



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 479

DATA : 18/02/2013

A P P U N T I

STUDENTE : Rinaldi

MATERIA : Scienza e Tecnologia dei Materiali + Temi
Prof. Lombardi

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

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

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

SCIENZE E TECNOLOGIE MATERIALI

In questo corso vogliamo imparare a conoscere i MATERIALI per
EFFERARE SCELTE CORRETTE e progettare nuovi MATERIALI.

In commercio esistono 160.000 materiali ed è impossibile conoscerli tutti.
=> LINEE GUIDA x la conoscenza e la scelta.

MATERIE: qualsiasi solido in grado di svolgere almeno una
determinata FUNZIONE (meccanica, termica, ottica, magnetica,
elettrica ecc)

VARI MATERIALI POSSONO SVOLGERE LA STESSA FUNZIONE: occorre
SAPER OPERARE LA SCELTA MIGLIORE.

CLASSIFICO i MATERIALI in

- ↳ **SINTETICI** (ottenuti x trattamento di minerali (metalli, ceramici, plastica...))
- ↳ **NATURALI**: origine geologica o chimica

MATERIALI e PROCESSI

Per produrre un generico oggetto con un materiale è necessario accoppiargli un processo compatibile con il materiale che si desidera usare. I requisiti di progetto definiscono le prestazioni richieste al materiale, definite da valori soglia per certe proprietà che controllano il progetto.

Processo PRODUTTIVO

Le proprietà finali di un materiale dipendono dal suo percorso produttivo, dalle metodiche di lavorazione adottate.

A seconda del procedimento di fabbricazione usato, le proprietà del materiale possono variare, esercitando un'influenza diretta sul rendimento, sull'affidabilità, sulla durata del prodotto.

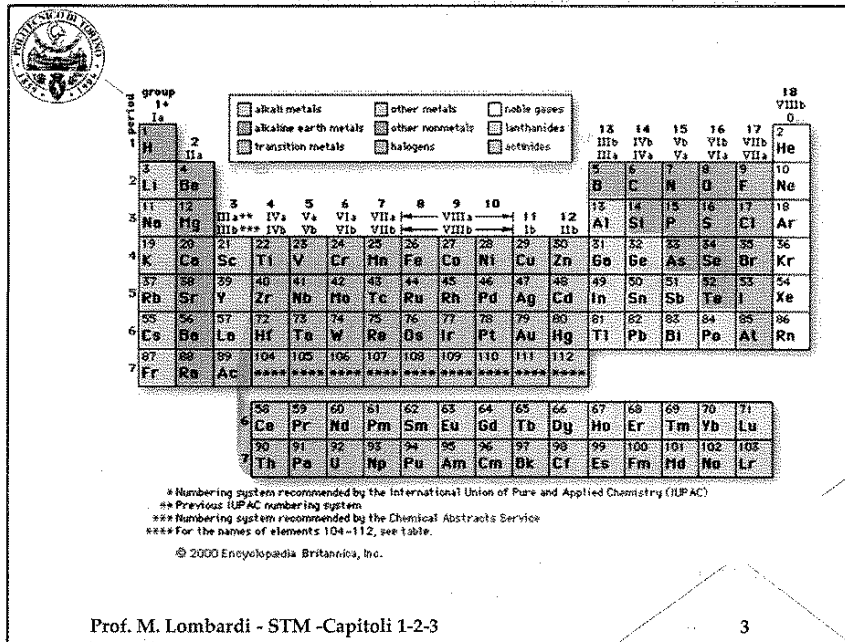
Un processo è un metodo per formare, giuntare e finire un componente.

PROCESSI PRIMARI: impartiscono una forma

PROCESSI SECONDARI: modificano geometria e proprietà

ESISTONO CASI IN CUI DOBBIAMO RIPROGETTARE PRODOTTI GIÀ ESISTENTI x MIGLIORARNE LE CARATTERISTICHE.

02/10/2012



The image shows a periodic table of elements with a legend and explanatory text. The legend includes: alkali metals, alkaline earth metals, transition metals, other metals, other nonmetals, halogens, noble gases, lanthanides, and actinides. The table is numbered 1-18 for groups and I-VIII for periods. Below the table, there is a section for elements 104-112 with their names: Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr.

* Numbering system recommended by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
 ** Previous IUPAC numbering system
 *** Numbering system recommended by the Chemical Abstracts Service
 **** For the names of elements 104-112, see table.
 © 2000 Encyclopædia Britannica, Inc.

Prof. M. Lombardi - STM - Capitoli 1-2-3 3

Metalli: materiali inorganici metallici

A) Ampio gruppo di elementi chimici caratterizzati da un numero variabile di elettroni di valenza delocalizzati (**legame metallico**).

B) Organizzazione degli atomi in **strutture ordinate** (cristalli). Molto difficile produrre metalli amorfi. esistono casi di Metalli con strutture amorfe ma sono Rari!!

Leghe (combinazioni - non stechiometricamente definite - di due o più metalli o non metalli), quali le ghise e gli acciai (leghe a base Fe-C), le leghe di Al (duralluminio: Al-Cu), Ti, Mg, Ni, Zn, Cu (ottoni, leghe Cu-Zn, e bronzi, leghe Cu-Sn).

Prof. M. Lombardi - STM - Capitoli 1-2-3 4

Gli acciai sono delle leghe in cui la composizione è di atomi di ferro con carbonio. Anche le ghise sono leghe di ferro e carbonio ma con diverse percentuali dei due componenti.

Parliamo di Lega quando oltre all'atomo che occupa la struttura principale del reticolo troviamo anche altri atomi.

Ottone=lega a base di Rame con zinco

Bronzo= lega a base di rame e stagno

Nei Ceramiche a differenza dei metalli contengono atomi metallici assieme a atomi non metallici rispettando però determinate stechiometrie. 02/10/2012



Ceramiche: Materiali inorganici non metallici

Materiali formati dalla combinazione - in rapporti stechiometricamente definiti - di **elementi metallici e non metallici**, caratterizzati dalla presenza di **legami ionici e/o covalenti** (prevalentemente su legami covalenti).
 Possono essere costituiti da **strutture ordinate di atomi (cristalli)** oppure da **strutture caotiche (vetri)**.


- **Ceramiche tradizionali**, soprattutto derivati dell'argilla (porcellane, gres, maioliche....),
- **Cementi, calce**,...
- **Vetri** (a base silice: vetri da bottiglie, da finestra, cristalli, vetri Pyrex ®...)
- **Ceramiche ingegneristiche** (o avanzati o di alta tecnologia: ossidi, carburi, nitrucci, boruri, ...).

Prof. M. Lombardi - STM -Capitoli 1-2-3 7

Mentre nei ceramiche "veri" gli atomi si distribuiscono in maniera ordinata nei vetri gli atomi non hanno strutture cristalline ordinate a lungo raggio.

I vetri in genere sono composti da base di silice (ossido di silicio) i legami covalenti tra ossigeno e silicio impongono un ordine ma su breve raggio.

Sono **Strutture Amorfe** -> trasparenza



Ceramiche: Materiali inorganici non metallici

| Tipologia di ceramico | Esempi |
|-------------------------|--|
| Ossidico silicatico | Refrattari silicei, silico-alluminosi, mullitici (mullite: $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$); costituenti del cemento Portland (silicati di calcio); silice SiO_2 e vetri silicatici |
| Ossidico non silicatico | Allumina Al_2O_3 , Magnesia MgO , Spinello $MgO \cdot Al_2O_3$, Zirconia ZrO_2 , Titanato di bario $BaTiO_3$, Biossido di uranio UO_2 , Toria ThO_2 , Ferrite di nichel $NiFe_2O_4$ |
| Non ossidico | Carburo di silicio SiC , Nitrucci di silicio Si_3N_4 , Carburo di titanio TiC , Carburo di tungsteno WC , Nitrucci di boro BN , Carburo di boro B_4C , Diamante e Grafite C |

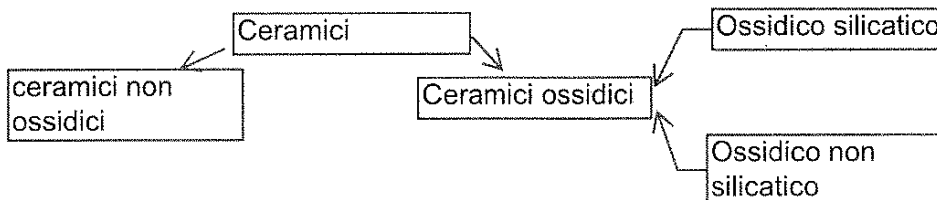
Prof. M. Lombardi - STM -Capitoli 1-2-3 8

Materiali con silicio e alluminio =vetri


Atomo non metallico è l'ossigeno è in base all'atomo metallico cambiano nome

Atomo non metallico non è l'ossigeno

Al_2O_3 =Allumina
 MgO =magnesia




02/10/2012



Materie plastiche - Polimeri

Materie organiche costituiti da lunghe catene molecolari (**macromolecole**) nelle quali uno o più gruppi (detti monomeri) si ripetono concatenandosi.
 Molti polimeri sono costituiti unicamente da **carbonio ed idrogeno**; altri contengono anche **ossigeno e/o azoto e/o fluoro**.



CARBONIO


LEGAME C-C è forte

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \quad = \quad (-\text{CH}_2-)_n$$

Fig. 8.15 Le catene polimeriche hanno uno scheletro di legami C-C che legano atomi di idrogeno e altri gruppi sostituenti. La figura mostra tre rappresentazioni alternative della molecola di polietilene.

© CEA - Casa Editrice Ambrosiana - Ashby Materiali ISBN 978-88-08-18126-8
 Prof. M. Lombardi - STM -Capitoli 1-2-3 11

Carbonio e Idrogeno sono atomi LEGGERI!



Materie plastiche - Polimeri

Legami intra-catena legami forti (covalenti: C-C)

Legami inter-catena prevalentemente deboli interazioni di Van der Waals (dipolo indotto - dipolo indotto; dipolo - dipolo..., legami idrogeno...)

Proprietà molto variabili da famiglia a famiglia:

TERMOPLASTICI

• **TP** → duttili (deformazione plastica, irreversibile, anche estesa prima di rompersi)

TERMOINDURENTI

• **TI** → fragili (deformazione elastica, reversibile)
(COME I CERAMICI si rompe senza deformarsi)

ELASTOMERI



• **Gomme** → estesissima deformazione elastica prima di rottura

Prof. M. Lombardi - STM -Capitoli 1-2-3 12


I ceramici non conviene riciclarli!


02/10/2012


Riciclo a fine vita






ACC (o FE) = acciaio; AL (o ALU) = alluminio;
 CA = carta; PE = polietilene;
 PET (PETE) = polietilene tereftalato;
 PP = polipropilene; PS = polistirene;
 PVC (o V) = polivinilcloruro; VE = vetro;
 ABS = acrilonitrile butadiene stirene



1
 PETE


2
 HDPE


3
 V


4
 LDPE


5
 PP


6
 PS


Prof. M. Lombardi - STM - Capitoli 1-2-3 15

numero di volte in cui posso riciclare l'oggetto

in base a quante volte lo riscaldo la molecola può perdere delle proprietà

Si sono sviluppati recentemente

Compositi



Composito naturale: **legno**, nel quale la **matrice di lignina** è rinforzata dalle **fibres cellulose**


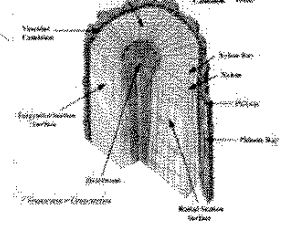
Combinazioni di due o più materiali diversi, finalizzate all'accoppiamento delle migliori caratteristiche di ciascuno di essi (effetto sinergico)

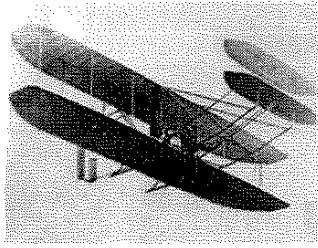
materiali

- Matrice
- Rinforzo

materiali


- Materiale prevalente
- Materiale secondario



Prof. M. Lombardi - STM - Capitoli 1-2-3 16

Si mischiano materiali per ottenere materiali con nuove proprietà.



Cap. 4 – Densità e modulo elastico

1

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A

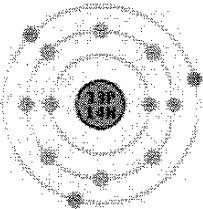
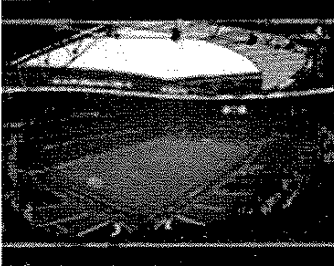
Andiamo ad analizzare le interazioni tra diversi atomi per capire cosa succede quando più atomi sono vicini.

In base alla struttura degli atomi quando due atomi si avvicinano entrano in gioco forze attrattive o repulsive.



La risposta meccanica dei materiali
ovvero ... perché i miei piedi non sprofondano nel pavimento?

Materia \leftrightarrow Energia \rightarrow Legami chimici



2

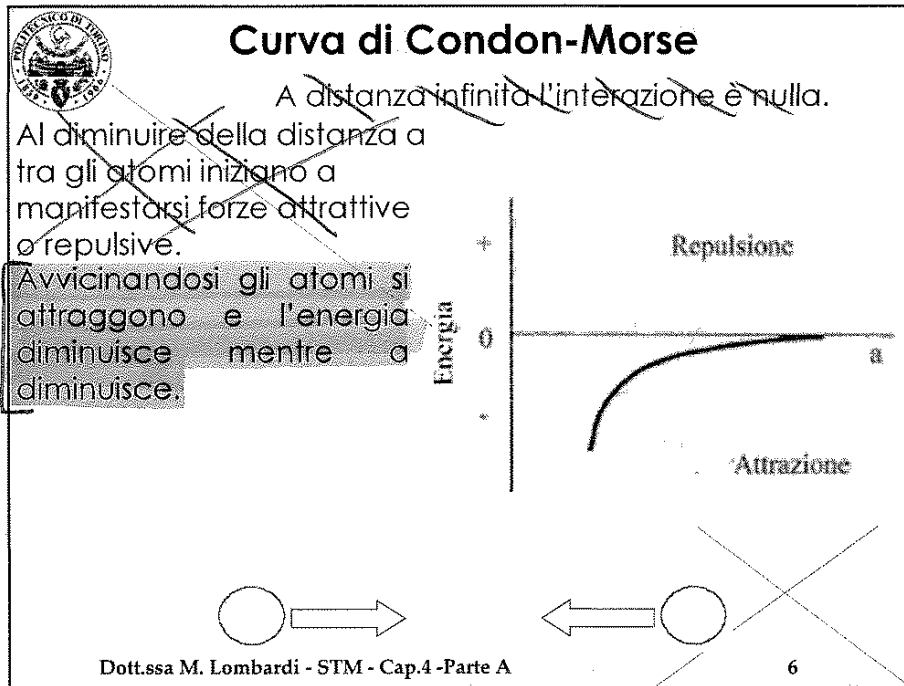
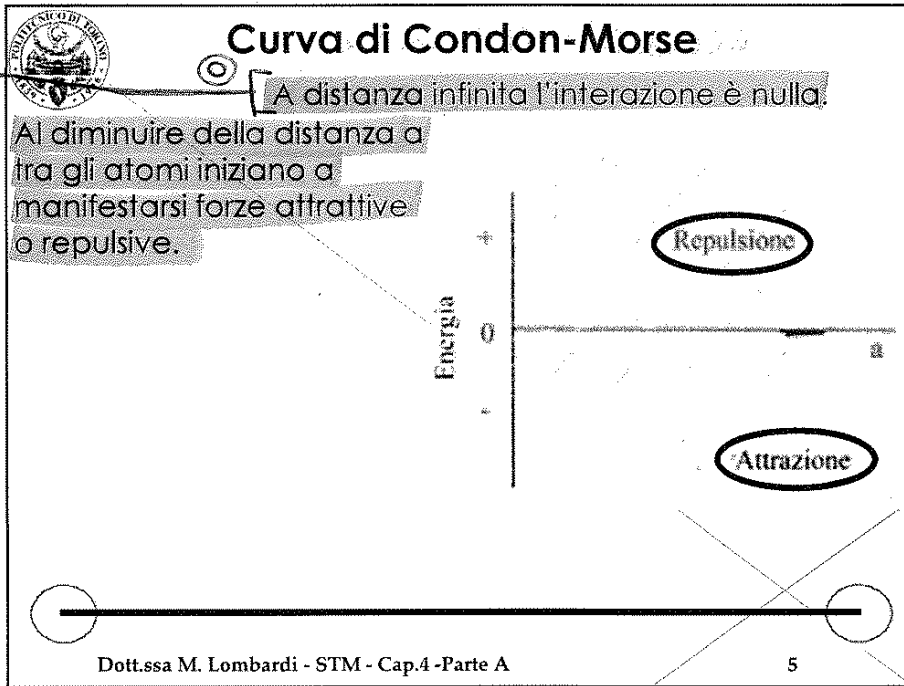
Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A

02/10/2012

Queste curve ci spiegano alcuni comportamenti macroscopici dei materiali.

I legami covalenti e ionici sono molto forti. nel secondo caso ci sono in ballo due ioni e forze elettrostatiche.

Nei ceramici trovo legami covalenti e ionici. Nei metalli ho legami metallici che sono dovuti alla condivisione di elettroni.



A livello atomico/molecolare

Le forze, l'energia che tengono uniti atomi e molecole nei materiali → i **LEGAMI chimici**

Legami FORTI

- Covalente
- Ionico
- Metallico

Legami DEBOLI

- dipoli

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte A 9

non sono veri e propri atomi neutri ma ioni poiché condividendo degli elettroni di valenza per formare il legame, assumendo una carica positiva

Legame metallico (METALLI)

Atomi → ioni (ex: Al → Al³⁺)

Elettroni liberi → nube

Elettrostatico → ADIREZIONALE

Energeticamente forte


Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte A 10

la struttura è ordinata perchè gli atomi sono disposti in modo ordinato

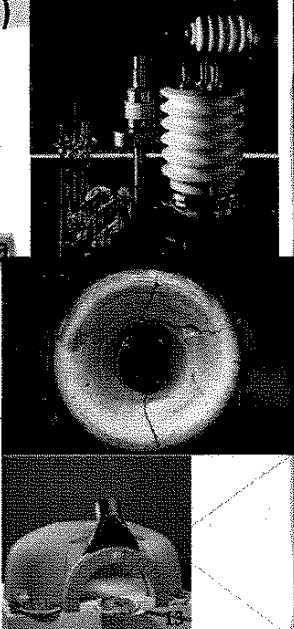
nube elettronica

Questi legami metallici non avvengono in direzioni specifiche : **LEGAMI ADIMENSIONALI**


Il legame metallico è uno dei legami forti → **ENERGIA IN GIOCO ALTA**

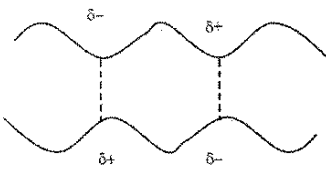
 **Legame covalente (CERAMICI)**

- 1 **Energeticamente molto forte**
 - **Alta Rigidezza**
 - **Alta Resistenza a rottura**
 - **Alta Temperatura di fusione**
 - **Bassissima Dilatazione termica**
- 2 **Direzionale**
 - **Fragilità**
- 3 **Elettroni NON liberi**
 - **Pessimo conduttore termico**
(buon isolante)
 - **Pessimo conduttore elettrico**
(buon isolante)



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A

 **Legame secondario (POLIMERI)**



Elettroni non liberi

Energeticamente debole/molto debole

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A

14

I legami principali non sono i legami intramolecolari ma i legmi di tipo dipolo-dipolo con energie basse tra diverse macromolecole.
sono legami intercatena->deboli

LA RIGIDEZZA:

02/10/2012

Se impongo sul materiali azioni esterne meccaniche il materiale reagisce alla sollecitazione esterna DEFORMANDOSI.

DEFORMAZIONE ELASTICA->finita la sollecitazione il materiale torna come prima
tutti i materiali subiscono deformazioni elastiche? si! anche se a volte non è percepibile poiché è microscopica!

DEFORMAZIONE PLASTICA->il materiale finita la sollecitazione esterna non torna nella configurazione iniziale!

Fig. 4.18 Gli atomi nei cristalli e nei vetri sono uniti dai legami atomici che si comportano come molle. La rigidità del legame è $k = F/x$. Sottoponendo a trazione o a compressione il legame, si induce una spostamento x e l'energia pari a $U = Fx/2$. La distanza interatomica di equilibrio (nessuna forza applicata) si trova in corrispondenza della buca di energia.

© CEA - Casa Editrice Ambrosiana - Ashby Materiali ISBN 978-88-08-18126-8

Legame chimico → CURVE DI CONDON - MORSE
→ RIGIDEZZA

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 17

significato ingegneristico di fragile!!

COMPORIAMENTO ELASTICO O DUTTILE.

È un materiale è FRAGILE si deforma elasticamente ma superato un certo limite si rompe senza subire deformazione plastica (ELASTICO). Un materiale è DUTTILE se invece prima subisce deformazione elastica ma prima di giungere a rottura vi è una fase di deformazione plastica (LAMIERE AUTO).->ci "avvisa" del pericolo rottura!


Risposta meccanica dei materiali

Materia concentrata in piccole regioni → ruolo della Energia → **principio di azione-reazione**


Materiali resistono a sollecitazioni esterne DEFORMANDOSI

2 tipi di deformazioni possibili:
reversibili, recuperabili appena lo stress esterno si annulla → deformazione ELASTICA
irreversibili, non più recuperabili anche se lo stress esterno si annulla → deformazione PLASTICA


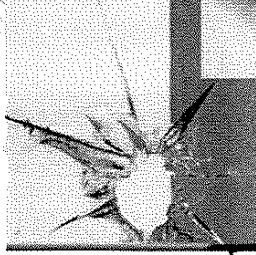

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 18




Il diamante subisce deformazioni solo elastiche (è *brittle*, fragile) ma non è certo poco resistente (non è *fragile*)



Il vetro da finestra è sia *brittle* che *fragile*, perché subisce deformazioni solo elastiche (è *brittle*, fragile) ma è anche poco resistente (è *fragile*)

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 21



Valori di resistenza a rottura di alcuni materiali

LEGHE METALLICHE

| | |
|--|----------------------------|
| Acciaio 4340 | |
| Temprato e rinvenuto | 1760 MPa (trazione) |
| Lega Al 7075 | |
| T6 - tratt. a caldo, invecchiata e rinv. | 572 MPa (trazione) |
| Lega Ti-6-4 | |
| Solubilizzata a caldo e invecchiata | 1172 MPa (trazione) |

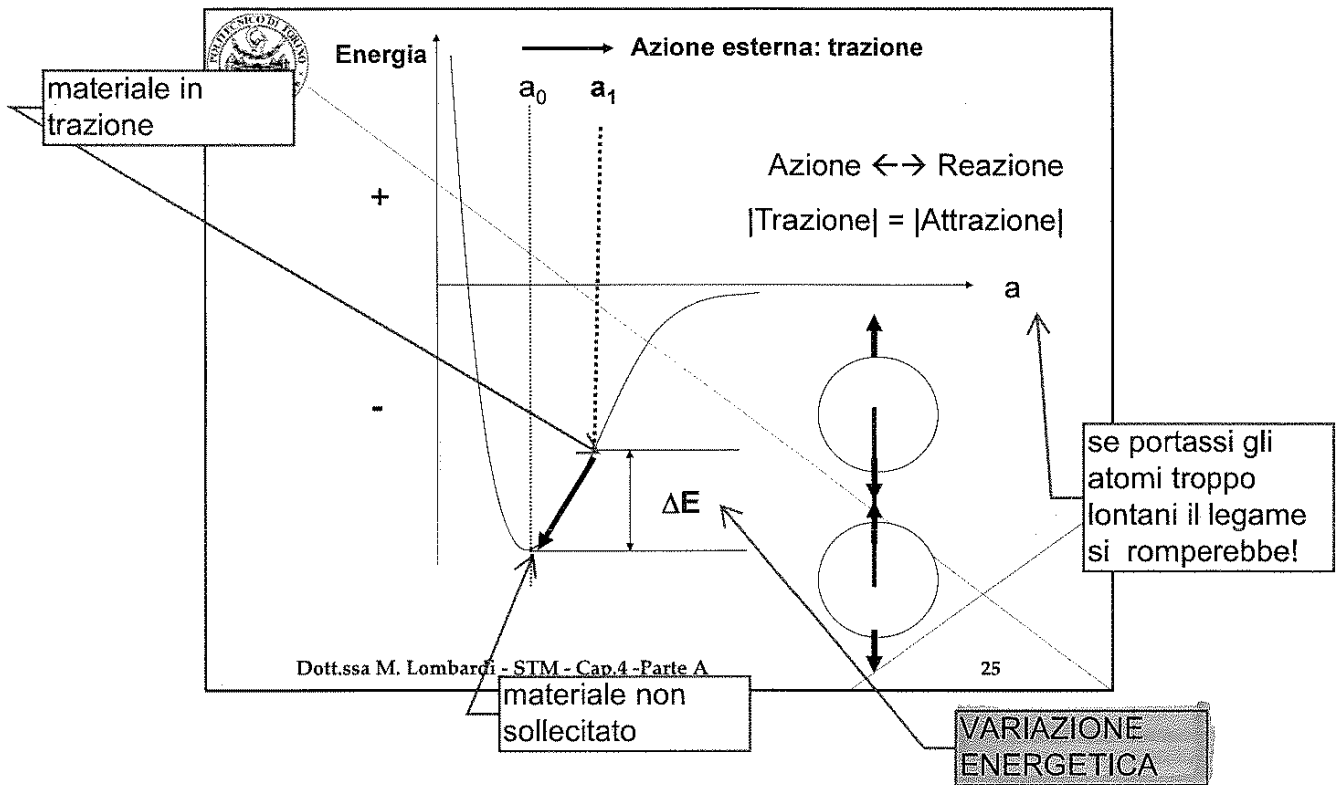
CERAMICI

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| Allumina Al_2O_3 | 1800-2000 MPa (compressione) |
| Zirconia ZrO_2 | 1500 MPa (compressione) |
| SiC | 2000 MPa (compressione) |

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 22

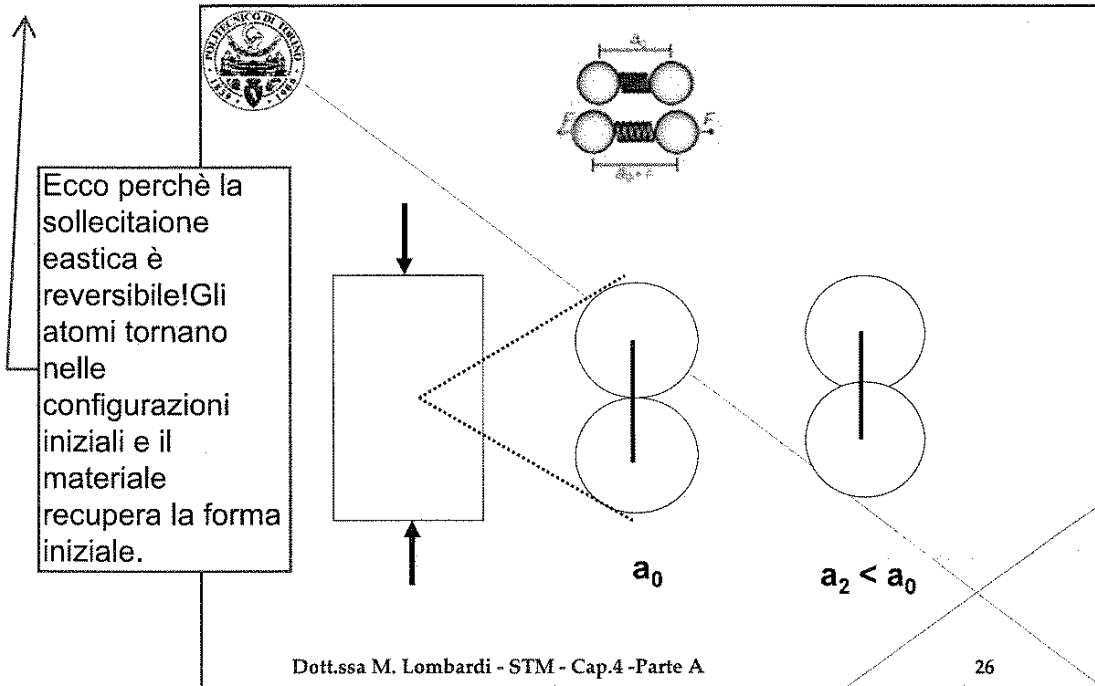
02/10/2012

Nel momento in cui sollecitando il materiale aumento la distanza da a_0 a a_1 . Per passare da a_0 a a_1 sto fornendo energia paria alla differenza sulle ordinate (ΔE).



e annullo la sollecitazione esterna che succede?

Gli atomi tendono a tornare nella configurazione di max stabilità \rightarrow atomi tornano a distanza a_0 a cui corrisponde l'energia minima di legame E_0 .



Se applico delle forze di compressione i due atomi si posizionano a una distanza inferiore della distanza di legame. (I due atomi vengono spinti reciprocamente)

02/10/2012

Andiamo ad analizzare cosa accade a livello macroscopico.

Dal livello atomico al comportamento macroscopico

(a) Un tirante (b) Una colonna

Cosa osserviamo macroscopicamente?

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 29

Applicando una forza a un materiale, sottointendiamo che la forza agisce su una determinata superficie dalla quale dipende. La risposta del materiale è quella di subire un allungamento (ΔL).

Azione esterna: Forza F a trazione uniaassiale

Ogni superficie perpendicolare a F sopporta la forza F: esiste una **Superficie portante A**

Reazione: **Allungamento** ΔL lungo la direzione di trazione $\Delta L = L - L_0$

Definire il binomio $F \leftrightarrow \Delta L$ dà informazioni sullo specifico componente avente quelle dimensioni e quella superficie portante....

Svincolarsi dallo specifico per dare informazioni di valore assoluto per il materiale

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte A 30


lunghezza iniziale

lunghezza dopo la sollecitazione

In questo tipo di trattazioni è fondamentale la forma geometrica del provino analisi, che influenza i risultati in modo non trascurabile! Ecco che diventa importante comunicare le dimensioni geometriche specifiche del provino. questo non è comodo!

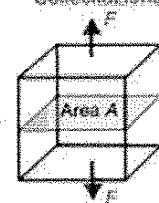
02/10/2012

Anche nel caso delle deformazioni si passa a una grandezza nominale!



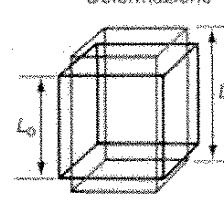
Sollecitazione e Deformazione

Sollecitazione



Sollecitazione a trazione $\sigma = F/A$
Unità di misura MPa

Deformazione



Deformazione a trazione $\epsilon = (L - L_0)/L_0$

Deformazione, STRAIN

$\epsilon = \Delta L / L_0$ L [m]

$\epsilon \rightarrow$ adimensionale

$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$

DEFORMAZIONE LINEARE

Legge di HOOKE

$\sigma = E \epsilon$

E = Modulo elastico, Modulo di Young [N/m², Pa] \rightarrow [GPa]


vale SOLO per deformazioni elastiche

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte A

33

Grazie all'introduzione delle grandezze adimensionali è possibile il confronto tra diverse esperienze.

È possibile descrivere il comportamento dei materiali con relazioni legate solo a sforzo e deformazioni.



Robert Hooke (1635-1703): Fisico e naturalista britannico

Nel 1679 pubblicò il saggio "*De potentia restitutiva or of a spring*":

Ogni solido si deforma (accorciandosi o allungandosi quando sollecitato) e la deformazione si annulla se si rimuove la sollecitazione

È questa deformazione (*tensio*) che consente al solido di sviluppare l'azione opposta (*vis*) alla sollecitazione

"Ut tensio, sic vis"

afferma: nel momento in cui applichiamo una sollecitazione il materiale si deforma, e vale la legge di hooke solo per deformazioni elastiche.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte A

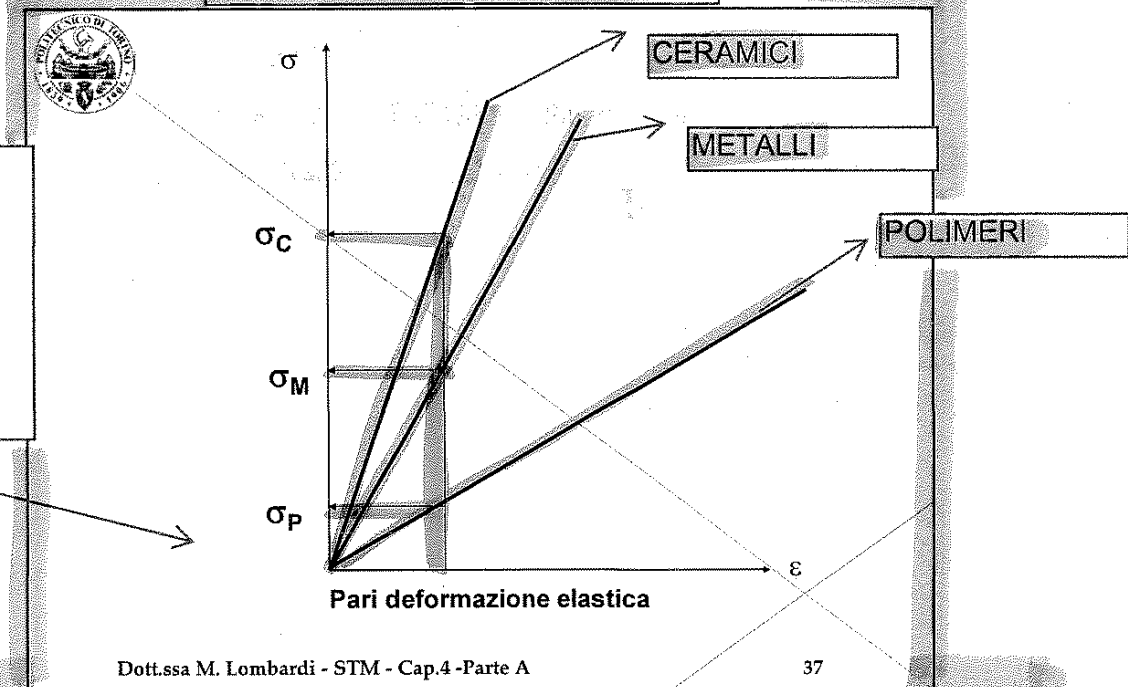
34

02/10/2012

curve σ - ϵ

CURVA SFORZO-DEFORMAZIONE

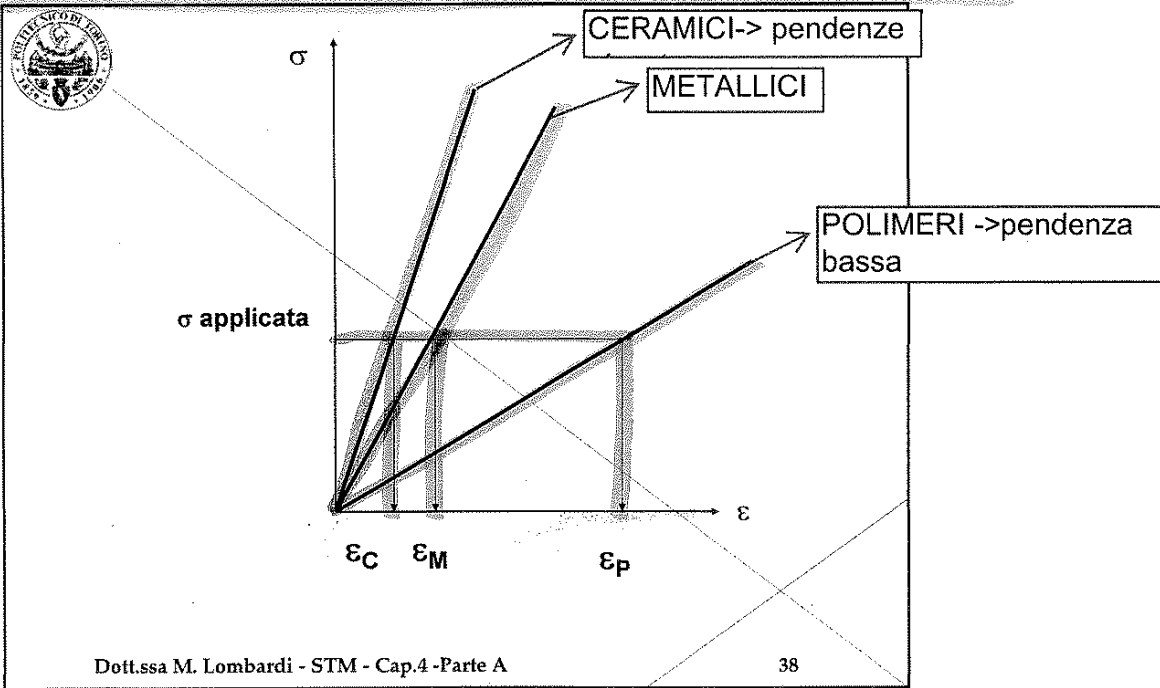
in base all'energia di legame dei materiali e alla rigidità del materiale impongo sforzi differenti



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4-Parte A

37

Il modulo di young E descrive la resistenza del materiale a deformarsi.
 In un materiale che si deforma facilmente $\rightarrow E$ BASSI
 nei POLIMERI per essere deformati \rightarrow poca energia!
 in CERAMICO \rightarrow molta energia
 A parità di deformazioni un CERAMICO è soggetto a sforzi maggiori.



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4-Parte A

38

A parità di sforzi il POLIMERO subisce una deformazione maggiore.

DOMANDE ESAME:

1) le proprietà di un legame che possono influenzare

le proprietà MACROSCOPICHE di un LEGAME sono 3:

- ENERGIA IN GIOCO (informa sulle temperature di fusione e sulle resistenze a rottura)
- DIREZIONE LEGAMI (ci informa sulle duttilità)
- PRESENZA ELETTRONI LIBERI (info. su conduzione di elettricità e energia termica.)

→ PAGINA ⑥ 2° LEZIONE!!

2) RELAZIONI TRA COSTANTI ELASTICHE, TRATTAZIONE DELLE SINGOLE COSTANTI

→ PAGINA ⑩ 3° LEZIONE!!

3) DESCRIVERE LE SOLLECITAZIONI di TAGLIO.

Risp. → SPIEGA IL FENOMENO DELLO SFORZO di TAGLIO

- DEFORMAZIONE di TAGLIO
- MODULO di TAGLIO
- MODULO di TAGLIO è COLLEGATO AU MODULO ELASTICO TRAMITE IL COEFF. di POISSON + FORMULA

09/10/2012

sforzi e allungamenti negativi

Compressione uniaassiale

Sollecitazione a compressione uniaassiale

MPa → $\sigma = - F/A$

adimensionale → **Deformazione**

$\epsilon = \Delta L/L_0$

$\Delta L = L - L_0$ (NEGATIVO)

$L_f < L_{iniz}$

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4-Parte B

Esistono anche altri tipi di sollecitazione a cui il materiale può essere sottoposto. Nella maggior parte dei casi i materiali sono sottoposti a forze composte: in questi casi il modo più semplice è scomporre la forza nelle due componenti (TRAZIONI E COMPRESIONI BI O PLURIASSIALI) e studiare le due componenti separatamente riportandoli a sforzi di trazione e compressione.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4-Parte B

09/10/2012

DHO SQUADRIZIONE in
RIV. PRO. GOMI

Titan Family of Missiles and Launch Vehicles

Trazione
biassiale

Pressione
interna P

(e) Un guscio

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte B

7

↳ la differenza di pressione esiste da una membrana induce una trazione e una compressione biassiale.

caso in cui i materiali devono resistere alla pressione idrostatica

Pressione
idrostatica P

sezione del materiale che per semplicità ho preso cubica. Le facce sono in direzioni perpendicolari a ogni faccia del cubo

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte B

8

09/10/2012

Le costanti elastiche

Trazione/compressione uniaxiale

$\sigma = E \epsilon$

modulo elastico
GPa

la risposta
elastica segue la
legge di Hooke

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte B 11

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

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\Rightarrow \sigma = E \epsilon = E \frac{L - L_0}{L_0}$$

possono essere
utili altre costanti

Le costanti elastiche

Sollecitazione di taglio $\tau = F_t / A$

Deformazione di taglio $\rightarrow \tan \gamma = w / L_0 \approx \gamma$

$\tau = G \gamma$

G = Modulo di taglio

GPa

MPa

forza parallela
all'area

adimensionale

area su cui
agisce la forza

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte B

il materiale che
subisce una
deformazione di
taglio in risposta
elastica subisce
uno slittamento

le sollecitazioni di
taglio implicano
deformazioni
molto piccole

deformazione
di taglio

w = distanza di
scorrimento (ci
definisce la
deformazione di
taglio = distanza
tra punto prima e
dopo la
sollecitazione)

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

$$\gamma \approx \frac{w}{L_0}$$

$$\tau = G \gamma$$

analogo alla
legge di Hooke

G = SFORZO di TAGLIO

| ASSIALE | A TAGLIO |
|--------------------------|--------------------------|
| $\sigma = F/A$ | $\tau = F_t/A$ |
| $E = \frac{\Delta L}{L}$ | $\gamma = \frac{w}{L_0}$ |

in questo caso le variazioni nelle due direzioni della sezioni sono identiche

09/10/2012

Si assume comportamento **isotropo**

Materiale isotropo: valore della proprietà indipendente dalla direzione lungo la quale si misura

Materiale anisotropo: valore della proprietà dipendente dalla direzione lungo la quale si misura

nell'isotropo:
Lungo le direzioni laterali (trasversali) x e y la deformazione è identica:

$$\epsilon_x = \epsilon_y$$

La deformazione trasversale è negativa, se quella longitudinale è positiva → trazione uniasiale $v > 0$

La deformazione trasversale è positiva, se quella longitudinale è negativa → compressione uniasiale $v < 0$

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte B 15

ESEMPIO NEI MATERIALI ISOTROPI

$v = -\epsilon_x / \epsilon = -\epsilon_y / \epsilon$

Se $v = 0,5$: ← deformazioni trasversali lungo x e y sono uguali a 1/2 di quelle longitudinali

$|\epsilon_x| = 1/2 |\epsilon|$ ma anche $|\epsilon_y| = 1/2 |\epsilon| \rightarrow |\epsilon_x| + |\epsilon_y| = |\epsilon|$

→ $\Delta V = 0$ ← il materiale NON SUBISCE VARIAZIONI DI VOLUME → cambia solo forma!

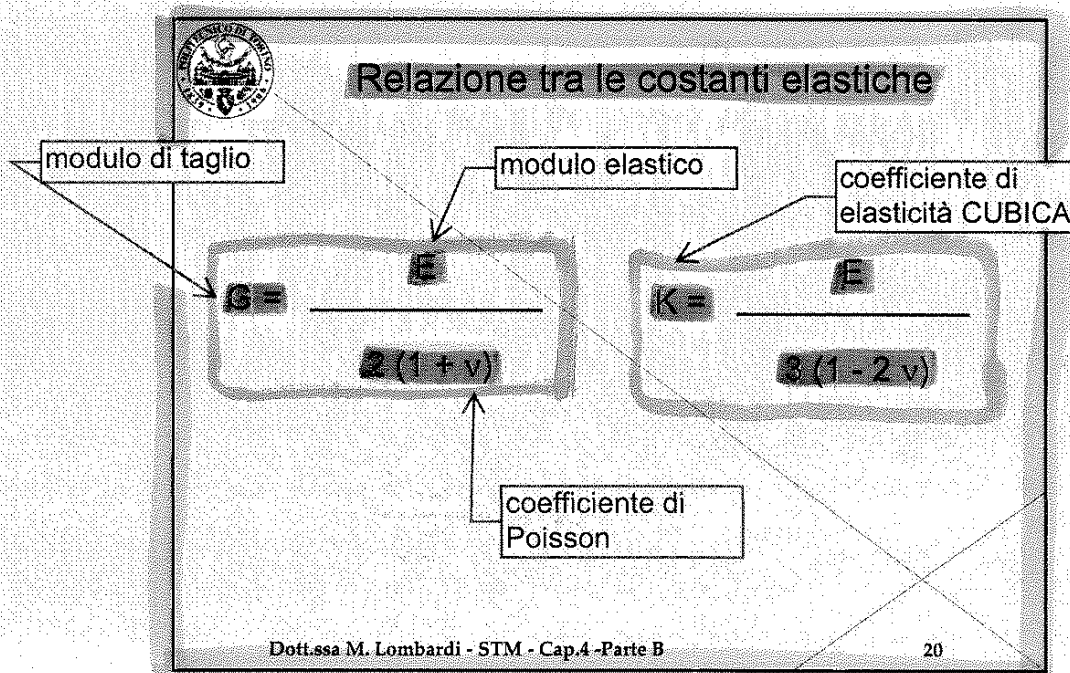
Se $v < 0,5$ ← ci sarà sempre una VARIAZIONE DI VOLUME del materiale!
Ad esempio $v = 0,25$

$|\epsilon_x| = 1/4 |\epsilon|$ ma anche $|\epsilon_y| = 1/4 |\epsilon| \rightarrow |\epsilon_x| + |\epsilon_y| = 1/2 |\epsilon|$

→ $\Delta V > 0$

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 - Parte B 16

09/10/2012



TRATTAZIONE DELLE SIMBOLE COSTANTI: (CHE SONO, A CHE SERVONO, CHE CI DICONO)

- G = misura la resistenza alla torsione
- E = misura la resistenza all'allungamento
- $\nu = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon}$ è l'opposto del rapporto tra le defor. trasversali (ϵ_t) e quella assiale E sotto l'azione di uno sforzo di trazione. variazione di lunghezza in confronto alla variaz. di sezione
- K = resistenza alla compressione idrostatica

09/10/2012

Per calcolare il modulo elastico di un materiale basta sollecitarlo e misurare la deformazione ottenuta in relazione al carico applicato

Nella realtà questo vale solo a livello matematico->concretamente calcolo valori ben lontani da quelli reali perchè misuro deformazioni piccole con errori molto grandi

Misura del modulo di Young

Misure dinamiche ← misuro con l'utilizzo di onde sonore ottenendo misure molto più attendibili

Misura della velocità di propagazione delle onde sonore nel materiale che dipende da:

$$\sqrt{E/\rho}$$

ove ρ è la densità

in base allo strumento usato, alla sua configurazione e affidabilità si riesce a stabilire la risposta alle sollecitazioni del materiale nelle diverse direzioni. Questo è importante per capire se un materiale è o meno isotropo e a misurare correttamente il coefficiente di Poisson.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte B 23

CASO A)
Il materiale si rompe: comportamento elastico fino a rottura → materiali **fragili**

CASO B)
Il materiale subisce, oltre alla deformazione elastica, anche deformazione irreversibile, plastica, prima di pervenire a rottura → materiali **duttili**

Ne parleremo tra breve.....

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte B 24

Nel materiale in cui gli atomi si dispongono ordinatamente a lungo raggio abbiamo il QUARZO. Nell'altro caso più disordinato abbiamo i vetri. Il quarzo viene definito MONOCristallo: esiste un unico cristallo in tutta la struttura. Nella maggior parte di materiali non vi è un'unica struttura che si ripete.

Abbiamo un ordine prevalente in una direzione. In qsta direzione le proprietà avranno caratteristiche più evidenti.

Un singolo cristallo: MONOCRISTALLO

Materiale anisotropo: valore della proprietà dipendente dalla direzione lungo la quale si misura

Materiale isotropo: valore della proprietà indipendente dalla direzione lungo la quale si misura

Solido AMORFO

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

Nelle strutture a ordine di Breve raggio la disposizione degli atomi nell'insieme fa sì che non ci sia una direzione in cui le caratteristiche sono più accentuate. Questa assenza di direzione "preferenziale" fa sì che il materiale diventi ISOTROPO. Nel totale del materiale zone con ordine diverso vanno a bilanciarsi e a dare sempre le stesse proprietà in tutte le direzioni.

STRUTTURE CRISTALLINE ORDINATE

Non è sempre detto che le sfere si dispongano nella situazione di massimo impacchettamento. Queste strutture possono essere viste come celle elementari.

Fig. 4.8

(a) Stato a impacchettamento compatto
 (b) Stato B su strato A per dare ABABAB... e impacchettamento esagonale compatto EC
 (c) Stato C sugli strati A e B per dare ABCABC... e impacchettamento cubico a facce centrate FCC

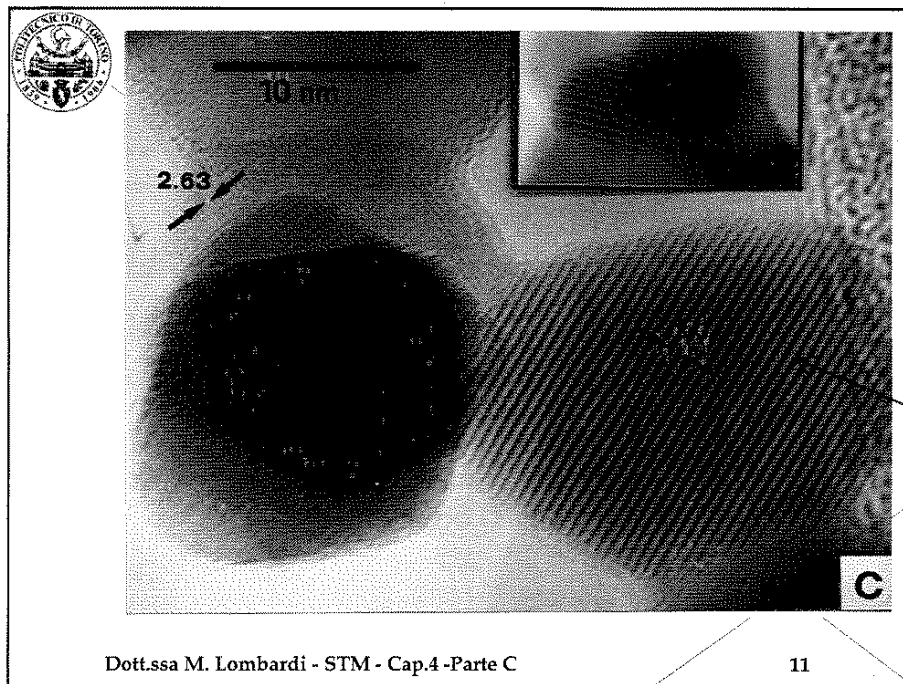
Fig. 4.9

(a) Una griglia quadrata di sfere è un impacchettamento meno efficace di quello della figura precedente. (b) Un secondo strato, B, si colloca sul primo A; ripetendo questa sequenza si ha ABAB... Se la distanza tra le sfere è tale che le sfere colorate giacciono ai vertici del cubo, il risultato è un impacchettamento non compatto a struttura cubica a corpo centrato (CCC).

© CEA - Casa Editrice Ambrosiana - Ashby Materiali ISBN 978-88-08-18126-8

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

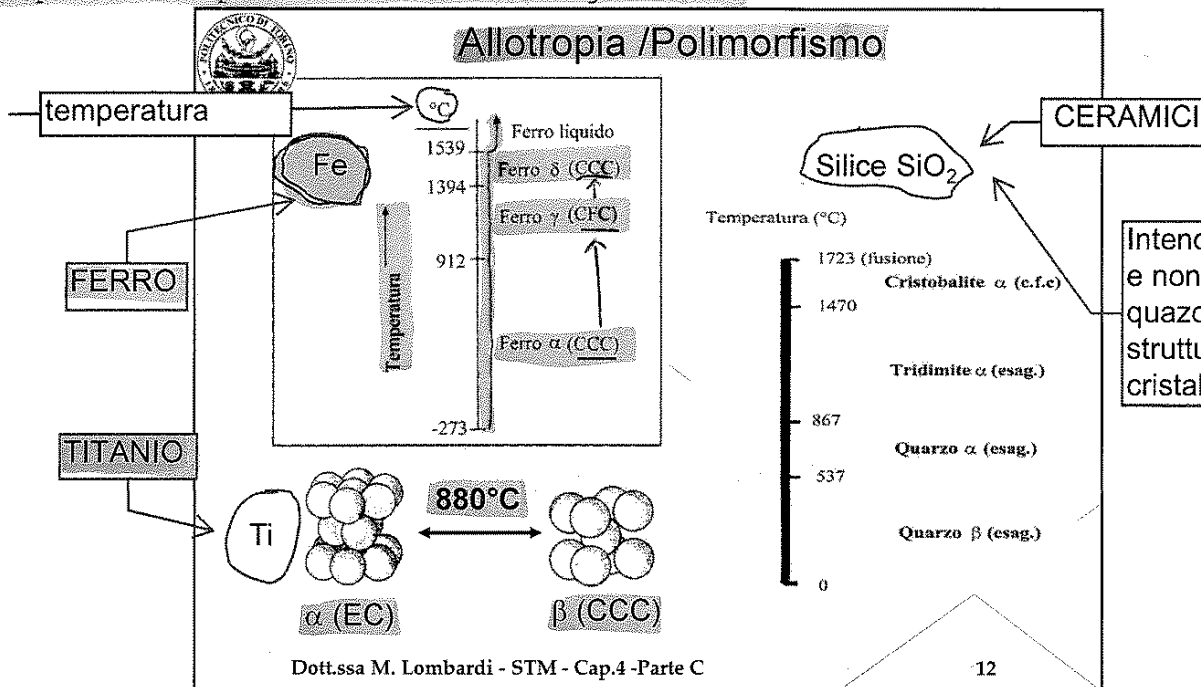
Ogni cerchio rappresenta un atomo. Le sfere per essere disposte nel modo più vicino possibile devono essere messe come in figura (STRUTTURA COMPATTA). Immaginando che ogni sfera rappresenta un atomo per avere struttura compatta si dispongono come nella prima figura. Una volta riempito il primo piano si crea un secondo livello di atomi. L'unico modo per occupare più spazio possibile è posizionare i nuovi atomi negli avvallamenti generati dagli atomi precedenti.



Ogni linea bianca rappresenta un piano di atomi di spessore di tre nanometri.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

Ogni materiale ha una struttura reticolare che non è definitiva. Spesso la disposizione degli atomi nel volume del materiale cambia in base alla temperatura. Lo stesso materiale a temperature diverse può modificare la sua struttura elementare modificando il tipo di cella. Questo dipende dalla disposizione più o meno vicina degli atomi.



Intendo il Quarzo e non il vetro. (Il quarzo è una struttura cristallina)

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

Parliamo di ceramici e metalli perchè sono materiali CRISTALLINI (no vetri!)

09/10/2012

POLIMERI

Costituiti da atomi di **basso PA** (C, H, ... O, N, S, ...)

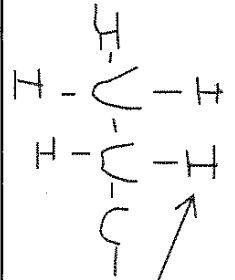
Le lunghe catene polimeriche difficilmente danno vita ad impaccamenti efficaci → **BASSI FIA**

Strutture per lo più amorphe o con limitate zone cristalline

Densità bassa - bassissima

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

non sono materiali cristallini



atomi leggeri

STRUTTURE A SPAGHETTI... vedi lezioni precedenti

non esistono le sfere e quindi non ha senso parlare di impaccamento o deve far riferimento solo a quanto queste catene si sintrecciano tra di loro o si dispongono in maniera ripiegata. Alla base resta però sempre una struttura disordinata-->l'impaccamento dei polimeri è sempre globalmente disordinato. Nei polimeri non ragioniamo sulle sfere ma sulle catene.-->impaccamento limitato

| Metalli e leghe | Densità (g/cm³) | Ceramici | Densità (g/cm³) |
|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| Mo e sue leghe | 16,6-16,9 | Zirconia | 5,9 |
| Pb e sue leghe | 10,7-10,9 | Allumina | 3,9 |
| Nichel | 8,9 | Magnesia | 3,5 |
| Rame | 8,9 | Mullite | 3,2 |
| Ferro | 7,9 | Quarzo | 2,6 |
| Acciai | 7,8-8,1 | Polimeri | Densità (g/cm³) |
| Zn e sue leghe | 5,2-7,2 | PVC | 1,3-1,6 |
| Ti e sue leghe | 4,3-5,1 | Poliestere | 1,1-1,5 |
| Al e sue leghe | 2,6-2,9 | Resina epossidica | 1,1-1,4 |
| Compositi | Densità (g/cm³) | Nylon | 1,1-1,2 |
| Poliestere con fibre di vetro | 1,8 | Polistirene | 1,0-1,1 |
| Legno comune | 0,4-0,8 | Gomma naturale | 0,83-0,91 |
| | | Polipropilene | 0,88-0,91 |
| | | Polietilene | 0,91-0,97 |

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.4 -Parte C

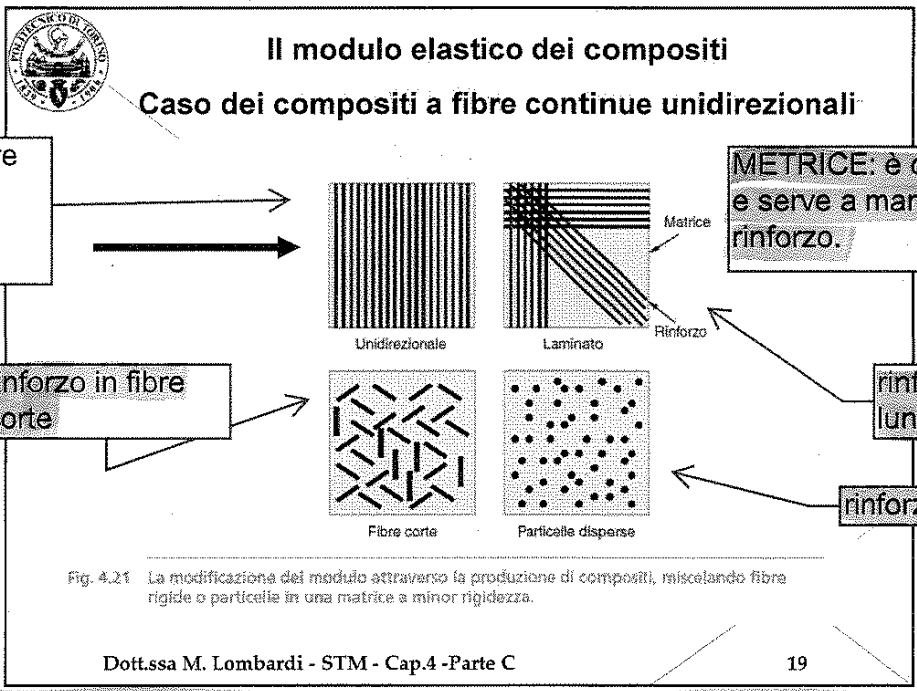
16

Ferro + atomi di carbonio che però pesano poco!

AlO3

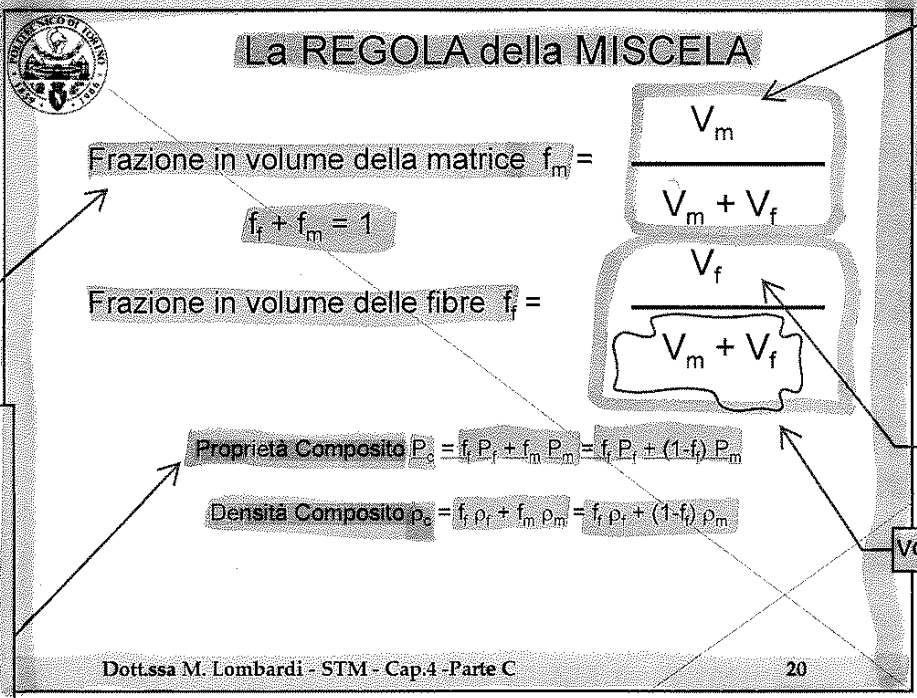
09/10/2012

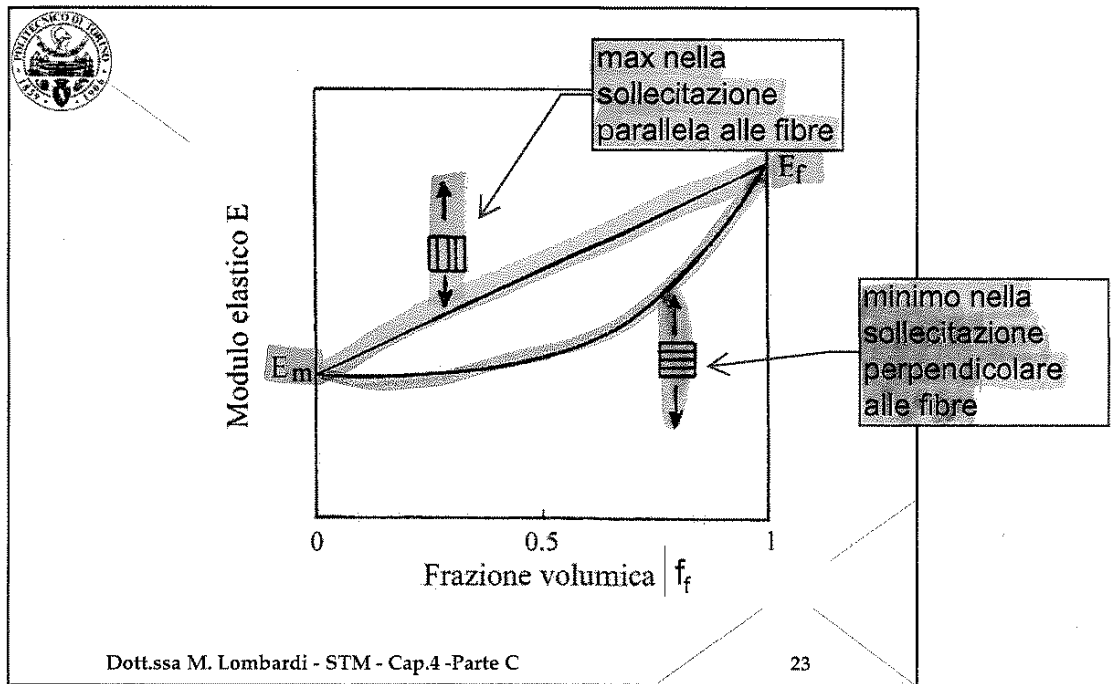
I compositi nascono dall'unione di due diversi materiali dove si cerca di ottimizzare le proprietà di entrambi per creare un "materiale" con nuove proprietà. A differenza dell'acciaio che non è un composito; la miscela dei due materiali non avviene a livello atomico. Un composito è tale se a livello microstrutturale siamo in grado di riconoscere le diverse fasi. Matrice e rinforzo sono distinguibile a livello di micron. Esistono compositi composti da materiali della stessa "specie".



COMPOSITI SONO:
 *consistono di due o più materiali fisicamente distinguibili
 *I diversi materiali sono dispersi l'uno nell'altro in modo controllato
 *il materiale ottenuto deve avere caratteristiche migliori.

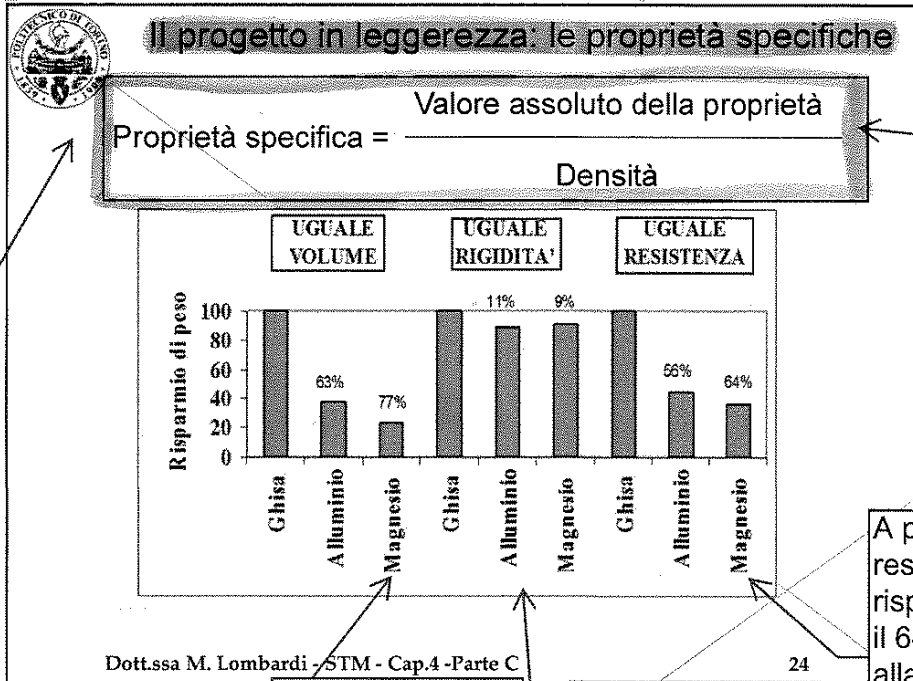
volume occupato dalla matrice





I compositi a fibre lunghe allineate sono materiali ANISOTROPI --> le proprietà variano in base alle direzioni! E' per questo motivo che i compositi a fibre lunghe sono realizzati andando a creare delle trame nei rinforzi sovrapponendo diverse lamine di composito ruotate in modo da avere in ogni direzione fibre allineate e quindi ottengo un composto di compositi resistente in più direzioni possibili. => nascita del LAMINATO

Il peso di un materiale nel nostro campo è fondamentale. Nel nostro caso andremo a considerare le proprietà specifiche. Cioè la proprietà per unità di peso.



a parità di volume il magnesio pesa di meno risparmio il 77% di peso rispetto alla ghisa

A parità di rigidezza l'alluminio pesa meno=> risparmio l'11% di peso rispetto alla ghisa

A parità di resistenza risparmio in peso il 64% rispetto alla ghisa se realizzo il componente in magnesio

LEZIONE (5)

RETICOLI CRISTALLINI:

Conoscendo sei parametri fondamentali come le lunghezze dei lati del reticolo e gli angoli si potevano distinguere tutti i tipi di strutture. (ci servono 3 lati e 3 angoli)

Esistono 14 tipi di celle elementare ma la maggior parte degli elementi utilizzano poche strutture principali: CUBICA A CORPO CENTRATO, CUBICA A FACCE CENTRATE e ESAGONALE COMPATTO (in natura è frequente una struttura molto simile ma con un altro piano al centro interposto in modo che si occupino i vuoti lasciati dal primo strato di atomi.) Queste tre strutture cristalline coprono il 95% dei materiali che incontreremo.

Allora iniziamo a chiederci il perché sono così frequenti e perché hanno delle proprietà particolari. Un dato fondamentale è quello di andare a misurare quanto queste strutture elementari al loro interne sono "piene" e quanto sono "vuote". La disposizione degli atomi comporta necessariamente l'alternanza da spazi vuoti a spazi occupati.

Cerchiamo di studiare in che modo queste strutture si deformeranno studiando il ^{FCA}FATTORE DI COMPATTAZIONE ATOMICA. Questo parametro è una specie di fattore adimensionale che identifica una sorta di densità atomica nella cella. Ci sono spazi che fisicamente non possono essere occupati da altri atomi. Per ricavare il FCA è sufficiente andare a contare quanti atomi sono presenti in una cella elementare calcolando la reale percentuale appartenenza di un atomo a una cella. (negli spigoli ho atomi "parziali"). A fronte della reale quantità di atomi moltiplicando questo fattore per il volume di ogni atomo e dividendo per il volume della singola cella. Invece di fare lato al cubo per calcolare il volume della cella posso ricavare la diagonale del cubo come somma di due diametri atomici => $L=4R/\text{radice}(3)$.


FCA = 0.68 in una cella CCC (2 atomi per cella con continuità di raggi atomici lungo la diagonale del cubo).

Nella cella CFC abbiamo (4 atomi per cella ma continuità di raggi atomici lungo la diagonale di una faccia) => FCA=0.74.


Per calcolare il FCA conviene tenere conto la dimensione di una singola pallina delle sei lacune lasciate non tutte possono essere riempite perché la dimensione di una particella inserita in una lacuna oscura altre lacune troppo vicine. Ecco perché il secondo livello è leggermente sfasato. I reticolo CFC e quello esagonale sono "parenti" perché l'unica cosa che cambia è la disposizione locale del terzo strato => hanno lo stesso FCA=0.74.

INDICIZZAZIONE

Per indicizzare le direzioni usiamo le parentesi [] con indici non separati dalla virgola. Non ammettiamo numeri frazionari => fai in minimo comune multiplo



Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino




Reticoli cristallini – tipi di reticoli


Classificazione dei Reticoli Spaziali per mezzo del sistema cristallino

| Sistema cristallino | Lunghezze degli assi e angoli tra gli assi | Reticolo spaziale |
|---------------------|---|---|
| Cubico | Tre assi uguali con angoli retti $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ | Cubico semplice Cubico corpo centrato Cubico facce centrate |
| Tetragonale | Tre assi con angoli uguali, due uguali $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ | Tetragonale semplice Tetragonale corpo centrato |
| Ortorombico | Tre assi disuguali con angoli uguali $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ | Ortorombico semplice Ortorombico corpo centrato Ortorombico assi centrate Ortorombico facce centrate |
| Romboedrico | Tre assi uguali, ugualmente inclinati $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ | Romboedrico semplice |
| Esagonale | Due assi uguali a 120° , terzo asse con angoli retti $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ | Esagonale semplice |
| Monoclino | Tre assi disuguali, una doppia non con angolo retto $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ | Monoclino semplice Monoclino basi centrate |
| Triclino | Tre assi disuguali, inclinati in modo disuguale, nessuno con angoli retti $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ | Triclino semplice |

L'osservazione delle strutture esistenti ha dimostrato che sono sufficienti 7 sistemi cristallini per descrivere tutti i tipi di reticolo.

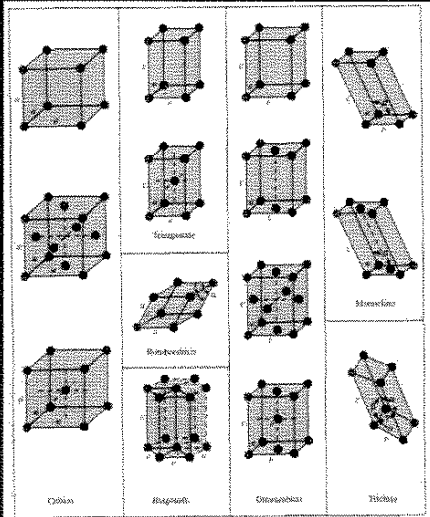


Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino



Reticoli cristallini – celle elementari di Bravais

Le 14 celle elementari descritte da Bravais



CS
CCC
CFC
TS
TCC
R
E
AS
IFC
T
CS
OCC
OCF
OBC


$$GR = \sqrt{2} e \Rightarrow \boxed{e = \frac{G R}{\sqrt{2}}}$$

$$FCA = \frac{V_{ATOMI}}{V_{CELLA}} = \frac{G \cdot \pi \frac{4}{3} R^3}{e^3}$$


$$= \frac{\frac{16}{3} \pi \cancel{R^3}}{\frac{4^3 \cancel{R^3}}{2\sqrt{2}}} = \boxed{0,76}$$

CFC
↓

$$\frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 1 + 3 = \textcircled{4}$$



Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino

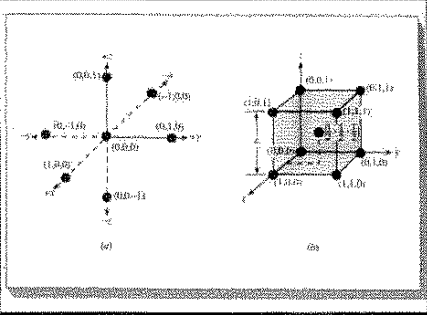


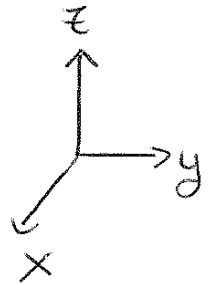
Reticoli cristallini - indicizzazione

Posizioni:
L'indicizzazione delle posizioni si effettua in un sistema cartesiano a 3 dimensioni.


Gli assi y e z sono quelli nel piano (rispettivamente quello orizzontale e quello verticale), mentre l'asse x è quello uscente dal piano.

La posizione di un atomo viene indicata dandone le coordinate cartesiane tra parentesi tonde e separate da virgole.






POSIZIONE ATOMO (a, b, c)



Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino



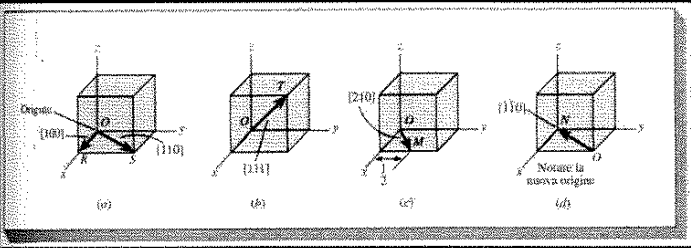
Reticoli cristallini - indicizzazione



Direzioni:
L'indicizzazione delle posizioni si effettua in un sistema cartesiano a 3 dimensioni.

Gli assi sono i medesimi utilizzati per le posizioni.

Per indicare graficamente la direzione in un reticolo si traccia una retta tra il punto di partenza ed punto di arrivo.

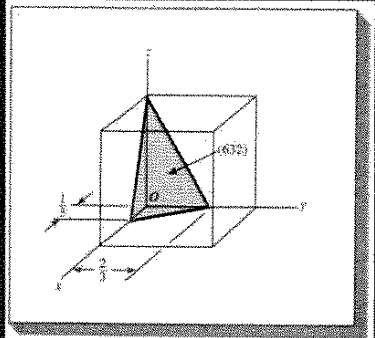
Se il punto di partenza non è nell'origine degli assi si trasla l'origine stessa.






Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino


Reticoli cristallini – indicizzazione

$$\left(\begin{matrix} 1 & 2 \\ 3 & 3 \end{matrix} \right) \Rightarrow \left(\begin{matrix} 3 & 3 \\ 2 & 1 \end{matrix} \right) \Rightarrow (632)$$

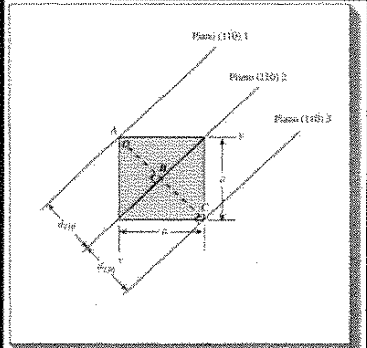



Paolo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino


Reticoli cristallini – indicizzazione

Piani paralleli = stesso indice

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$



d_{hkl} = distanza interplanare tra piani paralleli
 a = costante reticolare
 h, k, l = indici di miller dei piani del cubo in esame

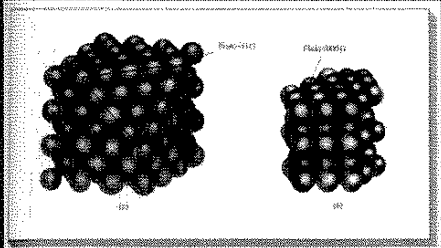
Polo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino

DiSAT
Dipartimento di Scienza e Ingegneria dei Materiali

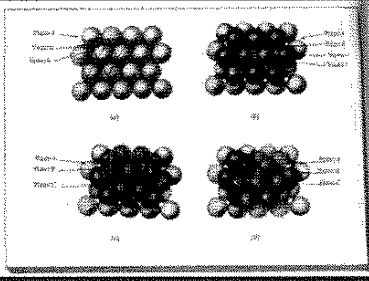
Reticoli cristallini - indicizzazione

Analogia tra CFC e EC

Struttura →



Impilamenti:
 2 posizioni - ABAB - EC
 3 posizioni - ABCABC - CFC

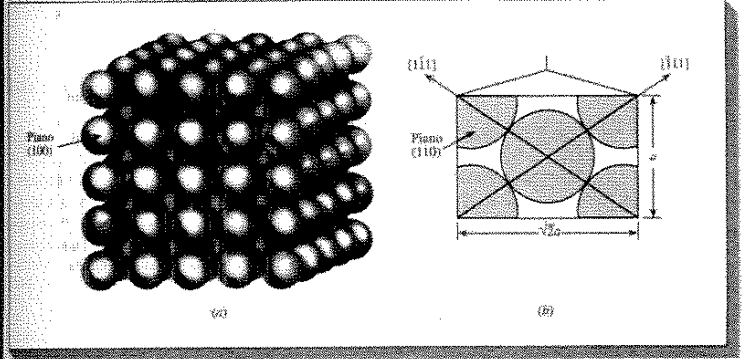


Polo Fino - Scienza e Tecnologia dei Materiali - Corso di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino

DiSAT
Dipartimento di Scienza e Ingegneria dei Materiali

Reticoli cristallini - indicizzazione

La struttura CCC non ha piani compatti ma solo direzioni compatte



direzioni $(X_{AR} - X_{PAR}, Y_{AR} - Y_{PAR}, Z_{AR} - Z_{PAR})$

~~FRATTURA~~

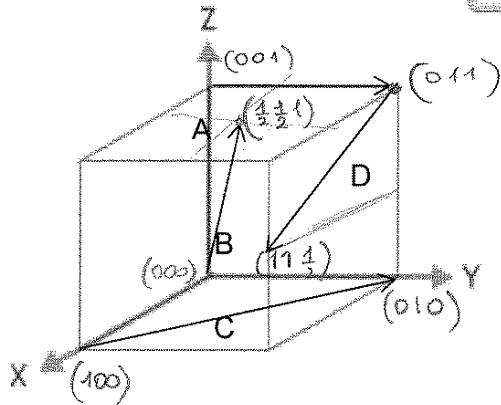
↓
INTERO

PIANI $(X_{INTER.}, Y_{INT}, Z_{INTERSEZIONE})$

↓
RECIPROCO

↓
INTERO

4. Indicare gli indici di Miller delle direzioni A,B,C,D nella seguente cella cubica:



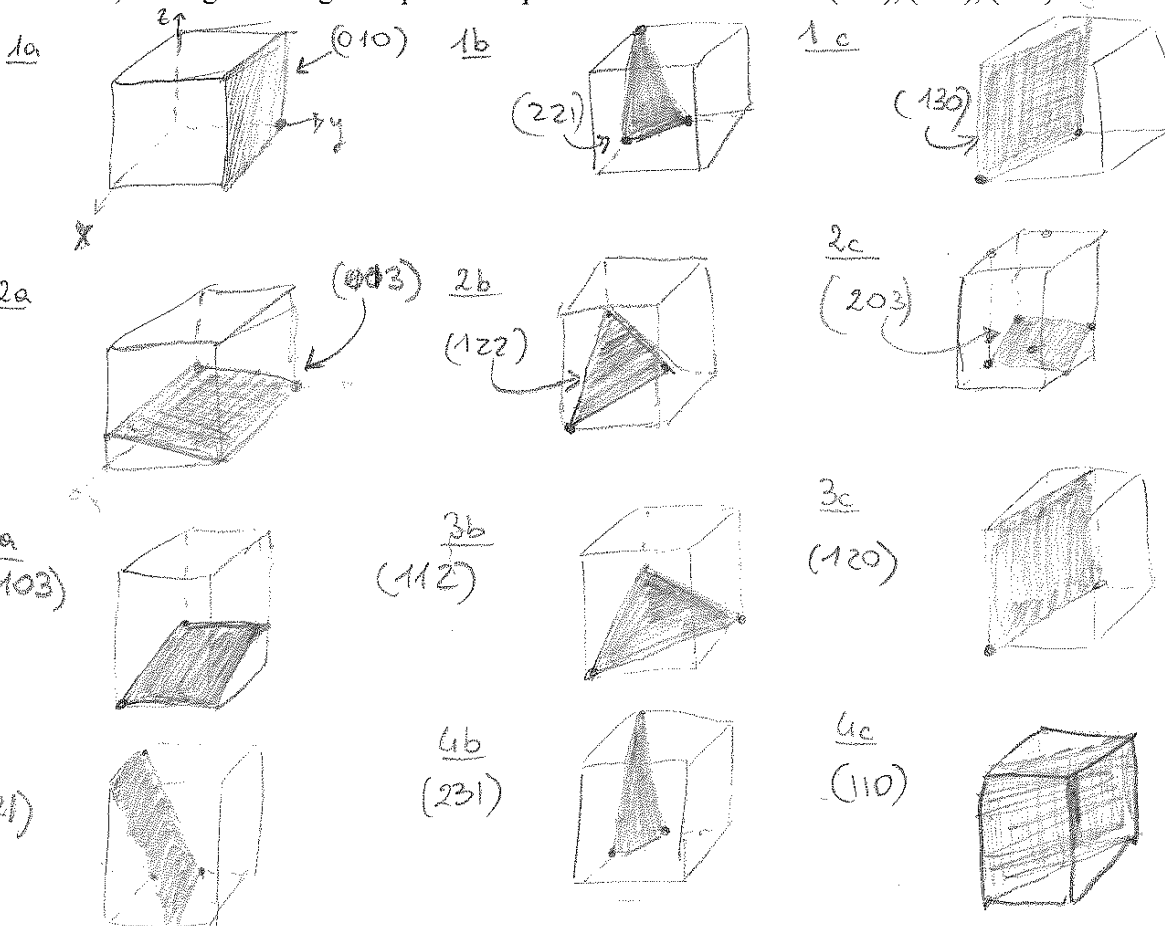
A $[0\ 1\ 0]$

B $[\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 1] \rightarrow [1\ 1\ 2]$

C $[-1\ 1\ 0] \rightarrow [\bar{1}\ 1\ 0]$

D $[1\ 0\ -\frac{1}{2}] \rightarrow [2\ 0\ \bar{1}]$

- 1) Disegnare i seguenti piani compatti in una cella cubica: (010), (221), (130).
- 2) Disegnare i seguenti piani compatti in una cella cubica: (013), (122), (203).
- 3) Disegnare i seguenti piani compatti in una cella cubica: (103), (112), (120).
- 4) Disegnare i seguenti piani compatti in una cella cubica: (021), (231), (110).



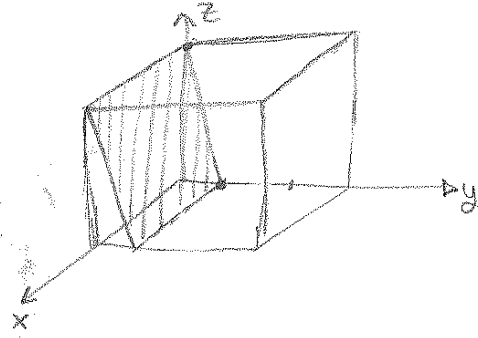
DISEGNA I SEGUENTI PIANI:

① $(0 \ 3 \ 1)$



$\infty \ \frac{1}{3} \ 1$

solo le intersezioni
con gli assi

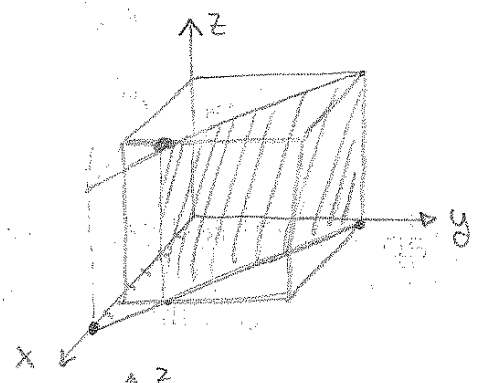


② $(\frac{1}{2} \ \frac{4}{5} \ 0)$

$2 \ \frac{5}{4} \ \infty$

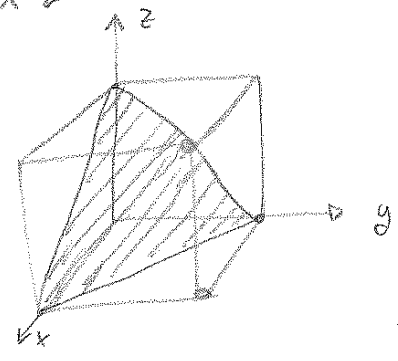
$8 \ 5 \ \infty$

? $\rightarrow \frac{8}{5} \ 1 \ \infty$



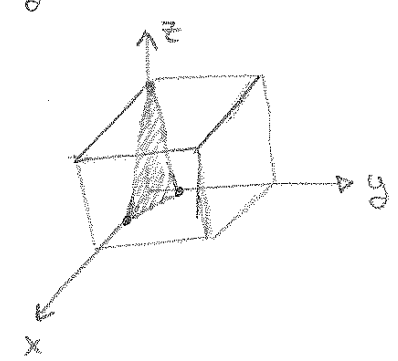
controllo?

③ $(1 \ 1 \ 1)$



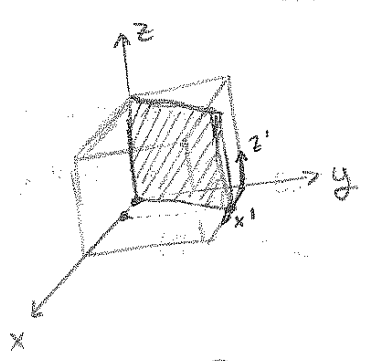
④ $(2 \ 3 \ 1)$

$\frac{1}{2} \ \frac{1}{3} \ 1$



⑤ $(5 \ 7 \ 0)$

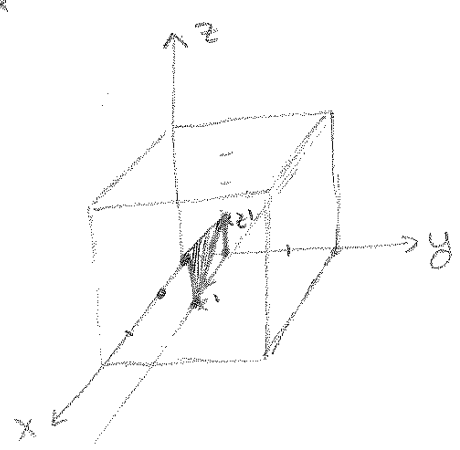
$\frac{7}{5} \ -1 \ \infty$



controllo!

⑥ $(3 \ \bar{3} \ 4)$

$\frac{1}{3} \ -\frac{1}{3} \ \frac{1}{4}$



controllo!!

28/10/2012

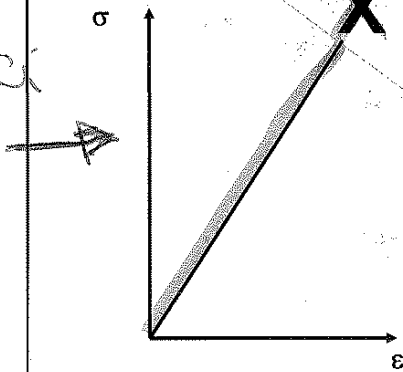
TERMOINDURENTI:
sono catene di polimeri legati l'una all'altra e la rottura di un legame porta alla rottura della catena stessa -> rottura fragile

MATERIALI FRAGILI

CERAMICI: hanno legami direzionali o con alternanza di cariche di nature diverse e quindi non sopportano modifiche di direzione e si rompono in modo fragile.

Non si va oltre l'elasticità: rottura !!

CERAMICI e TI

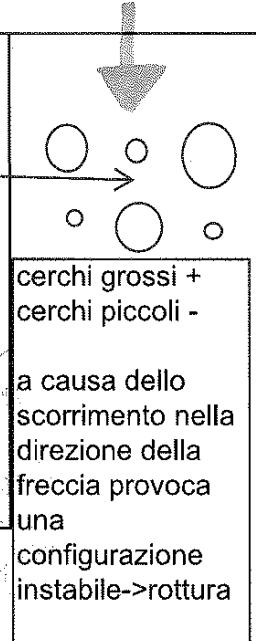


CASO A)

Il materiale si rompe: comportamento elastico fino a rottura -> materiali fragili

Questa è la curva che descrive il comportamento sotto stress fino a rottura di CERAMICI e TI

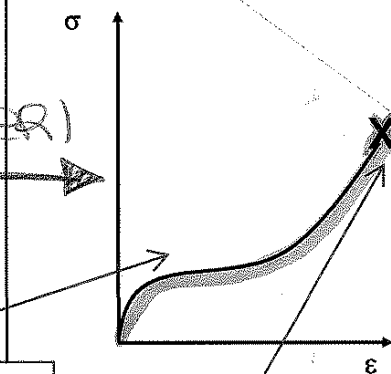
Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A



cerchi grossi + cerchi piccoli -
a causa dello scorrimento nella direzione della freccia provoca una configurazione instabile -> rottura

Non si va oltre l'elasticità: rottura !!

ELASTOMERI



CASO A1)

Comportamento elastico NON lineare fino a rottura -> non segue la legge di HOOKE

Questa è la curva che descrive il comportamento sotto stress fino a rottura degli ELASTOMERI

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

la curva è più ampia e non segue la legge di hooke rimanendo però nel campo elastico.

anche in questo caso nonostante cambi l'eqazione del campo elastico non ammettiamo deformazioni permanenti

ha capacità di allungamento enorme rispetto agli sforzi applicati tornando nelle configurazioni iniziali dopo aver subito deformazioni notevoli.

28/10/2012

DIFETTO AUTOINTERSTIZIALE

VACANZA

Difetti puntuali

difetti di Frenkel (A) e Schottky (B)

reticolo metallico: atomi tutti della stessa dimensione

reticolo ionico: sfere grosse ANIONI elementi con un elettrone in più -; sfere piccole CATIONI +.

I reticoli cristallini devono avere NEUTRALITÀ di carica -> a una lacuna + corrisponde una lacuna - nello stesso intorno.

vacanza ed interstiziale

difetto meno stabile e consiste nello spostare una carica + accanto a un'altra +. IL reticolo rimane neutro.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

Le zone vuote e le vacanze a diversa temperatura possono permettere l'inserimento di atomi di diversa natura nel reticolo stesso del materiale grazie al fenomeno di **DIFFUSIONE NATURALE**.

Conseguenze della presenza dei difetti puntuali

1) Creazione di soluzioni solide (leghe)
2) Diffusione allo stato solido

1) Soluzioni solide

elemento maggiormente presente nel reticolo cristallino → **Solvente**
Soluto

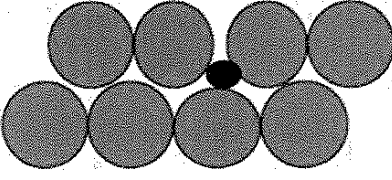
- Soluzione solida **SOSTITUZIONALE**
- Soluzione solida **INTERSTIZIALE**

Vacanze

Soluto sostituzionale **Soluto interstiziale**

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

28/10/2012



Soluzione solida INTERSTIZIALE

Fe e C → acciai e ghise

Solubilità sempre PARZIALE

Non potrei avere sostituzioni totali o nulla nelle soluzioni interstiziali.

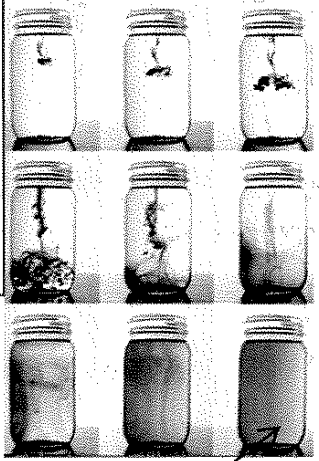
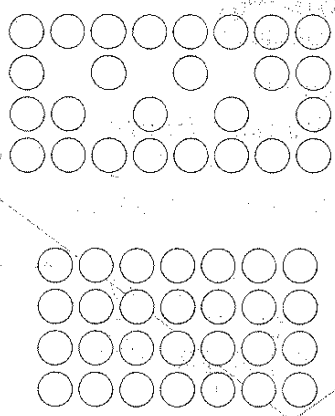
Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 11

1B

cerchiamo di capire come si diffonde l'introduzione di elementi di soluto => questo è proporzionale all'incapacità di scorrere tranquillamente=> diminuisco la capacità elastica del materiale stesso=>le sostituzioni di qualsiasi tipo danno "fastidio".

Se sono capace di sapere quanto soluto metto e come lo metto capisco come si comportano i materiali nella fase plastica.

La diffusione allo stato solido

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 12

2 → CAUSATO dai difetti puntuali

la temperatura può fornire sufficiente energia termica per far vibrare il reticolo e permettere il passaggio delle particelle di soluto in modo facile.

nei liquidi la diffusione è molto semplice

28/10/2012

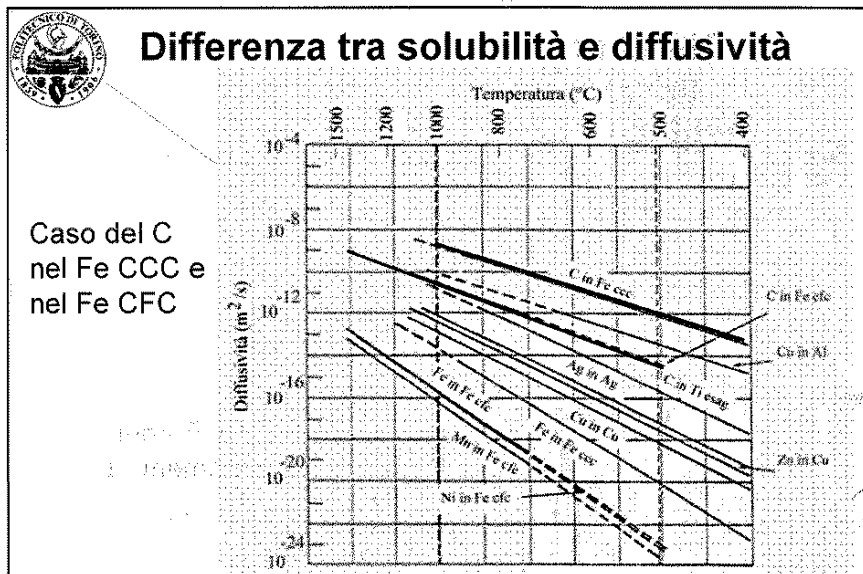
Alcune conseguenze della diffusione allo stato solido

Cementazione (carburazione) degli acciai

Densificazione (sinterizzazione) dei ceramici


Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

15



*La diffusività cambia di una specie in un'altra in base al reticolo del solvente.
 =>La diffusività del Carbonio nel FERRO CFC (FIA=0.7) < di quella del C nel Fe CCC (FIA=0.68)!!=>accade perchè una struttura meno compatta (FIA<) permette una diffusività maggiore

*LA solubilità di C in Fe CFC è > della solubilità di C in Fe CCC=> questo accade perchè nella CFC ho interstizi meno numerosi ma più grandi=>la CFC solubilizza interstizialmente quantità di C più alte!
SOLUBILITÀ: fenomeno in cui si riesce a "sciogliere" del soluto in un solvente.
SATURAZIONE: il solvente non riesce più a sciogliere il soluto perchè la soluzione è satura.



Difetti di linea: dislocazioni

Una dislocazione a vite

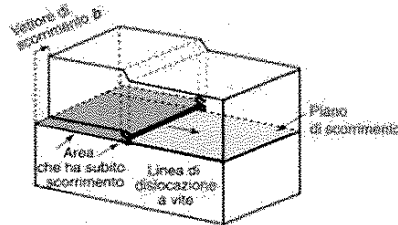



Fig. 6.13 Una dislocazione a vite. Il vettore di scorrimento b è parallelo alla linea di dislocazione $S-S'$.

© CEA - Casa Editrice Ambrosiana - Ashby Materiali ISBN 978-88-08-18126-8

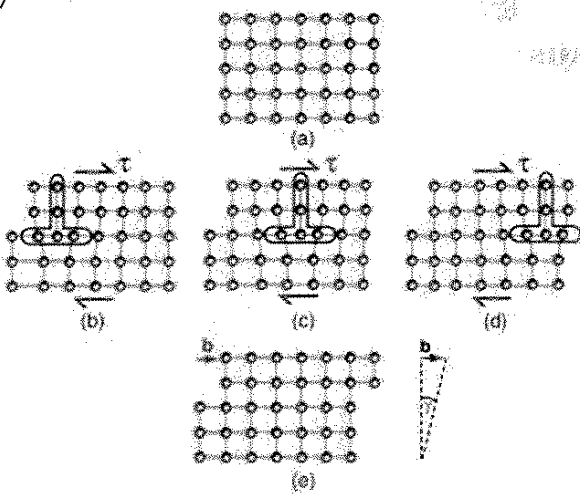
Combinazioni: dislocazioni miste....

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A
19



Il moto delle dislocazioni

reticoli sottoposti a TAGLIO!



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

20

SPIEGANO dal punto di vista microscopico la DUTTILITÀ dei METALLI. (i polimeri sono duttili per altri motivi!!!)

La linea di dislocazione si sposta fino a quando lo scorrimento tra i due piani è completo. Mentre gli atomi si muovono si vengono a creare dei nuovi legami.

28/10/2012

Nella realtà i vari difetti si presentano simultaneamente (DISLOCAZIONI + DIFETTI PUNTUALI).
 Se un difetto INTERSTIZIALE per diffusione va a finire in una DISLOCAZIONE o nelle sue vicinanze=>la situazione di trazione si alleggerisce.

Nei cristalli reali è più facile creare e movimentare dislocazioni su certi piani piuttosto che su altri. I piani preferenziali sono detti **piani di scorrimento** e le direzioni preferenziali di scorrimento su questi piani sono dette **direzioni di scorrimento**.

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 23


Le dislocazioni si muovono meglio su piani ad alta densità atomica poiché le distanze di scorrimento sono più brevi.

| Struttura cristallina | Piani e direzioni di scorrimento | Numero di sistemi di scorrimento | Geometria | Esempi |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|------------------|
| ccc | {110} <111> | 6x2=12 | | Mo, W, Fe α |
| cfc | {111} <110> | 4x3=12 | | Al, Cu, Ni, Fe γ |
| esagonale compatto | {0001} <1120> | 1x3=3 | | Cd, Mg, Zn, Ti α |

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 24

28/10/2012

MONOCRISTALLO: il reticolo è uno solo e si ripete esattamente nello stesso modo nel materiale (stesso orientamento)
POLICRISTALLINO => **GRANI:** cambia la direzione del reticolo cristallino da un grano all'altro (i reticoli sono ruotati) => interazioni atomiche ai confini di ogni grano!!

 La duttilità di un materiale è una proprietà **estrinseca**, cioè modificabile... → ne parleremo diffusamente

Completiamo la discussione dei difetti dei cristalli perché tutti i difetti interagiscono con le dislocazioni e hanno un ruolo su duttilità

Bordi di grano

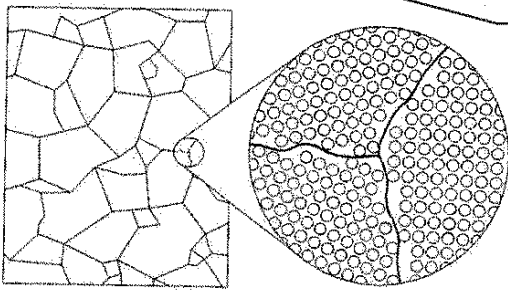
Monocristallo

Solido policristallino

↓

isotropia

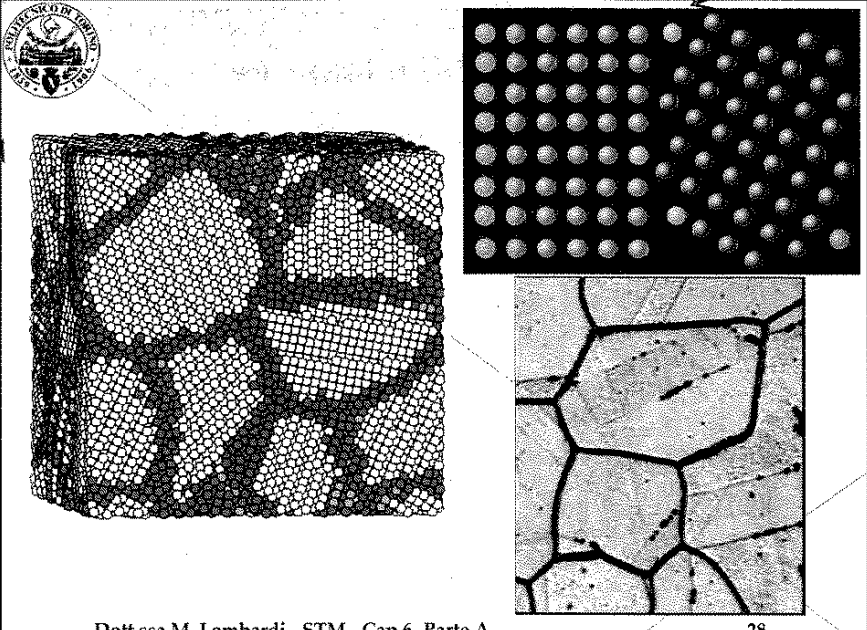
perdita locale dell'ordine cristallino => distanze di interazioni leggermente diverse



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 27

non è una situazione di disordine è semplicemente un' imperfezione o un difetto.

sistemazioni intermedie rispetto a quelle all'interno dei GRANI



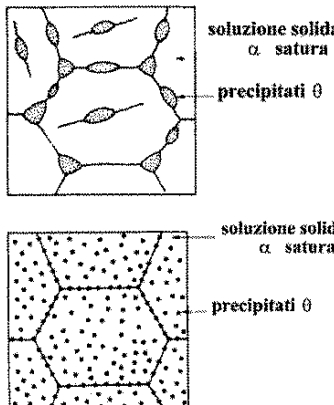
Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 28

precipitati=soluto in eccesso

COERENTE: concentrazione di alcune zone di soluto ma la geometria del reticolo rimane quella del solvente

INCOERENTE: il precipitato ha un reticolo cristallino completamente diverso e quindi ROMPE l'ordine del reticolo del solvente.

I difetti tridimensionali
I precipitati di una seconda fase



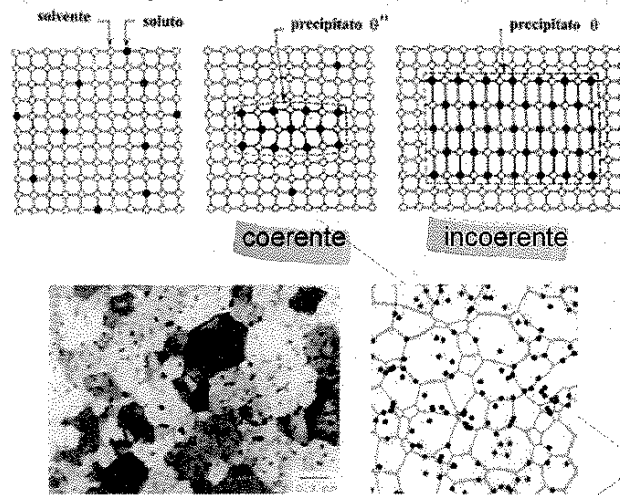
soluzione solida α satura
 precipitati θ

soluzione solida α satura
 precipitati θ

Esempio \rightarrow Leghe di Alluminio
 Leghe Al-Cu : **DURALLUMINIO**
 S.S.S. α
 Cu soluto in Al solvente
 Precipitato θ
 CuAl_2 (composto stechiometricamente definito, di tipo INTERMETALLICO, con sua autonoma struttura cristallina)

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 31

I difetti tridimensionali
I precipitati di una seconda fase



solvente soluto precipitato θ'' precipitato θ

coerente incoerente

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A 32

Cap. 6 – Oltre l'elasticità: la duttilità

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

1



Le curve meccaniche: curve σ - ϵ

Prove meccaniche


- 1 • **statiche**, quando la sollecitazione viene applicata al provino in maniera gradualmente crescente fino a rottura del provino stesso;
- 2 • **dinamiche**, quando la sollecitazione viene applicata bruscamente sotto forma di impulso di energia;
- 3 • **di fatica**, quando la sollecitazione è applicata ciclicamente per un gran numero di volte fino a produrre, dopo un certo numero di cicli, la rottura.

Normativa: EN UNI, ISO, ASTM,...

Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

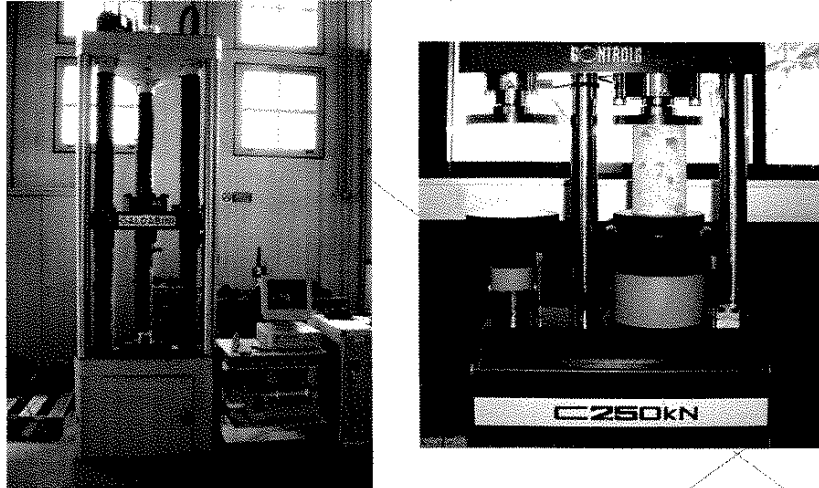
2

04/11/2012




Le curve meccaniche: curve σ - ϵ

Autore: M. Lombardi

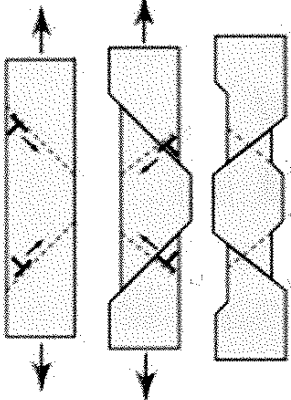


Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

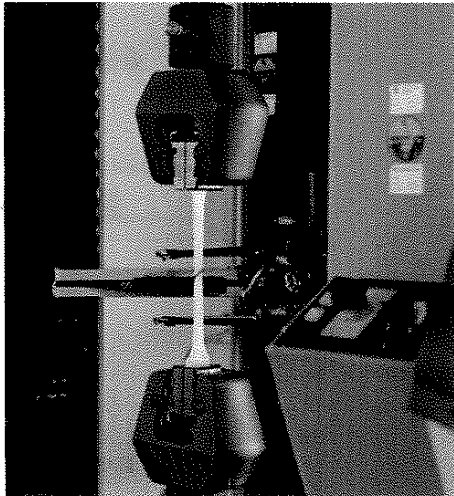
5



Prove a velocità di deformazione $d\epsilon/dt$ COSTANTE



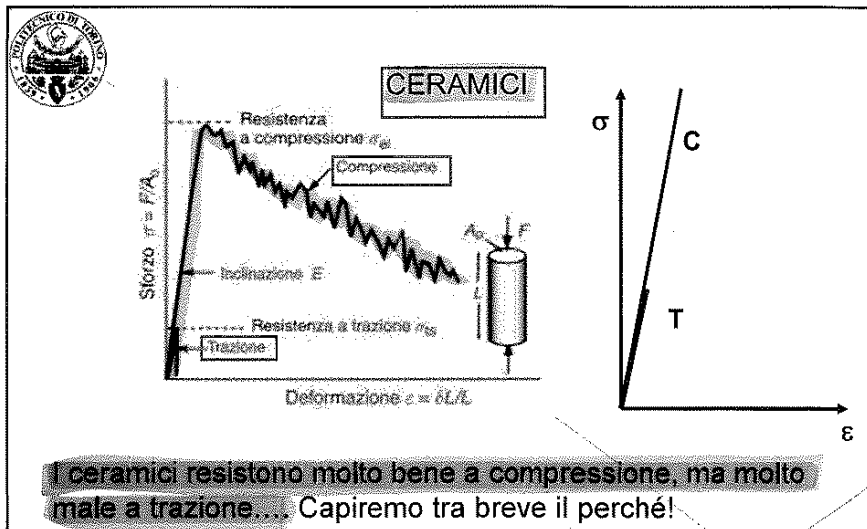
Il moto dislocativo produce allungamento irreversibile



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

6

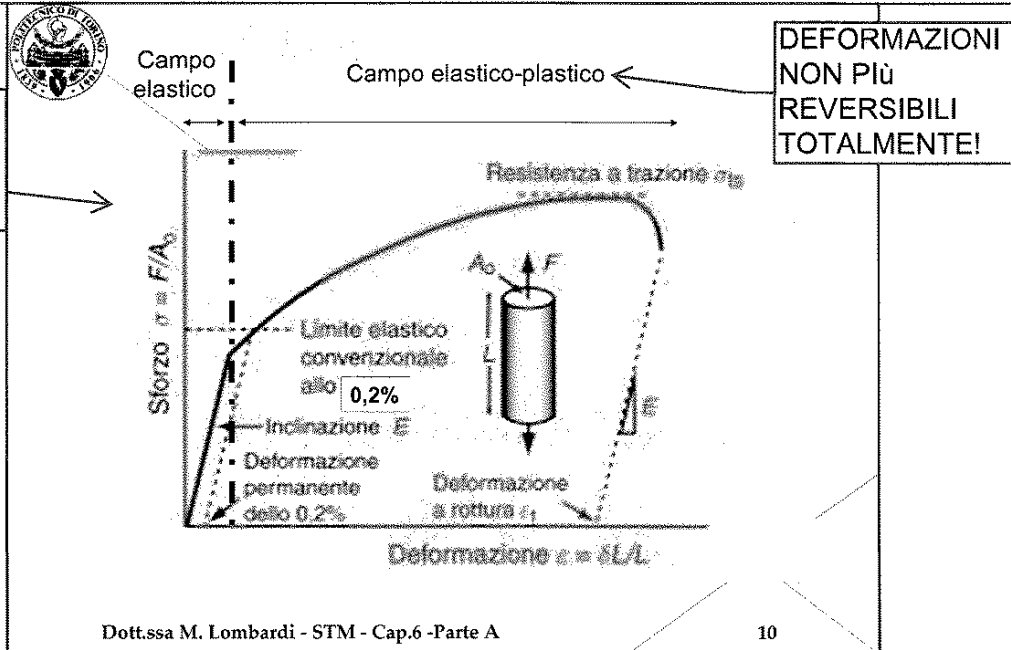
04/11/2012



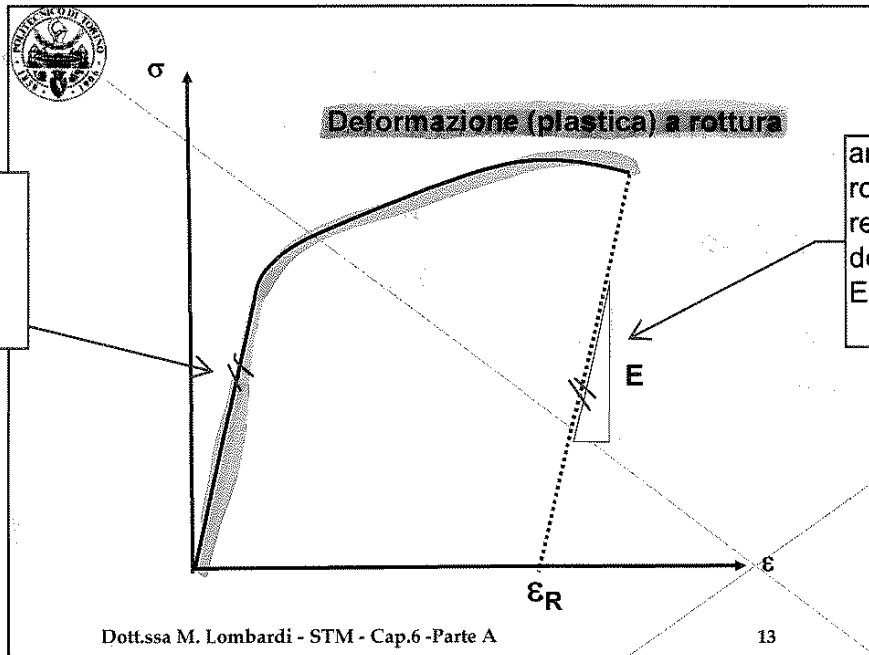
Sottoporti a compressione i materiali ceramici hanno ho rottura "esplosiva". Quando ho lo "zig zag" significa che è rotto ma i due lembi rimangono uniti per la compressione=> è un dato non reale perchè il materiale è rotto ma ovviamente anche se è sbriciolato è presente tra le due presse e quindi si oppone con resistenza =>sembra che reagisce ancora, ma non è vero.

NEI CERAMICI=>se lavoro in compressione o trazione la macchina mi dà sempre il risultato in valore assoluto quindi sovrapponendo i due comportamenti vedo che a trazione dopo un pò crolla lacurva mentre a compressione ho il comportamento di prima.

MATERIALE
GENERICO NON
è UN
CERAMICO!!!



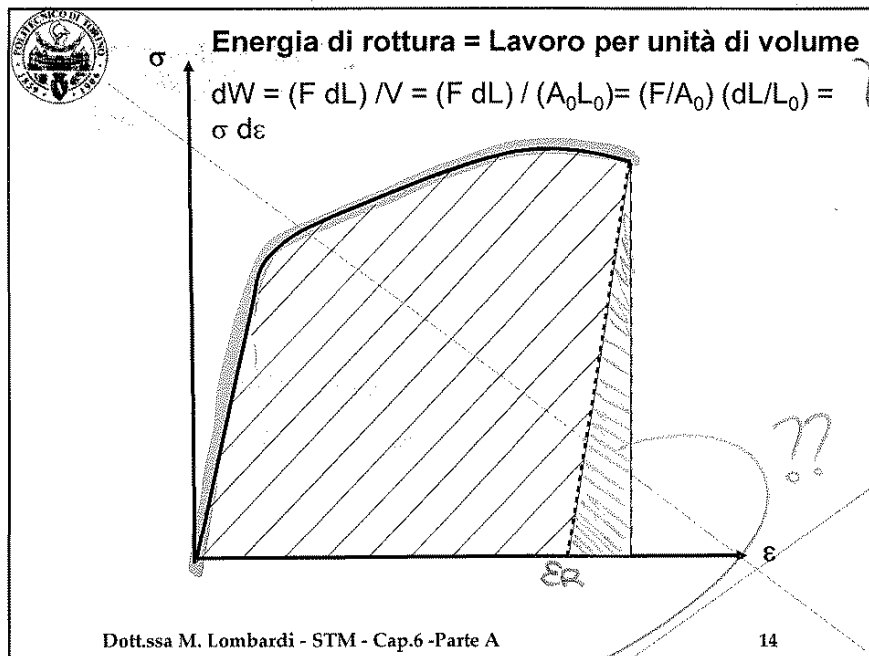
04/11/2012



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

13

L'allungamento a rottura è un parametro fondamentale : se ci serve un materiale che resiste ad alti sforzi ammettendo anche deformazione plastica l'importante è che non raggiunga il punto di rottura.



Dott.ssa M. Lombardi - STM - Cap.6 -Parte A

14

[ENERGIA ELASTICA IMMAGAZINATA PER VOLUME UNITARIO = $\frac{\sigma_y^2}{2E}$]