



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1044

DATA: 15/07/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Ottina

MATERIA: Tecnologia dei materiali da costruzione 2013-14

Prof. Actis Grande

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.**

le proprietà dei materiali possono essere interconnesse ma di loro
e non sono separate.
l'acciaio di armatura sarà soggetto a varie proprietà

Tecnologia dei materiali da costruzione

FILE 1

Ing. M. Actis Grande
Ing. M. Lombardi
Politecnico di Torino
marco.actis@polito.it

mariangela.lombardi@polito.it



1859-2009



150 anni di Cultura
Politecnica

Questi sono macrogruppi ma la risposta dei materiali è
funzione della loro INTERAZIONE: esistenza dei LEGAMI che
regolano le proprietà dei materiali

Proprietà dei materiali

Le proprietà meccaniche → risposta alle sollecitazioni meccaniche,
resistenza, etc.

Proprietà termiche → sono collegate alla trasmissione del calore e alla
capacità termica *DISSIPAZIONE TERMICA.*

Proprietà elettriche e magnetiche → risposta ai campi elettrici e
magnetici, conducibilità elettrica, etc.

Proprietà ottiche → comprendono l'assorbimento, la trasmissione e la
diffusione della luce

La stabilità chimica → per contatto con l'ambiente, resistenza alla
corrosione

- CONDIZIONI CLIMATICHE (gelo/dingelo)
- MAE, differenze UMIDITÀ, SALINITÀ, corrosione differente
- SALE DELLE STRADE, perdita di proprietà
- DIFFERENZA DI POTENZIALE, azione elettrolitica + ambiente



Strutture atomiche(II)

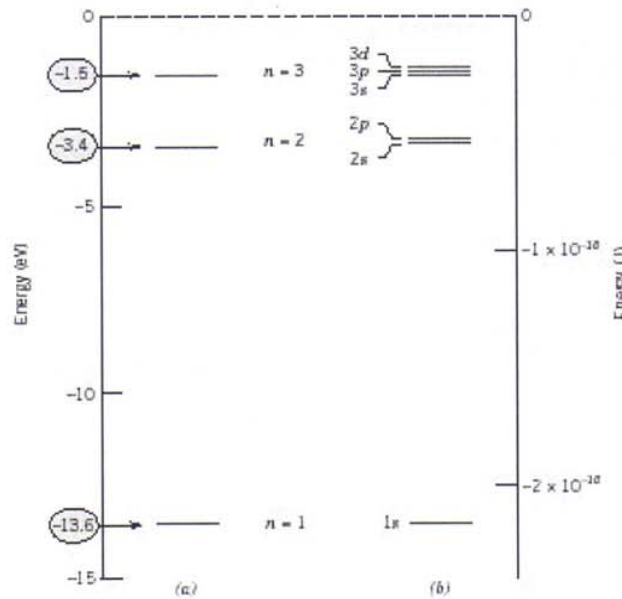
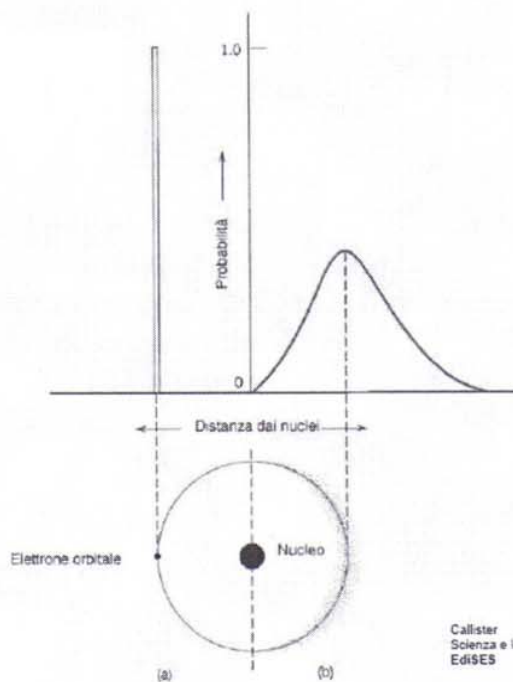


Figure 2.2 (a) The first three electron energy states for the Bohr hydrogen atom. (b) Electron energy states for the first three shells of the wave-mechanical hydrogen atom. (Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, p. 10. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture atomiche(III)



Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdiSES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



9)

CONTRIBUTO ENERGETICO

T_0 = PUNTO DI ENERGIA MINIMA

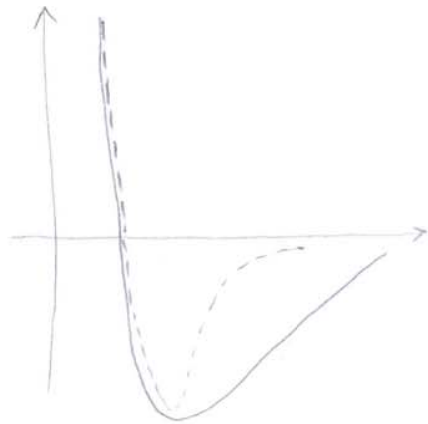
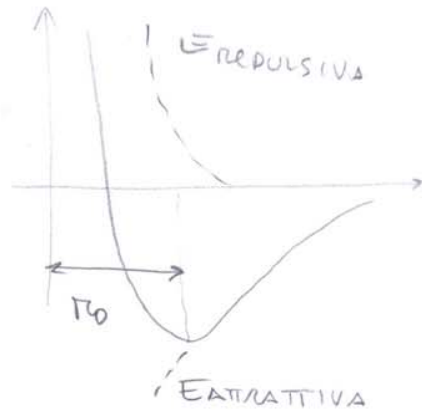
Questa curva vale per TUTTI i TIPI di materiali, in linea di massima, perché per ogni materiale sono definite questa curva.

L'ampiezza della curva dipende dal materiale considerato.

La curva è anche influenzata dalla TEMPERATURA.

T = Energia fornita al sistema

Variando la T otterro' delle differenti proprietà del materiale.



15

LEGAME IONICO

Legame ionico

Tra elemento metallico (M) e non metallico (X):

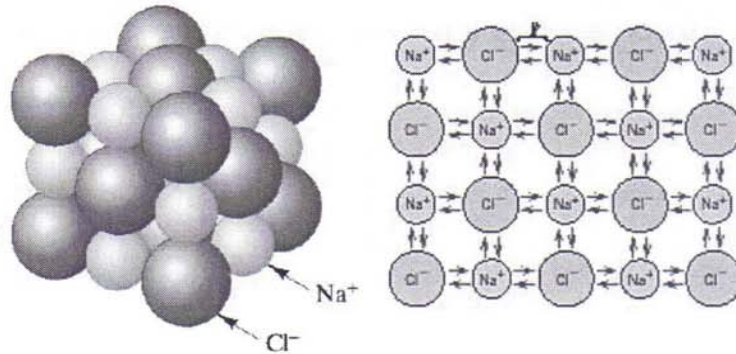
Il metallo cede un elettrone al non metallo

Si formano gli ioni M^+ ed X^-

Le forze attrattive sono di tipo coulombiano, dovute all'attrazione reciproca di uno ione positivo e uno negativo.

E' il legame più diffuso fra i **ceramici**

Esempio:
il cloruro di sodio



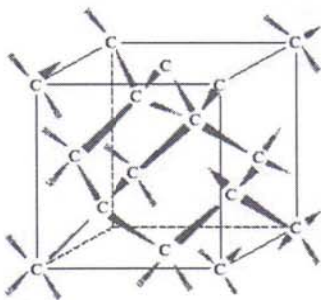
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



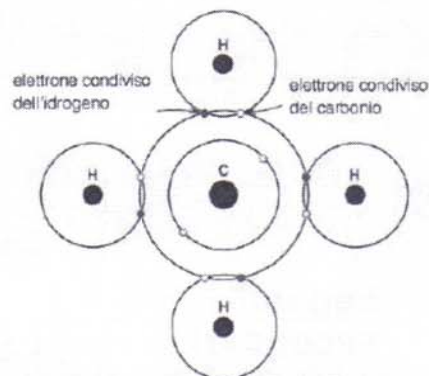
LEGAME COVALENTE

Risulta dalla condivisione di una o più coppie di elettroni tra due atomi, il cui strato elettronico più esterno è incompleto, che sovrappongono i propri orbitali semipieni.
La coppia di elettroni è così in comune ai due atomi che assumono la configurazione dei gas

inerti. La parziale sovrapposizione degli orbitali comporta un aumento della densità elettronica nella regione di spazio compresa tra i due atomi



Diamante (*ceramico*)



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



PIATTAFORME CERAMICHE: legame covalente o ionico

POLVERI



Dalla tipologia del legame ricavo le caratteristiche del materiale

- Più il legame è ionico ed altro maggior punti di fusione elevati

	MOLECOLARE	COVALENTE	METALLICO	IONICO
Unità :	Molecola	Atomo	Atomo	Ioni (+ / -)
Entità inter.:	Debole	Forte	Variabile	Forte
Tipo di Legame :	Van der Vaals	Covalente	Mare elettroni e ioni positivi	Interazione elettrostatica
Proprietà :	Soffice, basso p.f., Isolante	Duro, Alto p.f. Isolante, semic.	Durezza var. Conduttore	Duro, Alto p.f. Isolante
Si trova in :	Non metalli e loro composti	Non metalli al centro della tab. periodica	Metalli a sinistra nella tab. periodica	Composti di metalli e non metalli.
Esempi :	Ar, N ₂ , H ₂ O, Br ₂	C _{diam.} , Si, SiO ₂	Li, Ag, Cu/Zn	NaCl, LiH,

- METALLICO: punto di fusione ± elevato ma molto inferiore alle caratteristiche dei materiali metallici.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Bisogna definire le caratteristiche composizionali del materiale e determinano le proprietà, funzione dei parametri di cella.

Numero atomico
 Simbolo
 Peso atomico

Non metallo
 Intermedio

IA	IIA	D										IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 H 1.0080	2 He 4.0026	3 Li 6.939	4 Be 9.0122	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.183	11 Na 22.990	12 Mg 24.312	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.88	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.6	53 I 126.90	54 Xe 131.30
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (258)	102 No (254)	103 Lw (257)	

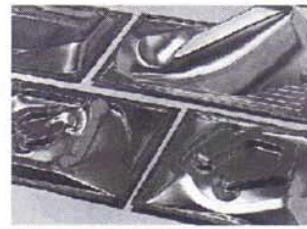
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



1 - Metalli (I)

"Proprietà" dei metalli:

- opachi
- riflettono la luce
- altoresistenziali (elevata resistenza meccanica)
- rigidi
- duttili ("si piegano prima di rompersi")
- conduttori di calore ed elettricità
- resistenti agli sbalzi termici
- soggetti a corrosione ed ossidazione
- facilmente lavorabili



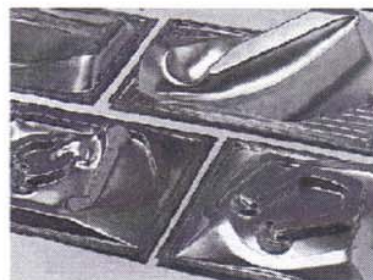
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



1 - Metalli (II)

- sono costituiti da **elementi** (Fe, Al, Mg, Cu,...)
- sono di norma allo stato **cristallino** *ma esistono dei vetri metallici*
- vengono preparati per fusione
- sono tutti **solidi** a temperatura ambiente
- danno origine a leghe

Esempi: *acciai,*
leghe di rame, titanio



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il vetro nasce da una miscela di sostanze con **PROPRIETÀ PECULIARI**

2-Ceramici (III) - i vetri

- Sono un tipo di materiali ceramici, ma allo stato amorfo (non ordinato)
- Vengono preparati per **fusione** di ossidi *fusione difficile da mettere* (SiO_2 , Na_2O , CaO , Al_2O_3 , K_2O , ...)
- sono duri e fragili, lavorabili solo a caldo
- non conducono calore ed elettricità

Esempi: vetrate, parabrezza, vetri di sicurezza, fibre ottiche, ...

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



2 **B** *una resistenza alle alte T: la degradazione abbassa le proprietà.*

3-Polimeri (I)

La maggior parte dei polimeri:

- e' molto leggera (bassa densità)
- 2* • non può sopportare alte temperature
- ha la caratteristica di essere isolante
- ha modesta resistenza meccanica
- è deformabile plasticamente
- alcuni hanno proprietà elastiche
(gomma)



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



4-Compositi (II)

- Sono costituiti da due fasi:

MATRICE e SECONDA FASE (o fase rinforzante)

si classificano a seconda della matrice in:

- compositi *a matrice metallica (MMC)*
- compositi *a matrice ceramica (CMC)*
- compositi *a matrice vetrosa o vetroceramica (GMC)*
- *Compositi a matrice polimerica*

Esempi: *vetroresine, legno, calcestruzzo armato,*

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



4-Compositi (III)

Si classificano anche a seconda della

seconda fase: TIPOLOGIA DI RINFORZO

- compositi rinforzati con fibre (lunghe o corte)
- compositi rinforzati con particelle
- la seconda fase può appartenere ad ognuna delle classi principali dei materiali



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI

I materiali possono essere classificati secondo:

- tipo di legame chimico

- **struttura (cristallina o amorfa)**

I solidi possono essere classificati in funzione della regolarità con cui i loro atomi o ioni sono disposti nello spazio gli uni rispetto agli altri.

- proprietà
- applicazioni

la struttura influenza alcune proprietà

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Struttura dei materiali (I)

- CRISTALLINA → ORDINATA
metalli, ceramici

- AMORFA → DISORDINATA
vetri, polimeri

importante per alcune proprietà come la TRASPARENZA

ECCEZIONI

- vetroceramici, polimeri e compositi costituiscono le eccezioni: possono presentare sia struttura amorfa, sia cristallina, a seconda delle zone

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il tipo di legame influente la $T_{FUSIONE}$

vetro
↓
legame Forte
(covalente / ionico)

STRUTTURA CRISTALLINA: TEMPERATURA DI FUSIONE

- Temperatura di passaggio solido/liquido (T_{fus})
- è direttamente proporzionale alla forza del legame chimico presente nel materiale
- T_{fus} : Polimeri < (metalli, ceramici)
I polimeri hanno una $T_{Fusione}$ inferiore
- T_{fus} limita il campo di impiego dei materiali

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



TEMPERATURE DI FUSIONE

	T_{fus} (°C)		T_{fus} (°C)		T_{fus} (°C)
W	3410	Mg	651	Al ₂ O ₃	2045
Ti	1675	Pb	270	SiO ₂	1730
Fe	1536	Sn	232	MgO	2800
Ni	1453			CaCO ₃	1339
Cu	1083				

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Celle Cristalline

a, b, c parametri di cella

α, β, γ angoli di cella

- definiti i parametri e gli angoli di cella, e' possibile conoscere la struttura di un qualsiasi materiale cristallino
- a, b, c valgono circa 0,1-0,26 nm a T ambiente e in assenza di forze applicate dall'esterno

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Celle Cristalline

- a, b, c variano con la T e con l'applicazione di carichi
- allo 0 [K] (zero assoluto) gli atomi sono fermi sulle posizioni di equilibrio
- al crescere della T oscillano intorno alle posizioni di equilibrio provocando effetti macroscopici quali la dilatazione termica e poi la fusione.

Se aumenta l'energia fornita avremo una differente interazione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



VARI TIPI DI CELLE CRISTALLINE

$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	cella CUBICA
$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	cella TETRAGONALE
$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	cella ORTOROMBICA
$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	cella ROMBOEDRICA
$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \delta = 120^\circ$	cella ESAGONALE
$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \delta$	cella MONOCLINA
$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	cella TRICLINA

Quali sono i parametri che definiscono bene le celle?

Questi parametri hanno il maggiore ordine possibile.

Tecnologia dei materiali da costruzione

Marco ACTIS GRANDE

Il reticolo cubico e ESAGONALE hanno il massimo grado di densità e compattazione



La struttura cristallina dei metalli

Il legame metallico è adirezionale, quindi:

- no restrizioni nel numero degli atomi vicini e nelle loro posizioni
- presenza di un grande numero di atomi e di un elevato grado di impacchettamento di atomi vicini
- le sfere rappresentano gli ioni

STRUTTURE PREDOMINANTI

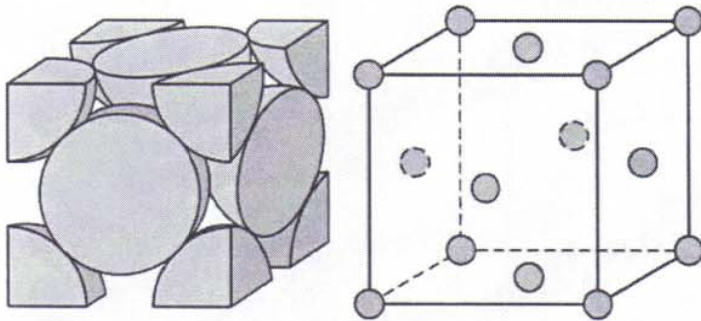
Tre strutture principali dei metalli:

- Cubica a facce centrate (cfc)
- Cubica a corpo centrato (ccc) *ha dei vuoti*
- Esagonale compatta (es.c)

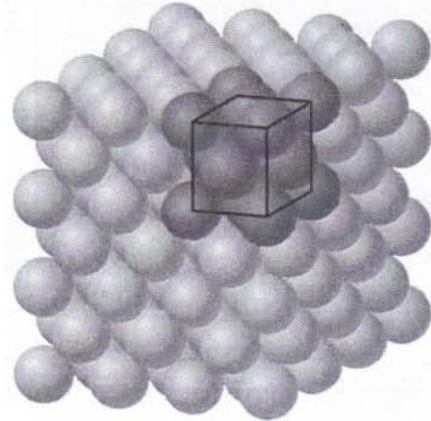


La struttura cristallina CFC (I)

La struttura cristallina cubica a facce centrate è caratterizzata da una cella unitaria cubica, con gli atomi disposti ai vertici del cubo e al centro di ciascuna faccia



Esempi: rame, alluminio, oro

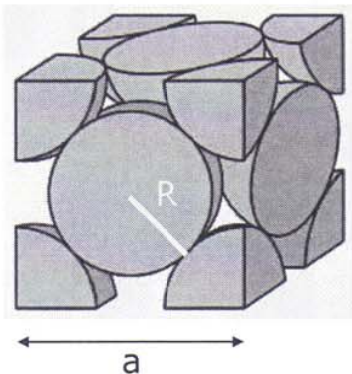


Le posizioni ai vertici e alle facce sono equivalenti fra di loro

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



La struttura cristallina CFC (II)



n. atomi per cella = 4

Relazione fra lato della cella e raggio atomico R

$$a = 2R\sqrt{2}$$

n. coordinazione = n. di atomi vicini ai quali un atomo è legato = 12

Fattore di compattazione atomica = frazione di volume occupato dagli ioni rispetto al volume della cella = (Somma dei volumi atomici)/(Volume della cella) = 0,74

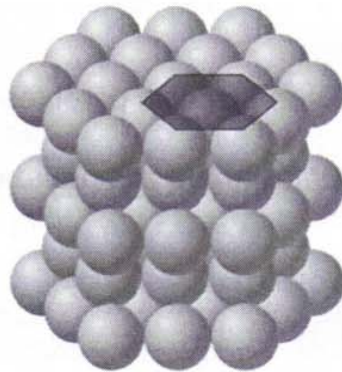
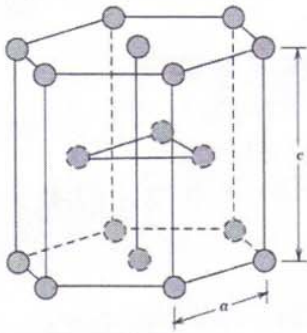
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



La struttura cristallina esagonale compatta

Facce sup. e inf. (sei atomi disposti a formare un esagono regolare che contiene un atomo nel suo centro) + **Piano intermedio** (costituito da tre atomi)

Ho i parametri di cella differenti: 2 esagoni alla base e un triangolo a vertice opposto



n. Atomi per cella = 6

n. coord. = 12

FCA = 0,74

stesso valore di CFC.

Esempi: cadmio, magnesio, titanio, zinco

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



*Il FERRO è un elemento **RETEROPLASTICO**, perché a seconda della Temperatura cambia di comportamento (aspetto non misurabile).*



CFC → Fe-γ, Al, Ag, Au, Ca, Cu, Ni, Pb, Pd, Zr



EC → Be, Cd, Co, Mg, Ti, Zn



CCC → Ba, Cr, Fe-α, K, Li, Mo, Na, Nb, Ta, V, W, Zr

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



DIREZIONE CRISTALLOGRAFICA

Per definire una cella non basta definire l'ordine della STRUTTURA MA bisogna identificare le varie DIREZIONI CRISTALLOGRAFICHE.

Le celle sono l'elemento più piccolo, come si orientano?
 Queste celle non si vedono visivamente (10^{-10} m).

Come posso vedere cosa caratterizza le strutture metalliche?

GRANO CRISTALLINO insieme di celle cristalline orientate verso la direzione cristallografica.

Il grano cristallino è la somma di celle cristalline lungo una direzione.

È raro trovare un materiale monocristallino mentre è frequente avere tanti grani cristallini diversi.

Dove vediamo i grani cristallini?

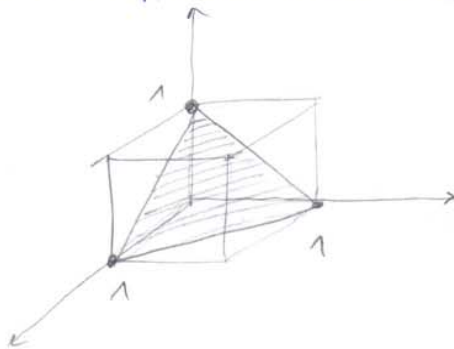
Poli della luce, punte di ...

BORDO GRANO: zona di confine tra i grani.

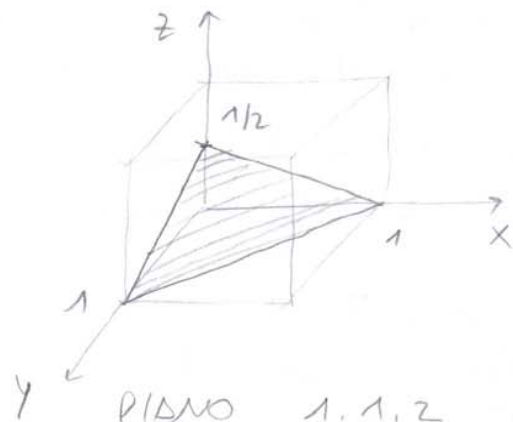
PIANI CRISTALLOGRAFICI

I piani cristallografici sono quei piani caratterizzati dagli indici di Miller (h, k, l)

Per definire il piano cristallografico iniziamo dalla rappresentazione della cella cubica.



PIANO 1, 1, 1



PIANO 1, 1, 2

Devo dividere il 2 sull'asse z: prendo 1/2

Posso spostare il piano spostando il S.R.

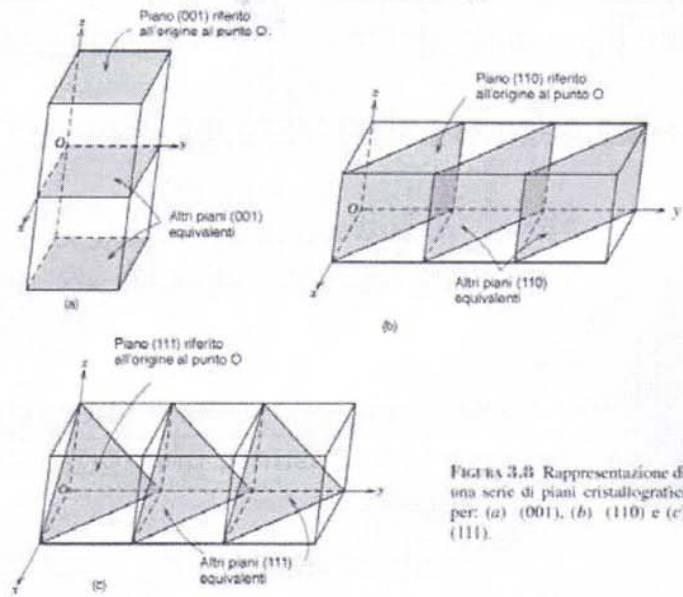


FIGURA 3.8: Rappresentazione di una serie di piani cristallografici per: (a) (001), (b) (110) e (c) (111).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Disposizione atomica

La disposizione degli atomi in un piano cristallografico dipende dalla struttura del cristallo. I piani atomici (110) per le strutture cristalline cfc e ccc dove ritroviamo il differente impaccamento atomico delle strutture

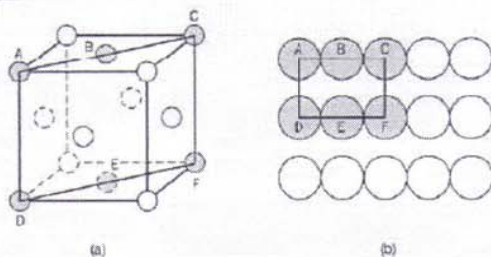
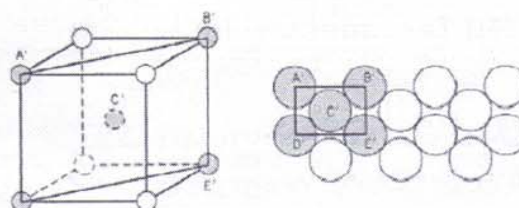


FIGURA 3.9 (a) Cella unitaria fcc col modello a sfere ridotte con il piano (110). (b) Impacchettamento atomico di un piano fcc (110). Sono indicate le posizioni degli atomi corrispondenti alla figura (a).

FIGURA 3.10 (a) Cella unitaria ccc a sfere ridotte con il piano (110). (b) Impacchettamento atomico di un piano ccc (110). Sono indicate le posizioni degli atomi corrispondenti alla figura (a).



Callister
Scienze e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdiSES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



BORDO DI GRANO

Area con grado di disordine due o tre in comprese qualche differenza presente.

Sono zone rimbombanti nella MICROGRAFIA.

- Sono zone di maggiore REATTIVITA' perché hanno un maggiore grado di disordine.
- Hanno un minore grado di appiccamento.
- Superficie preferenziali di rottura: ricombinazione di FASCE INTERGRANULARE.

Bisognerebbe lavorare con GRANICOLI MONOCRISTALLINI.

PROBLETI

- STRUTTURE NON ISOTROPE: ho le proprietà "maggiori" lungo una direzione;
- MATERIALE POCO DEFORMABILE
il materiale monocrystallo è meno deformabile rispetto ad un materiale policristallino;
- PROCESSO COSTOSO
il processo per ottenere un solido cristallino è molto costoso e richiede molto tempo per la costruzione.

MATERIALI CERAMICI

La differenza tra un materiale metallico e ceramico è che i ceramici sono composti da ALTRI 2 ELEMENTI.

I materiali ceramici non hanno mai un legame TOTALMENTE ionico o covalente e devo vedere il grado di ionicità del legame.

Sulla base del carattere ionico o covalente posso avere delle STRUTTURE con configurazioni cristalline differenti.

Ho 2 elementi diversi tra cui 2 GRANDEZZE ATOMICHE differenti; devo considerare:

- ELETTRONEGATIVITA'
- GRANDEZZE DIMENSIONALI

Cio' che è naturale è STABILE

Nella chimica delle ceramiche si considera che i rapporti di coordinazione dipendano quanto non grande gli atomi di buona parte della PARTE ANIONICA > CATIONICA

Solidi cristallini: materiali ceramici

La struttura cristallina di un ceramico sarà influenzata da 2 caratteristiche degli ioni che compongono il materiale:

- intensità della carica elettrica
- dimensioni relative dei cationi e anioni

Il cristallo deve comunque essere neutro (carica complessiva cationi = carica complessiva anioni).

Normalmente cationi hanno dimensioni più piccole degli anioni: $r_C/r_A < 1$, ogni catione preferisce avere accanto a se il numero massimo di anioni e viceversa.

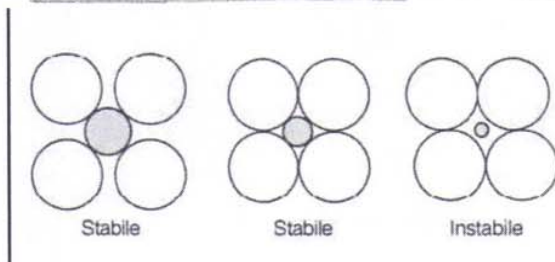


FIGURA 13.1 Configurazioni di coordinazione anione-catione stabili e non stabili. I cerchi bianchi rappresentano gli anioni; quelli colorati i cationi.

Il numero di coordinazione (numero di anioni primi vicini al catione) dipende da r_C/r_A

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture cristalline tipo AX

Numero di cationi = Numero di anioni

NaCl: cloruro di sodio, NC=6, con disposizione tipo cfc di anioni con un catione al centro del cubo e altri 12 al centro dei 12 lati del cubo

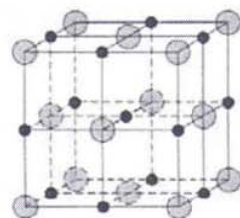


FIGURA 13.2 Cella unitaria per la struttura cristallina della salgemma (NaCl).

● Na⁺ ○ Cl⁻
Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
Edises

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Anche le strutture ceramiche hanno un certo grado di ordine

Table 12.4 Summary of Some Common Ceramic Crystal Structures

Structure Name	Structure Type	Anion Packing	Coordination Numbers		Examples
			Cation	Anion	
Rock salt (sodium chloride)	AX	FCC	6	6	NaCl, MgO, FeO
Cesium chloride	AX	Simple cubic	8	8	CsCl
Zinc blende (sphalerite)	AX	FCC	4	4	ZnS, SiC
Fluorite	AX ₂	Simple cubic	8	4	CaF ₂ , UO ₂ , ThO ₂
Perovskite	ABX ₃	FCC	12(A) 6(B)	6	BaTiO ₃ , SrZrO ₃ , SrSnO ₃
Spinel	AB ₂ X ₄	FCC	4(A) 6(B)	4	MgAl ₂ O ₄ , FeAl ₂ O ₄

Source: W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition, Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

POLIMERI: Strutture descritte con 2 TIPI DI LEGARE

- LEGARE FORTE = lungo la direzione della catena principale
- LEGARE DEBOLE = lungo la direzione opposta alla direzione della catena principale

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture cristalline nei materiali polimerici

I materiali polimerici possono esistere allo stato cristallino ma essendo, le unità fondamentali, molecole e non atomi o ioni le disposizioni atomiche sono più complesse.

La cristallinità dei polimeri → impacchettamento delle catene molecolari al fine di produrre una struttura atomica ordinata.

I polimeri possono avere gradi di ordine = CRISTALLINITÀ
differente in funzione della T, che modifica le caratteristiche del materiale.

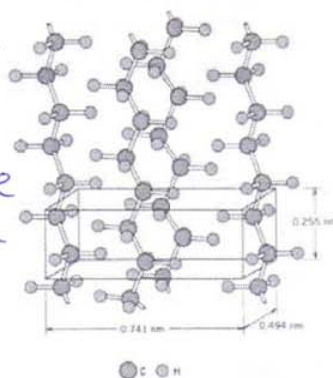


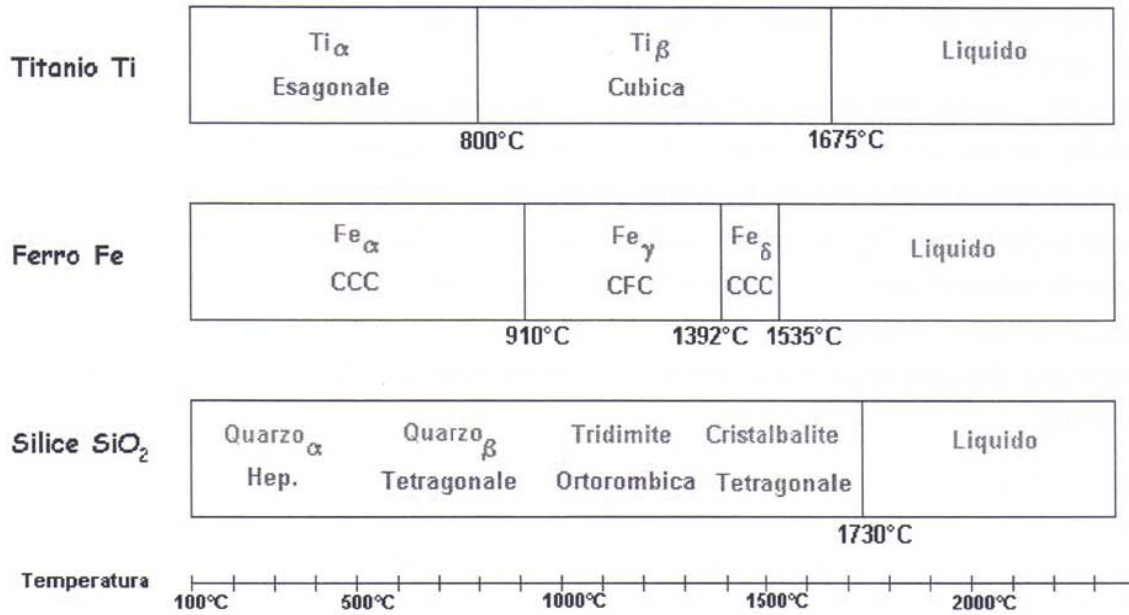
FIGURA 12.4B
Disposizione delle catene molecolari in una cella unitaria per il polietilene (Da C.W. Hurn, *Chemical Crystallography*, Oxford University Press, 1945, p. 233.)

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EDISES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



POLIMORFISMO



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Alvarione della T avro' più strutture cristalline di riferimento

FILE 2

DIFETTI NEI SOLIDI CRISTALLINI

I difetti influenzano:

- proprietà fisiche
- proprietà meccaniche
- proprietà tecnologiche (deformabilità a freddo, conduttività elettronica dei semiconduttori, corrosione).

Controllando le imperfezioni reticolari si ottengono materiali con proprietà che essi non possedevano originariamente.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Le impurezze nei solidi

Tutti i solidi reali sono impuri:

- È difficile raffinare un metallo ad una purezza superiore al 99,9999% → 10^{22} - 10^{23} atomi di impurezze per m^3
- la presenza di impurezze può essere non voluta, oppure può essere intenzionale:

Esempi: *C nel Ferro* → acciaio;

B nel Si → transistor semiconduttori

Leghe: miscele intenzionali di metalli

Es.: Ag sterling è una lega con 92,5% di Ag e 7,5% di Cu

Miglioramento resistenza meccanica dell'Ag

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

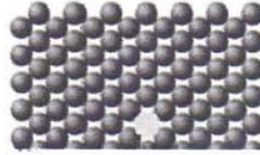


1 o + atomi di soluto sostituiscono le posizioni degli atomi di solvente
Per far avvenire la soluzione solida in maniera compiuta,
bisogna soddisfare determinate condizioni:

- 1- ATOMI ~ UGUALI
- 2- LE CELLE CRISTALLINE DEVONO ESSERE EQUIVALENTI
- 3- SIMILE ELETTRONEGATIVITA'
- 4- STESSA VALENZA

Soluzioni solide sostituzionali

La frazione di atomi di un elemento che può disciogliersi in un altro può variare da una frazione di percentuale atomica fino al 100% a seconda della situazione.



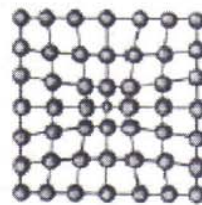
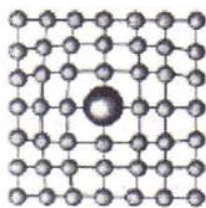
Condizioni per favorire la solubilità:

1. I diametri degli atomi degli elementi non devono differire di più di circa il 15%
2. Le strutture cristalline di entrambi gli atomi devono essere le stesse
3. Non dovrebbero esserci differenze apprezzabili di elettronegatività (altrimenti si forma un composto intermetallico)
4. I due elementi dovrebbero avere la stessa valenza



Se non rispettiamo le dimensioni' ho una distorsione del reticolo

Soluzioni solide sostituzionali



Deformazioni del reticolo per via di sostituzioni con atomi più grandi o più piccoli



Il quantitativo di soluto nella soluzione, senza modificare le caratteristiche interne, deve essere ~ uguale.

DEVONO ESSERE DIFFERENTI % DI SOLUTO DISPONIBILE

Parliamo del sistema costituito dal singolo elemento, la vacanza è sempre presente ed il numero di vacanze è funzione della T e di k.

Se aumento la T aumenta il numero di vacanze presenti nel sistema

2) Difetti puntuali (SETARE PRESENTE)

- Il più semplice dei difetti puntuali è una **vacanza**, o un sito vacante del reticolo, un posto normalmente occupato mancante di un atomo.
- Tutti i solidi cristallini contengono delle vacanze.
- La loro "presenza" aumenta il grado di entropia del sistema e lo rende più stabile termodinamicamente.
- Il numero di vacanze di equilibrio N_v dipende dalla temperatura secondo la relazione:

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

N = numero totale di siti

Q_v = energia richiesta per formare la vacanza

T = temperatura assoluta [K]

k = costante dei gas o di Boltzmann

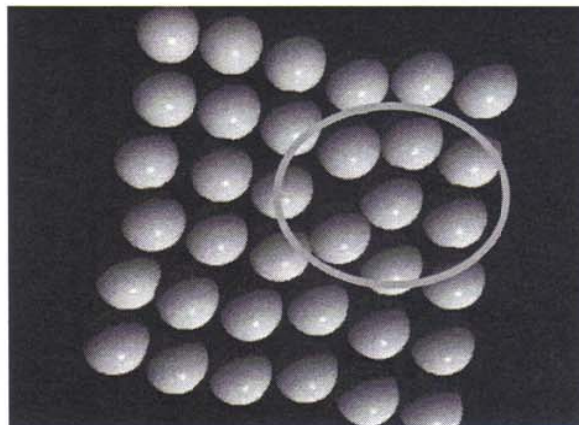
Il numero di vacanze quindi aumenta esponenzialmente con la temperatura. Per la maggior parte dei metalli, ad esempio, la frazione N_v/N appena sotto la T di fusione, è dell'ordine di 10^{-4} : un sito ogni 10000 del reticolo è vuoto.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



VACANZA

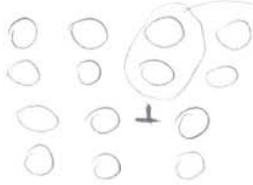
la vacanza produce una RIDISTRIBUZIONE degli atomi vicini, ovvero un RICOLOCAMENTO.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Senza queste dislocazioni non avremmo una elevata deformabilità plastica del metallo



Fila di atomi AGGIUNTIVA che non è uniformemente e omogeneamente distribuita lungo il piano. La dislocazione è definita con \perp , che modera delle sollecitazioni nelle 2 zone di materia differente: la sinistra andrà a compressione e la parte di compressione.

3) **DIFETTI LINEARI: DISLOCAZIONI** ($10^4 \div 10^8$)

- Si tratta di dislocazioni a spigolo o a vite: sono essenziali per la deformazione PLASTICA dei materiali
- In un metallo commerciale (es. Cu) sono presenti circa **10^8** dislocazioni per ogni cm^3 di materiale

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

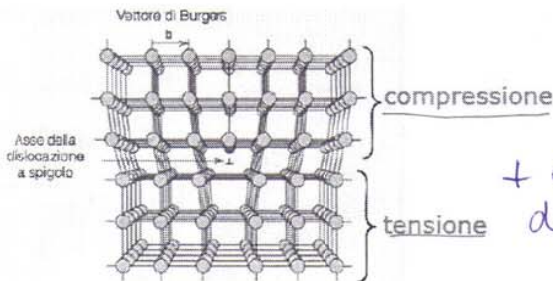
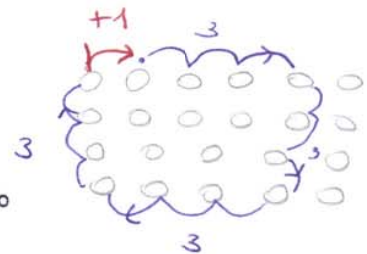


La dislocazione a spigolo può essere definita a dominico mediante il **VECTORE DI BURGERS**, vettore che deve disegnarne nel movimento che voglio compiere un circolo chiuso in una zona interrotta da una dislocazione.

DIFETTI LINEARI: DISLOCAZIONI

Dislocazione a spigolo:

È rappresentata da una porzione di un piano aggiuntivo di atomi, o semipiano, i cui spigoli terminano entro il cristallo



Si tratta di un difetto lineare, centrato intorno alla linea che viene definita lungo l'estremità dell'extra semipiano di atomi

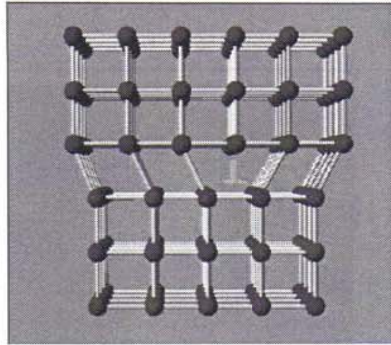
Per avere un CIRCUITO CHIUSO deve fare uno STEP IN PIÙ nello pontone

+ rispetto alla direzione della dislocazione -

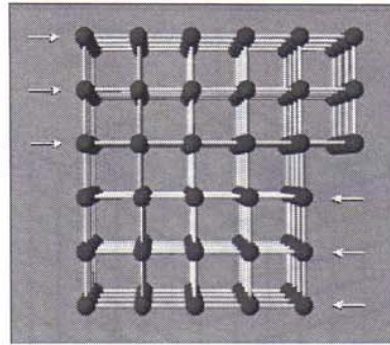
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Dislocazioni a spigolo e loro moto



III



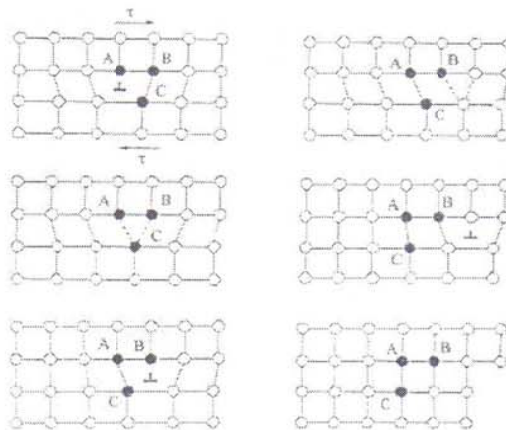
IV

All'esterno del cristallo si osserva la formazione di un gradino.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Moto delle dislocazioni



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Dislocazioni miste

le dislocazioni miste si vedono a livello di 10^{-6} m ATOMICA
con ingrandimenti ELEVATI.

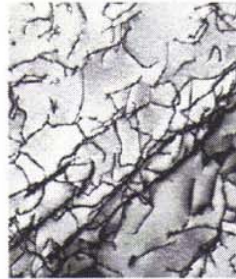


FIGURA 1.6
Micrografia al microscopio elettronico a trasmissione di uno lega di Uranio in cui le linee scure sono dislocazioni. (Per gentile concessione di M.R. Pifolia, Michigan Technological University.)

CAPITOLINO
CORSO DI INGEGNERIA DEI MATERIALI, 2011/12

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



4) Difetti di superficie

I difetti interfacciali sono linee di confine che hanno due dimensioni e normalmente separano regioni di materiali che hanno differente struttura cristallina e/o differente orientazione cristallografica.

- Superfici esterne
- Bordi dei grani

• Superfici esterne

Gli atomi superficiali non hanno il massimo numero di legami con gli atomi immediatamente adiacenti e quindi hanno uno stato energetico più alto rispetto a quelli interni.

la superficie esterna dei vari materiali non è a contatto con "NUOVA MATERIA"
↳ il livello energetico di questa zona non è ottimizzato

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Livello energetico maggiore = maggiore reattività: ha una maggiore possibilità di modificazione delle caratteristiche.

la corrosione nel 90% dei casi avviene in superficie.

TETRAONE il materiale (riscaldandolo + acqua fredda) serve per congelare la struttura in un determinato modo: ottengo un elevato grado di purezza.

Bordi di grano

Gli atomi lungo il bordo di grano hanno legami meno regolari

L'energia interfacciale o di bordo di grano simile all'energia superficiale

L'ampiezza dell'energia è funzione del grado di disallineamento (bordi ad alto angolo > bordi a basso angolo)

Gli atomi di impurezze spesso segregano preferenzialmente lungo i bordi

L'energia interfacciale totale è più bassa nei materiali a grana grande e grossolana piuttosto che in quelli a grana fina per minor estensione del bordo di grano.

Alcuni elementi strutturali sono di dimensioni macroscopiche ma solitamente i grani costituenti i materiali sono di dimensioni microscopiche aventi diametri che possono essere dell'ordine del μ (micron o micrometri 10⁻⁶ m) e per indagare i loro particolari occorre far uso del microscopio.

La dimensione e la forma dei grani cristallini sono due caratteristiche di quella che è nominata microstruttura.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



DIFETTI DI SUPERFICIE



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

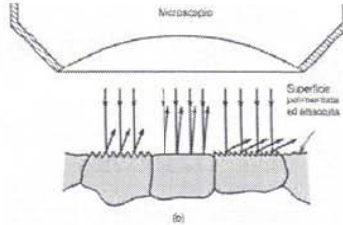


Come definire gli orientamenti dei grani?

- A - LUCIDAZIONE: lo lucido per evitare di avere riflessioni dovute alla presenza di RUGOSITÀ del grano.
- B - ATTACCO ACIDO: agisce sulle differenti reattività dei grani, in base alla differente orientazione del grano.

Microscopia ottica

A Preparazione superficie: levigatura
+ lucidatura a specchio



B Attacco metallografico: utilizzo di soluzioni acide per trattare la superficie → la reattività chimica dei grani di alcuni materiali dipende dall'orientazione metallografica



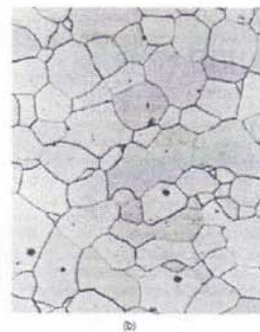
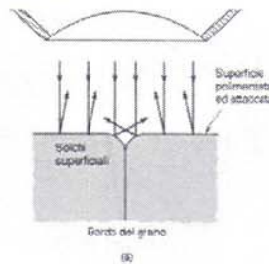
Ottone policristallino, 60x

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Microscopia ottica

L'attacco metallografico produce solchi lungo i bordi di grano: gli atomi ai bordi di grano sono più attivi chimicamente → si dissolvono a velocità maggiore di quelli all'interno dei grani



Lega ferro-cromo, 100x

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



I BORDI GRANO SONO I PIÙ REATTIVI e reagiscono più rapidamente: possono essere la struttura che caratterizza il materiale.

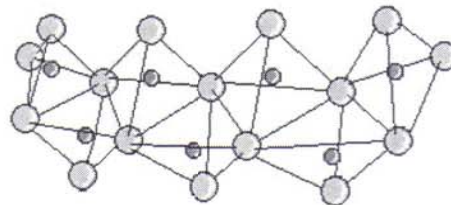
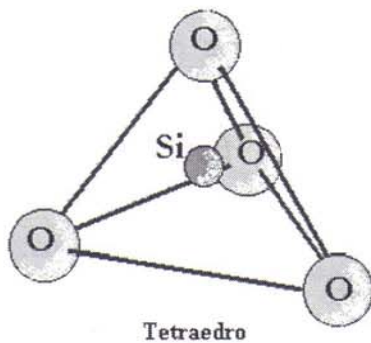
STRUTTURA AMORFA

- La struttura amorfa è una struttura priva di ordine a lungo raggio e di temperatura di fusione
(es: vetri, polimeri)
- Esiste negli amorfi un ordine a **corto** raggio, cioè qualche Å ($10 \text{ \AA} = 1 \text{ nm}$); questo "ordine" è dato, nel caso dei vetri comuni, dalla struttura tetraedrica nella quale si dispongono gli ioni Si e O, struttura che non si ripropone con la periodicità tipica dei materiali cristallini

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



STRUTTURA AMORFA



Struttura Amorfa della Silice

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



la VISCOSITA' è la deformazione dei materiali allo stato amorfo.

Se la deformazione dei materiali cristallini è dovuta al moto delle dislocazioni (metalli = tante dislocazioni, ceramica = poche dislocazioni), nei materiali amorfi la deformazione nasce per VISCOSITA'.

VISCOSITA'

Deformazione dei materiali cristallini → moto delle dislocazioni

Deformazione dei materiali non cristallini → scorrimento viscoso

- La viscosità (η) è la resistenza allo scorrimento laminare, in risposta ad una sollecitazione meccanica applicata parallelamente alla superficie.
- È dovuta all'attrito interno fra le varie unità strutturali (ad es. tra catene di tetraedri di SiO_4^{4-}), che devono scorrere le une sulle altre.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



VISCOSITA'

- La viscosità si misura in Poise:

$$10 \text{ Poise} = 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ (N/m}^2\text{)}\cdot\text{s}$$

- Esempi di viscosità:

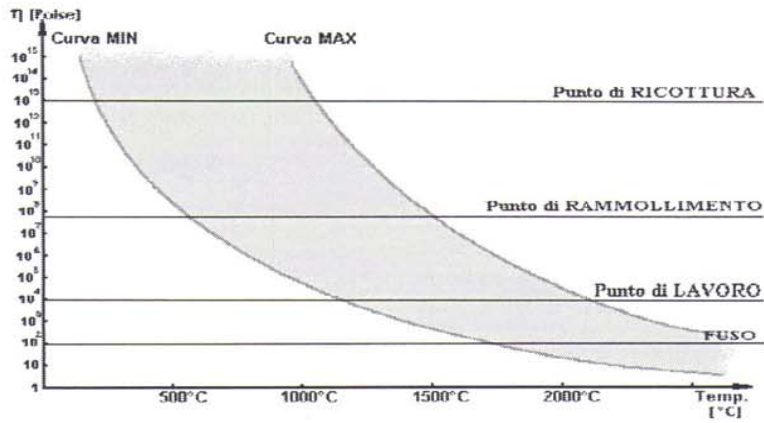
$$\text{H}_2\text{O (T}_{\text{amb}}) \quad \eta = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\text{silice (1720}^\circ\text{C)} \quad \eta = 1 \times 10^6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



VISCOSSITA'



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



2) PROVA DI TRAZIONE

la prova più riconosciuta a livello internazionale è quella di trazione.

TONDINO

Poiché testarlo così com'è?

No, perché produrrei delle complicazioni alla prova: deve avere la forma a osso di cane per ottenere che la deformazione sia al centro del provino.

Questa macchina ha 2 estremità, una fissa e una mobile con un ESTENSIMETRO e voluto le caratteristiche di allungamento fino a rottura nella zona che non risenta dell'effetto delle estremità.

4) Come eseguire la prova?

Applico il conico su un'area e determino le caratteristiche di tensione e deformazione (σ, ϵ) di quel materiale subito quando è soggetto ad una tensione.

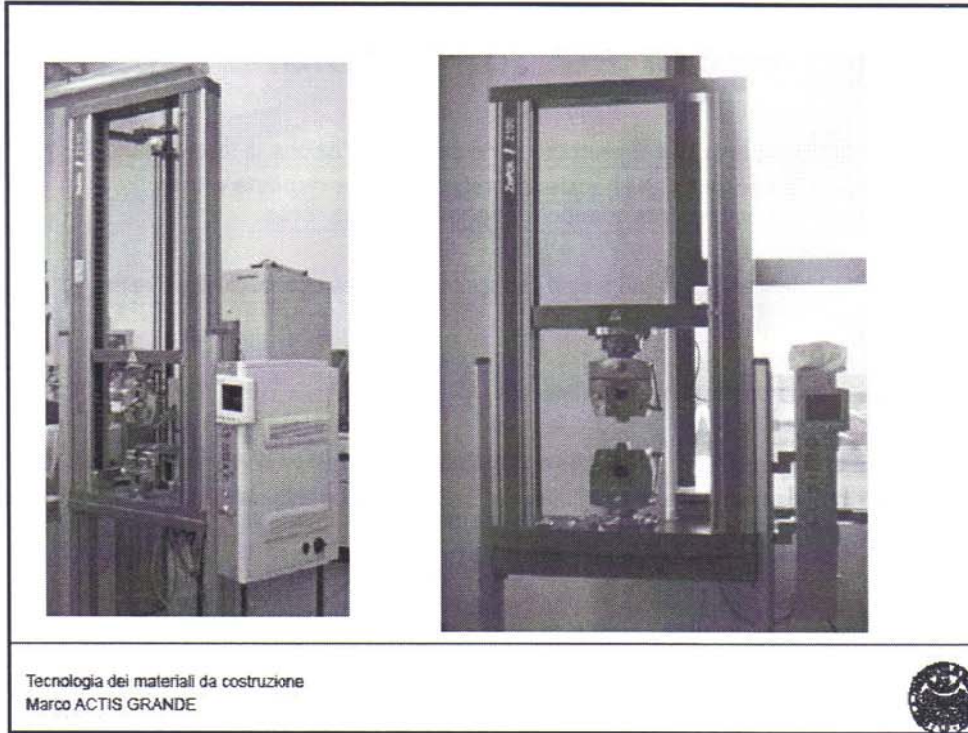
ESERCIZIO: CONTINUI DI DEFORMAZIONE

la configurazione di applicazione del conico è quella che serve per ottenere una VELOCITÀ DI ALLUNGAMENTO COSTANTE.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

LIMITI MASSA

Quando il materiale si allunga: $A_i < A_0$.



Occorre definire sforzo e deformazioni indipendentemente dalla geometria del provino, si definiscono quindi sforzo e deformazione nominali

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Ove:

F= carico applicato perpendicolarmente alla sezione del provino [N]
 A₀=area iniziale della sezione [m²]
 σ= [MPa]

l_i=allungamento all'istante i;
 l₀=allungamento iniziale
 ε= adimensionale (o m/m)
 spesso espresso in %

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

- CERAMICI · Se non avessi difetti "maccheroni" e parti "strutturali" con solo materiali ceramici;
- con i difetti nei materiali "realtà" ho che la rottura avviene QUASI Istantaneamente.
- Il difetto nei materiali "realtà" permette di avere deformazioni MAGGIORI (rispetto ai materiali di ceramica).

PROVA DI COMPRESIONE

La resistenza a compressione viene determinata in prevalenza su materiali fragili quali il calcestruzzo, i mattoni, i refrattari, i ceramici e i vetri.

Vengono sottoposti a una sollecitazione a compressione monoassiale, progressivamente crescente, provini di dimensioni unificate bloccati fra i piatti di una pressa, registrandone la deformazione progressiva.

Le curve hanno un andamento opposto rispetto a quello delle curve a trazione ed i valori del modulo elastico che si ricavano sono sostanzialmente gli stessi.


↓

Il carico necessario per rompere i provini nel caso dei materiali *ceramici* può essere di 4-5 volte superiore a quello registrato nelle prove a trazione.

ceramici $\sigma_c = 4 \div 5 \sigma_t$

I materiali ceramici hanno un differente comportamento a Trazione o Compressione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

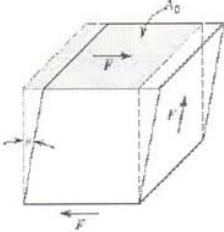


Se codeno qualcosa di APPUNTI su una provetta, anche la rottura perché è come se applicassi dei meccanismi di rottura differenti dalla rottura per compressione.

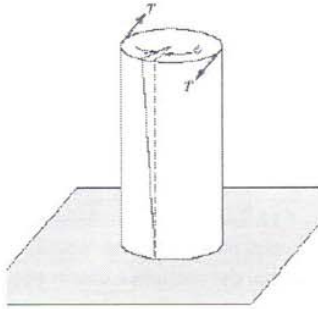
Compressione sopra le provette va bene.

Prova di taglio e torsione

Sforzo di taglio


$$\tau = \frac{F}{A_0}$$


Deformazione di taglio

$$\gamma = \frac{a}{h} = \tan \theta$$


Applicazione di un carico a taglio γ (con $\gamma = \tan \theta$) o di torsione (angolo di torsione Φ prodotto da una coppia di torsione T)

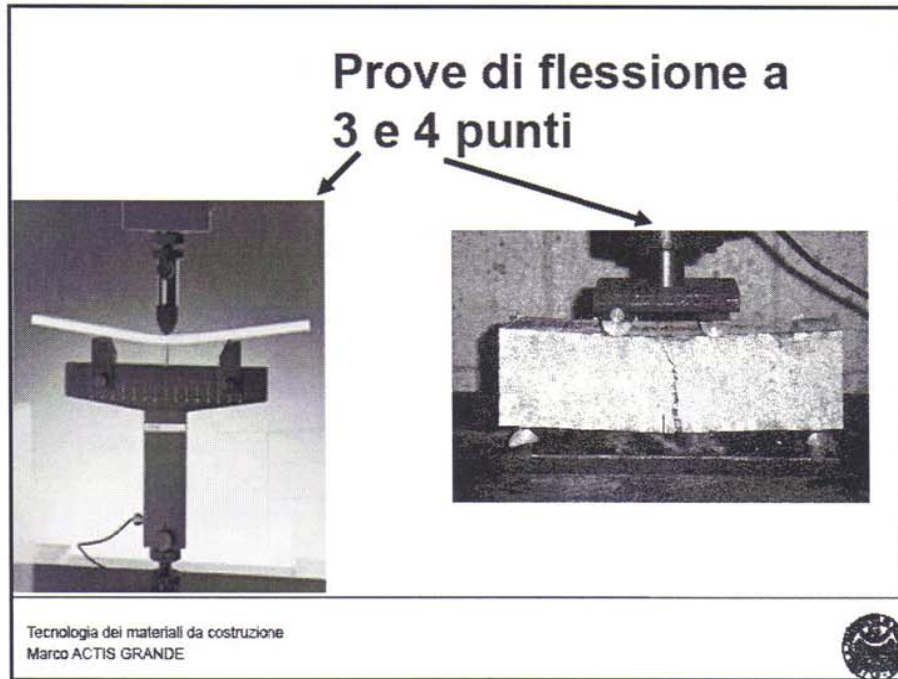
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Per ogni prova noto /definito qualcuno di UNIROCO: i materiali hanno un comportamento differente in base alla sollecitazione:

- COMPORTAMENTO PLASTICO
- COMPORTAMENTO ELASTICO

la $\sigma > \sigma_p$ ed ha deformazione permanente
 il materiale non modifica la sua struttura in modo permanente.



Caratteristiche elastiche: E varia col materiale

- E maggiore per i materiali ceramici,
- E minore per i materiali polimerici
- I materiali metallici hanno un valore di E intermedio

ORDINI DI
GRANDEZZA

$E_{\text{DIA MANTE}} = 1000 \text{ GPa}$

$E_{\text{POLIMERO}} \sim 1 \text{ GPa}$

Deformazione elastica

Il grado di deformazione di una struttura dipende dall'entità dello sforzo che subiscono. Solitamente, per carichi relativamente bassi, lo sforzo e la deformazione sono proporzionali secondo la relazione:

$$\sigma = E \epsilon$$

Legge di Hooke

dove la costante di proporzionalità E [N/m²] è il modulo elastico (modulo di Young).

Materiale	E (Gpa)	Materiale	E (GPa)
Diamante	10 ³	Ti e sue leghe	85-130
WC	500-600	Zn e sue leghe	45-95
SiC	450	Al e sue leghe	70-80
Al ₂ O ₃	300-400	Mg e sue leghe	40-45
TiC	320	GFRP*	10-40
Ni	215	Legno // alle fibre	10-15
Steels	195-215	Legno ⊥ alle fibre	0,5-1
CFRP**	100-200	Materie plastiche	10 ⁻¹⁻⁵
Rame e sue leghe	120-150	Polimeri espansi	10 ^{-3-10⁻²}

* Polimeri rinforzati con fibra di vetro.

** Polimeri rinforzati con fibra di carbonio.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Quando testiamo un nuovo componente, non immaginare di scoprire lo sforzo lungo un piano orientato di θ in (σ', τ') .

Selezio il materiale e poi voluto le varie componenti sui vari piani.

Perche' guardiamo diversi piani?

Perche' calcolare le sollecitazioni lungo diversi piani?

↳ Perche'

il materiale non è ISOTROPO MA ANISOTROPO con comportamento in funzione dei PIANI CRISTALLINI (e possono avere la

preferenza per il cos-cos).

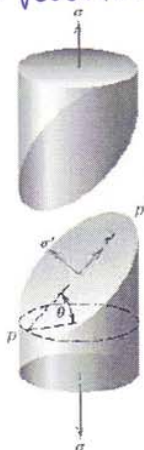


Figura 6.4 Rappresentazione schematica di uno sforzo normale (σ) ed uno di taglio (τ) agenti su di un piano orientato di un angolo θ rispetto al piano perpendicolare alla direzione di applicazione dello sforzo di trazione pura (σ).

$$\sigma' = \sigma \cos^2 \theta = \sigma \left(\frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right)$$

$$\tau' = \sigma \sin \theta \cos \theta = \sigma \left(\frac{\sin 2\theta}{2} \right)$$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

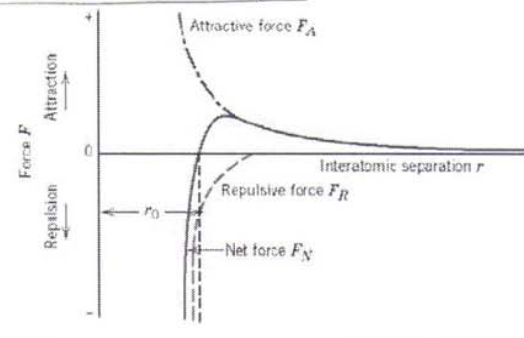
Prima VISTA MACROSCOPICA, adesso VISTA MICROSCOPICA.

la forza di legame varia al variare del tipo di legame.

la distanza interatomica è funzione del tipo di materiale.

A livello atomico la deformazione elastica macroscopica si manifesta come piccole variazioni della distanza interatomica e dello stiramento dei legami interatomici. Il modulo elastico di un materiale è la misura della resistenza opposta alla separazione di due atomi adiacenti, ovvero la misura delle forze di legame interatomiche.

Il modulo elastico è proporzionale alla pendenza della curva forza vs distanza interatomica alla distanza di equilibrio



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

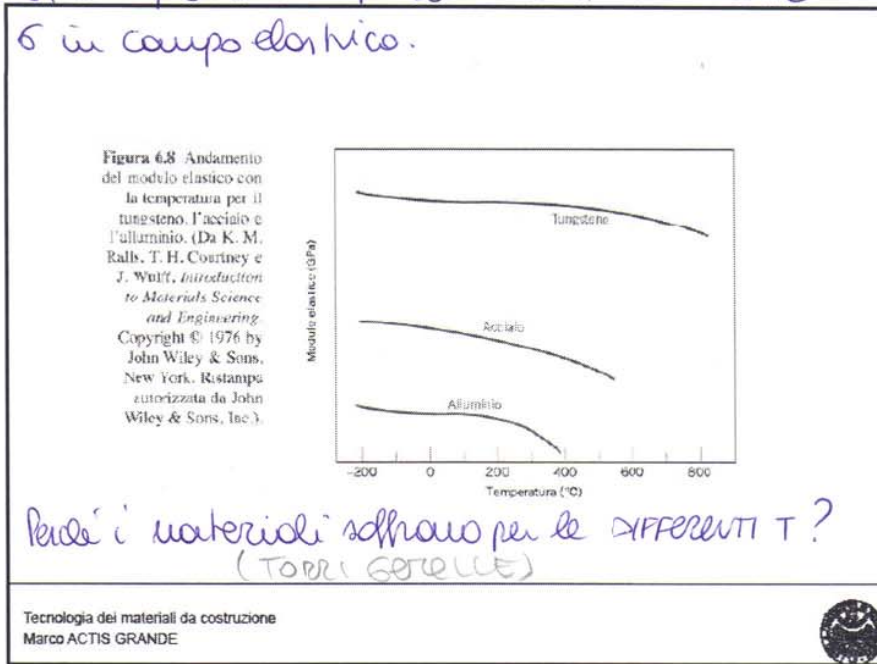
vento di F è proporzionale al legame del materiale, come lo sono rappresentate graficamente?

E varia al variare della T di osservazione :

ALLUMINIO $T_F = 660^\circ C$, ACCIAIO $T_F = 1400/1500^\circ C$.

Qual'è il problema?

Se $T \uparrow$, $E \downarrow$ ed il comportamento del materiale evolve dal campo elastico a plastico: la stessa σ in campo plastico produce una deformazione plastica ϵ_p che non si avrebbe se avessimo applicato σ in campo elastico.



Se lo σ è tensile su un lato, avrò un comportamento simile ma opposto nella direzione ortogonale a quella di trazione.

IN TENZA $\nu = 0,5$.

$\nu_{tensione} \neq \nu_{compressione}$

Quanto vale ν nei materiali reali? $\nu \in (0,25 \div 0,4)$

Coefficiente di Poisson

Quando viene applicato uno sforzo di trazione si osserva una deformazione (ϵ_z) nella direzione di applicazione dello sforzo (z).

Lo sforzo σ_z origina una deformazione assiale $+\epsilon_z$ e delle contrazioni laterali nelle direzioni x e y ($-\epsilon_x$ e $-\epsilon_y$). Se lo sforzo è uniaassiale e il materiale isotropo le due deformazioni (x e y) sono uguali. Il rapporto tra la deformazione laterale e quella longitudinale si chiama rapporto (coefficiente o modulo) di Poisson

$$\nu = \frac{\epsilon_{laterale}}{\epsilon_{longitudinale}} \quad \nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Il resto è reale ho un comportamento opposto

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

ν è funzione di diversi fattori:

- MATERIALE NON MONOCRISTALLINO
- ORIENTAMENTI CON DIREZIONE PREFERENZIALE
- ...

Il materiale reale è ANISOTROPO. Perché? Dipende dalla cella cristallina.

ACCIAIO o Fe : a T_{AMB} ho Fe_{CC} con E che varia tra 125 ÷ 272 in base alla direzione di sollecitazione.
MONOCRISTALLINO In base alla direzione di sollecitazione avrò un comportamento differente e differenti valori di E.


Bisogna considerare la direzione della cella.

Alcuni materiali sono elasticamente anisotropi e il loro comportamento elastico (il modulo E) varia a seconda della direzione cristallografica.
 Solitamente il grado di anisotropia aumenta al diminuire della simmetria strutturale.

Metalli	Modulo di elasticità [GPa]		
	[100]	[110]	[111]
Al	63,7	72,6	76,1
Cu	66,7	130,3	191,1
Fe	125,0	210,5	272,2
W	384,6	384,6	384,6

In caso di materiali policristallini anche se ogni grano è anisotropo il materiale si può considerare isotropo.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



tenendo che il materiale è POLICRISTALLINO: G è UNIFORME e NON dipende dall'orientamento dei 'grani'.

Un provino di rame di lunghezza iniziale 305 mm viene sottoposto ad uno sforzo di trazione di 276 MPa. Se la deformazione è completamente elastica, quale sarà l'allungamento risultante? Il modulo elastico E per il rame è 110 GPa.

La deformazione è puramente elastica e sarà quindi legata allo sforzo applicato dalla $\sigma = E \varepsilon$


L'allungamento, inoltre, è correlato alla lunghezza iniziale del provino mediante la: $\varepsilon = \frac{l_t - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$

Combinando le due equazioni e risolvendo rispetto a Δl si ottiene: $\sigma = E \varepsilon = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) E \quad \Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$

Ponendo $\sigma=276$ MPa, $l_0=305$ mm e $E=110$ GPa si ottiene

$$\Delta l = \frac{(276 \text{ MPa}) \cdot (305 \text{ mm})}{110 \cdot 10^3 \text{ MPa}} = 0,77 \text{ mm}$$

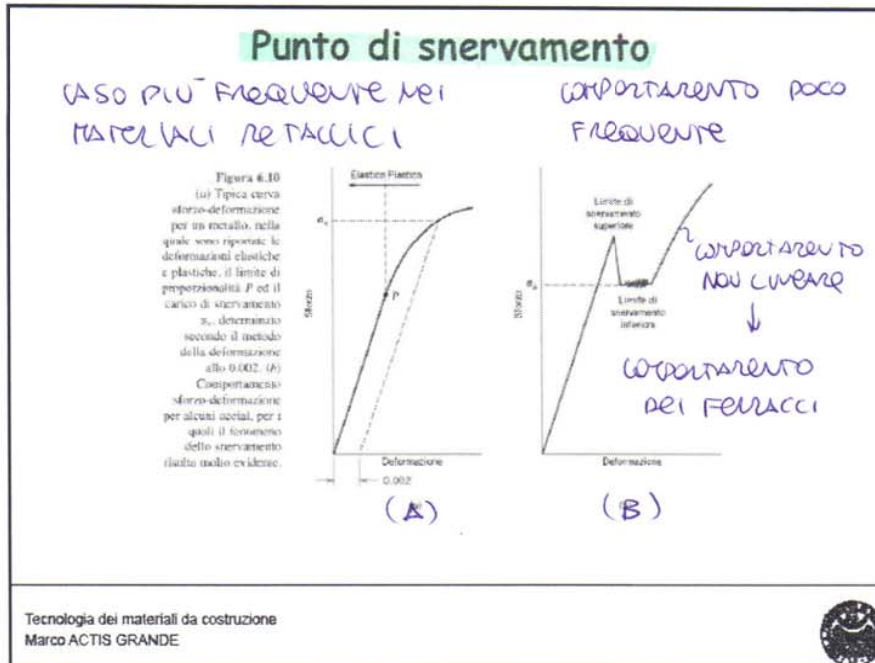
Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Come evolve la prova a trazione?
 Guardiamo solo la zona elastica? No.

La zona plastica inizia dove finisce il comportamento elastico.

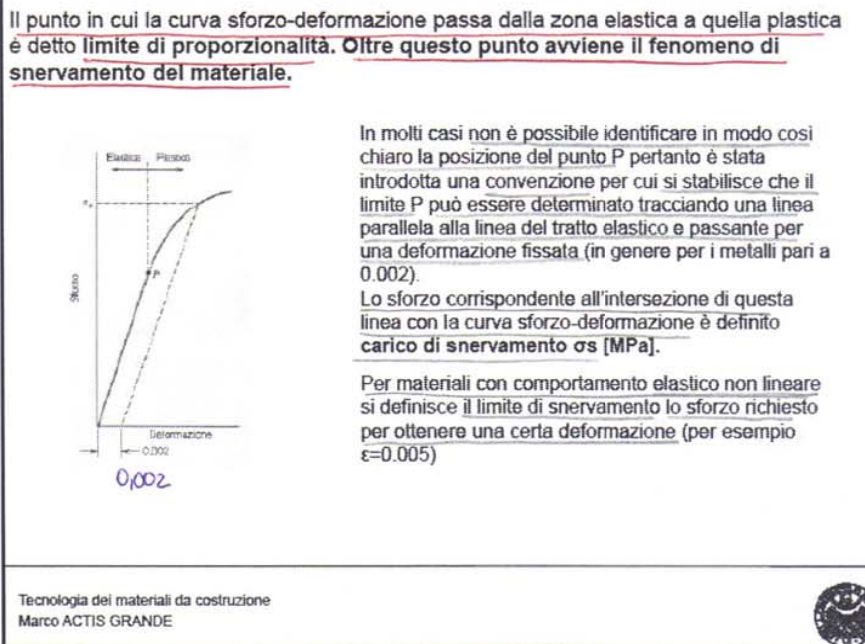
(B) In questo caso ho un valore di snervamento inferiore e superiore.
 Definisco lo snervamento nei limiti inferiori.



E' IMPOSSIBILE determinare perfettamente il punto di FINE FASE ELASTICA e INIZIO FASE PLASTICA.

Per convenzione, il punto di snervamento e' quel carico che produce una deformazione plastica $\epsilon_p = 0,2\%$.

(σ_p, ϵ_p) LIMITE DI SNERVAMENTO.

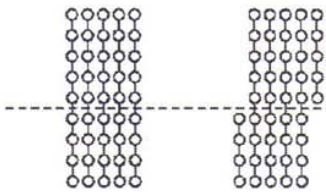


Questo vale a condizione che la curva (σ, ϵ) abbia un tratto lineare.

Per le altre prove riferimento a $\epsilon_p = 0,5\%$ e carico σ_y .

• Sul materiale perfetto senza difetti, quando applico uno sforzo, se volemi avere una deformazione plastica, dovrei rompere contemporaneamente tutti i legami e trascurarli rigidamente: ne verrebbe una tensione elevata.

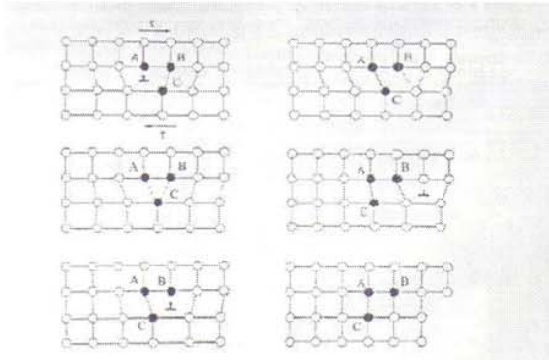
I cristalli perfetti necessiterebbero, per una deformazione plastica, di valori di sollecitazione di taglio assai elevati: infatti sarebbe necessario rompere simultaneamente tutti i legami adiacenti al piano di scorrimento.



Invece i valori reali di sollecitazione di taglio richiesti per deformare irreversibilmente molti materiali sono inferiori a quelli teorici, in quanto la dislocazione plastica è facilitata dal moto delle dislocazioni.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

• Interessi reali: vista l'esistenza delle dislocazioni interne al materiale, quando applico la tensione sufficiente a rompere 1 solo legame, si rompe il legame della dislocazione ed il materiale si riorganizza per avere una ridistribuzione dei legami nella struttura.



Moto dislocativo e deformazione irreversibile

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Il moto delle dislocazioni: analogie con il mondo macroscopico

Un bruco ha molte zampe ma non riuscendo a muoverle tutte insieme, ne muove solo un paio alla volta. *Il bruco sposta poche zampe per volta per avanzare*

Figure 7.3 Representation of the analogy between caterpillar and dislocation motion.

E' difficile far scivolare un grosso tappeto tirandolo da un capo, per l'attrito con il pavimento. Ma formando una piega (una dislocazione) il tappeto può essere mosso attraverso una graduale traslazione della piega stessa.

35

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Tutti i materiali cristallini contengono dislocazioni, il numero di dislocazioni o la densità di dislocazioni di un materiale viene espresso come lunghezza totale di dislocazioni per unità di volume o come numero di dislocazioni che intersecano un'area unitaria di una sezione qualsiasi.

L'unità di misura della densità è millimetri di dislocazioni per millimetro cubo (o numero di dislocazioni per mm²).

La densità di dislocazioni tipiche in un metallo è di circa 10³/mm².

Per metalli deformati la densità può diventare superiore fino a 10⁹-10¹⁰/mm², dopo trattamento termico la densità torna a valori intorno a 10⁵-10⁶/mm²

36

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

38) Perché se le dislocazioni aumentano si impedisce l'ulteriore deformazione plastica del materiale?

Però abbiamo ragionato con 1° una serie di dislocazioni orientate

• DISLOCAZIONI OPPOSITE



con 2 dislocazioni uguali e contrarie, quando la deformazione plastica le fa incontrare si annullano e si genera un "CRISTALLO PERFETTO";

- ANNULLO LA PRESENZA DELLE DISLOCAZIONI
- OTTIMIZZAZIONE DEL RETICOLO

Questo caso è TOTALMENTE POSITIVO.

• DISLOCAZIONI CONCORDI



Quando ho 2 dislocazioni uguali, cosa succede quando si avvicinano?

Esiste una repulsione fra le dislocazioni con LIMITAZIONE della deformazione plastica.

Ci sarà sempre un meccanismo di interferenza tra il moto delle dislocazioni esistenti.



Il materiale è policristallino con angoli orientati casualmente e vicini tra di loro: l'orientamento delle dislocazioni è casuale e le dislocazioni interferiscono tra di loro.

Quando ho una concentrazione elevata di dislocazioni, SI DA UNO FASTIDIO.

Le dislocazioni non si muovono con la stessa facilità su tutti i piani e le direzioni di un cristallo.

Normalmente c'è un piano preferenziale (piano di scorrimento) e in questo ci sono specifiche direzioni (direzione di scorrimento) lungo le quali si verifica il moto delle dislocazioni.

La combinazione di piano e direzione viene definito: sistema di scorrimento.

Il sistema dipende dalla struttura cristallina del materiale e il piano di scorrimento sarà quel piano con il più denso impacchettamento atomico. Infatti il moto delle dislocazioni sarà più difficoltoso quanto più aumentano le distanze interatomiche.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Come caratterizzare il moto delle dislocazioni a prescindere dal loro numero?

Facciamo riferimento ai PIANI DI SCORRIMENTO.

Quali sono i piani di scorrimento FAVORITI all'atomo? Avvicinano i MOVIMENTI ATOMICI?

Piano di scorrimento

Distanza di scorrimento

Distanza di scorrimento

Piano di scorrimento (bassa densità atomica)

Piano di scorrimento (alta densità atomica)

SI DEFORMA DI PIU

SI DEFORMA DI MENO

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Sono quei piani con la massima densità atomica: sono delle distanze di scorrimento inferiori quindi una direzione preferenziale per il movimento.

Perché nei metalli il moto delle dislocazioni è favorito?

METALLI: Siccome gli e⁻ sono condivisi, hanno natura di IONI METALLICI e GAS ELETTRONICO che, essendo disperso, favoriscono il moto delle dislocazioni.

Le dislocazioni hanno una PAGGIORE SCELTA su dove muoversi.

• I materiali metallici hanno più dislocazioni e possono muoversi in ogni direzione.

I metalli, generalmente, hanno un'estesa possibilità di moto dislocativo.

con legame ionico o covalente hanno che le dislocazioni non possono muoversi in ogni direzione perché hanno degli IMPEDIMENTI legati alla NATURA DEL LEGAME.

(a)

Con il legame ionico ho il problema legato alle CARICHE, mettere le cariche uguali non si devono toccare, c'è una LIMITAZIONE nel moto delle dislocazioni.

Tecnologia dei materiali da costruzione Marco ACTIS GRANDE

LEGAME IONICO

LEGAME COVALENTE

legame fortemente DIREZIONALE, le dislocazioni hanno più difficoltà di moto ed il moto è ORIENTATO dai legami.

Solo nei materiali metallici le dislocazioni possono muoversi con ASSOLUTA LIBERTÀ.

Nei cristalli ionici il moto dislocativo è più difficile in quanto lo scorrimento non dipende solo dalla struttura cristallina ma anche dal fatto che lo scorrimento non deve portare due ioni con lo stesso segno a contatto.

(c)

Nei cristalli a legame covalente l'elevata direzionalità di tali legami si oppone al motodislocativo.

(b)

Tecnologia dei materiali da costruzione Marco ACTIS GRANDE

Ecco perché i materiali metallici si deformano PEGGIORRE ed AUMENTANO le caratteristiche meccaniche rispetto ai materiali ceramici o polimerici.

- CERAMICO / POLIMERO: PROPRIETÀ QUASI COSTANTI (VALUTO SOLO LE DISLOCAZIONI)
- METALLO: possono variare le caratteristiche meccaniche del materiale, TRATTARE il materiale in FUNZIONE delle CARATTERISTICHE RICHIESTE.

le dislocazioni si muovono nel piano di scorrimento preferenziale in funzione del grano cristallino.

le linee rosse sono le direzioni di scorrimento della dislocazione in funzione dell'orientamento del grano stesso.
 le 2 dislocazioni si intersecano a bordo grano.

Cosa significa avere strutture a bordi grano differenti?

Significa avere risposte meccaniche differenti.

Deformazione plastica nei materiali policristallini



Rame Policristallino

- I grani cristallini hanno un'orientazione cristallografica casuale per cui le direzioni di scorrimento variano da grano a grano
- Per ciascun grano il movimento delle dislocazioni si verifica secondo il sistema di scorrimento che ha l'orientazione più favorevole

Nel campione di Cu si notano le linee di scorrimento e si rileva che, per la maggior parte dei grani, hanno agito due sistemi di scorrimento (linee parallele che si intersecano)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Avrà una maggiore resistenza alla ϵ_p - una struttura a grandi grani o fini? E perché?

La struttura a grandi FINI ha una maggiore resistenza alla deformazione plastica perché ogni grano ha una orientazione cristallografica differente \rightarrow PIANI DIFFERENTI \rightarrow DIVERSE RESISTENZE DELLE DISLOCAZIONI

+ BORDI GRANO E + DIFFICOLTÀ DI SUPERARE IL BORDO GRANO.

Per un'intensa deformazione plastica di un materiale policristallino si ha un'intensa deformazione di ogni singolo grano.
 Nel corso della deformazione lungo i bordi di grano viene conservata sia l'integrità meccanica che la coesione; infatti i bordi di grano normalmente non si separano né aprono.

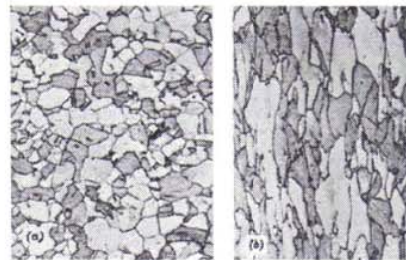
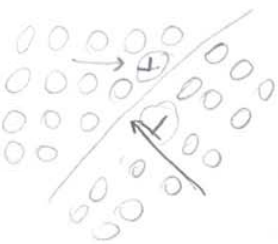


Figure 7.11 Alteration of the grain structure of a polycrystalline metal as a result of plastic deformation. (a) Before deformation the grains are equiaxed. (b) The deformation has produced elongated grains. 170x. (From W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, p. 140. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Ho una difficoltà di superare i bordi grano e, una volta superato il bordo grano, ho una maggiore difficoltà di farlo perché non è molto in un grano con orientazione differente.

Nelle strutture a grani fini il moto delle dislocazioni è più ostacolato ed avrà una resistenza meccanica maggiore verso la ϵ_p .

che cosa non cambia?

E non cambia perché è legato all'energia di legame: l'energia che tiene uniti 2 atomi di Fe è costante.

E è proporzionale all'ENERGIA DI LEGAME.

$(\sigma_{max}, \epsilon_{rottura}, E)$ non dipendono solo dall'energia di legame ma anche da altri fattori, come lo T.....

51) Il materiale elastico cambia le caratteristiche meccaniche.

Pensiamo due dei valori numerici per definire un materiale duttile o fragile

- MATERIALE FRAGILE se $E < 5\%$
- MATERIALE NON FRAGILE se $E > 5\%$

tutto ciò che a rottura ha $E < 5\%$ è un materiale fragile.

ci basta? NO e SI.

Ho 4 curve differenti dove abbiamo differenti curve (σ, ϵ) e differente aspetto del campione a rottura.

La duttilità è un indice del grado di deformazione plastica che un materiale può raggiungere prima di giungere a rottura.

In genere si classificano materiali fragili quelli che presentano deformazioni a rottura inferiori al 5%.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Tenacità

Il termine tenacità viene in genere impiegato in diversi contesti. In genere indica la capacità di un materiale di assorbire energia fino al raggiungimento della rottura.

Nel caso di carico dinamico (alta velocità di deformazione) viene determinata mediante l'impiego di test a impatto

Nel caso di condizioni statiche (bassa velocità di deformazione) la tenacità può essere determinata dalla curva $\sigma-\epsilon \rightarrow$ area sottesa alla curva fino al punto di rottura [J/m³]

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

E: Dopo il punto di massimo σ lo è la SINGOLARITÀ.

Questo avviene perché, nella zona in cui aumenta del centro del campione, ho una LOCALIZZAZIONE di tutte le deformazioni del materiale.

Ho una concentrazione di sforzi e deformazioni al centro del campione, il materiale si restringe e si deforma in modo differente in tal area.

PROBLEMA $\sigma = \frac{F}{A_0}$ con A_0 AREA INIZIALE

Gia' in c ho $A_i < A_0$ e possiamo discutere nella validità della nostra ipotesi.

In teoria dovremmo considerare $\sigma_i = \frac{F}{A_i}$ con $A_i < A_0$ otteniamo $\sigma_i > \sigma_0$

Consideriamo $\sigma_0 < \sigma_i$ A FAVORE DISCONTINUA, quindi è cautelativo considerare A_0 costante durante la prova e non tutti i valori di A_i .