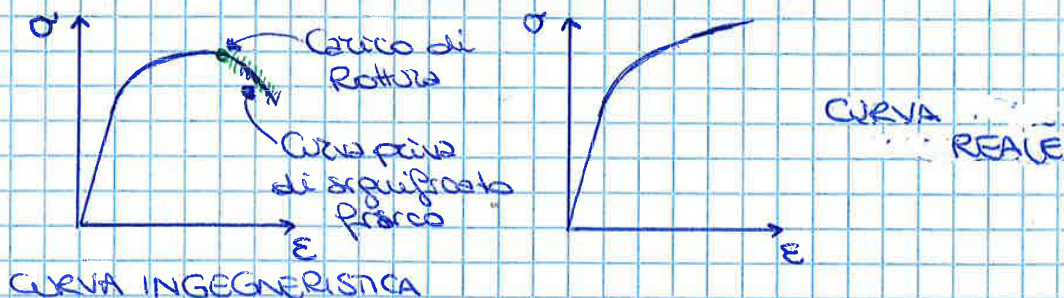




Suoi che la CURVA σ - ϵ dei CERAMICI NON presenta CARICO PLASTICO poiché le DISLOCAZIONI NON POSSONO SCORRERE in quanto NON È POSSIBILE le RIFORMARSI dei LEGAMI. Ad ALTISSIME TEMPERATURE, tuttavia, i CERAMICI PRESENTANO TRATTO PLASTICO in quanto il CALORE FORNITO dà l'ENERGIA NECESSARIA alla FORMAZIONE di NUOVI LEGAMI PERMETTENDO il MOTO delle DISLOCAZIONI.

La FRATTURA FRAGILE avviene SENZA ALCUNA DEFORMAZIONE PLASTICA con RAPIDA PROPAGAZIONE della CRICCA in direzione PERPENDICOLARE alla direzione del CARICO applicato. Nei MONOCRISTALLI la PROPAGAZIONE della CRICCA avviene per ROTURA di LEGAMI LUNGO un PIANO RETICOLARE e prende il nome di CLIVAGGIO (cleavage). Nei POLICRISTALLINI la CRICCA si PROPAGA LUNGO i BORDI di GRANO creando una frattura detta FRATTURA INTERGRANULARE.

Suoi che la CURVA σ - ϵ OLTRE il CARICO di ROTURA NON HA SIGNIFICATO FISICO in quanto NON TIENE CONTO della DIMINUIZIONE SIGNIFICATIVA della SEZIONE del PROVINO dovuta al processo di STRIZIONE. Pertanto occorre considerare non la CURVA σ - ϵ reale, detta INGEGNERISTICA, bensì la CURVA REALE.



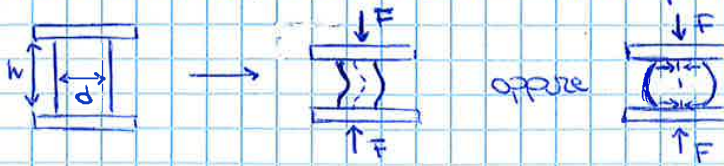
In un'ottica semplificata ai fini del calcolo possiamo classificare i MATERIALI come DUTTI o FRAGILI in base all'ALLUNGAMENTO DOPO ROTURA che indichiamo con A . %:

- $A < 5\%$ → MATERIALE FRAGILE
- $5\% < A < 10\%$ → transizione
- $A > 10\%$ → MATERIALE DUTTO

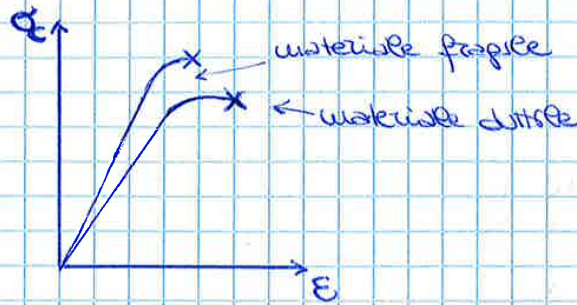
Le PROPRIETÀ di RESISTENZA e DUTTILITÀ sono in ANTITESI. Inoltre aumentando la RESISTENZA via via MAGGIORE, il MARGINE tra LIMITE ELASTICO e ROTURA DIMINUISCE e quindi anche l'ALLUNGAMENTO A ROTURA (→ le ghise grigie hanno $A \approx 0$)

• PROVA di COMPRESSIONE

La PROVA di COMPRESSIONE è UTILE per MATERIALI FRAGILI



In questo tipo di prova la CRACK NON si PROPAGA e si ottiene una CURVA σ - ϵ :

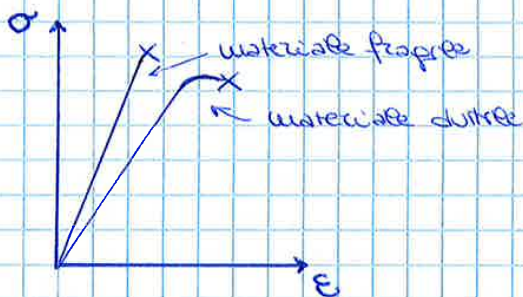


• PROVA di FLESSIONE



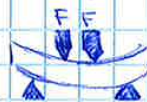
In una PROVA di FLESSIONE a TRE PUNTI si ottiene la seguente espressione:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2}$$

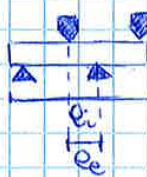


Esistono anche prove di FLESSIONE a QUATTRO PUNTI:

- SIMMETRICA



- ASIMMETRICA



$$T = F \frac{e_e - e_i}{e_e + e_i}$$

MISURA della RESISTENZA a TAGLIO dei MATERIALI GIUNTATI

• RESISTENZA allo SCORRIMENTO VISCOSO o CREEP

Il CREEP è una DEFORMAZIONE PLASTICA che avviene anche se la TENSIONE è ancora in CAMPO ELASTICO. Si tratta di un fenomeno, dovuto all'APPLICAZIONE COSTANTE di un CARICO, che è ATTIVATO TERMICAMENTE. In particolare:

- Materiali METALLICI $\rightarrow T > 0,3 - 0,4 T_{ps}$
- Materiali CERAMICI $\rightarrow T > 0,6 - 0,7 T_{ps}$
- VETRI e POLIMERI $\rightarrow T > T_0$ (= temperatura di transizione)

Le CURVE di CREEP sono ottenute in TEMPI PIU' BREVI AUMENTANDO σ e T ed estrapolando il valore interessato con metodi numerici. La PROVA di CREEP consiste infatti nell'applicare un CARICO COSTANTE per un TEMPO RELATIVAMENTE LUNGO ad un'ELEVATA TEMPERATURA.

MECCANICA della FRATTURA

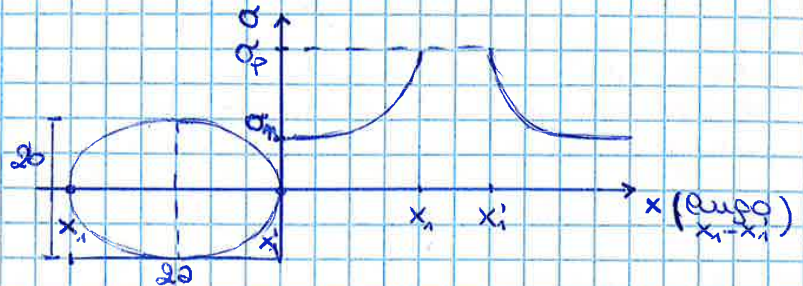
Se in un MATERIALE sono presenti CRICCHE o INTAGLI (= dovuti a lacerazione meccanica) la TENSIONE all'APICE di questi è MOLTO MAGGIORE poiché in quel punto si CONCENTRANO gli SFORZI. Distinguiamo allora la TENSIONE APPLICATA detta NOMINALE da quella che REALMENTE agisce all'APICE detta TENSIONE di PICCO.

Nel caso di:

- INTAGLIO (rettangolo o circolare):

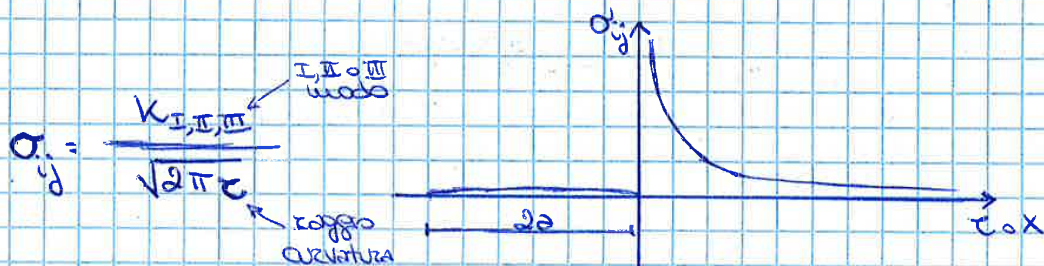
La TENSIONE è ELEVATA, ma FINITA. Si ricava un FATTORE di CONCENTRAZIONE degli sforzi, K_t .

$$\sigma_p = K_t \sigma_m$$



- CRICCA (centrale passante)

La TENSIONE viene detta SINGOLARE e TENDE a INFINITO all'APICE della CRICCA



In generale i difetti MACROSCOPICI, quali PORI, CRICCHE o INTAGLI, AGISCONO come CONCENTRATORI di SFORZI al loro APICE. Pertanto la TENSIONE EFFETTIVAMENTE PRESENTE (σ_u) all'apice di una cricca è SUPERIORE a quella che si PENSA di APPLICARE (σ_0). Se NON ci fossero difetti la RESISTENZA A ROTTURA sarebbe VICINA ai VALORI IDEALI (\rightarrow TEORIA di GRIFFITH), cosa che AVVIENE infatti per IONOCRISTALLI o CERAMICI di PICCOLE DIMENSIONI.

$$\sigma_u = \sigma_0 \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho_t}} \right) \quad \text{con } \begin{cases} a = \text{semiasse della cricca} \\ \rho_t = \text{raggio di curvatura} \end{cases}$$

Se la CRICCA ha RAGGIO di CURVATURA MOLTO PICCOLO e la CRICCA è LUNGA quest'effetto si approssima come:

$$\sigma_u = 2\sigma_0 \sqrt{\frac{a}{\rho_t}}$$

Quindi $\sigma_u \gg \sigma_0$. Un MATERIALE che si DEFORMA PLASTICAMENTE può ARROTONDARE l'APICE della CRICCA AUMENTANDO il RAGGIO ρ_t e DIMINUENDO σ_u . La SOLLECITAZIONE CONTINUA del MATERIALE fa sì che la TENSIONE σ_u OSCILLI fino alla ROTTURA che in questo modo GRADUALE. Se NON si DEFORMA PLASTICAMENTE CEE DI SCHIANO.

avviene sulla SUPERFICIE del MATERIALE poiché presenta DIFETTI. ESSO è riconoscibile poiché ha SUPERFICIE LISCIA e LUCENTE. Se i MATERIALI sono DUTTI, possono CONTRASTARE ENTRO CERTI LIMITI la PROPAGAZIONE della CRICCA, ma poi cedono per FRATTURA FRAGILE. Se sono MATERIALI FRAGILI la FRATTURA è FRAGILE e CATASTROFICA. La FRATTURA FRAGILE è riconoscibile dalla SUPERFICIE GRANULARE.

Per RENDERE PIÙ RESISTENTI A FATICA i materiali si ricorre abitualmente a TRATTAMENTI SUPERFICIALI, in modo da IMPEDIRE l'INNESCO della CRICCA, quali:

- TEMpra, CEMENTAZIONE, SABBIAURA, NITRURAZIONE → Incaudiscano la superficie, ma lasciano invariato l'interno
- RIVESTIMENTI
- PROGETTAZIONE OPPORTUNA → L'assenza di spigoli vivi permette una maggiore resistenza poiché essi agiscono come concentratori di sforzi.
- PROGETTAZIONE A FATICA → la conoscenza della meccanica della frattura a fatica permette di progettare conoscendo la vita media dei componenti.

La FATICA può essere anche FATICA TERTICIA o A CORROSIONE.

• DUREZZA

La DUREZZA è la RESISTENZA che il materiale oppone quando sottoposto una PICCOLA PARTE di SUPERFICIE è SOBLECTATA a COMPRESSIONE (o INDENTAZIONE). L'INDENTATORE SOTTOPOSTO a CARICO provoca una localizzata DEFORMAZIONE ELASTICA seguita da quella PLASTICA che LASCIA un'IMPRONTA. Le MISURE di DUREZZA sono BASATE sulla VARIAZIONE delle DIMENSIONI dell'IMPRONTA e della PROFONDITÀ di PENETRAZIONE della punta.

Esistono più TIPI di PROVE di DUREZZA:

- VICKERS → Indentatore a PUNTA di DIAMANTE con PICCOLI CARICHI, IMPRONTA OSSERVATA al MICROSCOPIO OTTICO
 $\rightarrow HV = 1,854 P / L^2$ con P = carico e L = la diagonale dell'impronta
 Se la punta è RETTANGOLARE (\rightarrow PROVE di KNOOP) si ha $\rightarrow HK = 14,2 P / L^2$
- BRINELL → Indentatore a SFERA (\varnothing 10 mm) di ACCIAIO o CARBURO di TUNGSTENO. Conoscendo il \varnothing diametro della sfera si misura al microscopio il \varnothing diametro dell'impronta
 $\rightarrow HB = P / (\pi \varnothing^2 h) = \text{carico} / \text{area impronta}$
- ROCKWELL e ROCKWELL SUPERFICIALE → Rispettivamente CONO di DIAMANTE e SFERA con DIAMETRO VARIABILE STABILITO di ACCIAIO. Si misura la durezza per DIFFERENZA di PROFONDITÀ di DUE IMPRONTE SUCCESSIVE, una a basso e una ad alto carico. La ROCKWELL SUPERFICIALE presenta CARICHI INFERIORI.
 $\rightarrow HR$ con NOME SCALA (es. 60 HR30W = 60 HR sp. nella scala 30W) per la ROCKWELL SUPERFICIALE
 $\rightarrow HR$ con LETTERA della SCALA (es. 80HRB = 80 HR in scala B)
 Le SCALE due si distinguono se SOVRAPPONGONO. I valori sotto 20 o sopra 100 sono INAFFIDABILI pertanto in questi casi si adotta la scala rispettivamente inferiore o superiore

I VALORI di DUREZZA possono ESSERE CONVERTITI con le UNITÀ di MISURA degli ALTRI TIPI di PROVE.

Esiste una CORRELAZIONE tra DUREZZA e CARICO di ROTTURA; infatti $\sigma_r = 3,45 HB$. Per questo motivo le PROVE di DUREZZA sono PIÙ USATE rispetto a quelle di trazione: sono infatti PIÙ SEMPLICI, POCO COSTOSE, NON DISTRUTTIVE, si possono DEDURRE ALTRE PROPRIETÀ MECCANICHE (come il carico di rottura).

• DUTTILITÀ

La DUTTILITÀ è una MISURA della DEFORMAZIONE PLASTICA che un materiale può SOSTENERE SENZA ROMPERSI.

Essa può essere espressa come:

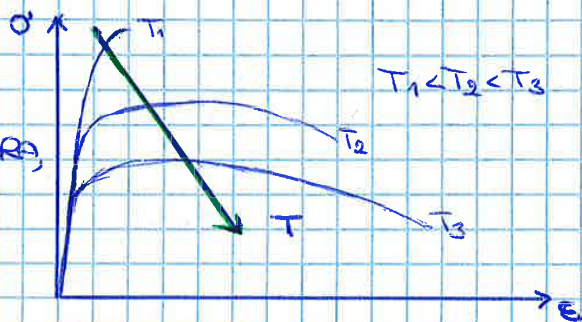
- ALLUNGAMENTO PERCENTUALE (A%)

$$A = 100 \cdot \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad \text{dove } L_f = \text{lunghezza a rottura}, L_0 = \text{lunghezza iniziale}$$

- PERCENTUALE di RIDUZIONE della SEZIONE (Z%)

$$Z = 100 \cdot \frac{S_0 - S_f}{S_0} \quad \text{dove } S_0 = \text{area iniziale}, S_f = \text{area alla rottura}$$

Si nota infatti che le regioni ELASTICO, il CARICO di SNERVAMENTO e il CARICO di ROTTURA DIMINUISCONO all' AUMENTARE della TEMPERATURA, ma la DUTTILITÀ AUMENTA.



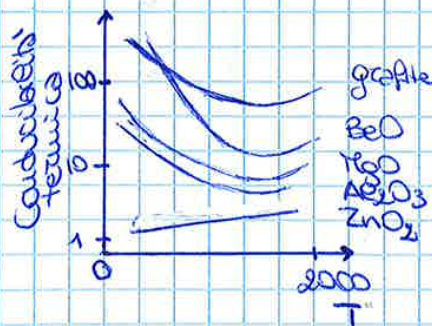
► **POLIMERI**

IL TRASFERIMENTO di ENERGIA è legato alle VIBRAZIONI e ROTAZIONI delle CATENE MOLECOLARI. La CONDUCEBILITÀ TERMICA DIPENDE dal GRADO di CRISTALLINITÀ: PIÙ è CRISTALLINO e PIÙ sarà CONDUTTIVO poiché le CATENE MOLECOLARI VIBRANO MEGLIO.

Sono SPESSE usati come ISOLANTI TERMICI poiché hanno CONDUCEBILITÀ TERMICA $k \sim 0,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. L'AGGIUNTA di POROSITÀ DIMINUISCE ulteriormente la CONDUCEBILITÀ TERMICA poiché rende il TRASFERIMENTO di CALORE LENTO e INEFFICACE in quanto i PORI CONTENGONO ARIA con $k \sim 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Sono così stati sviluppati AEROGEL di SILICE aventi BASSA DENSITÀ, 95% di ARIA e PORI di DIAMETRO 20 nm con CONDUCEBILITÀ TERMICA INFERIORE a quella dell'ARIA. Ciò accade poiché i pori contengono aria e ostacolano la conduzione per convezione.

► **CERAMICI**

Poiché i FORTI LEGAMI INTERATOMICI rendono INSUFFICIENTE il NUMERO di ELETTRONI LIBERI, la CONDUZIONE TERMICA DIPENDE dalla PROPAGAZIONE dei FONONI. Tuttavia i FONONI NON sono altrettanto EFFICACI poiché vengono DISPERSI dalle IMPERFEZIONI RETICOLARI quali IMPUREZZE e POROSITÀ. Pertanto i CERAMICI sono TERMICAMENTE ISOLANTI, ma esistono CERAMICI ad ALTO COEFFICIENTE di CONDUCEBILITÀ TERMICA. Essi hanno ATOMI del tetraedro con MASSA ATOMICA SIMILE, FORTI LEGAMI (= alto modulo elastico), STRUTTURA CRISTALLINA SEMPLICE e ad ALTA SIMMETRIA, BASSO CONTENUTO di DIFETTI. Un esempio particolare è la GRAFITE che presenta un COMPORTAMENTO ANISOTROPO: essa ha ALTO k LUNGO i PIANI RETICOLARI, ma è ISOLANTE (= k bassissimo) PERPENDICOLARMENTE ai piani reticolari. La CONDUCEBILITÀ TERMICA DIMINUISCE all'AUMENTARE della TEMPERATURA poiché i FONONI vengono MAGGIORMENTE DISPERSI, ma a TEMPERATURE MOLTO ALTE tende ad AUMENTARE a causa del TRASFERIMENTO del CALORE RADIANTE.



• **DILATAZIONE TERMICA**

Generalmente tutti i SOLIDI si ESPANDONO se RISCALDATI, si CONTRAGGONO se RAFFREDDATI.

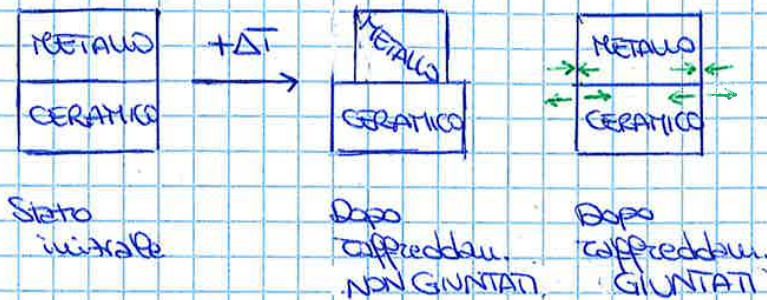
$$\frac{l_p - l_0}{l_0} = \alpha (T_p - T_0)$$

quindi:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T \quad \text{con } \alpha = \text{COEFFICIENTE di DILATAZIONE TERMICA}$$

Nei MATERIALI DUTILI le TENSIONI TERMICHE possono ESSERE RILASCIATE dalla DEFORMAZIONE PLASTICA. Nei MATERIALI FRAGILI, in presenza di TENSIONI TERMICHE, l'assenza di deformazione plastica aumenta la probabilità di FRATTURA FRAGILE. Inoltre un rapido RAFFREDDAMENTO induce TENSIONI di TRAZIONE che hanno EFFETTO PEGGIORE di quelle di COMPRESSIONE indotte dal RISCALDAMENTO.

Le TENSIONI TERMICHE possono essere PRESENTI anche all'INTERFACCIA di MATERIALI a DIVERSO COEFFICIENTE di DILATAZIONE TERMICA.



Le molecole che si dilatano di più (metallo), si contraggono di più. Si creano tensioni in superficie di contatto tra i due.

$$\sigma = \frac{E_m E_c}{E_m + E_c} \Delta T (\alpha_m - \alpha_c) \quad (\text{con } E = \text{modulo elastico})$$

Per GIUNTARE MATERIALI con α MOLTO DIVERSI, si PONE all'INTERFACCIA dei due uno STRATO di VETRO con α INTERMEDIO. Nei VETRI è in BILIN possibile VARIARE α o VARIARE della COMPOSIZIONE dello stesso ottenendo così le valse desiderate.

• RESISTENZA allo SHOCK TERMICO

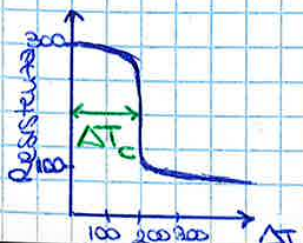
Il PARAMETRO della RESISTENZA agli SBALZI TERMICI (TSR) è l'INDICE del ΔT MASSIMO che un MATERIALE può SUBIRE SENZA DEGRADO delle PROPRIETÀ MECCANICHE.

$$TSR = \frac{\sigma_p k}{E \alpha_p} \quad \text{con } \sigma_p = \text{resistenza a flessione, } k = \text{coeff. conducibilità termica, } E = \text{modulo elastico, } \alpha_p = \text{coeff. di dilatazione termica lineare}$$

È quindi evidente che la RESISTENZA a SHOCK TERMICO NON DIPENDE SOLO dalla VARIAZIONE di TEMPERATURA, ma anche dalle PROPRIETÀ MECCANICHE.

Il VALORE PIÙ ALTO di TSR è quello dei METALLI, il MINORE è dei CERAMICI, ma anche i POLIMERI hanno BASSO TSR. I VETRI sono VARIABILI: più hanno ALTO CONTENUTO di SiO_2 più α è PICCOLO e si ha ELEVATO TSR.

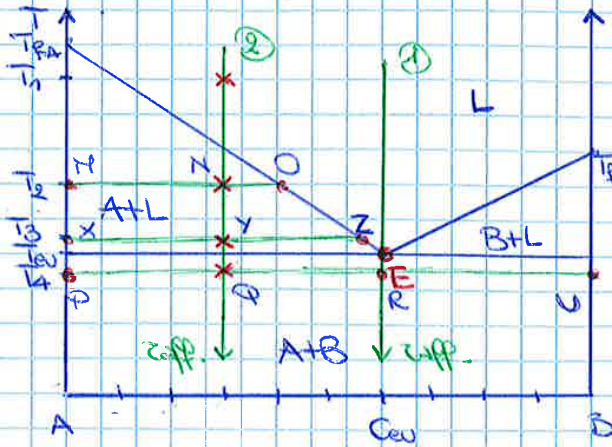
L'INTRODUZIONE di PORI o SECONDE FASI IMPEDISCE la PROPAGAZIONE delle CRICCHE indotte da TENSIONI TERMICHE ed AUMENTA il TSR.



Osservando il grafico è possibile stabilire la VARIAZIONE di TEMPERATURA CRITICA (ΔT_c) a cui avviene il crollo delle PROPRIETÀ MECCANICHE dovuto a FORTAZIONE di DIFETTI MACROSCOPICI o CRICCHE causate da DILATAZIONI o CONTRAZIONI REPENTINE.

• SOLUBILITÀ NULLA allo STATO SOLIDO, COMPLETA allo STATO LIQUIDO

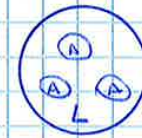
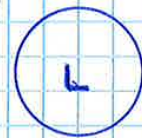
Nei casi in cui i composti non siano miscibili allo STATO SOLIDO si ottengono più FASI SOLIDE.



Notiamo che seguendo le raffreddamento ① nel punto E, dello PUNTO EUTETTICO, le condizioni di TEMPERATURA T_{eu} e COMPOSIZIONE C_{eu} permettono il PASSAGGIO da LIQUIDO a DUE COMPOSTI NON MISCIBILI SOLIDI A+B

Calcoliamo (Ciclo raffreddamento 2)°

T	Percentuale fasi	Composizione
T_1	100% L	30% B + 70% A
T_2	$\%L = \frac{MN}{MO} 100$	$L = 40\% B + 60\% A$
	$\%A = \frac{NO}{TO} 100$	$A = 100\% A$
T_3	$\%L = \frac{XY}{XZ} 100$	$L = 55\% B + 45\% A$
	$\%A = \frac{YZ}{XZ} 100$	$A = 100\% A$



$T_4 = T_{eu}$	$\%A_{primario} = \frac{QR}{PR} 100$	$A_{primario} = 100\% A$
	$\%St.Eu = \frac{PQ}{PR} 100$	$St.Eu = 100\% A + 100\% B$
	$\%A_{tot} = \frac{QU}{TU} 100 = 70\%$	$A_{tot} = A_{prim} + A_{St.Eu} = 100\% A$
	$\%B_{tot} = \frac{PQ}{TU} 100 = 30\%$	$B_{tot} = B_{St.Eu} = 100\% B \rightarrow B \text{ solo nella struttura eutettica!}$

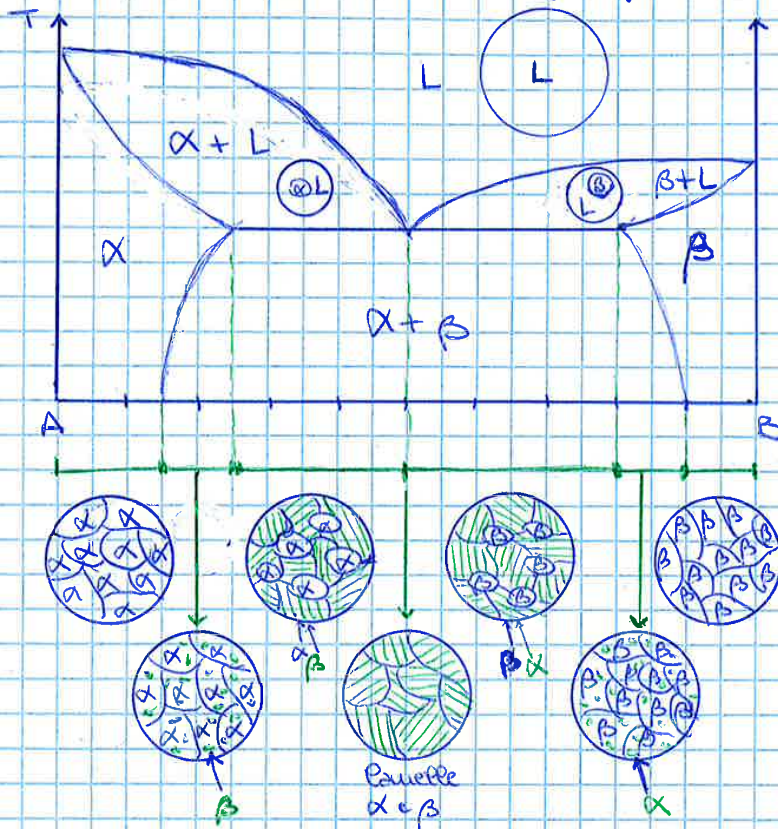


Si noti che T_{eu} è la TEMPERATURA di FUSIONE di A+B e $T_{eu} < T_{fus}^A < T_{fus}^B$ poiché i LEGAMI A-B sono diversi rispetto ad A-A o B-B. A T_{eu} si passa da un LIQUIDO con 60% B + 40% A ad un SOLIDO A+B con 100% B + 100% A (A puro + B puro). La SOLIDIFICAZIONE avviene a LAMELLE per tutto attorno GRANI di A_{prim} e GRANI di STRUTTURA EUTETTICA (Eutettica).

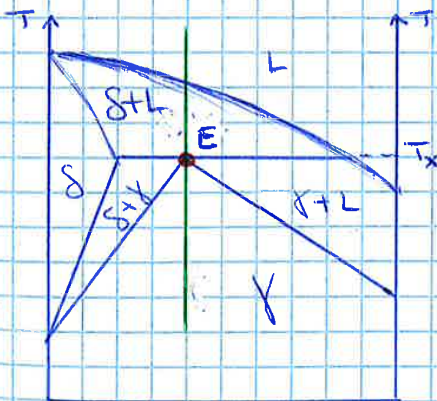
Se considero in fase le tappe del momento (1) tempo:



Riassumendo le possibili morfologie:



• PERITETTICHE



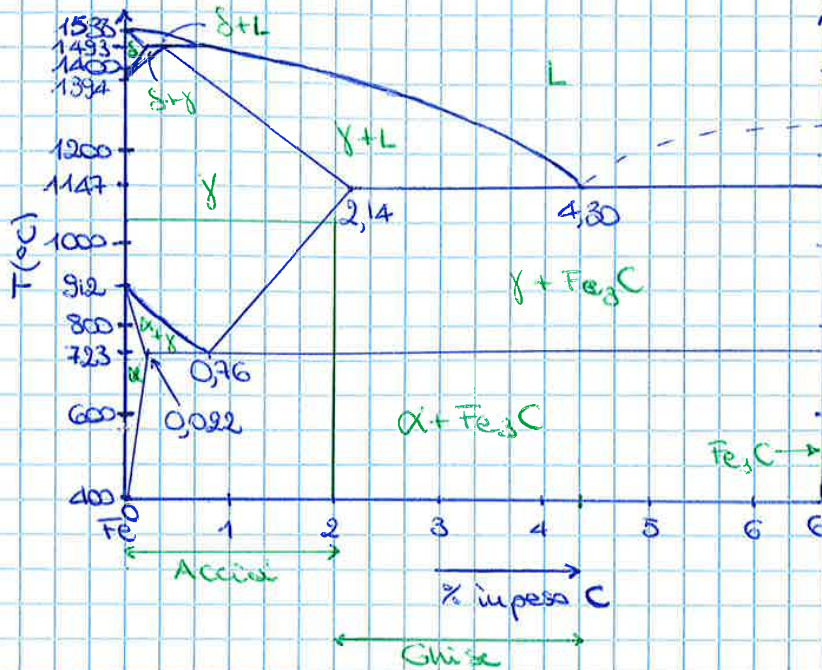
Si parla di PERITETTICHE quando si passa per RAFFREDDAMENTO da $\delta + L \rightarrow \gamma$

ovvero da SOLIDO + LIQUIDO \rightarrow SOLIDO e una da LIQUIDO \rightarrow SOLIDO. IL PUNTO E è detto EUTETTICO e l'ISOSTERIA a TEMPERATURA T_x è detta ISOSTERIA EUTETTICA.

Nel DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO si passa da $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ dove γ è l'AUSTENITE e α la FERRITE, mentre Fe_3C è il CEMENTITE. ALL'EUTETTICO si solidifica a LAMELLE di α e Fe_3C formando una struttura detta PERLITE. In questo processo si passa da γ con 0,76% di C a α con 0,02% C e Fe_3C con 6,7% C. \rightarrow RIDISTRIBUZIONE di C all'EUTETTICO \rightarrow ACCIAI DIVERSI.

Acciai

GLI ACCIAI SONO LEGHE FERRO - CARBONIO con CARBONIO fino al 2% in peso.



La FASE δ è una SOLUZIONE SOLIDA di Fe δ e C fino ad un MASSIMO di 0,02% di C, DUTILE e MALLEABILE, detta FERRITE. Ha reticolo CCC.

La FASE γ è una SOLUZIONE SOLIDA di Fe γ e C fino ad un MASSIMO di 2,14% di C detta AUSTENITE con reticolo FCC.

La FASE δ è una SOLUZIONE SOLIDA di Fe δ e C con reticolo CCC, ma di SCARSA RILEVANZA TECNOLOGICA poiché stabile ad alte temperature.

IL DIAGRAMMA FERRO - CARBONIO risulta DIVISO in DUE PARTI: FERRO - CEMENTITE (6,70% di C in peso) e dal 6,70% di C al 100% di C. Il diagramma presentato viene detto METASTABILE poiché il composto Fe_3C detto CEMENTITE si DECOMPONE in $3Fe + C$ dopo DIVERSI ANNI a 600-700 °C. Il diagramma stabile è quello Fe-C.

Notiamo delle TRASFORMAZIONI di particolare rilevanza:

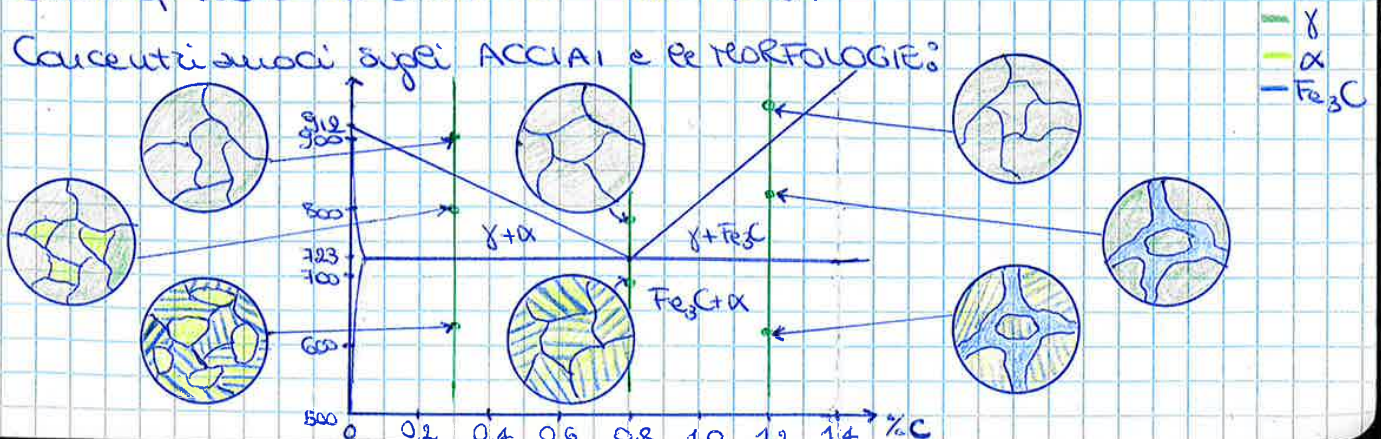
- PERITETICA a 1493 °C e C = 0,15% $\rightarrow \delta + L \xrightarrow[-\Delta T]{+\Delta T} \gamma$
- EUTETICA a 1147 °C e C = 4,3% $\rightarrow L \xrightarrow[-\Delta T]{+\Delta T} \gamma + Fe_3C$
- EUTETOIDICA a 723 °C e C = 0,8% $\rightarrow \gamma \xrightarrow[-\Delta T]{+\Delta T} \alpha + Fe_3C$

In particolare dell'EUTETOIDICA si ha:



Si nota quindi una REDISTRIBUZIONE del CARBONIO dovuta alla DIFFUSIONE per formare la STRUTTURA EUTETOIDICA detta PERLITE. Essa è costituita da GRANI di LAMELLE di FERRITE e CEMENTITE dello spessore di circa $10^{-3} - 10^{-4}$ mm.

Concentrazioni sugli ACCIAI e le MORFOLOGIE:



Treatments Termici degli Acciai

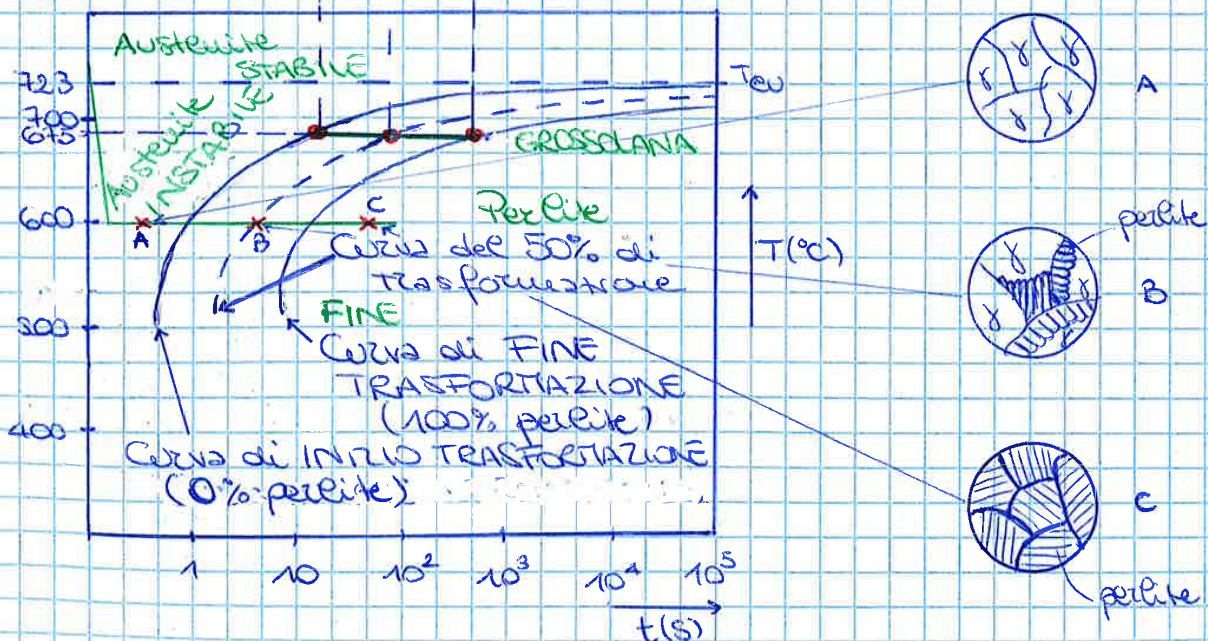
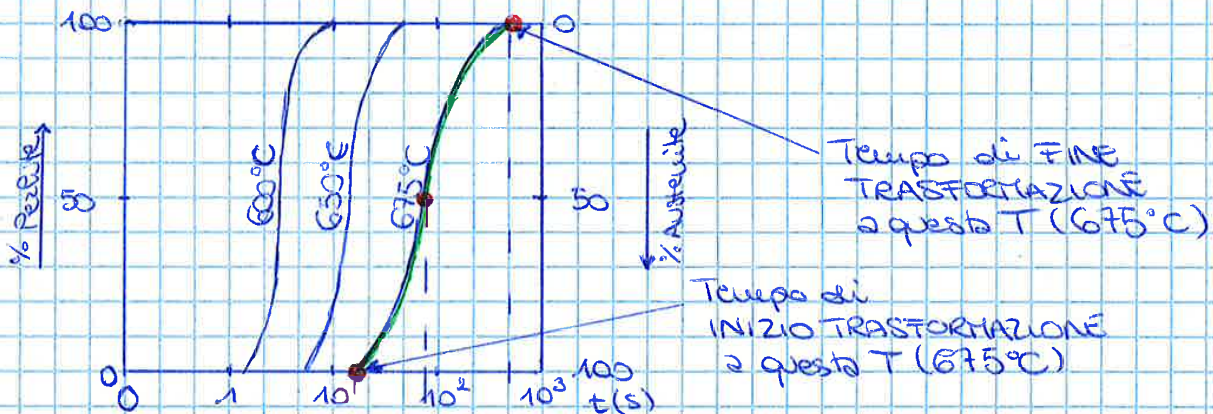
I TRATTAMENTI TERMICI permettono di VARIARE le PROPRIETÀ MECCANICHE dopo scabi per CONFERIRNE ALTRE ben DETERMINATE. Questi trattamenti sono volti a MIGLIORARE l'EFFICIENZA dei CICLI a cui i MATERIALI saranno SOTTOPOSTI.

La MICROSTRUTTURA viene CAMBIATA con un RISCALDAMENTO CONTROLLATO e un SUCCESSIVO RAFFREDDAMENTO. I FATTORI che INFLUENZANO la riuscita del TRATTAMENTO sono:

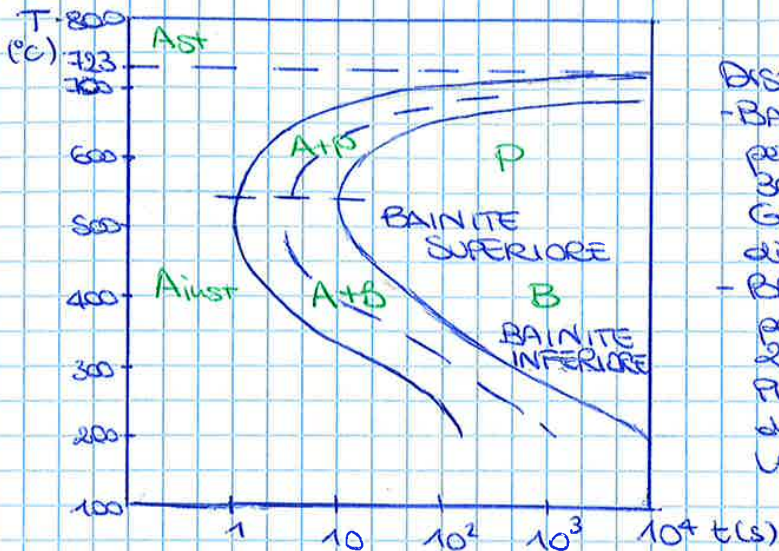
- COMPOSIZIONE dell'acciaio
- VELOCITÀ di RISCALDAMENTO che deve permettere il riscaldamento in forme del pezzo
- TEMPERATURA di TRATTAMENTO
- PERMANENZA alla TEMPERATURA di TRATTAMENTO
- VELOCITÀ e LUOGO di RAFFREDDAMENTO

TRASFORMAZIONI ISOTERMICHE

Consideriamo un ACCIAIO EUTETOIDICO in STATO AUSTENITICO al 100% RAFFREDDATO RAPIDAMENTE a TEMPERATURA COSTANTE. La trasformazione non può essere visualizzata sul diagramma di stato, ma sul diagrammi delle trasformazioni isoterme.



Se l'ACCIAIO viene RAFFREDDATO SOTTO i 540 °C si FORMA un nuovo composto, detto BAINITE composto da LAMELLE FINISSIME (300 nm) di FERRITE e CEMENTITE.



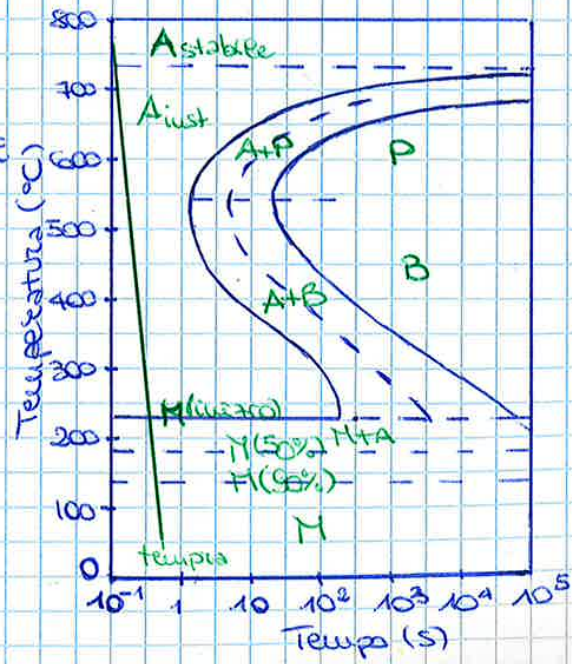
Distinguiamo tra:
 - BAINITE SUPERIORE, formata per RAFFREDDAMENTO a 300-540 °C, costituita da GRANI di LAMELLE FINISSIME di FERRITE e CEMENTITE
 - BAINITE INFERIORE, formata per RAFFREDDAMENTO a 200-300 °C, costituita da PLACCHE SOTTILI AGNIFORMI di FERRITE con SOTTILI LAMINE di CEMENTITE

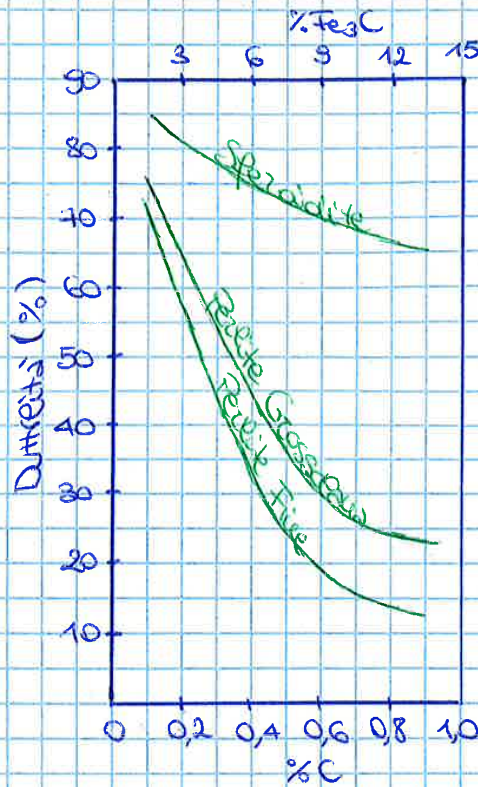
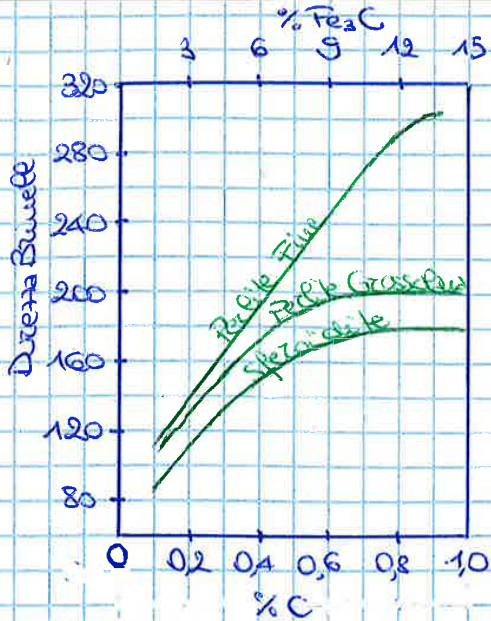
Un'ulteriore MICROSTRUTTURA che per ACCIAI assumono è la SFEROIDITE. Se un acciaio con STRUTTURA PERLITICA o BAINITICA viene RISCALDATO e MANTENUTO ad una TEMPERATURA INFERIORE all'EUTETTOIDE per un PERIODO di TEMPO LUNGO, ovvero 18-24 ore a 700 °C, avviene la SFEROIDIZZAZIONE. Questo processo determina la formazione di SFERE di CEMENTITE DISPERSE in una MATRICE CONTINUA di FERRITE.

In fine se si RAFFREDDA RAPIDAMENTE un ACCIAIO in FASE AUSTENITICA fino a TEMPERATURA AMBIENTE si effettua una TEMPERA e si ottiene una STRUTTURA detta MARTENSITICA. La MARTENSITE è una STRUTTURA che nasce dalla TRASFORMAZIONE di AUSTENITE, SENZA DIFFUSIONE del CARBONIO, che è Istantanea. Essa ha CELLA TETRAGONALE a CORPO CENTRATO dove per ATOMI di CARBONIO dell'austenite si collocano nelle LACUNE come IMPUREZZE INTERSITIZIALI. La MARTENSITE inoltre NON è STABILE, ma METASTABILE, cioè si DECOMpone in FERRITE e CEMENTITE se RISCALDATA successivamente.

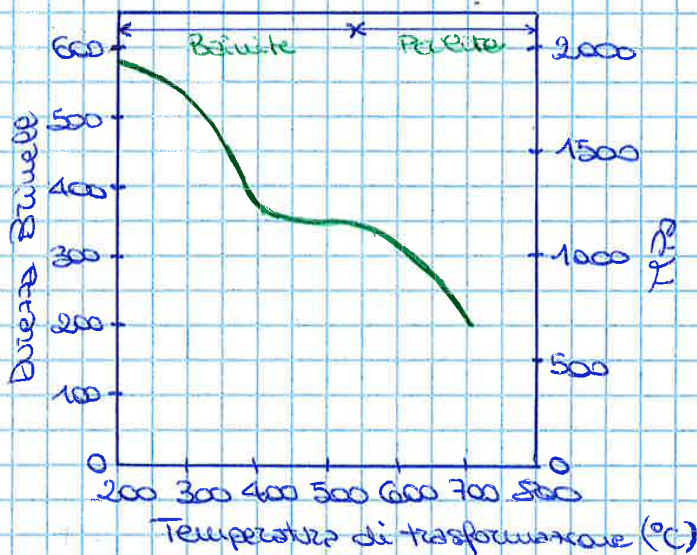
Nel caso di un ACCIAIO EUTETTOIDICO si ha il grafico a lato. La VELOCITÀ di TRASFORMAZIONE MARTENSITICA è INDIPENDENTE del TEMPO, come mostrano le linee parallele a t, poiché NON c'è DIFFUSIONE e la TRASFORMAZIONE è Istantanea.

La STRUTTURA della MARTENSITE è ACICULARE.





La SFEROIDITE è MOLTO DUTTILE, pertanto ha anche DUREZZA INFERIORE

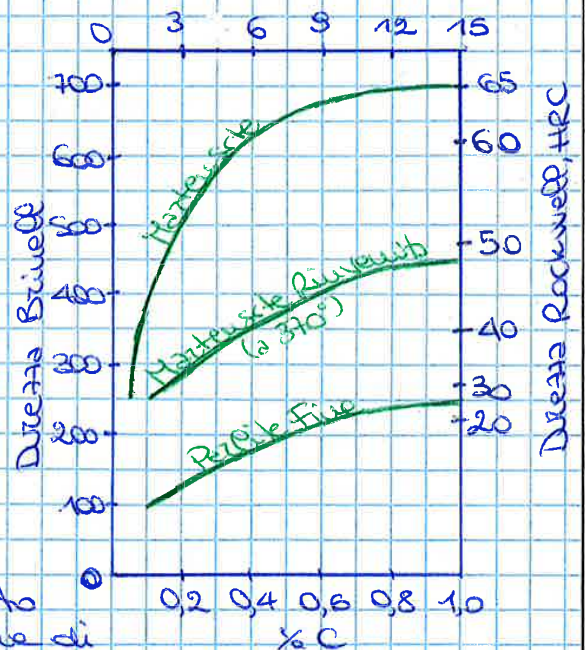


GLI ACCIAI BAINITICI, avendo STRUTTURA FINE, sono PIU' DURI e RESISTENTI degli ACCIAI PERITICI. Rappresentano inoltre una FAVOREVOLE COMBINAZIONE di RESISTENZA e DUTTITA'. Queste conclusioni risultano evidenti da grafico a lato.

La MARTENSITE è la MICROSTRUTTURA PIU' DURA e RESISTENTE, ma anche è PIU' FRAGILE. La durezza elevata si deve al CARBONIO INTERSTIZIALE che OSTACOLA le moto delle DISLOCAZIONI.

Tuttavia dai TRATTAMENTI TERMICI sulla MARTENSITE RINVENUTA sono da DUREZZA, ma AUMENTANO TENACITA' e DUTTITA'.

Il RISCALDAMENTO a 150 - 250°C, detto DISTENSIONE, determina la formazione di MARTENSITE RINVENUTA, ma con TRACCE di STRUTTURA ACQUARE. Il RISCALDAMENTO a 250 - 650°C, detto RINVENIMENTO, permette di ottenere MARTENSITE RINVENUTA costituita da CEMENTITE GLOBLARE FINEMENTE DISPERSA in FERRITE. Il RINVENIMENTO a TEMPERATURE piu' ALTE da CEMENTITE GLOBLARE PIU' GRANDE, PIU' TENACE e TENO RESISTENTE fino ad ottenere la SFEROIDITE.

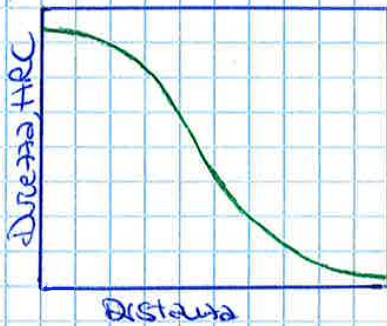


• TEMPERA

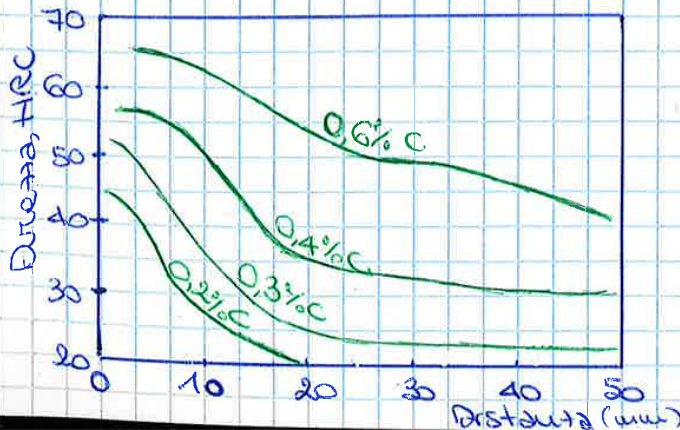
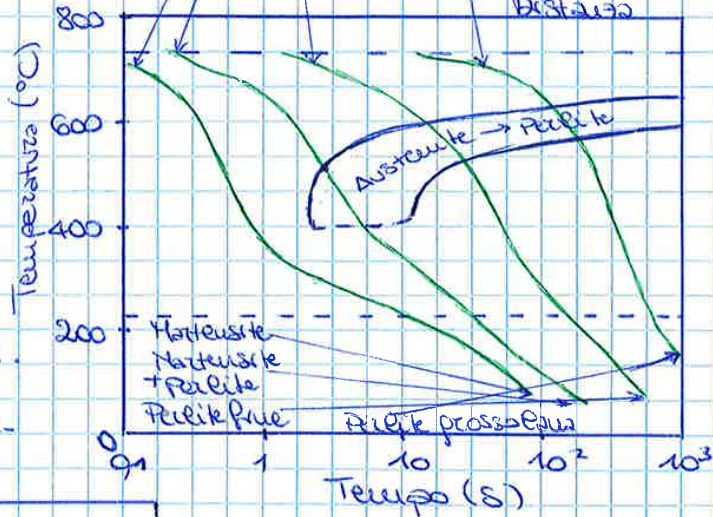
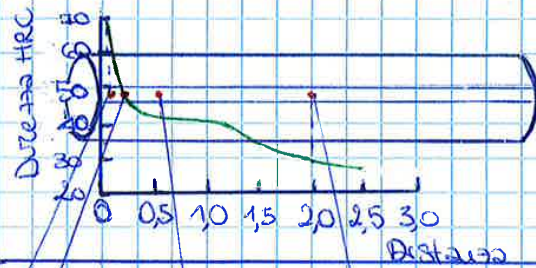
La TEMPERA è un trattamento termico che prevede il RISCALDAMENTO fino ad una TEMPERATURA poco superiore ad A3 (circa 50°C in più) ed un RAFFREDDAMENTO VELOCE in ACQUA, SOLUZIONI SALINE ed altro. Generalmente non si usa la tempera in acqua poiché il petto molto caldo a contatto con l'acqua determina la formazione di vapore acqueo che, avendo coefficiente di conducibilità diverso dall'acqua liquida, tempera diversamente l'acciaio.

La TEMPERA determina la formazione di MARTENSITE. Si definisce TEMPERABILITÀ di un ACCIAIO la CAPACITÀ di un ACCIAIO di essere INDURITO con la FORMAZIONE di MARTENSITE dopo un certo TRATTAMENTO di TEMPERA.

La TEMPERABILITÀ di un ACCIAIO è valutata attraverso la PROVA di PROFONDITÀ di TEMPERA JOMINY in cui vengono MANTENUTI COSTANTI FORMA e DIMENSIONE del PROVINO, TRATTAMENTO TERMICO, mentre VARIA la COMPOSIZIONE dell'ACCIAIO. La prova consiste nel riscaldare il provino circa 50°C sopra ad A3, toglierlo dal forno e porlo sopra ad un getto d'acqua. In questo modo l'estremità inferiore viene temperata e la velocità di raffreddamento è massima ed è diminuisce con la distanza. Si ottengono così delle CURVE di TEMPERABILITÀ che mostrano il VARIARE della DUREZZA, ovviamente massima all'estremità temperata, al VARIARE della DISTANZA dall'estremità temperata.



Le DUREZZE CRESCONO con l'AUMENTO della PERCENTUALE di CARBONIO PRESENTE poiché la TEMPERA AVVIENE PIÙ FACILMENTE. Ciò risulta evidente nel grafico sottostante.



Si ricordi però che l'AUMENTO della PERCENTUALE di CARBONIO presente RENDE l'ACCIAIO PIÙ FRAGILE oltre che più duro.

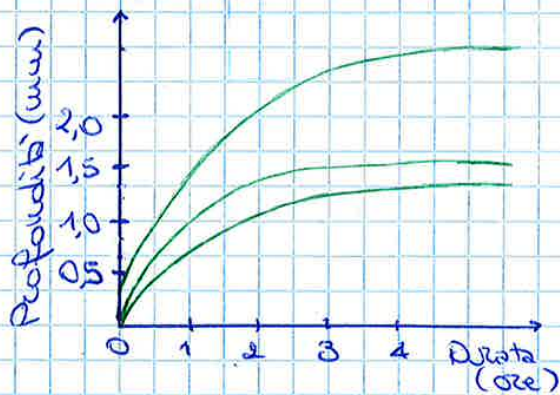
Treatments di Indurimento Superficiale degli Acciai

I TRATTAMENTI SUPERFICIALI vengono effettuati su pezzi meccanici che sono sottoposti ad USURA o per i quali si vuole MIGLIORARE la RESISTENZA a FATICA e CORROSIONE. Lo scopo è infatti quello di DARE all'acciaio uno STRATO SUPERFICIALE ad ELEVATA DUREZZA, CONSERVANDO al CUORE una BUONA TENACITÀ. Questi trattamenti MODIFICANO la COMPOSIZIONE dell'ACCIAIO per DIFFUSIONE di un ELEMENTO di LEGA a PARTIRE dalla SUPERFICIE.

• CEMENTAZIONE

Nei ACCIAI, ELEVATA DUREZZA e RESISTENZA all'USURA sono caratteristiche di un ACCIAIO TRATTATO ad ALTO CONTENUTO di CARBONIO, TENACITÀ e RESISTENZA agli URTI sono tipiche degli ACCIAI a BASSO CONTENUTO di CARBONIO. La CEMENTAZIONE PERMETTE di FAR COESISTERE queste PROPRIETÀ. Questo trattamento consiste nell'ARRICCHIMENTO di CARBONIO in SUPERFICIE fino a valori di percentuale di C vicini all'eutettoide, ma LASCIA INALTERATA la COMPOSIZIONE del CUORE. Per ottenere questo l'ACCIAIO viene RISCALDATO al di SOPRA di A3 e MANTENUTO in AMBIENTE RICCO di CARBONIO che entra in soluzione con l'aumentare a partire dalla superficie diffondendosi verso il CUORE. La PROFONDITÀ di CEMENTAZIONE DIPENDE dalla TEMPERATURA e dalla DURATA dell'operazione.

Per assicurare tenacità al cuore dei pezzi si TRATTANO ACCIAI a BASSO TENORE di CARBONIO (0,1-0,2%). Per migliorare le temperature si aggiungono Cr, Ni, Mo. A seconda del MEZZO CEMENTANTE usato, la CEMENTAZIONE può essere SOLIDA, LIQUIDA o GASSOSA.



La PIÙ USATA è quella GASSOSA dove il pezzo è posto in un ambiente dove grazie alla COMBUSTIONE di METANO con RICO OSSIGENO, è presente CO che fa diffondere il carbonio.

La CEMENTAZIONE GASSOSA è VANTAGGIOSA poiché è EUTINA

il CEMENTANTE SOLIDO, è MENO COSTOSA di quella LIQUIDA, lo STRATO CEMENTATO è PIÙ UNIFORME, PENETRA PIÙ VELOCEMENTE il CARBONIO, il PEZZO può essere TRATTATO SENZA ULTERIORE RISCALDAMENTO.

Dopo la CEMENTAZIONE si effettuano i seguenti trattamenti termici:
 - TEMPERA da 800-820 °C: riscaldamento tra A1 e A3 e BRUSCO RAFFREDDAMENTO. si ottiene STRUTTURA MARTENSITICA in SUPERFICIE.
 - RINVENIMENTO a 180 °C: riduzione delle TENSIONI INTERNE dovute al brusco raffreddamento.

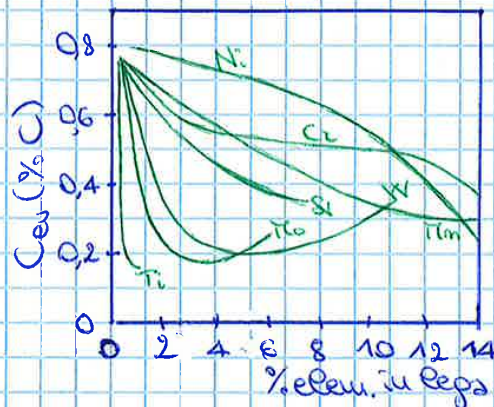
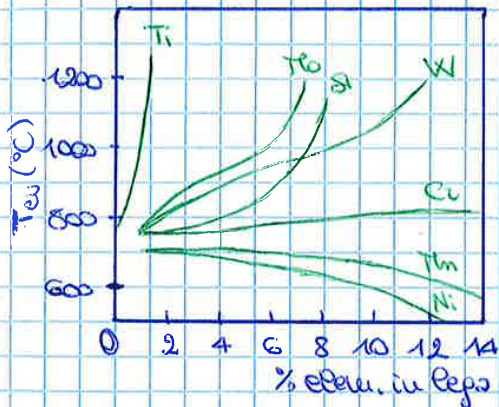
SVANTAGGIO della CEMENTAZIONE è che i pezzi cementati DIMINUISCONO la loro DUREZZA già a TEMPERATURE SOPRA i 200 °C per trasformazione della martensite.

Acciai legati

Gli ACCIAI COMUNI al CARBONIO sono LEGHE FERRO-CARBONIO che CONTENGONO SOLO CONCENTRAZIONI RESIDUE di ALTRI ELEMENTI che costituiscono delle IMPUREZZE.

Gli ACCIAI LEGATI sono costituiti da LEGHE FERRO-CARBONIO in cui vengono AGGIUNTI ULTERIORI ELEMENTI di LEGA in PERCENTUALI NON TRASCURABILI. L'INTRODUZIONE di ALTRI ELEMENTI determina una VARIAZIONE di MICROSTRUTTURA e PROPRIETÀ. Si individuano infatti:

- ELEMENTI ALFOGENI → Si, Cr, V, Mo, W, Al
 - STABILIZZATORI α , ovvero più solubili in ferrite, CRISTALLIZZANO CCC e favoriscono la FORMAZIONE di FERRITE
- ELEMENTI GAMMOGENI → Mn, Ni, Co, Cu
 - STABILIZZATORI γ , ovvero formano soluzioni solide con l'austenite, CRISTALLIZZANO FCC e favoriscono la FORMAZIONE di AUSTENITE al punto che si possono ottenere acciai austenitici a temperatura ambiente



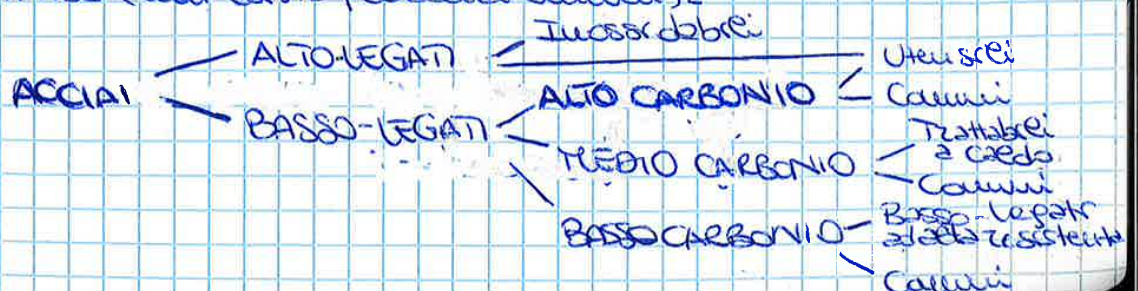
Gli ELEMENTI di LEGA INNALZANO o ABBASSANO la TEMPERATURA EUTETTOIDICA e SPOSTANO la COMPOSIZIONE EUTETTOIDICA aumentando o diminuendo la solubilità del carbonio nel ferro CCC.

Questi elementi si trovano nell'acciaio come:

- SOLUZIONE SOLIDA con la FERRITE (Ni, Si, Mn, Cr, Mo) → AUMENTANO la RESISTENZA MECCANICA, ma RIDUCONO la TENACITÀ
- CARBURI (V, Mo, Cr, Mn) → AUMENTANO RESISTENZA MECCANICA, di CREEP e dell'USURA
- COMPOSTI NON METALLICI (ossidi, solfuri, silicati, ...) → POSSONO RIDURRE la RESISTENZA a FATICA

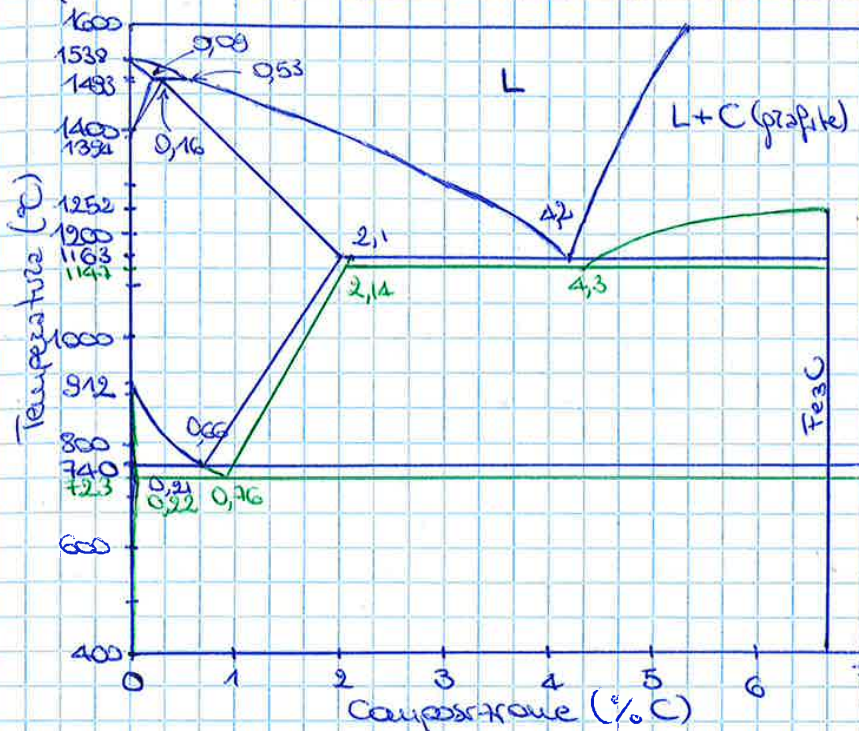
Essi VARIANO i DIAGRAMMI di TRASFORMAZIONE ISOTERMICA e RAFFREDDAMENTO CONTINUO dell'acciaio ipoeutettoideico.

Nel caso dell'acciaio 4340 - Ni, Cr, Mo, 0,4% C il campo AUSTENITICO del diagramma di TRASFORMAZIONE ISOTERMICA AUMENTA poiché contiene più elementi gammaogeni (Ni, Mo). Il diagramma CCT presenta NASI di FERRITE e BAINITE a TEMPI PIÙ LUNGI ed ESISTE il NASO BAINITICO (non esiste per acciai comuni).



Ghise

Le GHISE sono LEGHE FERRO - CARBONIO con CARBONIO SUPERIORE al 2,14%, in genere 3,0-4,5% di carbonio, e ALTRI ELEMENTI in LEGA. IL DIAGRAMMA di STATO da cui si deduce, però, è DIVERSO da quello FERRO - CEMENTITE. Occorre tener conto sia del DIAGRAMMA



FERRO-CARBONIO che di quello FERRO-CEMENTITE, infatti il CARBONIO è PRESENTE sia come CEMENTITE che di GRAFITE. La COMPOSIZIONE CHIMICA della GHISA e la VELOCITÀ di SOLIDIFICAZIONE INFLUENZANO la QUANTITÀ e IL COLLEGAMENTO del CARBONIO presente come GRAFITE o CEMENTITE. Sono LEGHE DA GETTO, ovvero usate per ottenere componenti per fusione e colata in stampo. Non lavorabili né a CALDO né a FREDDO poiché sono FRAGILI, ma BUONA LAVORABILITÀ all'UTENSILE grazie alla GRAFITE.

Possono individuare:

- ELEMENTI GRAFITIZZANTI → FAVORISCONO la FORTIAZIONE di GRAFITE, il principale è il SILICIO presente fino al 2%.
- ELEMENTI ANTIGRAFITIZZANTI → FORTIFICO CARBURI, come Cr, Mn, B, ed entrano in SOLUZIONE SOLIDA con la CEMENTITE.

Questi elementi INFLUISCONO sulla POSIZIONE dell'EUTETICO.

Se vuoi che per un RAFFREDDAMENTO VELOCE la GHISA segua il DIAGRAMMA di STATO FERRO-CEMENTITE, per il RAFFREDDAMENTO LENTO segue il DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO.

CLASSIFICAZIONE delle GHISE

Distinguiamo:

- GHISE BIANCHE → il CARBONIO è prevalentemente sotto forma di CEMENTITE e a temperatura ambiente la STRUTTURA è costituita da GRANI di PERLITE con molta CEMENTITE ai BORDI di GRANO. Proprio per questo motivo sono MOLTO DURE e FRAGILI pertanto sono USATE per COMPONENTI RESISTENTI all'USURA.
- GHISE GRIGIE → il CARBONIO è presente al 2,5-3,5% ed il SILICIO al 1,0-3,0%, pertanto il CARBONIO è sotto forma di GRAFITE e CEMENTITE. A temperatura ambiente sono costituite da FIOCCHI di GRAFITE in MATRICE di PERLITE o FERRITE. Sono quindi DURE e FRAGILI, ma SOSTRONGONO PIENA ENERGIA VIBRAZIONALE. La GRAFITE presente ha forma di LAMELLE o FIOCCHI.
- GHISE MALLEABILI → il CARBONIO è al 2,5%, ma è presente anche S, Mn, Cu. Si ottengono per RICOTTURA a 800-900°C.

Proprietà Elettriche

• CONDUITIVITÀ ELETTRICA

La LEGGE di OHM collega CORRENTE e TENSIONE APPLICATA:

$$V = IR$$

Il valore della RESISTENZA è INFLUENZATO dalla GEOMETRIA del PROVINO, pertanto si fa riferimento alla RESISTIVITÀ ρ che ne è indipendente.

$$\rho = \frac{RA}{e} \quad \begin{array}{l} A = \text{area sezione perpendi} \\ \text{corrente,} \\ \rho = \text{distanza tra i punti di misura di } V \end{array}$$

La CONDUITIVITÀ ELETTRICA è il RECIPROCO della RESISTIVITÀ ed indica la FACILITÀ con la quale un MATERIALE è in grado di CONDURRE CORRENTE ELETTRICA.

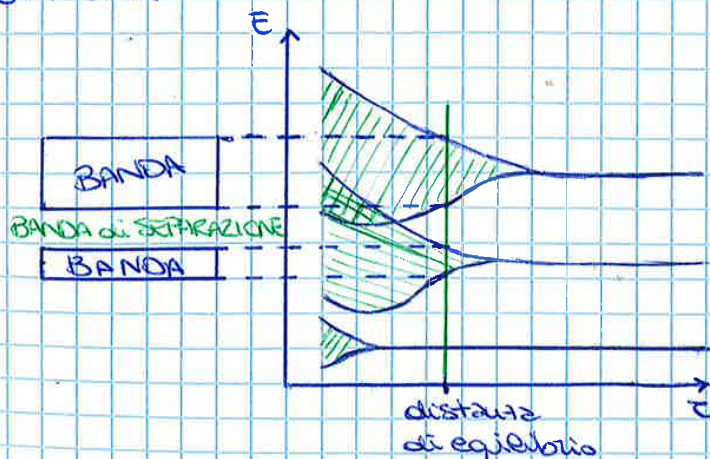
$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

I MATERIALI SOLIDI sono divisibili in: CONDUTTORI, (spine e metalli); SEMICONDUTTORI; ISOLANTI, polimeri e ceramici.

• CONDUZIONE e STRUTTURE o BANDE di ENERGIA

La CORRENTE ELETTRICA è un FLOTO di PARTICELLE CARICHE, ovvero ELETTRONI o IONI. Se si muovono sono gli ELETTRONI si parla di CONDUZIONE ELETTRONICA, se sono IONI si parla di CONDUZIONE IONICA.

In un solido gli ELETTRONI vengono PERTURBATI dalla presenza di altri elettroni e nuclei di atomi adiacenti. L'interazione determina la SUDDIVISIONE di un LIVELLO ATOMICO in TANTI LIVELLI ENERGETICI RAVVICINATI. Si ottiene così un CONTINUO di LIVELLI ENERGETICI che forma una BANDA ENERGETICA. La sovrapposizione di livelli energetici parte da quelli più esterni, pertanto alla partenza di equilibrio è POSSIBILE che NON si formi una BANDA ENERGETICA per i GUSCI PIÙ INTERNI; in queste zone di separazione NON si hanno ELETTRONI.



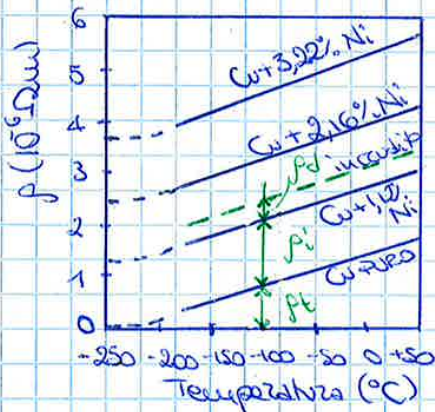
• RESISTIVITÀ ELETTRICA dei METALLI

La RESISTIVITÀ TOTALE di un METALLO è la SOMMA dei CONTRIBUTI di SCATTERING degli ELETTRONI: dovuta a FATTORI TERMICI, IMPUREZZE e DEFORMAZIONE PLASTICA

$$\rho_{tot} = \rho_{temperatura} + \rho_{impurezza} + \rho_{def. plastica}$$

→ REGOLA di MATTHIessen

La RESISTIVITÀ AUMENTA con la TEMPERATURA a causa dell'aumento di VIBRAZIONI TERMICHE e delle VACANZE; con gli ATOMI di SOSTO che sono centri di scattering e con la loro FRAZIONE ATOMICA, con la DEFORMAZIONE PLASTICA poiché aumenta il numero di DISLOCAZIONI.



Il CONDUTTORE METALLICO PIU' USATO è il RAME, sebbene il MIGLIOR CONDUTTORE sia l'ARGENTO, materiale troppo costoso.

• SEMICONDUZIONE

I SEMICONDUCTORI hanno CONDUZIONE NON ELEVATA, ma SUPERIORE a quella degli ISOLANTI - si suddividono in:

- SEMICONDUCTORI INTRINSECI → Comportamento elettrico basato sulla STRUTTURA ELETTRONICA del MATERIALE PURO
- SEMICONDUCTORI ESTRINSECI → Comportamento elettrico basato sulla PRESENZA di IMPUREZZE

▶ SEMICONDUCTORI INTRINSECI

I più comuni sono SILICIO e GERMANIO. Hanno BANDE di VALENZA COMPLETAMENTE PIENA e separata da un GAP ENERGETICO INFERIORE a 2 eV.

La PROIEZIONE di un ELETTRONE nella BANDE di CONDUZIONE lascia una POSIZIONE VUOTA dietro di sé, detta LACUNA, a cui attribuiamo CARICA POSITIVA e che si sposta in virtù del movimento degli elettroni in senso opposto ad essi. Alle CONDUZIONE partecipano gli ELETTRONI di ENTRATA e BANDE, pertanto di STRIPPAMENTO.

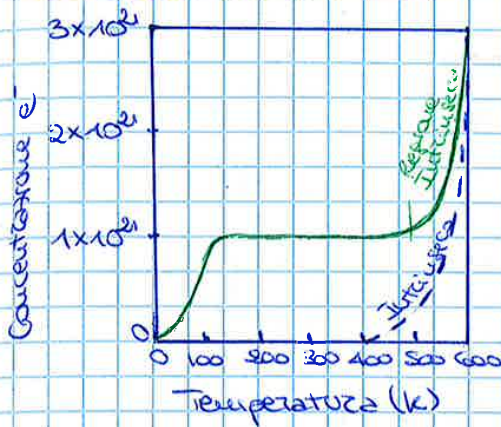
- CONDUZIONE di TIPO N: dovuta agli ELETTRONI in BANDE di CONDUZIONE
- CONDUZIONE di TIPO P: dovuta agli ELETTRONI che si spostano nella BANDE di VALENZA NON PIU' SATURA

Quindi:

$$\sigma = n |e| \mu_e + p |e| \mu_h \quad \text{con } n = n^0 \text{ e } p = p^0$$

Per conduttori INTRINSECI $n = p$ quindi: $\sigma = n |e| (\mu_e + \mu_h)$
($\mu_h < \mu_e$)

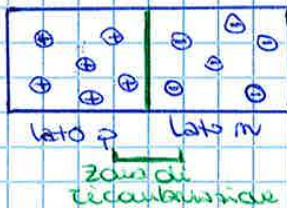
AD CRESCERE della TEMPERATURA i SEMICONDUTTORI vanno a SATURAZIONE, ovvero DONATORI o ACCETTORI si ESAURISCONO. Inizia così il COMPORTAMENTO INTRINSECO, per cui si hanno più trasistioni elettriche intrinseche da banda di valenza a quella di conduzione rispetto al numero di lacune generate estrinsecamente.



Ad esempio per il silicio di TIPO N DROGATO con 10^{21} (cm^{-3}) con ATOMI DONATORI si ha questa variazione di concentrazione dei portatori di carica mostrata nel grafico di fianco.

► **DIODO** → **DIODI** è SEMICONDUTTORE che CONSENTE il PASSAGGIO di CORRENTE in UNA SOLA DIREZIONE. Trasforma la corrente alternata in continua.

IL FUNZIONAMENTO del DIODO è BASATO sulla GIUNZIONE P-N, ovvero in UNICO SEMICONDUTTORE DROGATO in modo da essere da un LATO di TIPO p e uno di TIPO n.

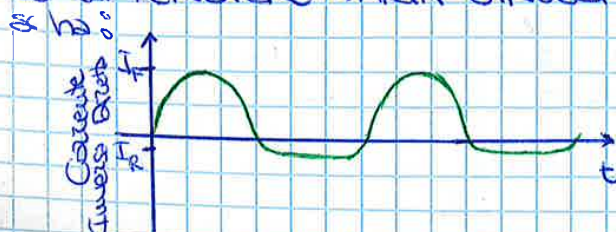


Ad esso è possibile APPLICARE una DIFFERENZA di POTENZIALE con DE POLARIZZAZIONI DIVERSE: DIRETTA, lato p con terminale positivo e lato n con negativo; INVERSA, al contrario.

POLARIZZANDO DIRETTAMENTE, LACUNE ed ELETTRONI sono SPINTI VERSO la ZONA di INTERFACCIA. Gli ELETTRONI tendono

a NEUTRALIZZARSI con le LACUNE nella ZONA di SVUOTAMENTO (o ricombinazione) creando una BARRIERA di POTENZIALE che può essere SUPERATA applicando una TENSIONE SUFFICIENTEMENTE ALTA da cui viene e' intensità della batteria e PERMETTERE il MOVIMENTO di PORTATORI di CARICA.

Se la POLARIZZAZIONE è INVERSA, ELETTRONI e LACUNE sono SPINTI LONTANO dalla GIUNZIONE. Si genera un'ALTRA REGIONE SVUOTATA che ACCRESCIE la BARRIERA di POTENZIALE ed IMPEDI SCE gran parte del PASSAGGIO di CORRENTE. Si SPOSTANO SOLO i PORTATORI MINORITARI che però GENERANO una CORRENTE BASSISSIMA. Se la TENSIONE VARIA SINUSOIDALMENTE



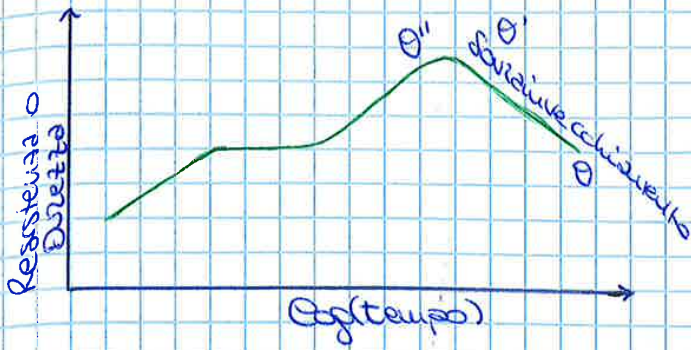
LA ZIRCONIA STABILIZZATA È IL POLICORFO CUBICO ad ALTA TEMPERATURA dell'ossido di ZIRCONIO drogato, ad esempio, con ITRIO (valenza $3+$, Zr $4+$) che determina delle VACANZE di IONI OSSIGENO. Poiché la DIFFUSIONE allo STATO SOLIDO È POSSIBILE in PRESENZA di VACANZE, gli present per preservare l'ELETTRONEUTRALITÀ del composto, la ZIRCONIA CONDUCE IONI O^{2-} ad ALTE TEMPERATURE. Viene quindi usata nella sonda LAMBDA che regola le emissioni delle autovalori: in caso di DOSATURA RICCA (= molto combustibile) la CONCENTRAZIONE di O^{2-} allo scarico è BASSA, pertanto l'elettricità genera un FLUSSO di IONI dall'atmosfera allo scarico che determina una DIFFERENZA di POTENZIALE APPREZZABILE, mentre in DOSATURA POVERA l'ELEVATA CONCENTRAZIONE di O^{2-} RIDUCE il POTENZIALE di POUTO. Questi segnali elettrici giungono ad una centralina che regola così le emissioni in base ai dati ottenuti.

► POLIMERI

I POLIMERI sono ISOLANTI poiché NON hanno ELETTRONI LIBERI, tuttavia ALCUNI sono CONDUTTORI come i POLIACETILENE, POLIPIRENO, POLIANILINA DROGATA p o n.

• PIEZOELETTRICI

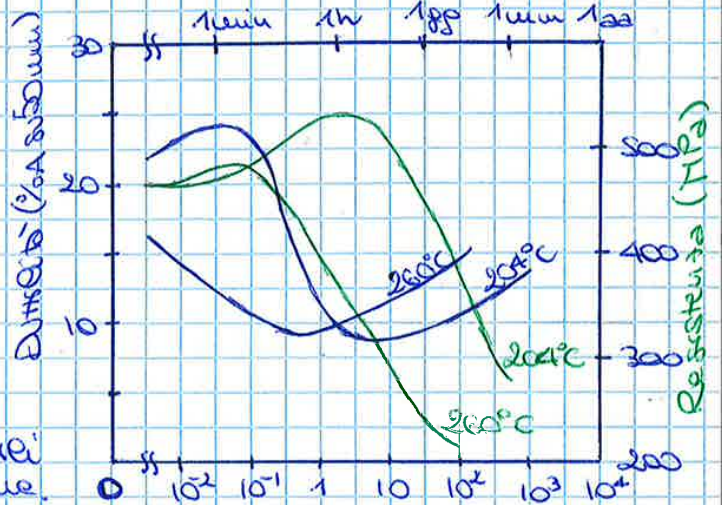
LA PIEZOELETTRICITÀ È UNA PROPRIETÀ POSSEDUTA solo da ALCUNI MATERIALI come ALCUNI CRISTALLI NATURALI, ad esempio il QUARZO, e ALCUNI CERAMICI tra cui il TITANATO di BARIO ($BaTiO_3$). Quando a questi materiali si applica una SOLLECITAZIONE MECCANICA, la STRUTTURA CRISTALLINA PRODUCE un SEGNALE ELETTRICO. Al contrario se posti in un CAMPO ELETTRICO VARIANO le DIMENSIONI. Nel caso del TITANATO di BARIO, ad esempio, la CELLA CRISTALLINA presenta IONI TITANIO (Ti^{4+}) e IONI OSSIGENO (O^{2-}) su PIANI DIFFERENTI, pertanto la CARICA NON È BILANCIATA e si ha un DIPOLO ELETTRICO. Il DIPOLO POSTO in un CAMPO ELETTRICO con STESSA POLARITÀ determina un'AVVICINAMENTO degli IONI e quindi una COMPRESSIONE della cella. Viceversa con POLARITÀ OPPOSTA gli IONI si AVVICINANO determinando una TRAZIONE della cella. Poiché i CERAMICI sono POLICRISTALLINI il DIPOLO TOTALE È NULLO, ma se sono FERROELETTRICI quando vengono posti in un FORTE CAMPO ELETTRICO i DIPOLI tendono ad ALLINEARSI al CAMPO ELETTRICO e si ottiene una POLARIZZAZIONE che PERSISTE anche in assenza del campo elettrico. Questo PROCESSO, detto POLING, INDECE PROPRIETÀ PIEZOELETTRICHE. Poiché la PIEZOELETTRICITÀ DIPENDE dalla STRUTTURA CRISTALLINA essa DIPENDE anche dalla TEMPERATURA, SUPERATA una TEMPERATURA CARATTERISTICA del MATERIALE, detta TEMPERATURA di CURIE, l'AGITAZIONE TERMICA DISTRUGGE l'ORIENTAMENTO dei DIPOLI e si perde la piezoelettricità. La piezoelettricità si perde anche in presenza di forti campi elettrici opposti a quello polarizzante, campi forti alternati, forti stress meccanici, invecchiamento. Alcune APPLICAZIONI sono: SONAR, SENSORI di DISTANZA, PARTI di CIRCUITI ELETTRONICI, MICROFONI.



Durante il trattamento termico gli atomi di rame si raccolgono in dischi molto piccoli e sottili, ma numerosi e ben distribuiti in α e sono detti ZONE. Queste particelle passano in fase di transizione prima di giungere a quella di equilibrio θ (fase θ'' e θ'). L'aumento di durezza e resistenza sono dovuti

alla presenza di numerose particelle di queste fasi di transizione e raggiungono il massimo con la FORTIFICAZIONE di θ'' che può essere conservata raffreddando a 0°C e temperature ambiente. Un SOVRAINVECCHIAMENTO porta alla CRESCITA delle PARTICELLE e alla formazione delle fasi θ' e θ e quindi alla diminuzione di resistenza e durezza.

Il processo di INCREMENTO di RESISTENZA viene ACCELERATO se si AUMENTA la TEMPERATURA. TEMPERATURA e TEMPO IDEALI sono quelli VICINI al MASSIMO delle CURVE. Con l'aumento di resistenza si ha una DIMINUIZIONE di DUTTA.



Non tutte le leghe sono suscettibili di invecchiamento per precipitazione. Si ha:

- Al-Cu (2014, 2017, 2024, 2218) che possono subire SUBSISTANZA e INVECCHIAMENTO a causa della FASE θ
- Al-Mn (3003), Al-Si, Al-Mg non trattabili termicamente
- Al-Si-Mg (6061, 6033) che contengono Mg_2Si e sono trattabili per invecchiamento
- Al-Zn (7075, 7079, 7178) in cui precipita Mg_2Zn_2

• POLIMERI TERMOPLASTICI

I POLIMERI TERMOPLASTICI sono costituiti da MACROMOLECOLE di GRANDEZZA LIMITATA, LINEARI o RAMIFICATE, con LEGAMI SECONDARI tra le catene.

RATTIOLLANO SOTTO CALORE, SODDIFICANO PER RAFFREDDAMENTO in modo REVERIBILE.

Esistono allo STATO SOLIDO in FORMA AMORFA (= vetro organico) o in FORMA SEMICRISTALLINA che ha maggiore resistenza a temperatura e agenti chimici.

Si lavorano per STAMPAGGIO a BASSE TEMPERATURE e con VELOCI RITMI di PRODUZIONE.

• POLIMERI TERMOINDURENTI

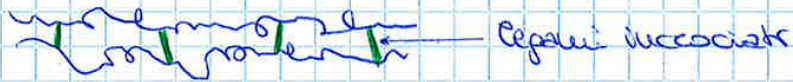
Si suddividono in DUE CATEGORIE: ELASTOMERI (= gomme) e TERMOINDURENTI veri e propri ad alto grado di reticolazione, rigidi, fragili e resistenti alla temperatura.

Hanno LEGAMI PRIMARI anche TRA CATENE.

Sono LAVORABILI A CALDO SOLO UNA VOLTA, prima della reticolazione, e a SUCCESSIVI RISCALDAMENTI si DECOMPONGONO.

Hanno MAGGIORE RESISTENZA MECCANICA rispetto ai termoplastici.

Gli ELASTOMERI sono POLIMERI LINEARI in cui vengono INTRODOTTI dei LEGAMI a PONTE che conferiscono STRUTTURA TRIDIMENSIONALE e danno ELEVATE PROPRIETÀ di ELASTICITÀ. Questi LEGAMI sono INTRODOTTI DOPO lo STAMPAGGIO del MATERIALE con un processo detto VULCANIZZAZIONE e sono COVALENTI o PARZIALMENTE IONICI.



• SINTESI dei POLIMERI

La SINTESI dei POLIMERI avviene per REAZIONI di POLIMERIZZAZIONE che consistono nella SOSTITUZIONE di LEGAMI DOPPI/TRIPLI con LEGAMI SEMPLICI con minor energia di formazione. Esse avvengono mediante ASSORBIMENTO di ENERGIA sotto forma di luce, calore o per irradiazione oppure con CATALIZZATORI come i perossidi che si decompongono in radicali.

IL GRADO di POLIMERIZZAZIONE n è determinante per lo STATO FISICO, la TEMPERATURA di RATTIOLLIMENTO, la RIGIDITÀ del POLIMERO.

I POLIMERI a BASSA MASSA MOLECOLARE (100 g/mole) sono GASSOSI o LIQUIDI, quelli a MEDIA MASSA MOLECOLARE sono SOLIDI CEROSI (1000 g/mole), quelli ad ALTA MASSA MOLECOLARE (10000 g/mole) sono SOLIDI.

La SINTESI dei POLIMERI può avvenire per:

- POLICONDENSAZIONE → Reazione A STADI in cui i MONOMERI vengono uniti mediante GRUPPI TERMINALI REATTIVI dando origine a PRODOTTI SECONDARI VOLATILI come acqua e ammoniaca. È una REAZIONE DIFFICOLTOSA poiché non a catena e poiché per la formazione del polimero occorre che vi sia un velo efficace tra i monomeri orientati favorevolmente. Se i MONOMERI hanno DUE GRUPPI REATTIVI si formano ANCHE

• STRUTTURA ATORFA e CRISTALLINA dei POLIMERI

I POLIMERI al di SOTTO della TEMPERATURA di TRANSIZIONE VETROSA (= T_g) hanno COMPORTAMENTO ASSIEME a quello di un SOLIDO, mentre SOPRA alla T_g hanno COMPORTAMENTO di un FLUIDO.

Ciascun POLIMERO è formato da piccole REGIONI CRISTALLINE dette CRISTALLITI con un PRECISO ALLINEAMENTO e DISPERSE in una MATRICE ATORFA composta da MOLECOLE ORIENTATE CASUALMENTE. Molti polimeri CRISTALLIZZANO formando

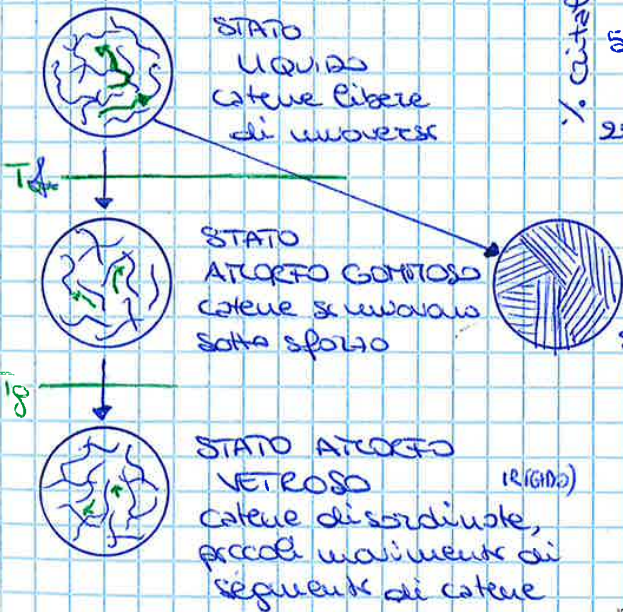
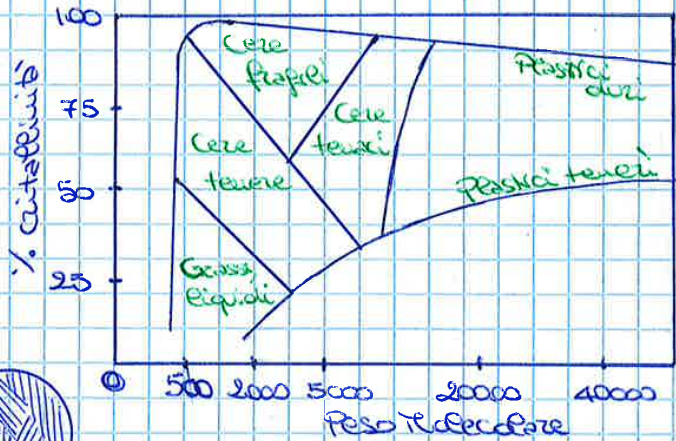


SFERULITI, ovvero AGGREGATI di CRISTALLITI a FORMA di NASTRO a CATENE RIPIEGATE che sono spesse circa 10 nm e IRRADIANO dal centro VERSO l'ESTERNO. Questo processo, tipico della GOMMA NATURALE, cessa quando le varie specie cominciano ad urtarsi.

Ciascuna CRISTALLITE è inoltre una lamella su cui si ripiegano le catene in modo che la prefettura sia sulla superficie esterna.

Ogni polimero ha un GRADO di CRISTALLINITA' che indica la PERCENTUALE di ZONE CRISTALLINE presenti nel polimero.

A seconda del grado di cristallinita' si hanno tipi di polimeri diversi.



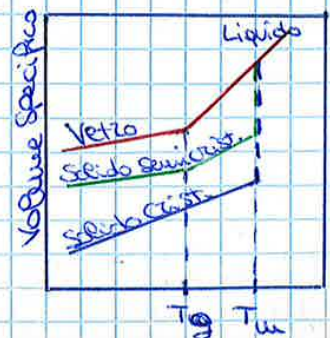
Stato CRISTALLINO: catene ordinate

Nel cristallino ha, un polimero termoplastico può trovarsi in queste quattro fasi. Per TEMPERATURA di FUSIONE (T_m) si intende la temperatura a cui un polimero passa da stato SOLIDO CRISTALLINO a

LIQUIDO VISCOSO o da SOLIDO GOMMOSO

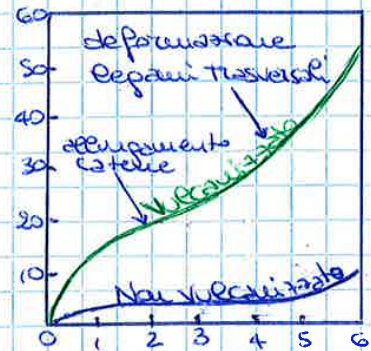
a LIQUIDO VISCOSO. Alla TEMPERATURA di TRANSIZIONE VETROSA invece si ha il passaggio da SOLIDO RIGIDO a GOMMOSO.

Notiamo che per il SOLIDO CRISTALLINO si ha una DISCONTINUITA' del VOLUME SPECIFICO a T_m , mentre per l'ATORFO la CURVA è CONTINUA, ma si rileva un CAMBIAMENTO di PENDENZA a T_g . Il SOLIDO SEMICRISTALLINO ha COMPORTAMENTO INTERMEDIO e le T_m e T_g sono TEMPERATURE CARATTERISTICHE rispettivamente per la PARTE CRISTALLINA e per la PARTE ATORFA che lo compongono.

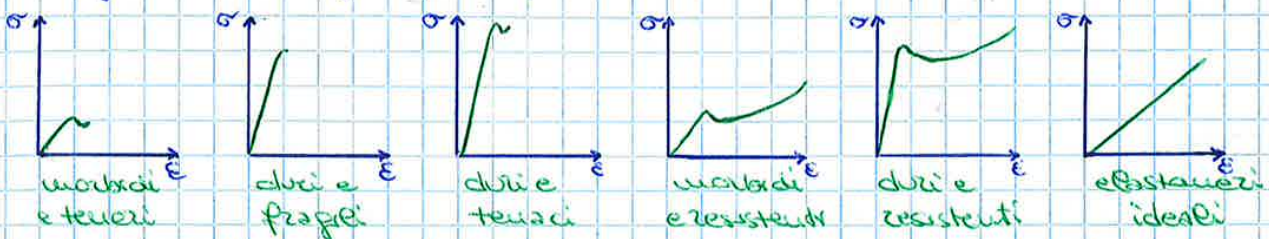


GLI ELASTOMERI POSSONO SUBIRE ALLUNGAMENTI DEL 100-800% FINO AD ARRIVARE A FRATTURA CON TENSIONI DI 7-20 MPa. A SEGUITO DELLE MISCELE POSSONO AVERE PROPRIETÀ MECCANICHE FORTEMENTE VARIABILI.

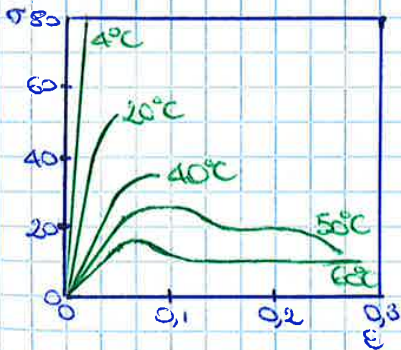
LA GOMMA NATURALE, COSÌ COME GLI ELASTOMERI, PUÒ ESSERE IRRIGIDITA CON IL PROCESSO DI VULCANIZZAZIONE TRAMITE LEGAMI A BASE DI ZOLFO FRA LE CATENE. GLI ELASTOMERI VULCANIZZATI SOTTOPOSTI A SFORZO DI TRAZIONE HANNO COSÌ MAGGIOR RESISTENZA A TRAZIONE POICHÉ DOTE DEL DELEGAMENTO DELLE CATENE PRIMA DI ARRIVARE A FRATTURA DEVONO DEFORMARSI ANCHE I LEGAMI TRASVERSALI.



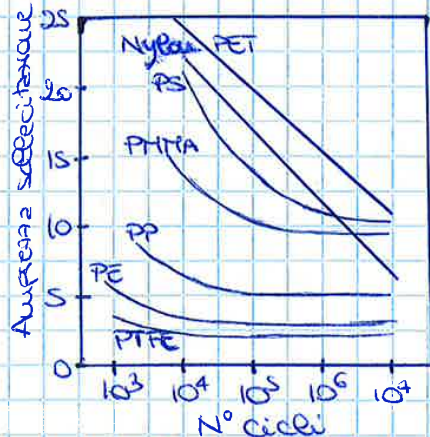
In generale i polimeri possono essere:



LE PROPRIETÀ MECCANICHE DEI POLIMERI SONO MOLTO SENSIBILI ALLE VARIAZIONI DI TEMPERATURA. L'AUMENTO DELLA TEMPERATURA INFATTI DETERMINA UNA DIMINUIZIONE DEL COEFFICIENTE ELASTICO, UNA RIDUZIONE DEL CARICO DI ROTURA, UN AUMENTO DI DILATÀ, COME SI PUÒ NOTARE NEL GRAFICO PER LE PMMA.



ANCHE I POLIMERI HANNO UNA RESISTENZA A FATICA. NON TUTTI PRESENTANO LIMITI A FATICA. OVVIAMENTE SÌA RESISTENZA CHE LIMITI A FATICA SONO MOLTO BASSI.



INFINE I POLIMERI SONO SOGGETTI A CREEP, OVE SI DEFORMANO SOTTO UNA SOLLECITAZIONE COSTANTE NEL TEMPO. QUESTA DEFORMAZIONE PUÒ ESSERE SIGNIFICATIVA ANCHE A TEMPERATURA AMBIENTE E SOTTO MODESTE SOLLECITAZIONI BEN AL DI SOTTO DEL CARICO DI SUPERAMENTO DEL MATERIALE.

• TECNICHE DI LAVORAZIONE DEI POLIMERI

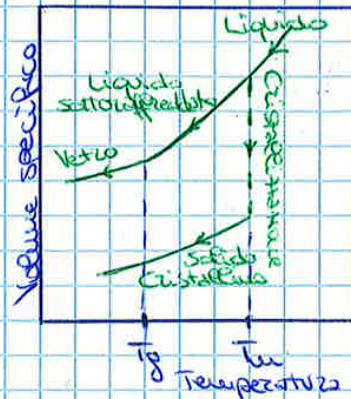
I POLIMERI VENGONO LAVORATI PER:

- POLVERIZZAZIONE o GRANULAZIONE in modo da poter essere miscelati
- AGGIUNTA di eventuali ADDITIVI
- AGGIUNTA eventuale di PASTIFICANTI per i TERMOPLASTICI o di ACCELERATORI di POLVERIZZAZIONE per i TERMOINDURENTI
- FORMAZIONE per essere resi usi come oggetti

Vetri

IL MATERIALE VETROSO o ALCORFO si ottiene per PROGRESSIVO IRRIGIDIMENTO (o AUMENTO della VISCOSITÀ) di un LIQUIDO NON CRISTALLIZZATO durante il raffreddamento. È caratterizzato dalla TEMPERATURA di TRANSIZIONE VETROSA T_g a cui il LIQUIDO si trasforma in SOLIDO. Le STRUTTURE ALCORFE sono METASTABILI, ovvero si TRASFORMANO in CRISTALLINE se le CONDIZIONI TERMODINAMICHE e CINETICHE lo permettono.

La SOLIDIFICAZIONE di un MATERIALE CRISTALLINO prevede una BRUSCA DIMINUIZIONE del VOLUME alla TEMPERATURA di FUSIONE T_m . La SOLIDIFICAZIONE del MATERIALE VETROSO prevede che il VOLUME DIMINUISCA in modo CONTINUO al DIMINUIRE della TEMPERATURA, mentre si ha una LEGGERA DIMINUIZIONE di PENDENZA della CURVA in corrispondenza della TEMPERATURA di TRANSIZIONE VETROSA T_g .



Per REALIZZARE lo STATO VETROSO partendo dallo stato liquido occorre che la VELOCITÀ di RAFFREDDAMENTO sia MAGGIORE della VELOCITÀ di CRISTALLIZZAZIONE. I LIQUIDI VETROGENI, come SiO_2 , possono dare luogo a VETRI in CONDIZIONI NORMALI di RAFFREDDAMENTO poiché hanno ELEVATA VISCOSITÀ alla TEMPERATURA di FUSIONE (es. SiO_2 fusa a $1720^\circ C$ ha $\eta = 10^6 P \cdot s$).

Nei SOLIDIFICATORI la STRUTTURA è ALCORFA, ovvero la DISPOSIZIONE spaziale degli ATOMI NON RISPETTA la STRUTTURA PERIODICA dei RETICOLI CRISTALLINI.

Ai VETRI comuni di tipo SILICEO (SiO_2) possono essere AGGIUNTE SOSTANZE che permettano di ottenere DIVERSE PROPRIETÀ:

- **FORTIFICATORI** → Formano il vetro senza aggiunta di vetri ossidi e sono anche detti NETWORK FORMERS → SiO_2, B_2O_3
Essi determinano quindi T_g, T_m , il coefficiente di espansione termica.
- **MODIFICATORI** → Detti anche NETWORK MODIFIERS, rompono il RETICOLO siliceo. Essi CREANO OSSIGENI NON-LEGANTI, modificando T_m, T_g e coefficiente di dilatazione termica; generalmente aumentano la mobilità e diminuiscono la viscosità abbassando T_g → $Li_2O, Na_2O, K_2O, B_2O, SiO, CaO, MgO$
- **INTERMEDIARI** → IMPEDISCONO la BENEDEFICAZIONE e MODIFICANO la VISCOSITÀ del vetro → Al_2O_3, Ge_2O_3
- **ADDITIVI** → Possono essere FONDENTI, che diminuiscono T_g e aumentano la fluidità del vetro, STABILIZZANTI, AFFINANTI, COLORANTI, DECOLORANTI, OPACIZZANTI. In generale MODIFICANO la VISCOSITÀ del vetro ed il COEFFICIENTE di DILATAZIONE TERMICA → $La_2O_3, Nd_2O_3, Y_2O_3, ZnO, PbO, NiO, CuO, CoO, MnO, Cr_2O_3, V_2O_3, TiO_2, ZrO_2$
(es. Fondenti = SiO_2, PbO, B_2O_3 ; Modificatori = Al_2O_3, CaO, MgO ; Fondenti = Na_2O, K_2O ; Coloranti = CaO, CuO)

IL VETRO è un MATERIALE VISCOELASTICO ovvero PRIMA della TEMPERATURA di TRANSIZIONE VETROSA (T_g) è un MATERIALE con COMPORTAMENTO ELASTICO, DOPO la T_g ha COMPORTAMENTO VISCOSO. La DEFORMAZIONE prima della T_g è quindi ELASTICA ed Istantanea, mentre la DEFORMAZIONE PLASTICA dell'ALCORFO avviene per SCORRIMENTO VISCOSO, quindi la VELOCITÀ di DEFORMAZIONE è DIRETTAMENTE PROPORZIONALE allo SFORZO applicato che determina la rottura e deformazione dei legami in un vetro positivo.

• CLASSIFICAZIONE dei VETRI

IL VETRO SODICO-CALCIICO è il VETRO PIÙ COMUNE, ha COSTI BASSI, è di FACILE FABBRICAZIONE e LAVORAZIONE, ha una BUONA RESISTENZA alla DEVETRIFICAZIONE e STABILITÀ all'ACQUA, più una MAGGIORE DURABILITÀ con aggiunta di Al_2O_3 , ha MOLTE APPLICAZIONI, ma è poco RESISTENTE al CALORE e agli SBALZI TERMICI.

I VETRI con PIOMBO hanno BASSA TEMPERATURA di LAVORAZIONE, un ALTO INDICE di RIFRAZIONE che li rende trasparenti, sono utilizzati per fare LENTI (= VETRO FLINT) o come SCHERMI per RADIAZIONI.

I VETRI BORO-SILICATI o PYREX hanno ECCELLENTE RESISTENZA agli SBALZI TERMICI (= α basso), ELEVATA RESISTENZA CHIMICA (= VETRI NEUTRI), hanno ALTA RESISTIVITÀ ELETTRICA e sono usati per vetreria di laboratorio, termometri, architettura, isolanti elettrici ed altri impieghi.

Esistono poi dei VETRI SPECIALI tra cui: i VETRI ASSORBENTI e RIFLETTENTI per il CONTROLLO SOLARE, ovvero per attenuare gli effetti delle irradiazioni solari troppo forte, e i VETRI ISOLANTI e BASSOEMISSIVI per l'ISOLAMENTO TERMICO migliore.