



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1060

DATA: 02/09/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Cane

MATERIA: Essenziale di Scienza Tecnologia dei Materiali

Prof. Spriano - Vitali

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.**

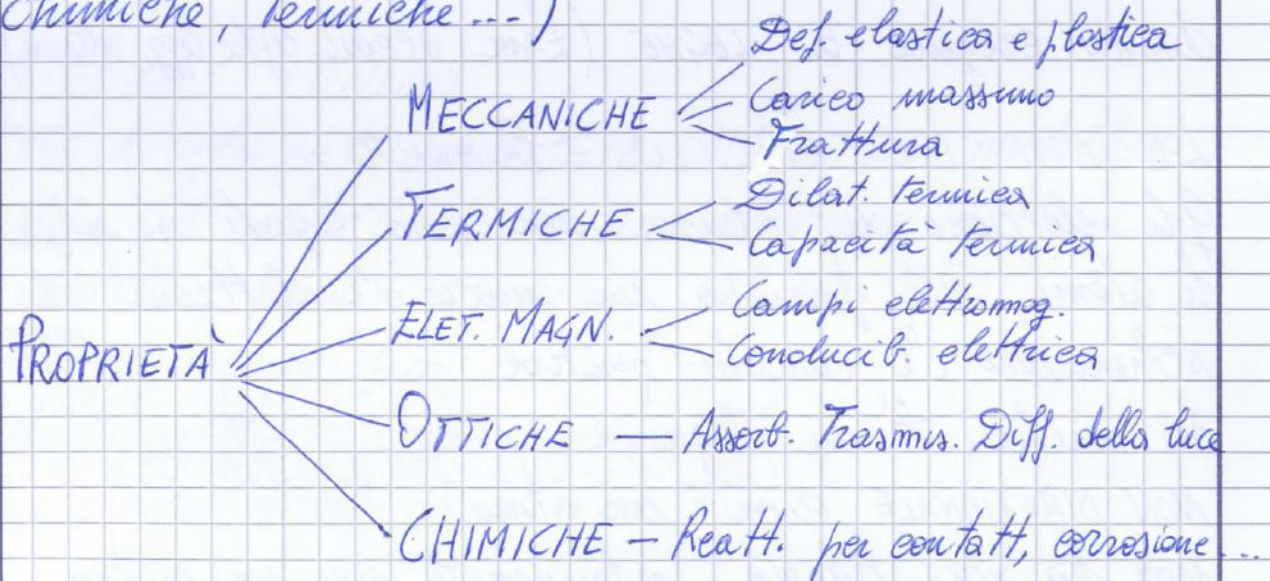
# SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Prof. SPRIANO

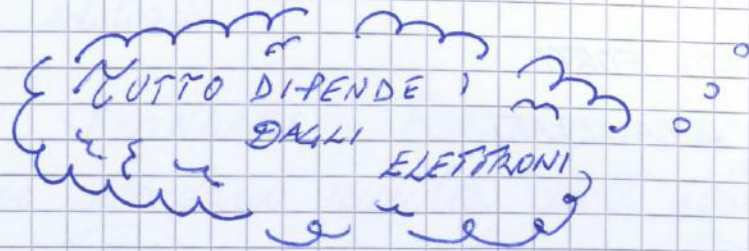
Esec. VITALE

La scienza dei materiali studia le relazioni che intercorrono fra i processi produttivi, la struttura, le proprietà e le prestazioni in opera dei materiali

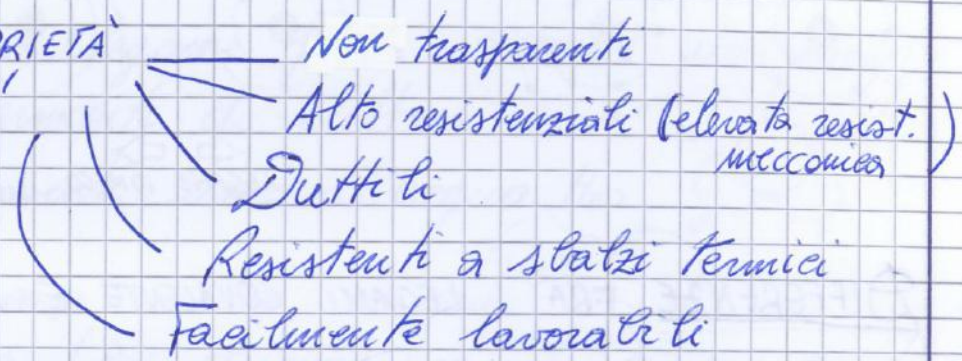
Le PROPRIETÀ sono il modo in cui il materiale risponde alle sollecitazioni varie (mecc. chimiche, termiche...)



CONDUCIBILITA'  $\propto$  MOBILITA' DEGLI ELETTRONI



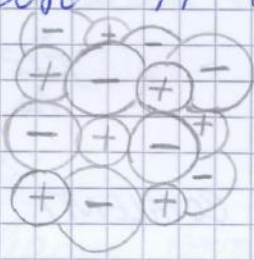
ALTRE PROPRIETA' DEI METALLI



LEGAME IONICO

Tra l'elemento metallico (M) e non metallico (X): Il metallo cede un elettrone al non metallo, formando così  $M^+$  ed  $X^-$ .

È il legame più diffuso fra i CERAMICI (OSSIDI E VETRI)



LEGAME COVALENTE

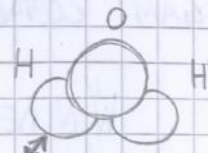
In due parole, gli elettroni sono condivisi fra gli atomi per saturarne la valenza (es.  $H_2$ , Diamante...)

Applicazioni: Laterizi, piastrelle, sanitari, infissi, gati in edilizia...

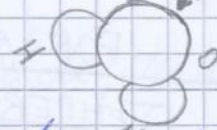
LEGAMI SECONDARI ~ FORZE DI VAN DER WAALS

Il legame secondario risulta dall'interazione di dipoli atomici o molecolari ed è DEBOLE. Si tratta di un legame fisico quindi non coinvolge trasferimenti di elettroni

Dipoli permanenti esm. l'acqua  $H_2O$



Vediamo un caso curioso, in cui un polimero (POLI-ETILENE) possiede sia legami covalenti che legami deboli.



In fatti i legami covalenti avvengono intramolecolarmente (all'interno della macromolecola) mentre quelli deboli, fra una molecola e l'altra (intermolecolarmente)

## I MATERIALI POLIMERICI

- Sono legati sia da legami covalenti che da legami secondari (deboli)
- Sono costituiti da composti ORGANICI macromolecolari, naturali o sintetici
- Sono lavorabili
- Non conducono calore ed elettricità
- Hanno basse resistenze meccaniche

STR. CRISTALLINA  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Temperatura di fusione ben} \\ \text{definita} \\ \text{Materiale non trasparente} \end{array} \right.$

STR. AMORFA  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Non c'è una temperatura di} \\ \text{fusione, ma un rammollimento} \\ \text{progressivo all'aumentare di } T \\ \text{Materiale trasparente} \end{array} \right.$

Riassumendo

MAT. CRISTALLINI  $\rightarrow$  Metalli, ossidi, Nitruuri, carburi

MAT. SEMICRISTALLINI  $\rightarrow$  Polimeri

MAT. AMORFI  $\rightarrow$  Vetri polimeri

## APPLICAZIONI DEI MATERIALI

STRUTTURALE  $\rightarrow$  Utilizzati per sostenere un  
carico. PROPRIETÀ TERMO-MECCANICHE

FUNZIONALI  $\rightarrow$  Utilizzati per ogni altra applica-  
zione. TUTTE LE ALTRE PROPRIETÀ =

## MATERIALI COMPOSITI

L'obiettivo dei materiali compositi è unire  
le buone proprietà di materiali diversi

## L'AUSTENITE

Ha una struttura a facce centrate, nella cella c'è più



spazio per il carbonio e la solubilità arriva al 2%.

## LA CEMENTITE ( $Fe_3C$ )

È un materiale molto duro ma fragile; il C è presente per il 6,67%. Quando l'acciaio fuso viene lasciato raffreddare il carbonio in eccesso si lega a 3 atomi di ferro formando così la cementite (REAZ. EUTETTICA o EUTETTOIDE)

Il diagramma di stato è complesso ma lo possiamo suddividere in due diagrammi più semplici:

- 1° DIAGR. DI STATO METASTABILE: Ferro-Cementite
- 2° DIAGR. DI STATO STABILE: Ferro-Grafite  
(NON UTILIZZATO)

## TRASFORMAZIONI DI FASE Fe- $Fe_3C$

Trasf. PERITETTICA (C = 0,15%)

Trasf. EUTETTICA (C = 4,3%)

Trasf. EUTETTOIDICA (C = 0,8%)

ACCIAI COMUNI O ACCIAI AL CARBONIO: Non contengono altri elementi in lega appositamente aggiunti, ma solo impurezza del minerale (Si, S, P)

ACC. EXTRADOLCI → DOLCI → SEMIDURI → DURI  
→ EXTRADURI

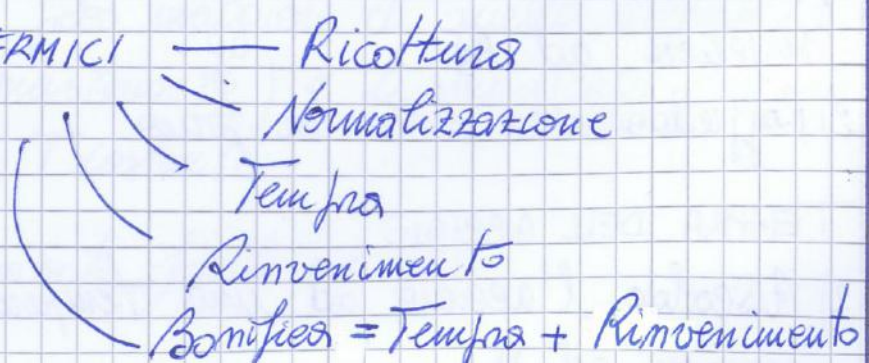
ACCIAI SPECIALI O LEGATI: Oltre a Fe e C, contengono quantità non trascurabili di elementi di lega, appositamente introdotti

### TRATTAMENTI TERMICI

Procedimenti condotti spesso a temperature elevate con i quali le caratteristiche di metalli o leghe sono modificate per migliorare l'efficienza dei cicli di lavorazione cui saranno sottoposti per conferire loro determinate proprietà

La microstruttura dei metalli e delle leghe può essere modificata con UN RISCALDAMENTO CONTROLLATO ed un ECCESSIVO RAFFREDDAMENTO

### TRATTAMENTI TERMICI





## 2) Raffreddamento veloce

Si ottiene una struttura con reticolo distorto della struttura di tempra. La tempra rende il materiale molto duro e resistente, ma anche molto fragile. Più la percentuale di C è alta più la tempra avviene facilmente. Anche alcuni elementi in lega rendono la tempra più semplice, anche tramite raffreddamento all'aria.

NB Raffreddando l'austenite bruscamente essa si trasforma in MARTENSITE.

La tempra è in grado di creare acciai dall'elevata durezza e resistenza a trazione, a scapito però della tenacità (capacità di un materiale a resistere a forze impulsive)

TEMPRA MARTENSITICA

(La MARTENSITE si forma quando la velocità di raffreddamento è così veloce da impedire la diffusione del C)

↳ Serve per → MINIMIZZARE LE DEFORMAZIONI

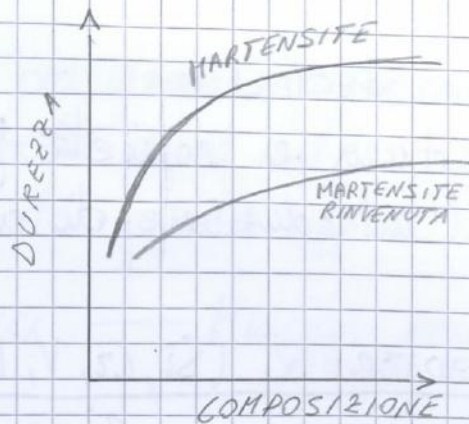
1) Immergo il pezzo a bagno salino, ad una temperatura poco maggiore di quella necessaria a formarsi martensite) e lo mantengo per un certo tempo a T costante

2) Poi raffreddamento finale ad olio

## COMPORTAMENTO MECCANICO LEGHE Fe-C: MARTENSITE

RINVENIMENTO:

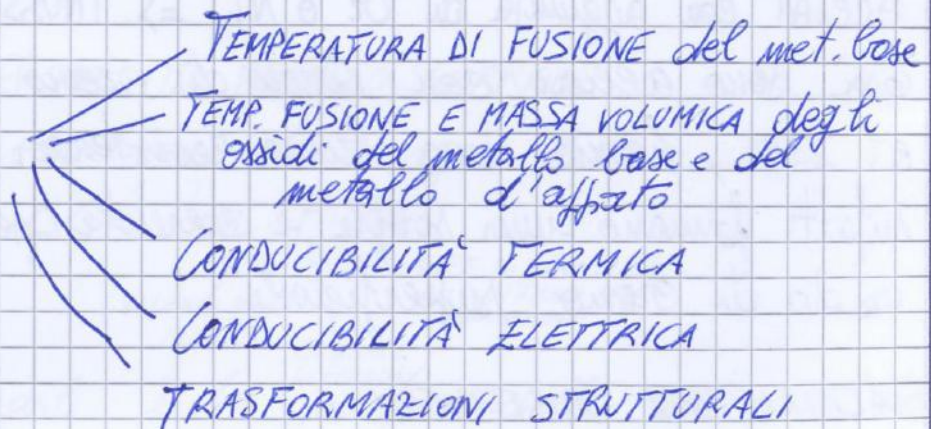
→ DUTTILITÀ ; → TENACITÀ  
← TENSIONI INTERNE



## LA SALDABILITÀ DEGLI ACCIAI AL CARBONIO

Un materiale ha buone proprietà di saldabilità quando un suo pezzo, saldato, conserva lungo il giunto saldato caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del metallo base.

SALDABILITÀ  
è condizionata da



Minor Tenore di carbonio è presente (ACCIAI DOLCI) e più facilmente sono saldabili  
Per annullare le tensioni interne che si originano nella zona saldata durante il raffreddamento si sottopongono i pezzi a normalizzazione

Cromo lungo i bordi dei grani, riducendo la percentuale di cromo nelle zone adiacenti che diventano aggredibili da agenti aggressivi

ACCIAI INOX FERRITICI → MIGLIOR PROPRIETÀ MECCANICHE

Procedimento

→ Riscaldamento fino a 800°C

Raffreddamento rapido in acqua

ACCIAI INOX MARTENSITICI → SONO GLI UNICI BONIFICAB.  
 - MINOR RESISTENZA ALLA CORROSIONE  
 - MIGLIORI PROPR. MECCANICHE

COME E PERCHÈ UN METALLO CORRODE

Si ha una variazione di energia libera del sistema

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot \Delta E$$

↑ VALENZA DEGLI IONI  
 ↑ COSTANTE DI FARADAY  
 ↑ DIFF. DI POTENZIALE ALL'INTERNO DELLA SOLUZIONE

Questo potenziale è la misura della reattività del materiale: più il materiale è negativo tanto più il materiale risulterà reattivo.

CINETICA è la capacità dell'ossigeno di migrare fino alla superficie dell'oggetto e permettere l'ossidazione.

Il film di ossido per essere efficace contro la corrosione deve essere:

CAUSE  
CORROSIONE  
CLS

COSA COMPORTANO ...

CARBONATAZIONE: Partendo dagli strati più esterni l'alcalinità del cls può essere neutralizzata dalla  $CO_2$  nell'aria  $\Rightarrow$  la soluzione passa a  $pH < 9$  e quindi distruggere il film di ossido a protezione delle armature

PRESENZA DI CLORURI: Se l'ambiente contiene cloruri questi penetrano nel cls fino alle armature. Se si eccede nel tenore di cloruri (0,4 - 1% del peso cls) il film protettivo può rompersi localmente (pitting). La corrosione prosegue solo se sulla superficie in seguito sono presenti acqua e ossigeno.

COMPARSA SULLA SUPERFICIE ESTERNA DEL CLS DI MACCHIE DI RUGGINE

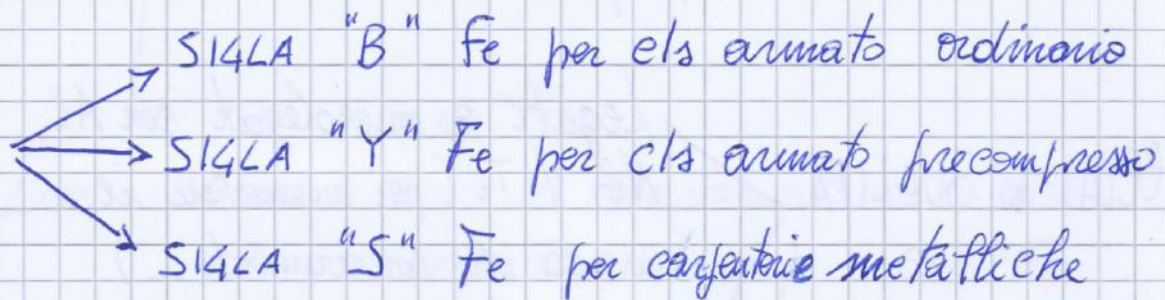
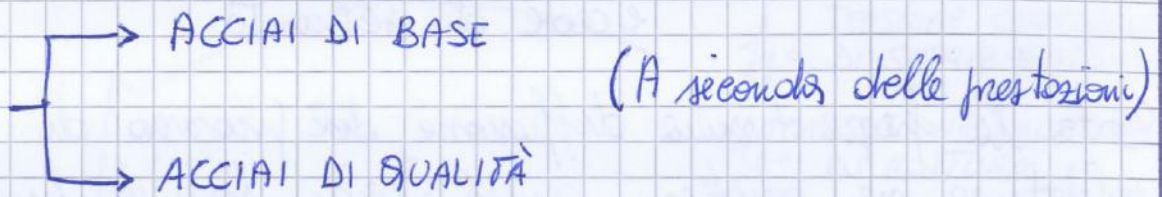
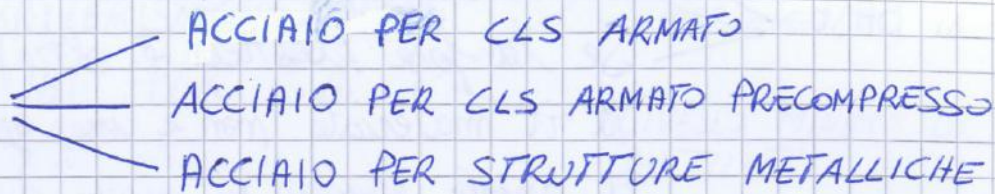
DANNEGGIAMENTO DEL COPRIFERRO PROVOCATO DALL'AZIONE ESPANSIVA DEI PRODOTTI DI CORROSIONE

Se però la velocità di corrosione è al di sotto di 1,5 - 2  $\mu m/anno$ , le conseguenze sono trascurabili.

La CARBONATAZIONE non provoca alcun danno al cls, ma danneggia le armature, in presenza di ossigeno ed acqua

## ACCIAI DA COSTRUZIONE

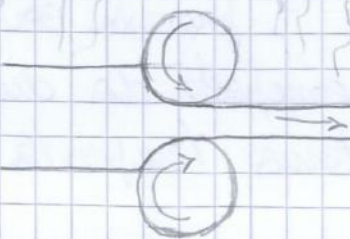
(80% della produzione totale dell'acciaio)



Successivamente viene riferato il valore della tensione di snervamento minima in  $N/mm^2$  (MPa)

## LAMINAZIONE A CALDO

Nel processo di laminazione a caldo i lingotti vengono prima riscaldati entro appositi forni alla temperatura di massima plasticità, successivamente modellati nei laminatoi - - -



ed una intensa caratterizzata da una elevata duttilità

### CARATTERISTICHE DEGLI ACCIAI PER C.A.

LIVELLO MINIMO DI RESISTENZA ALLO SNERVAMENTO

LIVELLO MINIMO DI DUTTILITÀ



$\sigma_y$  = TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO

$\sigma_t$  = TENSIONE CARATTER. DI ROTTURA

Es. B450C : Carico di snervamento = 450 MPa  
Carico di rottura = 540 MPa

### PRODUZIONE ACCIAI PER CLS PRECOMPRESSO

LAMINATI A CALDO: → RESIS. ALLA ROTTURA 1300 MPa

TEMPRATI E RINVENUTI → RESIS. ALLA ROTTURA 1650 MPa

TRAFILATI A FREDDO → RESIS ALLA ROTTURA 1850 MPa

$a=b=c$	; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	CUBICA
$a=b \neq c$	; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	TETRAZIONALE
$a \neq b \neq c$	; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	ORTOROMBICA
$a=b=c$	; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	ROMBOEDRICA
$a=b \neq c$	; $\alpha = \beta = 90^\circ$ ; $\gamma = 120^\circ$	ESAGONALE
$a \neq b \neq c$	; $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	MONOCLINA
$a \neq b \neq c$	; $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	TRICLINA

Materiale a singolo cristallo  $\rightarrow$  MONOCRISTALLO  
 Gli atomi sono perfettamente ordinati secondo una ripetizione periodica per tutto il solido senza interruzione. Se libero di crescere esso riproduce anche macroscopicamente la forma della cella unitaria.

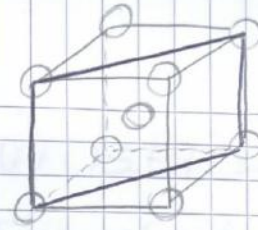
#### MATERIALI POLICRISTALLINI

Gran parte dei solidi (metalli, ceramici) sono costituiti da un aggregato di molti piccoli cristalli o grani. Esistono delle ripetizioni ma non ci sono le condizioni perché si orientino nello stesso modo.

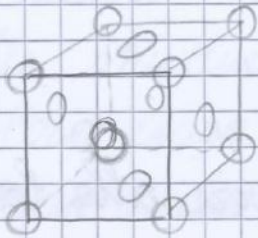
Possiamo avere:

- DISCONTINUITÀ nelle regioni di confine fra un grano e l'altro, tali zone sono denominate BORDI DI GRANO

## PIANO DIAGONALE DEL CUBO



## STRUTTURA CRISTALLINA A FACCE CENTRATE



La DIAGONALE DELLE FACCE DEL CUBO è la direzione a più alto impacchimento per il FCC.

## DIVERSE STRUTTURE, DIVERSE PROPRIETÀ

Gli acciai ferritici hanno una struttura a corpo centrato che presenta a basse temperature una maggiore fragilità. Per realizzare un oggetto che si fosse utilizzare a basse temperature, posso impiegare acciai austenitici con struttura a facce centrate.

## POLIMORFISMO

Si definisce così un solido che cambia la sua struttura cristallina durante il riscaldamento (Fe, Ti, SiO<sub>2</sub>). Il polimorfismo provoca variazioni nelle proprietà dei materiali (Volume, coeff. di dilat. termico, modulo elastico).

Le TRASFORMAZIONI ALLOTROPICHE implicano una variazione di volume che può indurre uno stress il quale può dare origine a fratture.



Nella struttura a CORPO CENTRATO abbiamo:

- MOLTE LACUNE OTTAEDRICHE
  - MOLTE LACUNE TETRAEDRICHE
- } Tutte di piccole dimensioni

Nella struttura a FACCE CENTRATE abbiamo:

- POCHE LACUNE OTTAEDRICHE (GRANDI)
- POCHE LACUNE TETRAEDRICHE (PICCOLE)

Gli interstizi nelle strutture cristalline dei metalli sono d'importanza assoluta, per l'esistenza delle leghe metalliche che possono essere soluzioni solide interstiziali o sostituzionali.

### STRUTTURA CRISTALLINA DEI CERAMICI

Rispetto ai metalli abbiamo più varietà di strutture cristalline. Parametri di cella maggiori quindi repulsione fra ioni e densità inferiori.

Piani reticolari a maggiore distanza e minore impacchettamento quindi influenza sulle proprietà meccaniche.

$\text{NaCl}$  (Cloruro di sodio)

↳ nc di coordinaz.: 6 (ogni ione è circondato da 6 ioni di segno opposto)

$\text{ZrO}_2$  (Zirconia ~ ossido di zirconio)

Nella zirconia possono crearsi numerose vacanze di ossigeno. Ad alte temperature tali vacanze diven-

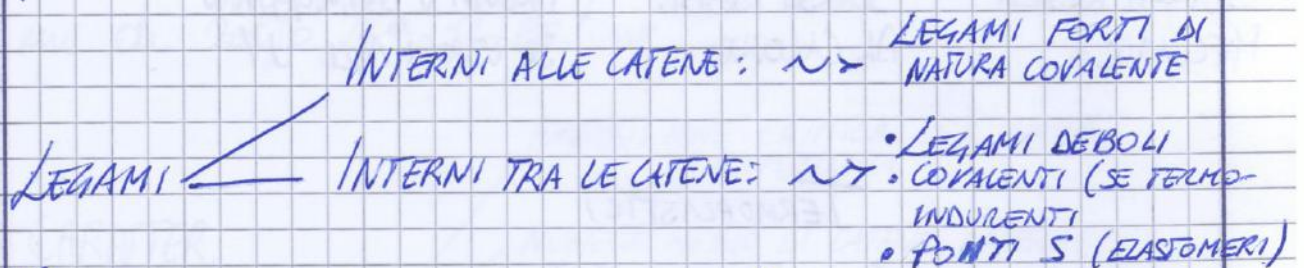
Dato che le loro forze di coesione intermolecolari sono basse rispetto alle forze intramolecolari essi possiedono SCARSE PROPRIETÀ MECCANICHE

## NATURA FISICA E CHIMICA DEI POLIMERI

MACROMOLECOLE: Catene lineari o ramificate di unità ripetitive

UNITÀ RIPETITIVA: È l'unità chimica minima dalla cui ripetizione la catena polimerica è formata

MONOMERI: I monomeri sono i reagenti da cui si parte per ottenere il polimero, derivano dal petrolio e dal metano

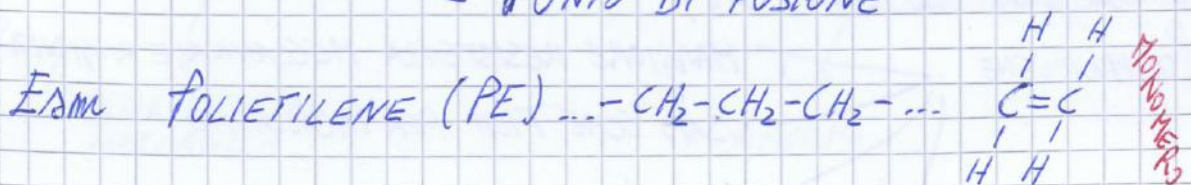
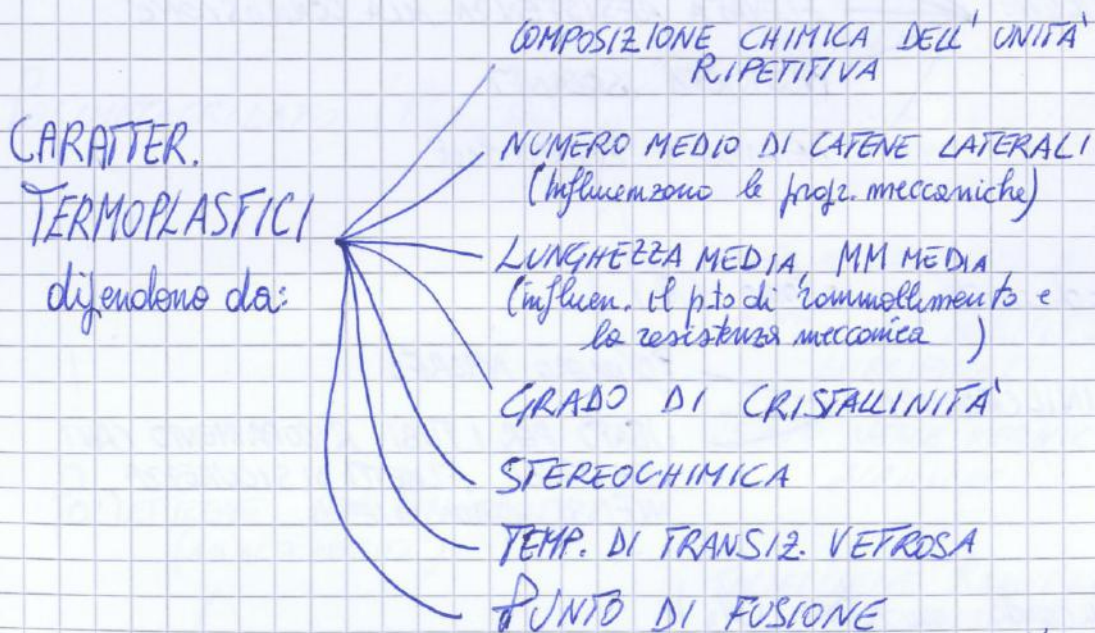


I legami inter-molecolari influenzano rigidità viscosità e resistenza meccanica del materiale.

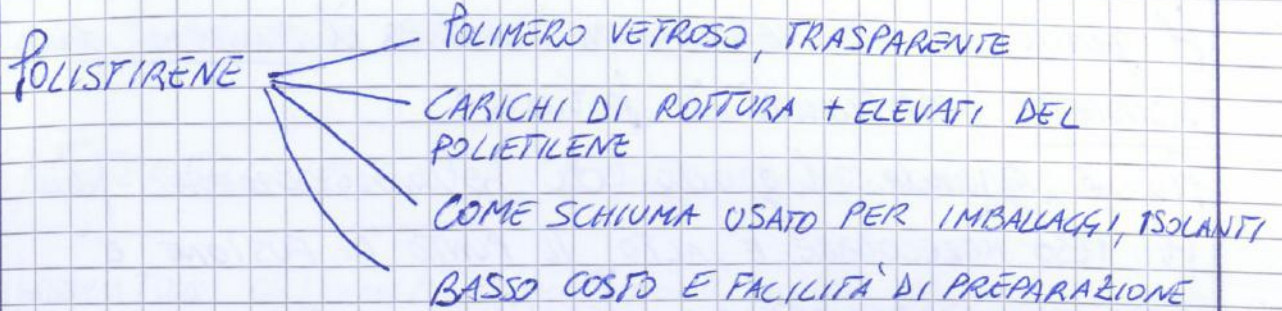


TERMOINDURENTI: Nel passaggio dallo stato plastico a quello indurito (reticolato), cambiano IRREVERSIBILMENTE la loro struttura chimica con la formazione di legami COVALENTI tra le molecole, che non si possono più rompere. E questi materiali vengono riscaldati, dopo la reticolazione non rammolliscono e non fondono, ma si DECOMPONGONO CARBONIZZANDOSI.

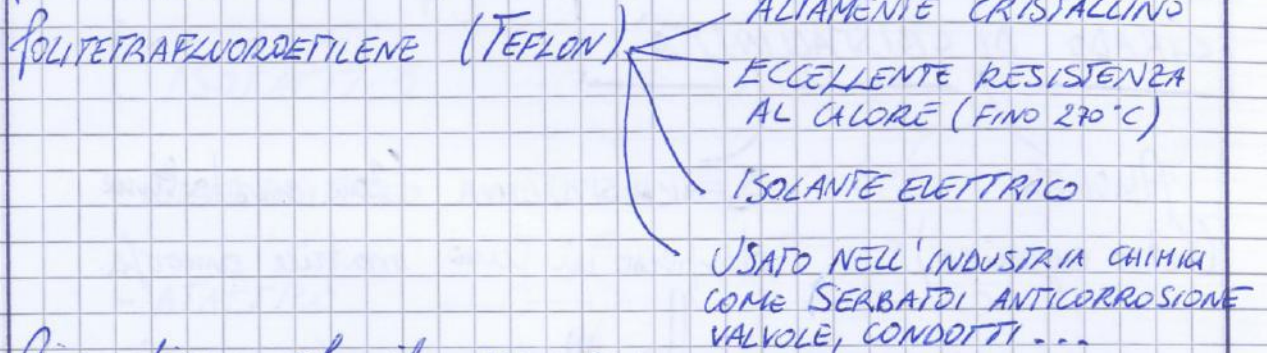
ELASTOMERI: La loro caratteristica principale è una grande deformabilità elastica; possono essere sia termoplastici che termoidurenti. Hanno legami di zolfo tra le catene



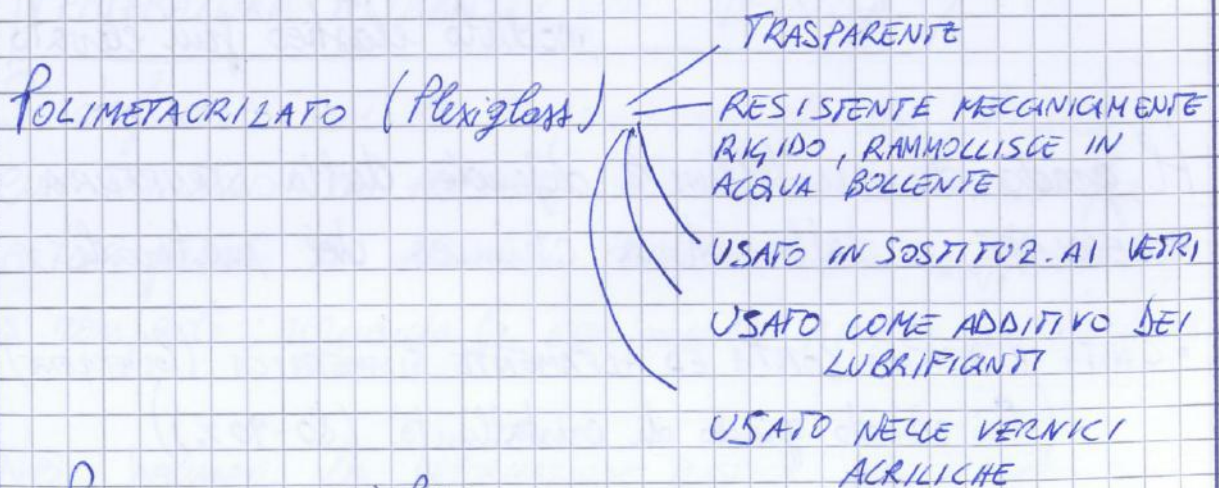
(Introducendo un anello di benzene)



(Sostituzione H con F)



Ricordiamo che il numero medio di catene laterali influenzano le proprietà meccaniche.



**POLIETILENE NON RAMIFICATO (AD ALTA DENSITÀ)**

MAGGIOR RESISTENZA MECCANICA

**POLIETILENE RAMIFICATO (A BASSA DENSITÀ)**

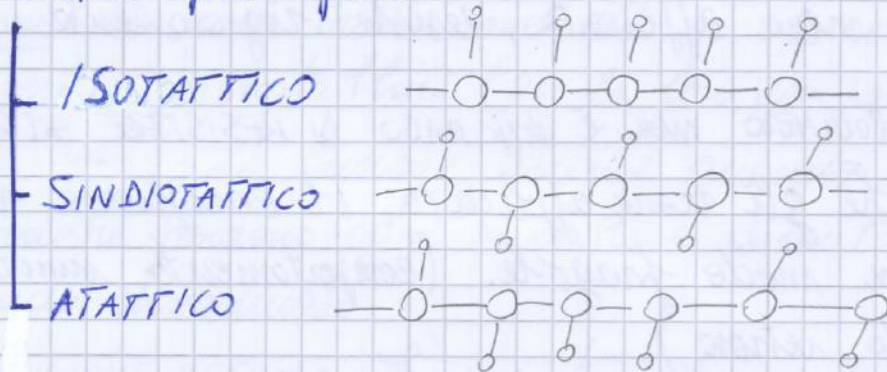
AMORFO

UTILIZZI: BOTTIGLIE, CONTENITORI PER USO DOMESTICO, CONTENITORE PER PRODOTTI CHIMICI

amorphe e zone cristalline.

## STEREOCHIMICA

I gruppi sostituenti possono presentare differenti orientamenti nello spazio rispetto alla estesa principale



## TEMPERATURA A TRANSIZIONE VETROSA

Si definisce così la temperatura di un polimero in cui NON SONO PIÙ PRESENTI LEGAMI DI VAN DER WAALS fra catene perché le vibrazioni termiche sono sufficienti a romperli; riguarda la componente AMORFA DEL MATERIALE

Nei polimeri la DEFORMAZIONE PLASTICA non è dovuta al moto delle DISLOCAZIONI bensì al movimento delle MACROMOLECOLE in modo da assecondare il carico applicato. In sostanza quando si piega un polimero le macromolecole si muovono cercando la posizione di minor sollecitazione

557 95

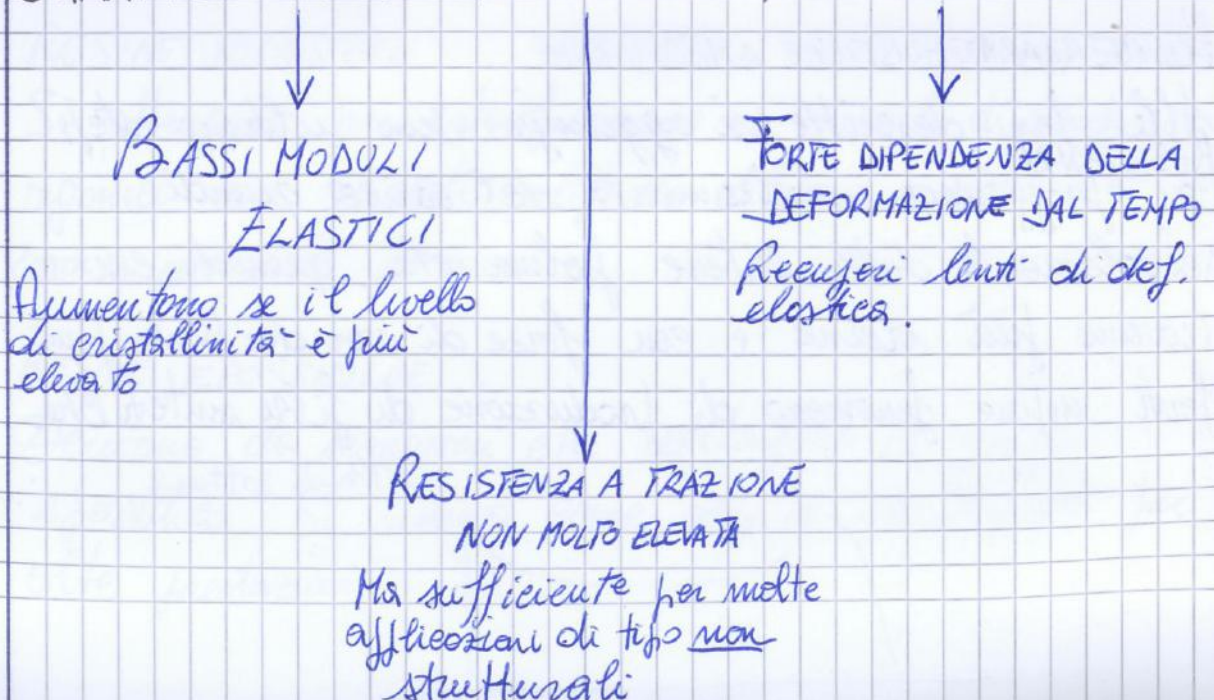
catene e le distanziano una dall'altra. Questo meccanismo si usa per rendere il polimero più lavorabile.

### DIFFERENZA: FUSIONE - TRANSIZIONE VETROSA

FUSIONE: È una transizione che si osserva nei polimeri semicristallini (per la loro componente cristallina). La fusione avviene quando le catene polimeriche perdono ogni cristallo e diventano un liquido disordinato.

TRANSIZIONE VETROSA: È una transizione dei polimeri amorfi e semicristallini (per la loro componente amorfa). Si verifica quando si rompono i legami di Van der Waals fra le catene polimeriche e queste si comportano come un fluido molto viscoso. (st. amorfo gommoso)

### CARATTERISTICHE MECCANICHE TERMOPLASTICI



## CREEP DEI TERMOPLASTICI

Il polimero può impiegare anche qualche ora per raggiungere la deformazione definitiva il MODULO DI CREEP rispetto al tempo si definisce

$$M(t) = \sigma / \epsilon(t)$$

## TERMOINDURENTI

Costituiscono la classe dei termoidurenti, i POLIMERI RETICOLATI (Resine). I legami fra le molecole sono covalenti. Hanno un comportamento plastico nei primi stadi preparativi ma una volta induriti non RAMMOLLISCONO PIÙ.

Hanno, grazie al loro tasso di reticolazione elevato una RESISTENZA MECCANICA e TERMICA SUPERIORE AI TERMOPLASTICI. Di contro una lavorabilità più ardua e meno rapida.

## RESINE POLIESTERE

Si ottengono per esterificazione di miscele di acidi organici con glicoli alifatici. Sono utilizzati come adesivi, vernici ...

## RESINE EPOSSIDICHE

Derivano da monomeri che contengono il gruppo epossidico. Si usano come adesivi strutturali per alte prestazioni.

## MESCOLE

Sono miscele complesse di 20-30 componenti i quali lavorando sinergicamente ottimizzano diverse qualità (resist. all'invecchiom.; flessibilità alle basse temperature; resist ad attacchi chimici, lavorabilità...)

## PROPRIETÀ MECCANICHE

Allungamento elastico minimo 100%

Carichi di rottura 7-20 MPa

Modulo elastico: carico necessario per raggiungere un allungamento del 100 o 300%

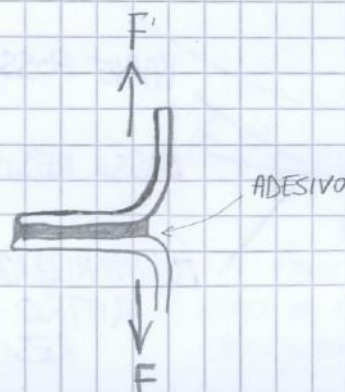
A basse temperature tutte le gomme si rigidiscono e a  $-30^{\circ}\text{C}$  può avvenire anche la rottura.

Ad alte temperature per effetti di isteresi si può avere maggiore ossidazione e degrado. Le gomme saturo o neofumo sono più resistenti.

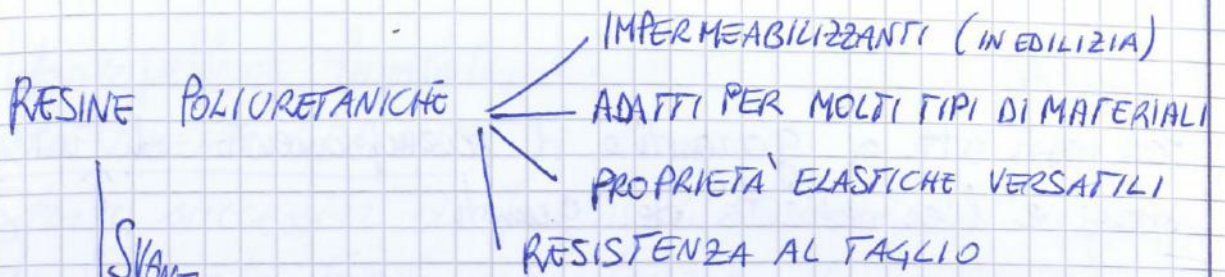
## ADESIVI

Le giunzioni sono ottenute per sovrapposizione di lembi, le quali possono essere sottoposte a sollecitazioni di:

- Compressione
- Taglio
- peeling (pelaggio)

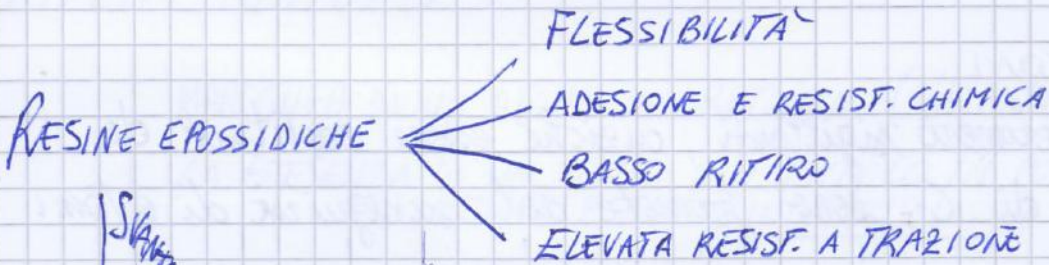






SVANTAGGIO

DEGRADO PER EFFETTO DEGLI UV  
DEGRADO AD ALTE TEMPER. PER IRRAGGIAMENTO



SVANTAGGIO

COSTO

### ADESIVI TERMOPLASTICI

Hanno resistenza inferiore ai termomodurenti ma una deformazione viscosa più elevata per la mancanza di reticolazione. NON VENGONO IMPIEGATI IN APPLICAZIONI STRUTTURALI. Induriscono per evaporazione del solvente o per riosolidificazione se stati applicati allo stato fuso.

EFFETTO BARRIERA

per strutture in acciaio

PIGMENTI ATTIVI

A base di zinco, ed esso si sostituisce nella corrosione del Ferro

Idrorepellenti, lavabili, ...

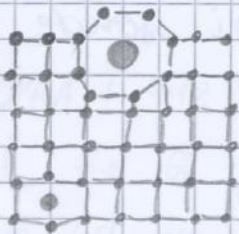
RIVESTIMENTI SPALMATI: *Stato matura*

Strati successivi di pasta di resina su un fondo spianato. Facile manutenzione e pulizia.

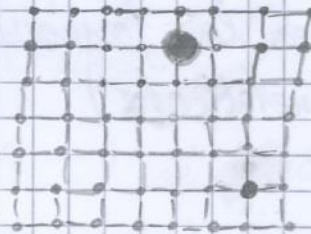
## DIFETTI NEI SOLIDI CRISTALLINI

### DIFETTI PUNTUALI

- MANCANZA DI UN ATOMO NEL RETICOLO (VACANZA)
- LA PRESENZA DI UN ATOMO PIÙ PICCOLO IN POSIZIONE INTERSTIZIALE (INTERSTIZIALE)
- UN ATOMO DIVERSO CHE SOSTITUISCE UN ATOMO PROPRIO DEL RETICOLO (SOSTITUZIONALE)



INTERSTIZIALE



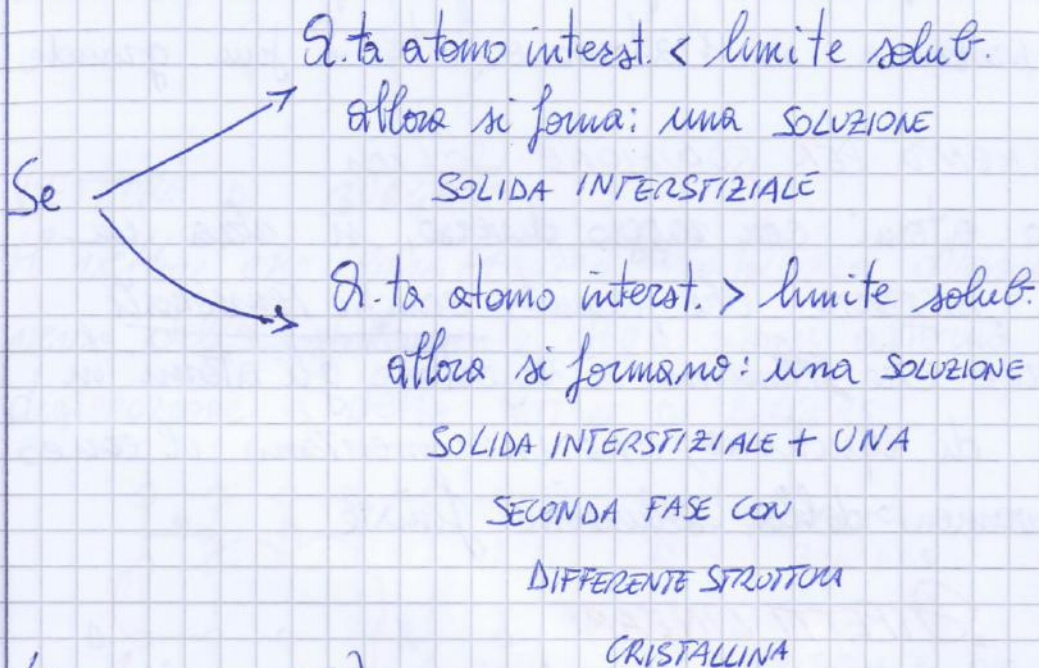
SOSTITUZIONALE

Le VACANZE si formano:

- PROCESSI DI SOLIDIFICAZIONE
- IMPUREZZE CHIMICHE
- VIBRAZIONI ATOMICHE

Le vacanze permettono il movimento degli atomi da un NODO RETICOLARE AD UN ALTRO (DIFFUSIONE)

forze esterne. C'è un limite di solubilità dell'atomo interstiziale in ciascun reticolo ed è dato dal livello massimo di stress che può essere accettato dal cristallo

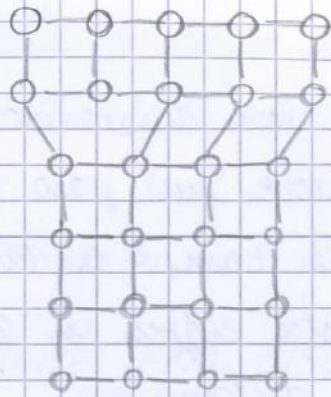


(SOPRA 1912 °C)

Nel Fe a facce centrate (FCC) si può sciogliere fino ad un massimo di circa 1,98% in peso di C quantità limitata dalla deformazione del reticolo

(SOTTO 1912 °C) (BCC)

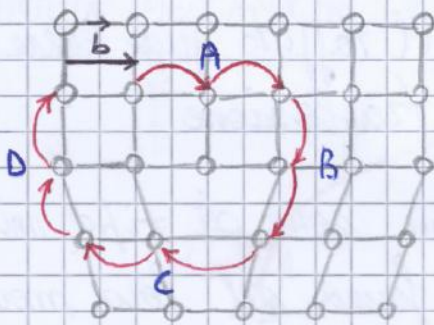
Nel Fe a corpo centrato (a causa della maggiore deformazione del reticolo), una quantità di circa lo 0,02% di C in peso



Dislocazione a spigolo

### VEETTORE DI BURGERS

Il vettore che caratterizza ampiezza, direzione e verso dello spostamento degli atomi attorno alla dislocazione è detto VETTORE DI BURGERS



$\vec{b}$  = VETTORE DI BURGERS

↓ Risultante per CHIUDERE il percorso dopo i passi A, B, C e D

Con le dislocazioni a spigolo, AUMENTA L'ENERGIA INTERNA DEL SISTEMA

### MOTO DELLE DISLOCAZIONI E DEFORMAZIONE PLASTICA

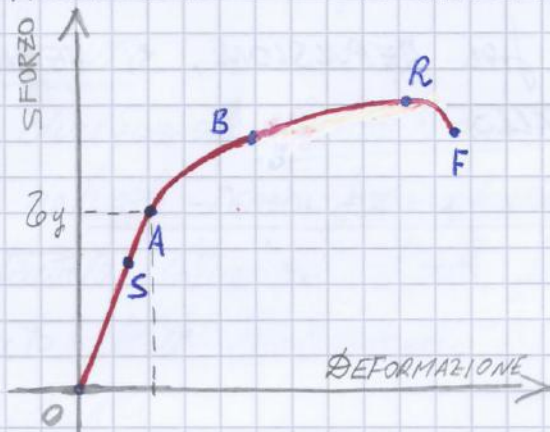
Il moto delle dislocazioni ha inizio superato il carico di snervamento ed ad esso si deve la deformazione plastica di un materiale

Il reticolo a corpo centrato NON HA PIANI AD IMPACCHETTAMENTO così elevati come il reticolo a facce centrate, ma ha SOLO DIREZIONI A MASSIMO IMPACCHETTAMENTO

### INTERAZIONE FRA DISLOCAZIONI

Durante il loro movimento le dislocazioni generano nuove dislocazioni: man mano che il campione si deforma plasticamente si genera una SELVA DI DISLOCAZIONI esse si bloccano le une con le altre

### PROPRIETÀ MECCANICHE E MECCANISMI MICROSCOPICI



$\overline{OA}$  = DEFORMAZIONE ELASTICA: piccolo spostamento reversibile degli atomi dalle loro posizioni di equilibrio, senza rottura dei legami chimici, ma solo con un loro modesto allungamento reversibile.

$\overline{A}$  = SNERVAMENTO: inizio del moto delle dislocazioni, ovvero lo spostamento irreversibile di atomi. Rottura e successiva formazione di nuovi legami chimici.

## LEGAMI CHIMICI NEI SOLIDI E DEFORMAZIONI

### SOLIDI IONICI

La presenza di ioni dotati di carica elettrica e delle relative forze di repulsione sfavoriscono il moto delle dislocazioni. I solidi ionici sono materiali fragili.

### SOLIDI METALLICI

Il moto dislocativo avviene facilmente (appunto perché si tratta di strutture ad alto impacchettamento). Sono materiali duttili e questi fatti hanno grande capacità di deformazione plastica.

### SOLIDI COVALENTI

I legami direzionali sfavoriscono il moto delle dislocazioni. I reticoli sono poco densi, non ci sono vuoti ed alta densità atomica, tutti fattori che sfavoriscono il movimento delle dislocazioni.

### SOLIDI MOLECOLARI

I legami deboli fanno sì che il materiale sia duttile, ma con un meccanismo di deformazione che non dipende dal moto delle dislocazioni.

## DEFETTI DI AREA

### LA SUPERFICIE



- Sono inoltre i luoghi in cui hanno inizio i processi di ricristallizzazione durante la ricottura di materiali deformati a freddo.
- Infine i bordi di grano influenzano anche sulle proprietà ottiche (in particolare sulla trasparenza)

MAT. TRASPARENTI

MATERIALI IN GRADO DI TRASMETTERE QUASI INTERAMENTE LA LUCE

OSSIDI, POLIMERI, SOL. COVALENTI

MAT. OPACI

MATERIALI IMPENETRABILI ALLA LUCE VISIBILE

TUTTA LA LUCE VIENE RIFLESSA O ASSORBITA

### DIFETTO DI VOLUME MICROSCOPICI

Inseizi elementi in lega OLTRE IL LIMITE DI SOLUBILITA'

### DIFETTO DI VOLUME MACROSCOPICI

FORI

Possono influenzare in maniera notevole le proprietà meccaniche termiche ed ottiche di un materiale

CRICCHE DI FRATTURA

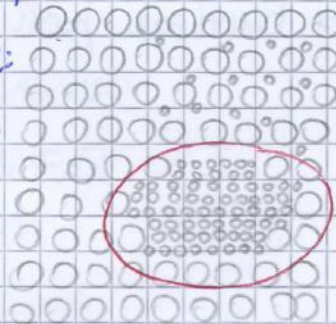
Possono influenzare in modo notevole le proprietà meccaniche.

della duttilità, rispetto a quanto avviene ad esempio per effetto dell'incrudimento

### RAFFORZAMENTO PER SECONDA FASE

Inserire in lega elementi, oltre il limite di solubilità. Formazione di una seconda fase; se questa ha:

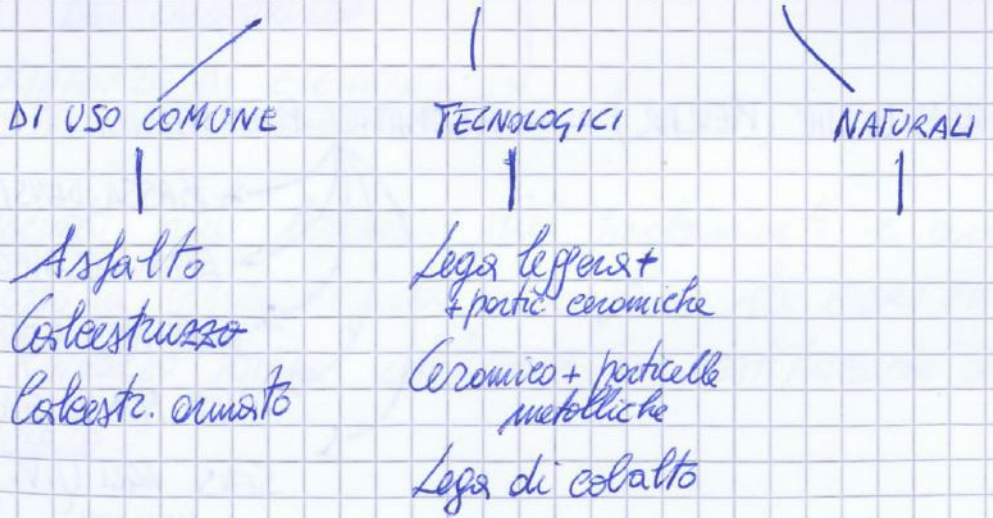
- ▷ LEGAME PARZIALMENTE COVALENTE o IONICO
- ▷ NON HA PIANI E DIREZIONI AD ELEVATA DENSITA'
- ▷ HA ELEVATO PIANO RETICOLARE
- ▷ UN BORDO DI GRANO AD ANGOLO ELEVATO



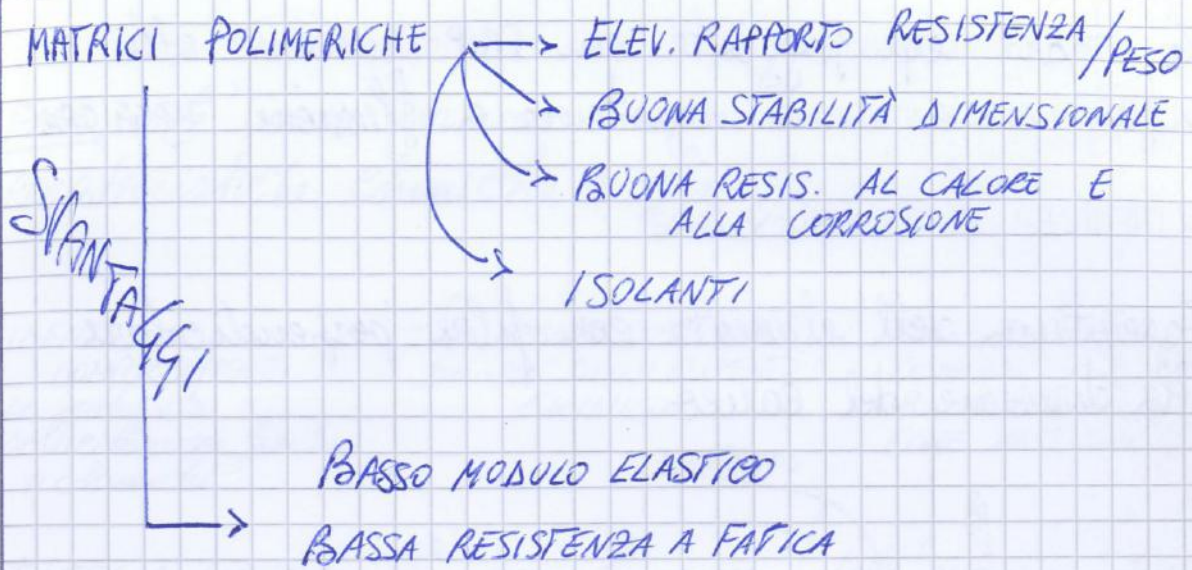
Le dislocazioni si muovono con difficoltà nella seconda fase => RAFFORZAMENTO PER SECONDA FASE

### MATERIALI COMPOSITI

Costituiti da una MATRICE e da un RINFORZANTE







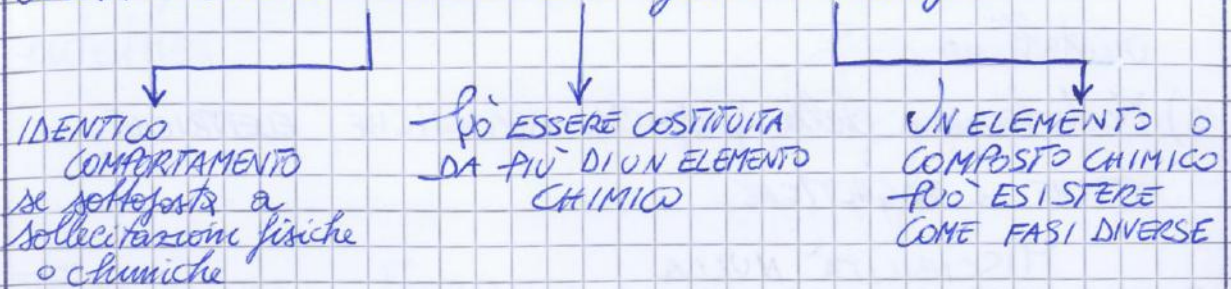
## USO DEI COMPOSITI IN EDILIZIA

- PAVIMENTAZIONI
  - TUBAZIONI
  - SERBATOI
- } Usi generici
- PANNELLI E PROFILATI PER PONTI / ENFICI
  - ARMATURE PER IL RINFORZO DEL CALCESTRUZZO
  - RINFORZO DI ELEMENTI STRUTTURALI ESISTENTI
- } Usi strutturali

Essendo più leggeri, più performanti e avendo un  
messa in opera rapida e semplice la FIBRA POLIMERICA  
DI RINFORZO viene utilizzata in sostituzione dell'  
acciaio

## DIAGRAMMI DI STATO

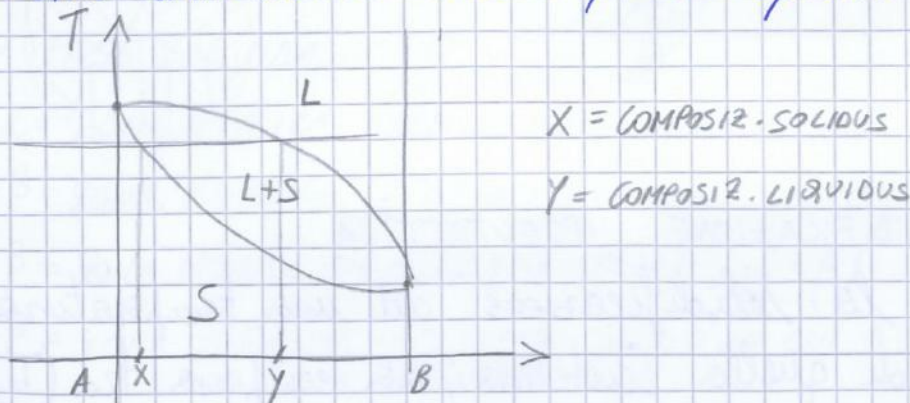
FASE: È una porzione omogenea di un sistema con caratteristiche chimiche e fisiche uniformi



ENERGIA LIBERA: È una funzione dell'energia interna di un sistema (o entalpia) e del suo stato di disordine (o entropia). In condiz. di equilibrio l'energ. libera è minima.

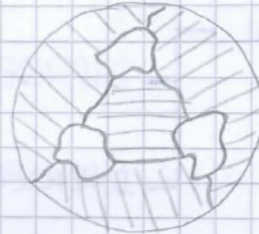
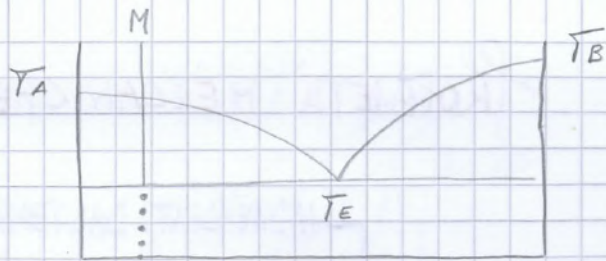
Nelle SOLUZIONI SOLIDE la velocità di trasformazione sono spesso estremamente basse l'equilibrio non viene raggiunto => SISTEMA IN STATO DI EQUILIB. METASTABILE

MISCIBILITÀ ILLIMITATA: Si ha quando due componenti sono completamente miscelati l'uno nell'altro, sia allo stato solido che a quello liquido.



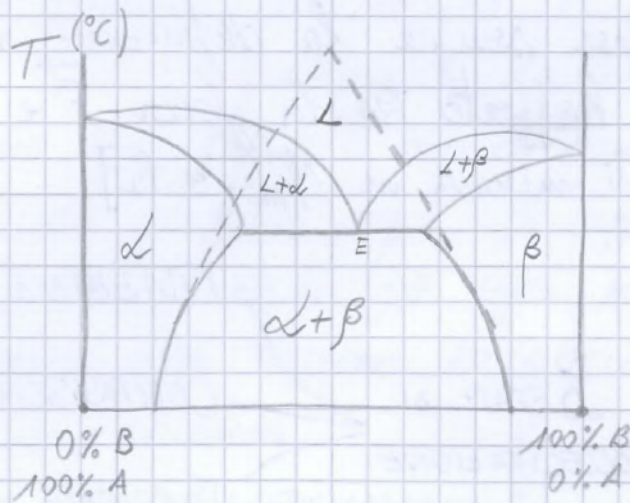
MICROSTRUTTURA: Tipo, forma, quantità, dimensione dei grani di una fase

di deposizione primaria  
(dal liquido) inglobati  
nella fine struttura  
eutettica



TROPPO SOLUTO = FORMAZIONE DI UNA SECONDA SOLUZIONE SOLIDA  
||  
LIMITE DI SOLUBILITÀ

### DIAGRAMMA SOLUBILITÀ LIMITATA



$L$  = FASE LIQUIDA

$L + \alpha$  = ZONA BIFASICA (LIQUIDA + SOLIDA) <sup>( $\alpha$ )</sup>

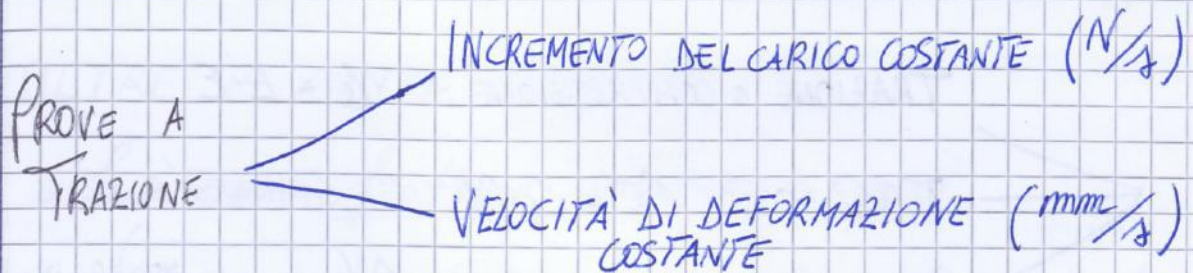
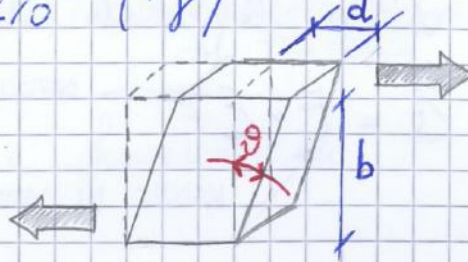
$L + \beta$  = ZONA BIFASICA (LIQUIDA + SOLIDA) <sup>( $\beta$ )</sup>

$\alpha + \beta$  = ZONA MONOFASICA ~ SISTEMA SOLIDO ( $\alpha$  e  $\beta$ )

$\alpha + \beta$  = ZONA BIFASICA ~ SISTEMA SOLIDO IN CUI A SATURO DI B  
E B SATURO DI A

Deformazione da TAGLIO ( $\gamma$ )

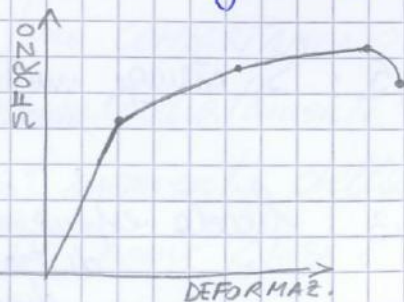
$$\gamma = \frac{d}{b} = \operatorname{tg} \vartheta$$



Il provino viene deformato fino a rottura mediante incremento graduale del carico. Il carico viene applicato in maniera uniaassiale lungo l'asse più lungo del provino. La forma a esso di cane del provino impedisce la frattura negli azzerraggi.

Il grafico corrispondente (per ogni materiale univoco) di resistenza alla trazione lo abbiamo già incontrato e si chiama:

Diagramma SFORZO : DEFORMAZIONE  
( $\sigma$ ) ( $\epsilon$ )



COMPORTAMENTO ELASTICO

Si è nella fase elastica quando RIMOSSA LA FORZA IL MATERIALE RITORNA ALLE DIMENSIONI INIZIALI. Tutti i materiali allo stato solido presentano un CAMPO DI DEFORMAZIONI entro il quale hanno comportamento ELASTICO LINEARE

BASSO MODULO ELASTICO = ALTA DEFORMAZIONE in condiz. di trazione

Il MODULO DI YOUNG è funzione di

- ENERGIA DEI LEGAMI
- STRUTTURA DEI MATERIALI

OLTRE IL LIMITE DI LINEARITÀ

> può esserci frattura ⇒ MATERIALI FRAGILI

↳ Nei vetri e ceramici manca la fase di def. plastica; la frattura avviene nella zona di def. elastica

> Le deformazioni diventano PLASTICHE ossia PERMANENTI  
↳ MATERIALI DUTILI ⇐

> Le deformazioni sono ELASTICHE ma non più lineari e proporzionalmente con la forza (POLIMERI)

Alcuni materiali però presentano COMPORTAMENTO ANELASTICO cioè non restituiscono immediatamente tutta l'energia elastica accumulata, al momento della cessata sollecitazioni; ad esempio come GHISE e GOMME

### SMORZAMENTO

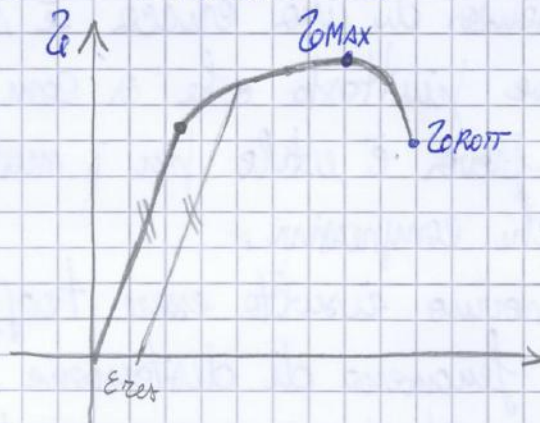
Lo smorzamento è una qualità propria dei materiali anelastici che sono impiegati in applicazioni meccaniche

Il carico di snervamento è molto importante, perché permette di calcolare quale sia lo SFORZO MASSIMO CHE PUÒ ESSERE APPLICATO SENZA PRODURRE DEFORMAZIONI PERMANENTI.

I metalli puri in genere hanno carichi di snervamento molto bassi, e di conseguenza una grande capacità di deformazione plastica.

Come già detto precedentemente, i MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO dei metalli sono:

- AFFINAMENTO DEL GRANO
- SOLUZIONI SOSTITUZIONALI o INTERSTIZIALI
- DEFORMAZIONI
- FASI SECONDARIE



$\sigma_{MAX}$  = Il CARICO MASSIMO che corrisponde al massimo del grafico ed è il p.to in cui comincia la strizione

$\sigma_{ROTT}$  = Il CARICO DI ROTTURA che corrisponde al punto in cui il provino HA CEDUTO E SI È ROTTO

## SFORZO A FATICA

Degrado della resistenza meccanica subito da un materiale quando è sottoposto a SFORZO CICLICO con  $\sigma_{APPL} < \sigma_y$ .

Definisce una tensione limite oltre il quale il materiale non sopporta più di un determinato numero di cicli ( $10^6, 10^7, 10^8 \dots$ ) cicli

## MECCANISMI DELLA FATICA

- 1) DANNO INIZIALE: effettuare una deformazione plastica localizzata in corrispondenza di una zona di concentrazione delle sollecitazioni
- 2) INNESCO: di una o più cricche
- 3) COALESCENZA di cricche per formare una o più macrocricche
- 4) PROPAGAZIONE di una o più macrocricche
- 5) ROTTURA: di seguito (fragile) della sezione residua

## PROVE DI FATICA

PROVA A FLESSIONE ROTANTE: il campione viene posto in rotazione e viene soggetto ad una forza perpendicolare all'asse di rotazione. Naturalmente esiste una TENSIONE LIMITE DI FATICA al di sotto del quale non si verificano fenomeni di rottura a fatica anche per un numero di cicli infinito.

Per acciai questo limite è posto a 30-60% della

## RELAZIONE TRA DUREZZA E CARICO DI ROTTURA

Essendo una prova non distruttiva, e molto più semplice di quella a trazione, nell'industria è molto utilizzata per:

- 1) STIMARE LE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA
- 2) CONTROLLO DI QUALITÀ

## ALTRE PROVE DI DUREZZA

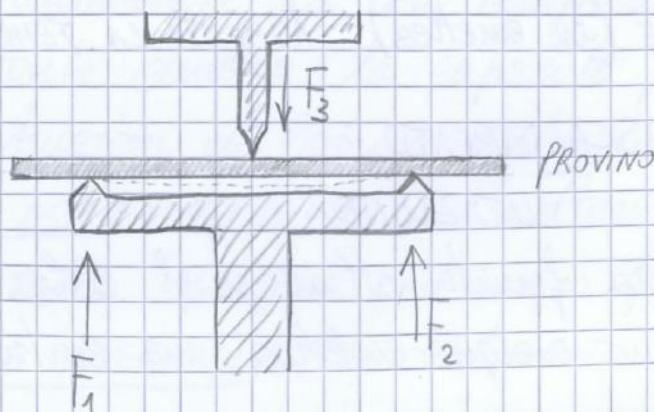


## RESILIENZA E TENACITÀ

La TENACITÀ è una misura della quantità di energia che un materiale è in grado di assorbire PRIMA DI GIUNGERE A ROTTURA

La RESILIENZA, invece, misura la quantità di energia che un materiale è in grado di assorbire prima di giungere a rottura per urto.

## PROVA A FLESSIONE SU 3 PUNTI





DILATAZIONE TERMICA (en. potenziata) causa all'incremento delle distanze di legame tra atomi/ioni/molecole

RISCALDAMENTO:

TRASFORMAZIONI

Durante le trasformazioni di fase il calore fornito viene utilizzato per far avvenire la trasformazione stessa e non si osserva incremento della temperatura.

CAPACITÀ TERMICA: è la misura di quanto un corpo sia capace di assorbire l'energia fornita.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad [J/K]$$

CALORE SPECIFICO: è la capacità termica di una massa unitaria di materiale

CALORIA: Calore necessario per innalzare di un grado la temperatura di un grammo di acqua.

I materiali ad alto calore specifico (come l'acqua) variano lentamente la loro temperatura.

È importante conoscere la capacità termica perché nelle costruzioni di barriere distinguiamo:

BARRIERE ESTIVE: richiede un materiale che presenti elevato calore specifico (ad esempio fibra di legno)

BARRIERE INVERNALI: prevalentemente realizzate con

(carico di smorzamento elevato) non sono buoni conduttori termici (ed elettrici)

Il moto di fononi è il meccanismo di trasmissione del calore prevalente nei ceramici ed è meno efficiente del moto elettronico quindi sono ISOLANTI. L'unico ceramico con elevata conducibilità è il DIAMANTE.

I VETRI essendo privi di reticolo hanno CONDUCEBILITÀ TERMICA INFERIORE AI CERAMICI quindi difficoltà di propagazione delle onde vibrazionali.

Anche i materiali CERAMICI POROSI sono cattivi conduttori perché il trasferimento di CALORE attraverso i pori è lento ed inefficace. Aumentando il numero dei pori si verifica una riduzione della CONDUCEBILITÀ TERMICA.

In ultima analisi i POLIMERI hanno conducibilità termica INFERIORE AI CERAMICI. È chiaro che la conducibilità dipendendo dal grado di cristallinità, risulterà essere più conduttore un POLIMERO avente struttura ordinata piuttosto che uno con struttura AMORFA.

COEFFICIENTE DI CONDUCEBILITÀ TERMICA: È la q.tà di calore (J) che in 1 secondo attraverso, perpendicolarmente alla direzione del moto del calore una superficie di  $1 \text{ m}^2$  di materiale spesso  $1 \text{ cm}$ , quando la

Più il materiale è caratterizzato da legami deboli (POLIMERI) più il coeff.  $\alpha$  sarà grande.  
Nei ceramici in cui i legami sono forti infatti hanno dilatazione bassa

## RIASSUMENDO LE PROPRIETÀ TERMICHE

CAPACITÀ TERMICA / CALORE SPECIFICO: Dipende dal peso atomico, in sostanza più atomi ho in un kg di materiale e più ho capacità di accumulare energia.

Peso atomico basso = calore specifico alto

CONDUCIBILITÀ TERMICA: Dipende dalla presenza di elettroni liberi e, nei ceramici/polimeri, dall'efficienza di propagazione dei fononi

DILATAZIONE TERMICA: Dipende dalla forza di legame.

Forza di legame alta = Basso dilatazione

### ISOLANTI DAL VAPORE

PARAFFINE, contengono principalmente oleami ( $C_{n+2}H_{2n+2}$ )

#### VANTAGGI:

- Semplici da usare
- Non corrosivi
- Riciclabili

#### SVANTAGGI:

- Più costosi
- Più basso valore di calore latente
- Possono essere combustibili
- Possibili reazioni con il  $e^{-}$

ECO COMPATIBILITA': Buona, unico neo la presenza dei trattamenti, che possono causare un'alterazione di questa proprietà

PROPRIETA':

- Disponibilità omnia
- Elevato calore specifico e quindi isolamento termico eccezionale (assorbe calore senza innalzare troppo la sua temperatura)
- Fonoassorbenti
- Traspirabilità
- Devono essere conservati in luoghi asciutti

### FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA

PRODUZIONE: Vengono impregnate con magnesite e/o cemento. Si eliminano sostanze organiche infiammabili e deperibili.

ECOCOMPATIBILITA': Pessima, non è riciclabile

PROPRIETA':

- Durata notevole
- Insensibili all'acqua e al gelo
- Elevate capacità di accumulo termico (isolante)
- Fonoassorbenti
- Incombustibile
- Possono essere lavorati facilmente; e accoppiati con altri materiali

**ELOCOMPATIBILITÀ:** Eccelsa. Richiede un basso consumo energetico per la produzione, e data l'assenza di sostanze tossiche è ecocompatibile al massimo

**PROPRIETÀ:**

- È traspirante e igroscopica
- Buon comportamento fonoisolante
- È adatto all'isolamento del freddo di conseguenza non al caldo
- Deve essere conservata in luoghi asciutti

## POLISTIRENE ESPANSO

**PROPRIETÀ:**

- Leggero
- Isolante, imputrescibile, lunga durata

**SVANTAGGI:**

- È solubile con solventi organici
- Si scioglie emettendo fumi nocivi
- Sensibile ai raggi UV

## POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO

**ELOCOMPATIBILITÀ:** Nulla, altissimo impatto ambientale sia per la materia prima in se sia per i costi di produzione

**PROPRIETÀ:**

- Scarse proprietà impermeabilizzanti
- Buon isolante del freddo

## FIBRA DI VETRO

PRODUZIONE: Deriva dal riciclo del vetro

ECOCOMPATIBILITÀ: L'impatto ambientale, anche se è un prodotto di riciclo, è elevato

PROPRIETÀ:

- Ottime proprietà termoisolanti
- Buona resistenza all'invecchiamento
- Traspirante
- Elevata stabilità dimensionale
- Incombustibile
- Non presenta problemi di taglio

## FIBRA DI ROCCIA

PRODUZIONE: Deriva da rocce eruttive con additivi collanti

ECOCOMPATIBILITÀ: Impatto sul salute molto pesante per via delle fibre altamente tossiche

PROPRIETÀ:

- Ottimo isolante acustico, protegge dall'acqua ed è traspirante alla diff. del vapore
- Ottimo materiale fenoassorbente
- Buono isolante al caldo e al freddo

## VETRO CELLULARE

PRODUZIONE: Deriva dalla fusione di polveri di vetro riciclate

I provini devono essere confezionati e stagionati (28 gg) a  $20^{\circ}\text{C}$  e umidità  $> 95\%$  sistemando i provini sotto sabbia umida

### IN CANTIERE

Il cls fluido viene assestato nelle forme in due o più strati, con colpi di tommino di ferro del diametro di 10 mm

Il cls di media consistenza viene assestato in due o più strati consecutivi mediante pestelli

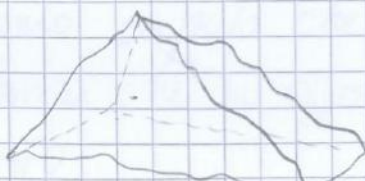
I provini possono essere prelevati da cls già induriti tramite CAROTAGGI.

Prima di essere sottoposti a prove di rottura, viene comprovata la loro regolarità geometrica, facce piane, angoli retti...

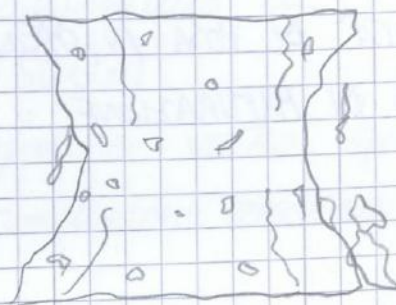
La velocità di prova deve essere pari a  $50 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2\text{s}}$  deve durare pochi minuti. Prova diversa è quella di creep in cui le velocità sono molto più lente.

Dal carico di rottura dei singoli provini si deve procedere al calcolo della resistenza media con metodi statistici

### TIPO DI ROTTURA



CLS OTTIMO!



## PARTE 2 : Esercitatrice Prof. Vitale

MATERIALE VETROSO  
AMORFO  $\xrightarrow{\text{Si ottiene}}$  PROGRESSIVO IRRIGIDIMENTO  
(AUMENTO VISCOSITÀ) DI UN  
LIQUIDO CHE NON È STATO IN  
GRADO DI CRISTALLIZZARE DU-  
RANTE IL RAFFREDDAMENTO

Le strutture AMORFE si dicono METASTABILI cioè si trasformano in cristalline se le condizioni termodinamiche lo permettono. I legami di un solido AMORFO non si rompono tutti alla stessa temperatura, infatti non hanno una precisa temperatura di fusione, il solido prima RAMMOLLISCE poi FONDE.

Per realizzare un vetro, partendo dallo stato liquido, è necessario RAFFREDDARE IL COMPOSTO più velocemente della SUA VELOCITÀ DI CRISTALLIZZAZIONE

↳ LIVIDI VETROGENI → possono dar luogo a vetri in condizioni normali di raffreddamento quindi elevata viscosità in prossimità della loro temperatura di fusione  
( $\text{SiO}_2$ )

Avremo capito che si definisce VETRO, qualsiasi sostanza che in opportune condizioni realizza lo stato AMORFO.



### VETRIFICANTI o FORMATORI DI RETICOLO

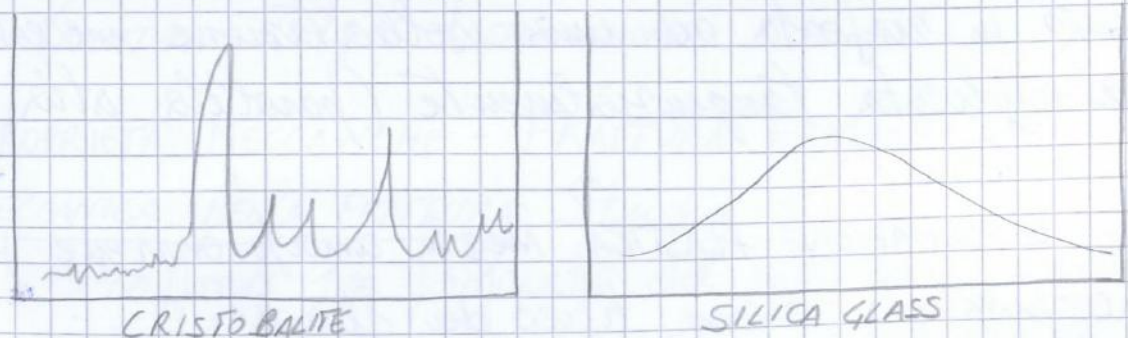
- Sostanze che possono assumere struttura vetrosa (VETRIFICANTI)
- Costituiscono il reticolo amorfo (FORMATORI)  
-es.  $\text{SiO}_2$  (SILICE)

### FONDENTI o MODIFICATORI DI RETICOLO

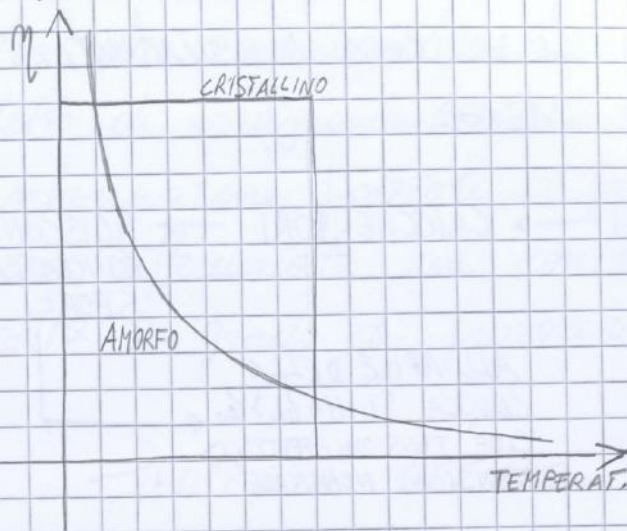
- Hanno la funzione di abbassare la temperatura di fusione del VETRIFICANTE (FONDENTI)
- Provocano una interruzione del reticolo amorfo del FORMATORE, sono debolmente legati ad esso e sono relativamente liberi di diffondere  
(-es.  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ...)

### DIFFRAZIONE DI RAGGI X DI UN VETRO

La diffrazione di raggi X tipica di un vetro non presenta picchi, ma un alone dovuto all'assenza di ordine a lungo raggio.



## VISCOSITÀ: MATERIALE AMORFO vs CRISTALLINO



### PROPRIETÀ FISICHE

- P.to di LAVORAZIONE: Vetro facilmente deformabile
- P.to di RAMMOLLIMENTO: Massima temperatur. alla quale si può maneggiare il vetro senza deformato
- P.to di RICOTTURA: La diffusione atomica è sufficiente ad eliminare le tensioni residue entro 15 min.
- P.to di DEFORMAZIONE: A T inferiori si ha frattura fragile prima della deformazione plastica

$$T_{RICOTTURA} < T_g < T_{DEFORMAZIONE}$$

### PROPRIETÀ MECCANICHE - FRATTURA FRAGILE

MECCANICA DELLA FRATTURA: Studia e quantifica i rapporti fra proprietà del materiale, livello di sforzo, presenza di difetti capacità di indurre formazioni di cricche e meccanismi di propagazione della cricca.