



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 108

DATA : 14/06/2011

A P P U N T I

STUDENTE : Barberis

MATERIA : Scienza e Tecnologia dei Materiali
Prof. Montanaro

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.

2010-2011

Scienza e tecnologia dei Materiali

Appunti

BARBERIS FABIANA
Politecnico di Torino
2010-2011





Scienza e Tecnologia dei Materiali

Ingegneria Civile

Docente: Prof. Laura Montanaro
laura.montanaro@polito.it

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

1



Generalità

Orario lezioni: Lunedì 11.30-13.00

Martedì 8.30-11.30

Libro di testo: A.Negro et al., Scienza e
Tecnologia dei Materiali, Celid / Dispense sul
Portale / fotocopie distribuite dal docente

VirtLab (parte integrante del programma):

[http://didattica.polito.it/pls/portal30/docs/FOLDER/
AREA_DOCENTE/SITO_VIRTLAB/INDEX.HTM](http://didattica.polito.it/pls/portal30/docs/FOLDER/AREA_DOCENTE/SITO_VIRTLAB/INDEX.HTM)

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

2

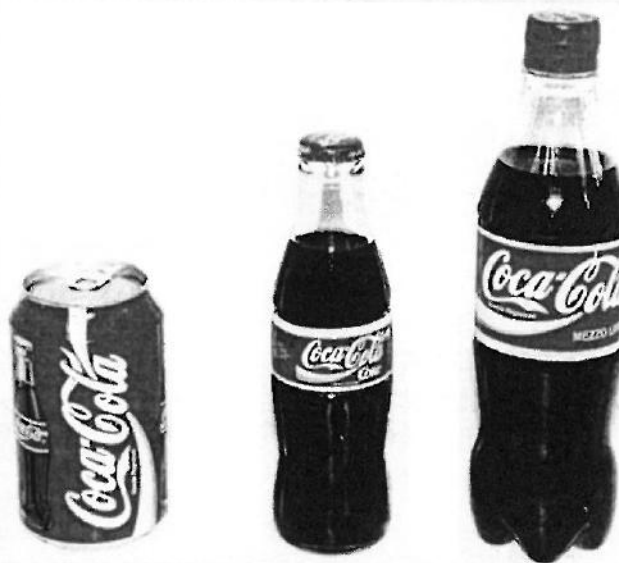


Come si definisce un materiale in Ingegneria?

Materiale \leftrightarrow esigenza/funzione

Materiale: qualsiasi
solido in grado di
svolgere almeno una
determinata **funzione**
(meccanica, termica,
ottica, magnetica,
elettrica,....)

Vari materiali possono
svolgere la stessa
funzione: occorre saper
operare la scelta
migliore



Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

5



Materiali e proprietà

Proprietà fisiche

Proprietà meccaniche

Proprietà termiche

Proprietà elettriche

Proprietà magnetiche

Proprietà ottiche

Proprietà chimiche

.....

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

6

Metalli: materiali inorganici metallici

- Opachi (cioè non trasparenti alla luce visibile), ma lucenti
- Ottimi conduttori di elettricità e calore
- Elevate resistenze meccaniche, pur essendo duttili, cioè deformabili plasticamente (cioè in modo irreversibile, permanente, prima di rompersi: sono duttili).
- Temperature di fusione assai variabili (Al= 660°C; Ti = 1660°C; W = 3420°C)
- Medio-alte densità (Mg = 1,75 g/cm³; Al = 2,7 g/cm³; Ti = 4,5 g/cm³ (metalli e leghe **LEGGERE**); Fe = 7,8 g/cm³; Cu = 8,9 g/cm³; W = 19,3 g/cm³)
- Si corrodono facilmente (corrosione del Fe: formazione di ruggine)
- Formatura prevalentemente da fuso

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

9

Ceramici: 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.

Possono essere costituiti da organizzazioni 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 avanzate o di alta tecnologia: ossidi, carburi, nitruro, carburi, ...).

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

10

Materie plastiche - Polimeri

Materiali organici costituiti da lunghe catene molecolari (macromolecole) nelle quali uno o più gruppi (detti monomeri) si ripetono concatenandosi.

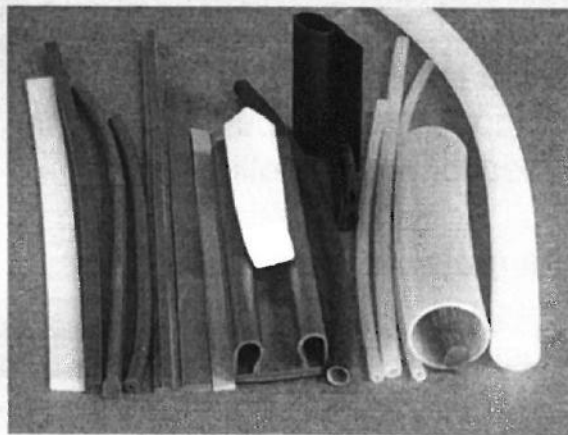
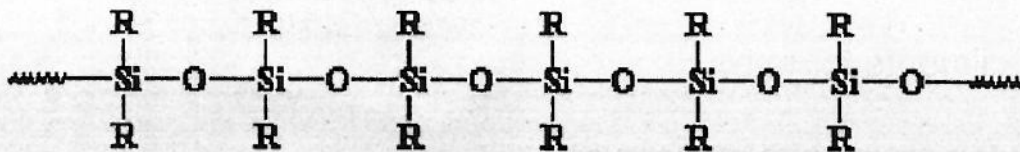
Molti polimeri sono costituiti unicamente da carbonio ed idrogeno; altri contengono anche ossigeno e/o azoto e/o fluoro.

Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

13

Materie plastiche - Polimeri

Siliconi: polimeri con catene a base di Si e non di C.



Prof. L. Montanaro - STM - Ing. Civile

14



Riciclo a fine vita

ACC (o FE) = acciaio;

CA = carta;

PET (PETE) = polietilene tereftalato;

PP = polipropilene;

PVC (o V) = polivinilcloruro;

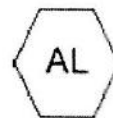
ABS = acrilonitrile butadiene stirene

AL (o ALU) = alluminio;

PE = polietilene;

PS = polistirene;

VE = vetro;



PETE



HDPE



V



LDPE



PP



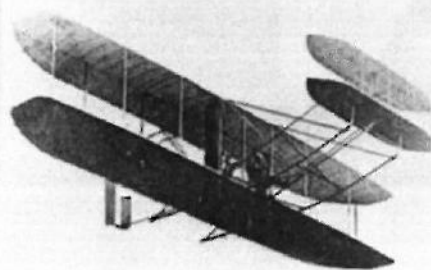
PS

Compositi

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

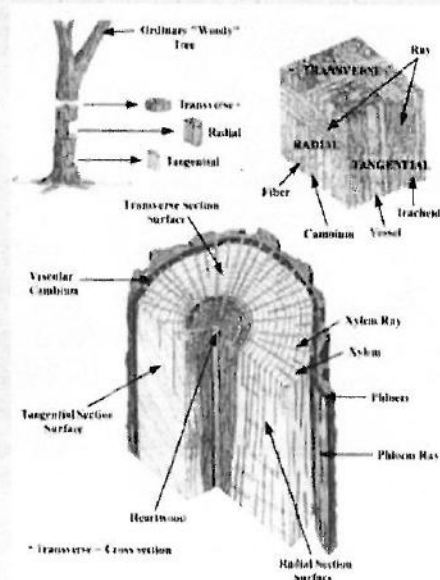
→ Matrice

→ Rinforzo



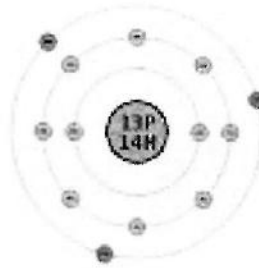
Civile

Composito naturale: legno,
nel quale la matrice di
lignina è rinforzata dalle
fibre cellulosiche



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

Materia $\leftarrow \rightarrow$ Energia \rightarrow Legami chimici



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

1



Caratteristiche del legame chimico influenzano:

- Temperatura di fusione
- Conduttività termica ed elettrica
- Dilatazione termica
- Rigidezza
- Resistenza a rottura
- Duttilità o fragilità

.....

Tipi di Legami

- | | |
|----------|--|
| • Forti | metallico, covalente, ionico |
| • Deboli | interazioni dipolari (di Van der Waals)
(secondari) |

Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

2

Legame secondario (POLIMERI)

Energeticamente debole

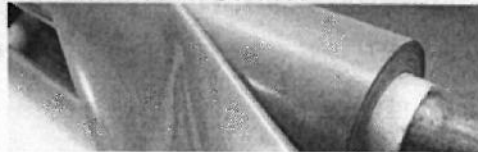
- Bassa-bassissima Rigidezza
- Bassa-bassissima Resistenza a rottura
- Bassa-bassissima Temperatura "di fusione"
- Elevata Dilatazione termica

Elettroni NON liberi e meccanismi di trasporto termico/elettrico meno efficienti che nelle ceramiche

- I MIGLIORI ISOLANTI termici
- I MIGLIORI ISOLANTI elettrici

Molte proprietà diverse tra TP, TI e Elastomeri....

Proprietà anche dipendenti da T



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

5



Legame chimico → **CURVE DI CONDON - MORSE**

→ RIGIDEZZA

→ DILATAZIONE TERMICA α

Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

6



Differenza tra "*fragile*" e "*brittle*" che in Italiano traduciamo con la stessa parola: fragile

"*Fragile*" : materiale che si rompe sotto azioni (sollecitazioni, stress, sforzi) esterne contenute → materiale poco resistente

"*Brittle*" : materiale che si rompe avendo sperimentato solo deformazioni elastiche, reversibili (fragile come un ceramico).

Non necessariamente un materiale "*brittle*" è anche "*fragile*"

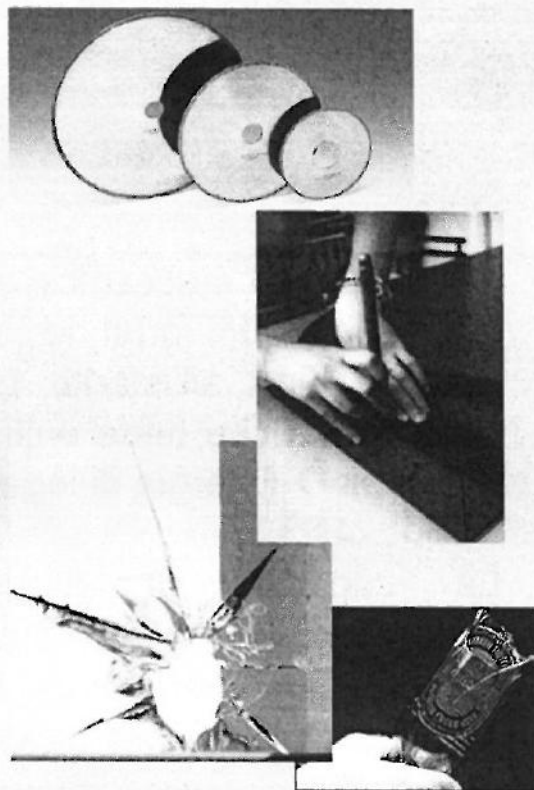
Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

9



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*)

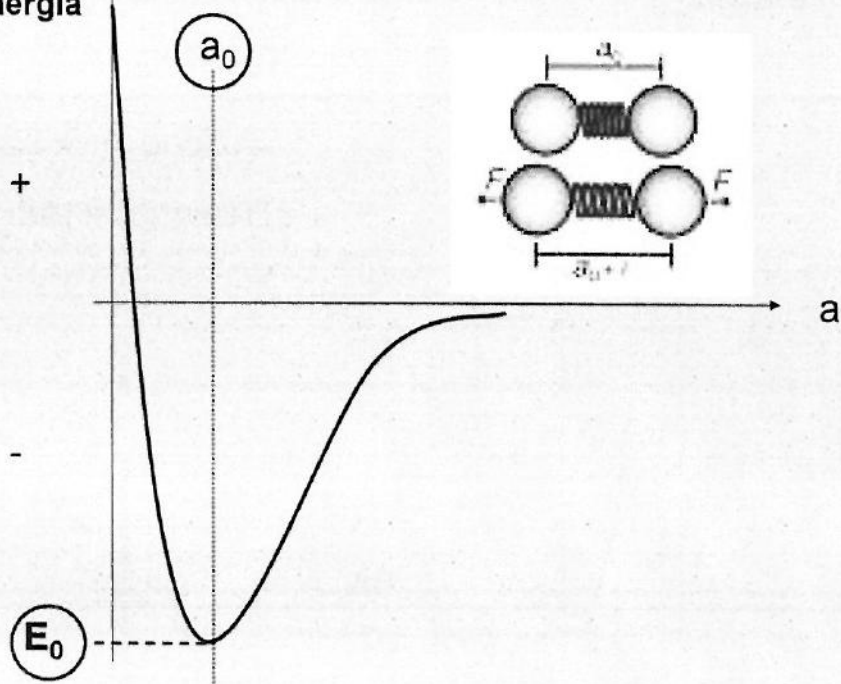


Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

10

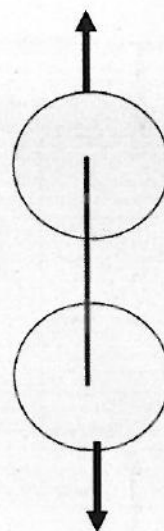
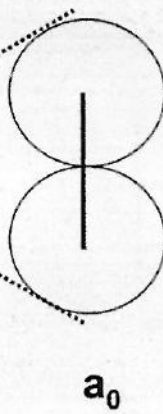
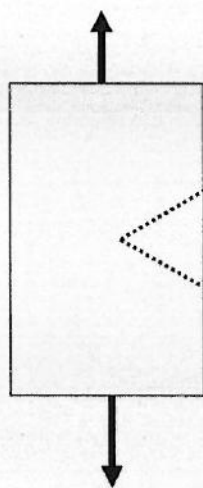
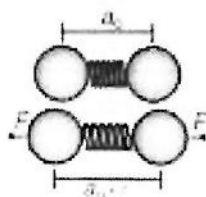


Energia



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

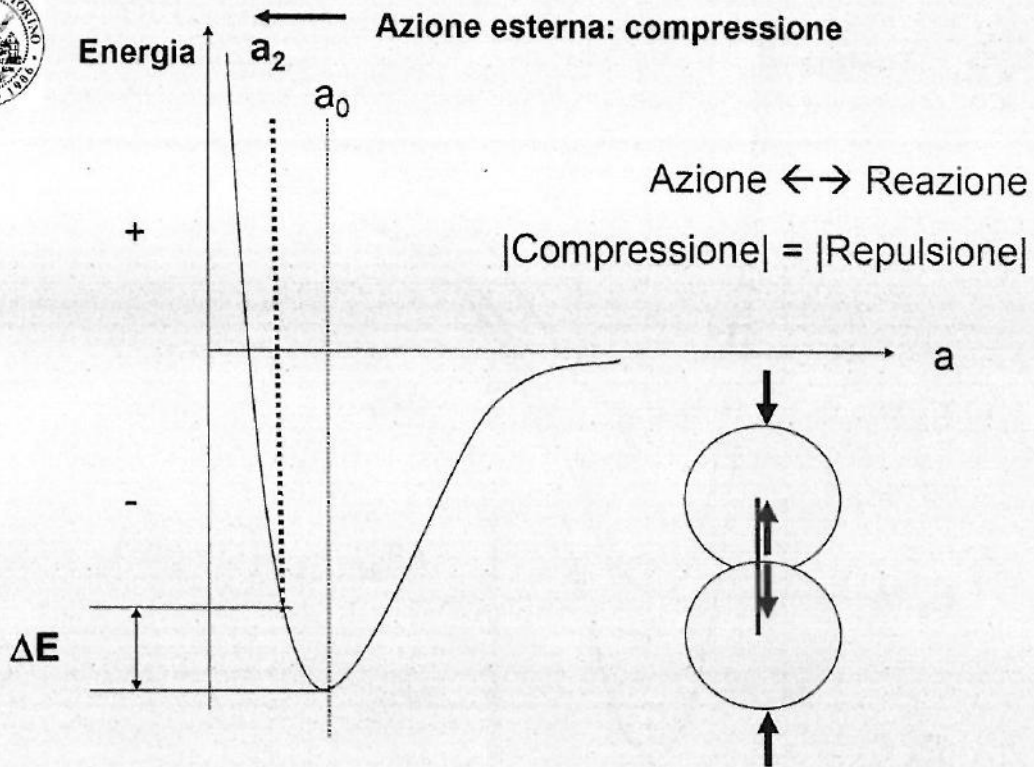
13



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

$a_1 > a_0$

14

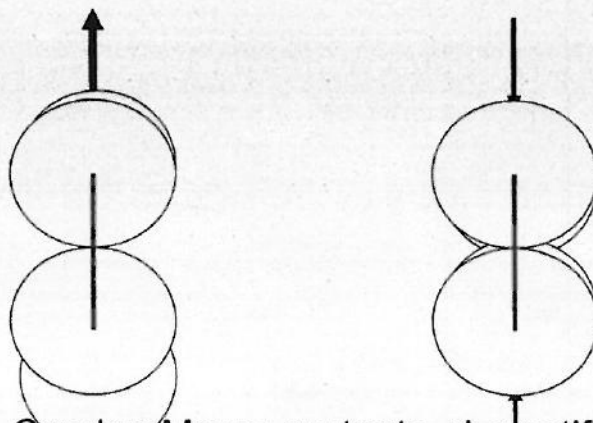


Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

17



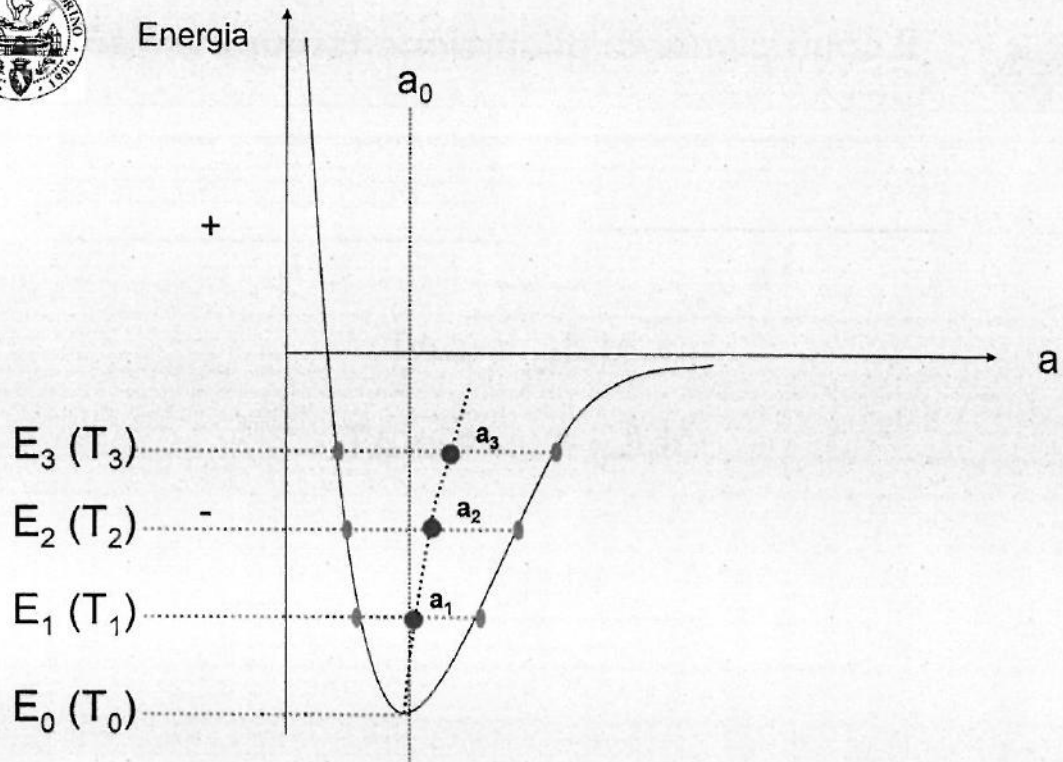
La deformazione è reversibile perché se l'azione esterna viene a cessare l'energia che tiene uniti i due atomi li richiama nelle rispettive posizioni di partenza



Le curve di Condon-Morse pertanto ci giustificano **SOLO** ed **ESCLUSIVAMENTE** la deformazione **ELASTICA** (reversibilità della "reazione" al cessare dell' "azione esterna" di perturbazione) che è propria di tutti i materiali.

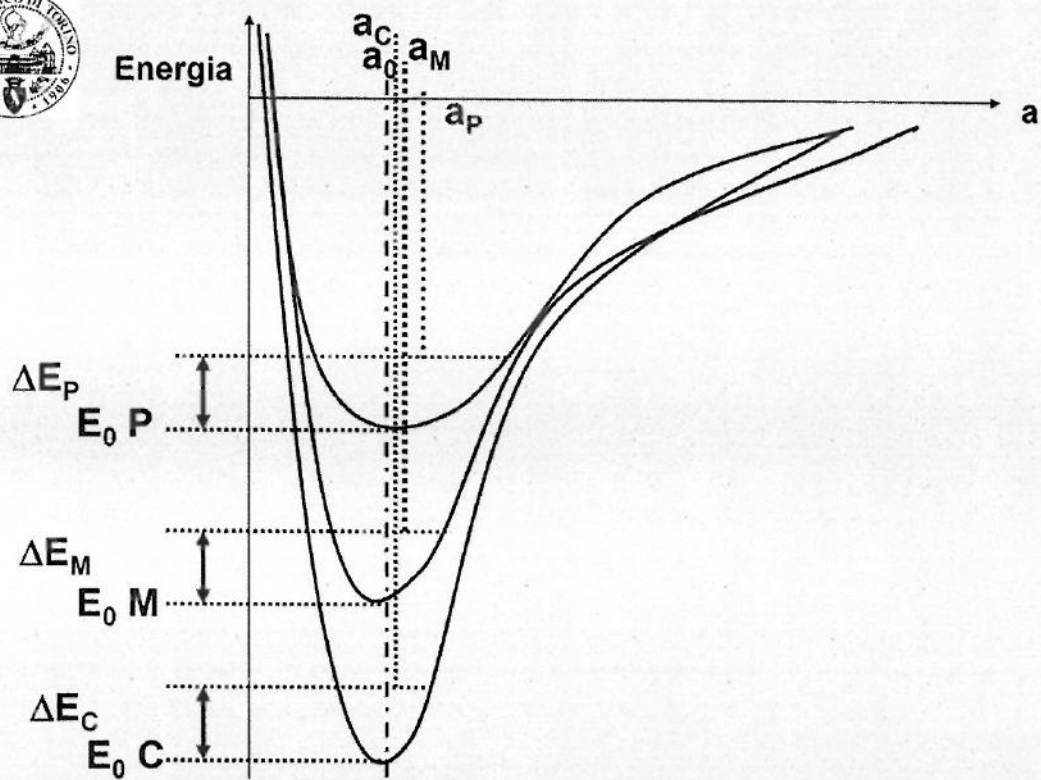
Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

18



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

21



Prof. L. Montanaro - STM - Ing.Civile

22

14-03-2011

ESAME: prova scritta (4 domande a risposta aperta 2 da 5 punti
2 da 10 punti)

160000 differenti materiali sul mercato → servono delle linee guida

DEFINIRE UN MATERIALE

Un materiale deve essere in grado di svolgere una funzione richiesta.

Materiale: qualsiasi solido in grado di svolgere una determinata funzione, di rispondere ad una determinata richiesta tecnologica.

Var. materiali possono svolgere la stessa funzione, occorre operare la scelta migliore.

PET → polietilentereftalato (la plastica delle bottiglie di Coca-Cola)

Proprietà e materiali

- Proprietà fisiche
- tecniche
- elettrica
- nucleare
- magnetica
- ottica

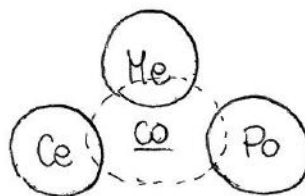
Classificazione dei materiali

- **Naturali:** di origine biologica o chimica (carbone, caucciù...) sono pronti all'utilizzo, basta solo andarli a prendere, sono già disponibili in natura.
- **Sintetici:** per produrre questi materiali dobbiamo operare su delle materie prime (metalli ottenuti per trattamento dei minerali, materie plastiche

↑
ottenute tramite
processi petrolchimici

Distinzione per famiglie

- Materiali metallici
- Materiali ceramici
- Materie plastiche
- Compositi → costituiti dalla combinazione delle altre famiglie



Proprietà dei metalli

- sono opachi (cioè non trasparenti) e lucenti (perché gli elettroni liberi interagiscono con la radiazione luminosa, la catturano e la rimettono)
- sono ottimi conduttori termici per via degli elettroni liberi
- elevate resistenze meccaniche (ci vuole energia esterna elevata per spezzare i legami → sono tanto più resistenti passando dall'elemento alla lega)
- duttili: sono deformabili plasticamente cioè si deformano irreversibilmente plasticamente
- temperature di fusione: abbiamo metalli basso fondenti (Al) e abbiamo metalli refrattari (tungsteno) che hanno temperature di fusione simili alle ceramiche
- medio-alte densità: alcune leghe dette leggere invece hanno bassa densità del tipo $4,5 \text{ g/cm}^3$; il litio potrebbe galleggiare sull'acqua
Fe: $7,8 \text{ g/cm}^3$
- si corrodono facilmente (i metalli sono meno stabili delle loro nature ossidate)
il ferro si trova ossidato in natura, il ferro si corrode (formazione di ruggine)
- formatura prevalentemente da fuso → il metallo viene fuso e messo in stampi per ottenere anche forme complicate

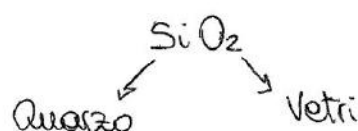
Ceramiche materiali inorganici non metallici

Sono materiali formati da elementi metallici e non metallici in rapporti stechiometrici precisi definiti. Sono caratterizzati da legami ionici o covalenti. Il legame covalente è il più forte fra tutti.

I materiali ingegneristici hanno prevalenza di legame covalente

Esistono due solidi ceramici → diamante e grafite che sono costituiti solo da carbonio

I ceramici sono costituiti sia da strutture ordinate (cristalli) che da strutture disordinate



Il silicone è uno dei migliori sigillanti per favorire gli assemblaggi di materiali differenti

Qualunque oggetto si esamina è formato da decine di migliaia di catene.

Se noi guardassimo solo una catena possiamo pensare che un oggetto del genere abbia comportamenti simili ai ceramici (legami covalenti). I legami dentro la catena sono detti legami intracatena.

I legami che determinano le caratteristiche delle materie plastiche sono i legami di Van der Waals cioè legami deboli fra le varie catene polimeriche, non sono legami chimici.

- Materiali termoplastici (TP):
tra i quali c'è il PE, sono materiali duttili cioè plastici (una volta che gli si è data una forma questa rimane) da questo punto di vista sono simili ai metallici ma per motivi diversi.
- Materiali termindurenti (resine) TI
sono fragili come i ceramici
- Gomme o elastomeri
deformazioni elastiche → se vengono deformati tornano come prima

Proprietà dei materiali plastici

Presentano mediamente una bassa densità

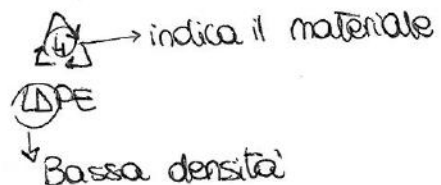
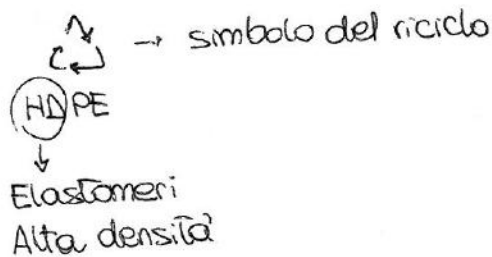
Facili da deformare

Basse temperature di rammolimento (si scioglie)

Bassa resistenza meccanica (a causa dei deboli legami)

Alta reattività chimica (le radiazioni ultraviolette sono in grado di alterare le bottigliette di plastica)

Sono riciclabili



Il legame metallico è :

- energeticamente forte
- adirezionale (non esiste direzione precisa di legame, ha stessa intensità in ogni direzione dello spazio)
- Elettroni liberi

legame covalente è :

- energeticamente molto forte
- direzionale (la ceramica non si può piegare)
- elettroni non liberi (isolante)

legame di van der Waals :

- energeticamente debole
- Elettroni non liberi (isolanti migliori)

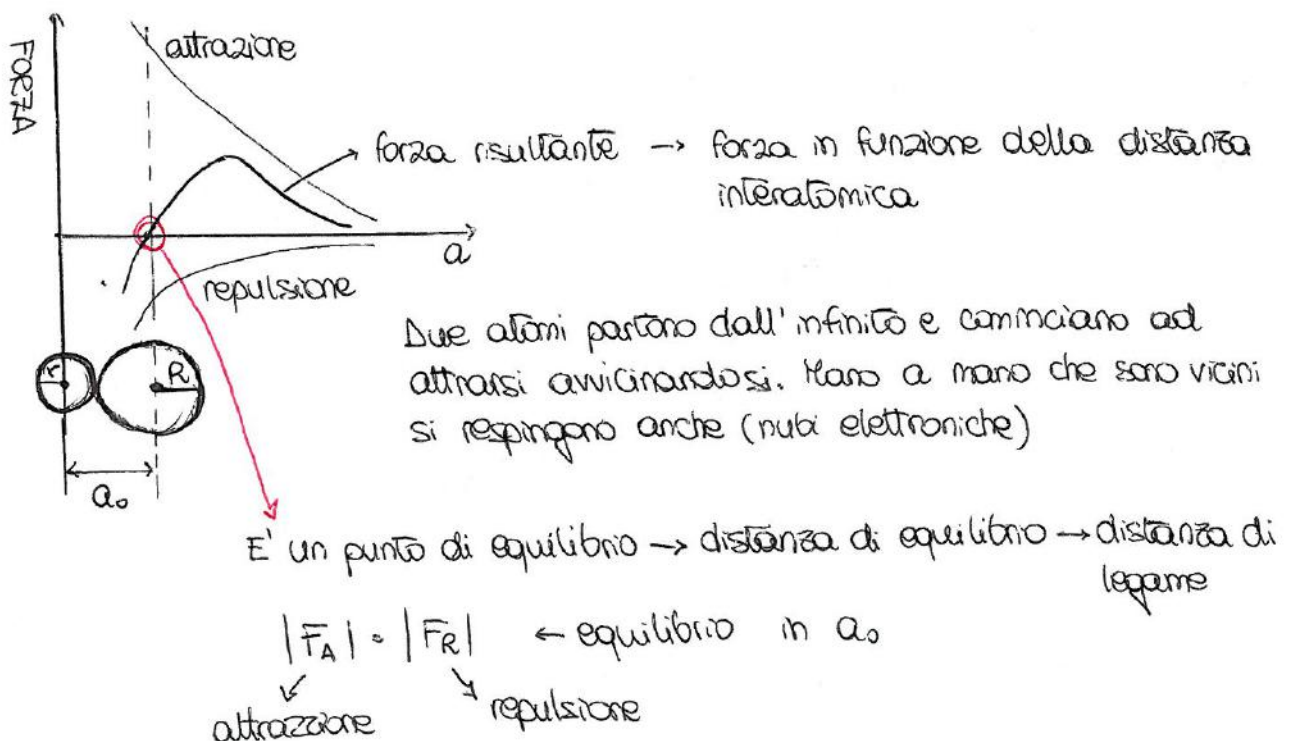
Moltissime proprietà delle materie plastiche dipendono dalla temperatura

CURVE DI CONDON - MORSE

Analizziamo due proprietà fondamentali → dilatazione termica (α)
→ rigidità (Modulo di Young)

la dilatazione termica è rilevante per esempio per gli infissi che sono costituiti da materiali diversi. α → coefficiente di dilatazione termica

Partiamo da una curva



Differenza tra FRAGILE e BRITTLE

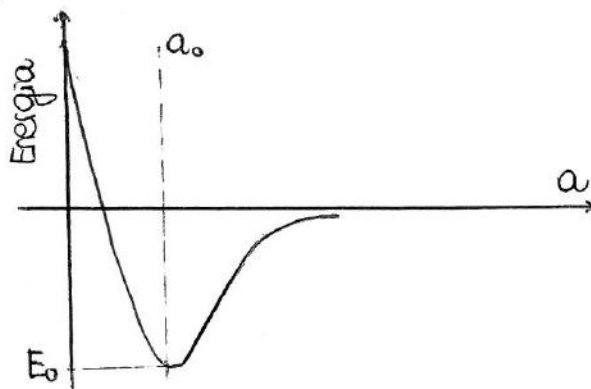
FRAGILE (letto in inglese): e' poco resistente meccanicamente, facile a rompere

BRITTLE (fragile in italiano): e' magari molto resistente pero' subisce solo deformazioni elastiche, oioe' subisce stress fino a rottura (ceramiche)

Il diamante e' solo brittle, il vetro e' sia brittle che fragile

Spieghiamo la deformazione elastica attraverso le curve di condon morse. Possiamo assimilare il legame chimico ad una molla.

Il modulo di Young ci da' un'idea sulla rigidezza della molla, oioe' del legame chimico.



Sistema imperturbato
equilibrio in a_0 distanza di legame

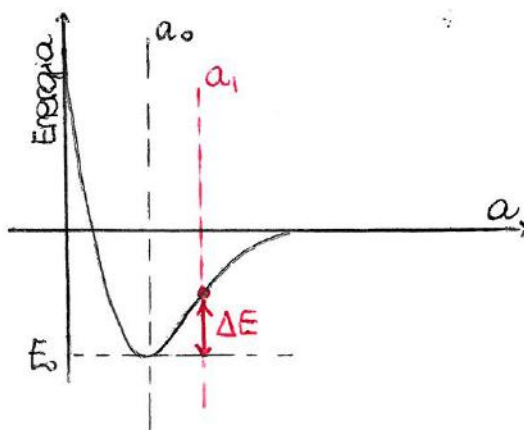
Abbiamo un sistema a riposo in cui i due atomi sono a distanza a_0 .

- Applico una TRAZIONE UNI-ASSIALE (lo tiro lungo un'unica direzione)



I due atomi all'interno dell'oggetto tendono ad allontanarsi fino ad una distanza $a_1 > a_0$.

Alla distanza a_1 i due atomi si bloccano, resistono alla trazione



Arrivati alla distanza a_1 gli atomi sono in grado di mettere in atto una forza di attrazione per cercare di ritornare alla condizione iniziale (azione-reazione)



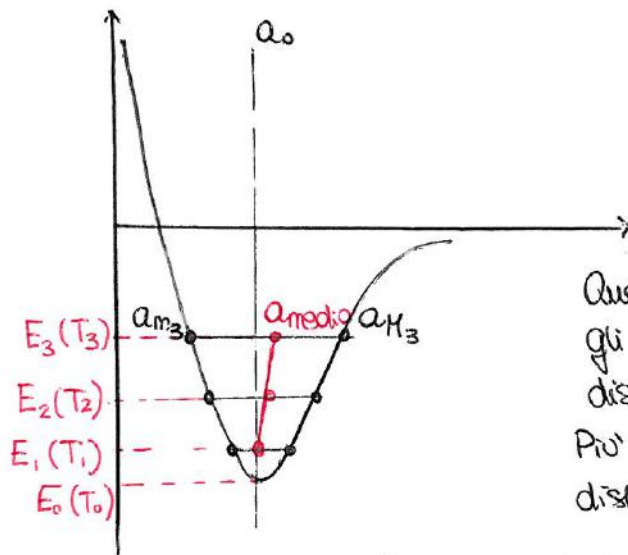
la deformazione non permane perche' quando cessa lo stress esterno la forza di attrazione riporta i due atomi alla distanza di legame

Dilatazione termica

Deformazione reversibile in assenza di sollecitazione \rightarrow dilatazione termica
I materiali si dilatano, aumentano di volume all'aumentare di temperatura.

In a_0 si ha immobilità assoluta \rightarrow assenza di energia cinetica a $0^\circ K$

Quando aumento la temperatura aumento l'energia termica del sistema



Quando la temperatura aumenta gli atomi si muovono oscillando tra le distanze a_m e a_H

Più la temperatura aumenta più le distanze aumentano

Gli atomi quindi oscillano, si muovono tra varie posizioni

Noi possiamo misurare la distanza media tra queste oscillazioni

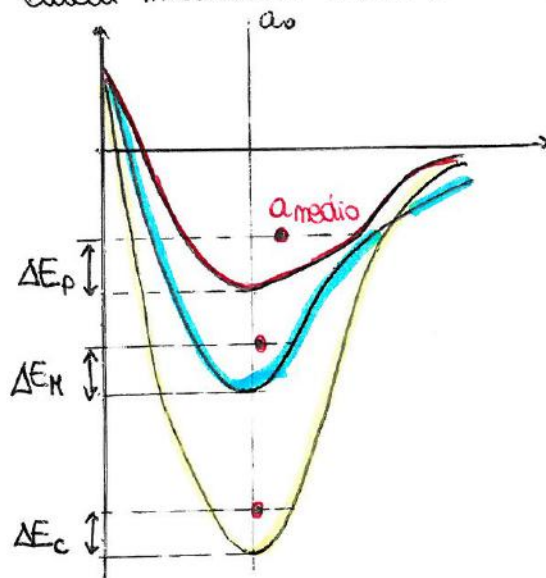
Questa aumenta con l'aumentare della temperatura

Il fenomeno è perfettamente reversibile

La dilatazione termica dipende dal fatto che la curva di condan-
morse non è simmetrica. Se lo fosse non ci sarebbe dilatazione
termica

Studio della dilatazione

Quali materiali dilatano di più?



I ceramici dilatano meno dei metalli
che dilatano meno dei polimeri

Tutto dipende dall'energia di
legame

Posso quantificare la dilatazione
termica \rightarrow coefficiente di dilatazione
termica lineare α

ORGANIZZAZIONE DEGLI ATOMI NEI SOLIDI: struttura cristallina e struttura amorfa

STRUTTURA AMORFA: senza alcun ordine (folla)

STRUTTURA CRISTALLINA: strutture ordinate (esercito)

geometria di impaccamento costante ripetitivo

SiO_2 ha due possibili strutture $\left\{ \begin{array}{l} \text{amorfa (vetro di silice)} \\ \text{cristallina (quarzo)} \end{array} \right.$

Struttura cristallina

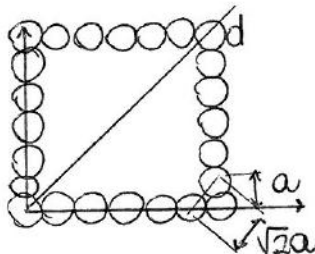
Come si distingue la struttura cristallina?

Si può riconoscere, ritrarre delle forme geometriche che si ripetono

Parleremo di solidi policristallini formato dall'assemblaggio di più cristalli

Solido monocristallino \rightarrow solido formato per tutto il suo volume un particolare impaccamento

■ ANISOTROPIA = le proprietà di un oggetto (il suo valore) e' funzione della direzione lungo la quale si misura



la distanza interatomica vale "a" in direzione x e y e vale $\sqrt{2}a$ in direzione della bisettrice d

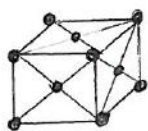
Se misuro le proprietà del legno parallelamente alle fibre otterrò dei particolari valori differenti dalle proprietà misurate perpendicolarmente alle fibre.

Stesso discorso vale per il diamante

Il vetro di silice e' isotropo in quanto la distribuzione delle molecole e' caotica e quindi se ne misura una proprietà media lungo tutte le direzioni possibili.

A causa dell'isotropia lavorare con i solidi amorfi e' più facile

I solidi policristallini sono isotropi



8+6 atomi

Reticolo cubico a facce centrate

CFC



8+1 atomi

Reticolo cubico a corpo centrato
CCC

Gi sono solo 14 possibili reticoli cristallini

DIFETTI PUNTUALI

- I difetti puntuali ci giustificano la diffusione della materia allo stato solido e anche la formazione di leghe

2.6

VACANZA: difetto adimensionale, e' una posizione che dovrebbe essere occupata da un atomo e invece e' vuota

INTERSTIZIALE: nei vuoti di un reticolo cristallino può collocarsi un atomo estraneo che non ha nulla a che vedere col reticolo cristallino

AUTOINTERSTIZIALE: quando l'atomo interstiziale non e' estraneo ma fa parte del reticolo cristallino

DIFETTO DI FRENKEL: presente nei ceramici per mantenere la stechiometria ed elettroneutralità ed e' la somma di una vacanza ed un autointerstiziale

Per una lacuna o vacanza, gli atomi attorno alla posizione vuota cercano di avvicinarsi per limitare la loro distanza

Per l'interstiziale gli atomi attorno all'atomo intruso si allontanano un po

Conseguenze della presenza dei difetti puntuali

① Soluzioni solide

solvente → reticolo che accoglie al suo interno atomi del soluto

Il solvente detta l'organizzazione cristallina della soluzione.

soluto → elemento che va ad inserirsi negli spazi interstiziali del solvente

Soluzioni solide → leghe

Ecco perché le leghe non hanno rapporti stechiometrici

Soluzioni solide sostituzionali

↓
Il soluto (un atomo) occupa una lacuna o vacanza di un atomo del solvente

Soluzioni solide interstiziali

↓
Soluto che si posiziona negli interstizi del solvente
Gli atomi interstiziali sono sempre un po più grossi degli interstizi stessi quindi perturbano il reticolo e il cristallo non accetta più di un tot di atomi interstiziali

22-03-2011

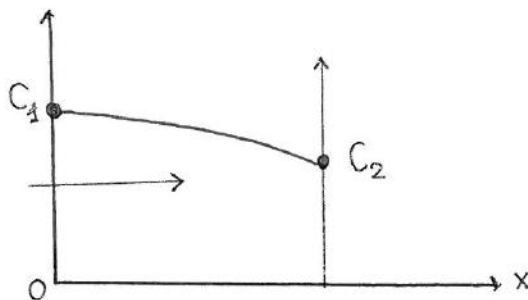
LEGGE DI FICHT

J_x = flusso atomico (quantità di materia che fluisce nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie) lungo la direzione x a causa del gradiente di concentrazione

la concentrazione della specie che si muove si mantiene costante attraverso la superficie.

STATO STAZIONARIO: presa una superficie, considerando la specie che diffonde, questa concentrazione di sostanza che fluisce si mantiene costante su quella superficie

Perché la materia tende a fluire lungo la direzione x ? Perché incontra un gradiente di concentrazione



Il gradiente di concentrazione è la spinta motrice che fa sì che la materia passi da una posizione in cui c'è concentrazione più elevata ad una posizione in cui c'è concentrazione più bassa

flusso atomico $J_x = -D \frac{dc}{dx}$ legge di Ficht

coefficiente di diffusione o diffusività

gradiente di concentrazione della specie che diffonde

Il flusso va sempre dalla concentrazione più alta a quella più bassa, dc è dato da $C_2 - C_1$ e quindi è negativo (con il meno davanti il flusso diventa positivo).

Il flusso dipende dalla temperatura $\rightarrow T$ cresce \rightarrow flusso maggiore
la dipendenza dalla temperatura è inglobata in D

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

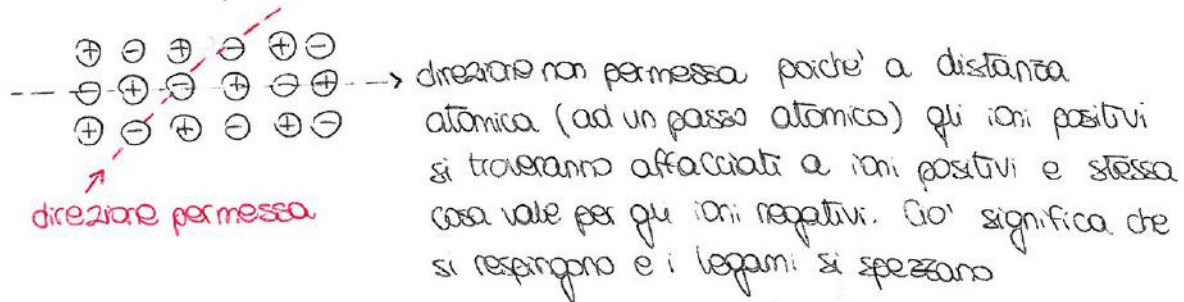
D si riferisce ad una coppia di sostanze D_{A-B}

Esempi

- Cementazione degli acciai \rightarrow atomi di carbonio entrano interstizialmente e diffondono sulla superficie di un reticolo di ferro

legame provoca lo spezzarsi del legame stesso e di conseguenza la rottura anche degli altri legami sullo stesso piano.

Il cloruro di sodio \rightarrow che è classificato come ceramica ha mobilità di dislocazione poiché la ionicità del materiale permette adirezionalità. Però solo lungo determinate direzioni abbiamo questa mobilità.



In corrispondenza della dislocazione la zona è perturbata (compressione dove c'è il piano in più, trazione dove il piano termina)

\downarrow

gli atomi sono più vicini tra loro

\downarrow

gli atomi sono più lontani del normale

Se un interstiziale è vicino ad una dislocazione, l'interstiziale si inserisce nello spazio tra gli atomi. Ciò significa che quando vogliamo muovere quella dislocazione dovremo impiegare più energia in quanto dovremo spostare anche l'interstiziale.

Per questo motivo il ferro è più facilmente modellabile rispetto all'acciaio.

Le dislocazioni interagiscono anche tra di loro: se sono di segno opposto tendono ad annullarsi, altrimenti tendono ad allontanarsi tra loro.

PROPRIETA'

PROPRIETA' CHIMICHE

■ Solubilità

■ pH → fenomeni di ionizzazione in soluzione

■ Precipitazione

■ la solubilità dipende dalla temperatura.

Il carbonato di calcio è molto poco solubile ma in uno dei fenomeni di degrado di calcestruzzo avremo una formazione di equilibrio con il bicarbonato di calcio che invece è molto solubile.

Solfato di calcio idrato → gesso : è piuttosto solubile (il doppio del carbonato di calcio) e quindi è da usare in interno e non esterno

■ Anche il pH è molto importante

Il pH fortemente basico non permette l'arrugginire del ferro nelle armature

■ Precipitazione


Abbiamo del solido in eccesso in soluzione con acqua.

L'acqua tende ad evaporare.

Quando si fa una soluzione con acqua (per esempio per materiale da costruzione) questa potrebbe evaporare e quindi far precipitare il soluto. Provoca generalmente efflorescenze sulla superficie di materiale

↓
(deposito di sali e materiali)

- danno estetico
- degrado strutturale



efflorescenza:
precipitato
sulla superficie
della costruzione

A volte i sali tendono a precipitare prima che l'acqua li trasporti fino alla superficie → subflorescenze

Le subflorescenze sono più pericolose delle efflorescenze perché provocano degli stress significativi all'interno del materiale (provocando delle fessure, distacchi nel materiale)

L'acqua che generalmente evapora proviene dalle piogge, umidità, che si infila per capillarità all'interno dei pori dei materiali del materiale.

Svolgendo i calcoli

$$\Delta P \cdot 4\pi r^2 \cdot dr - \gamma \cdot 8\pi r \cdot dr = 0$$

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \rightarrow \text{Equazione di Laplace}$$

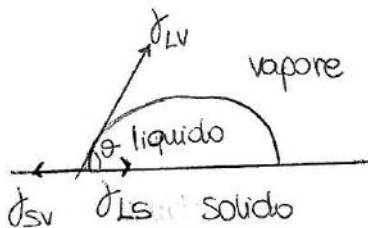
Bagnabilità

Quando abbiamo tre fasi \rightarrow solido liquido e gas queste si dispongono in modo da raggiungere l'equilibrio

Questo equilibrio è espresso dalle tensioni superficiali dell'interfaccia

Gi sono tre interfacce:

γ = tensione superficiale	solido - gas (vapore)	γ_{sv}
	solido - liquido	γ_{sl}
	liquido - vapore	γ_{lv}



θ è detto angolo di contatto

Si forma una lenticola di liquido sul solido

legge di Young-Dupré

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta$$

| Un solido idrofilo (liofilo) $\theta < 90^\circ$ è un solido bagnabile
| Un solido idrofobo (liofobo) $\theta > 90^\circ$

Con $\theta > 90^\circ$ significa che la interfaccia promossa è quella liquido vapore



Con $\theta < 90^\circ$ l'interfaccia promossa è solido liquido e quindi il solido si lascia bagnare dal liquido

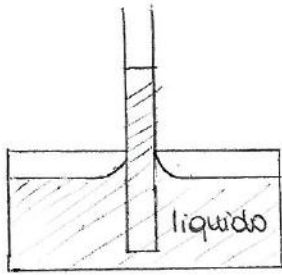
Si dice quindi che il solido è bagnabile e θ è indice di bagnabilità

Bagnabilità \neq permeabilità

la permeabilità richiede bagnabilità e porosità per far entrare il liquido all'interno

Bagnabilità significa che il liquido tende ad allungarsi sul solido

A Venezia possiamo vedere l'applicazione teorica della legge di risalita capillare. L'aria a Venezia è molto umida quindi ci vuole molto di più all'umidità che è entrata per mettersi in equilibrio con l'esterno.



Il liquido bagna il tubo capillare e viene richiamato a risalire perché la parete del tubetto tende ad essere a contatto preferenzialmente con la fase liquida piuttosto che con la fase gassosa.

Ad un certo punto la risalita si blocca quando la pressione capillare è fermata dalla pressione idrostatica.

Pressione capillare $P_c = \Delta P = \frac{2\gamma}{r_m}$ ← raggio di curvatura menisco

$$r_c = r_m \cos \theta$$

↓
raggio del capillare

CONDIZIONE DI EQUILIBRIO

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r_c} \cos \theta = \rho h g$$

↑
altezza di risalita

↑
gravità

↑
raggio del capillare

↑
densità liquido

Per H_2O : $r_c = 1 \mu m \rightarrow 15 m$ di risalita
 $r_c = 10 \mu m \rightarrow 1,5 m$ di risalita

} misurazioni in condizione di isolamento

Le nostre strutture non sono in isolamento, le pareti sono sempre in condizioni di scambio con l'ambiente (le pareti respirano).

A Venezia le pareti sono più in isolamento per via dell'umidità e quindi la risalita è più evidente.

Per questo i metalli sono conduttori termici.

Per le ceramiche bisogna fare la distinzione:

- Diamante → struttura molto regolare con legami covalenti carbonio carbonio. le vibrazioni atomiche allora sono di alto profilo
- Altre ceramiche → hanno legami diversi perché sono costituiti da metalli e non metalli. Qui ci sono stechiometrie e legami direzionali da rispettare, vibrazioni atomiche di basso profilo

I ceramici non hanno elettroni liberi.

Eccezione fatta del diamante, i ceramici sono isolanti

Per i materiali polimerici abbiamo movimento delle catene, abbiamo trasferimento di energia termica solo quando abbiamo urti efficaci tra catene. Un urto efficace è un urto nel quale avviene il trasferimento del fonone.

Un solido amorfo ha più difficoltà nel trasferimento dei quanti poiché qui atomi sono distribuiti in maniera casuale e con distanze tra atomi variabili da punto a punto.

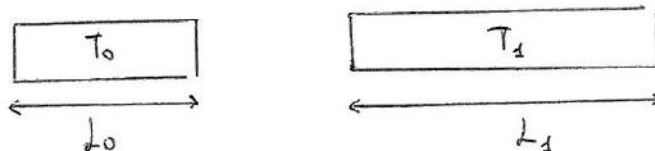
Quindi:

- metalli → conduttori
- ceramici → isolanti
- polimerici → molto isolanti

d'aria immobile ha una scorsissima capacità di trasferire calore (infatti si costruiscono vetri a camera)

Quando faccio materiali polimerici espansi (con celle isolate all'interno delle quali c'è aria immobile) ho un isolante ancora migliore dello stesso materiale polimerico più denso, non espanso

■ Dilatazione termica: un materiale caldo aumenta di volume
coefficiente di dilatazione termica lineare α



I dilatometri misurano il coefficiente di dilatazione termica lineare α

$$\text{differenza di lunghezza} \leftarrow \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

\nwarrow \downarrow
 lunghezza alla temperatura T_0 gradiente termico

Combustione

Abbiamo bisogno di

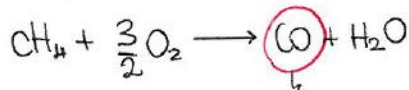


la combustione è un fenomeno esotermico cioè sprigiona calore e favorisce la propagazione dell'incendio stesso

combustibile + comburente \longrightarrow prodotti di combustione



Ma quando abbiamo carenza di comburente



monossido di carbonio

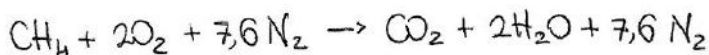
prodotti di combustione dei polimerici

Avvelenamento da monossido di carbonio

Gas nocivi che provocano avvelenamenti (CO, HCN, Benzene, Acetone) e irritanti (HCl)

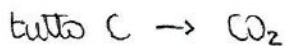
Tutti questi gas vengono prodotti da una reazione di combustione a seconda dei materiali che vengono bruciati

Nell'aria:



azoto che è un gas inerte ma il calore dell'incendio scalda l'azoto che favorisce la propagazione del calore stesso, provocando l'espansione dell'incendio

■ Combustione completa: i prodotti di combustione sono più stabili chimicamente dei materiali, elementi precedenti



Potere calorifico: quantità di calore sviluppata nel corso della combustione completa dell'unità di massa (per i solidi e liquidi) o di volume (per i gas)

Un materiale che non supera la prova di combustibilità deve essere sottoposto ad altre prove

1. Prova di reazione al fuoco dei materiali sospesi
 2. Prova di reazione al fuoco dei materiali che possono essere investiti dal fuoco su una sola faccia
 3. Prova di reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma di innesco in presenza di calore radiante
- } a innesco
} incendio
} in corso
- ASTM : American standards for testing materials
(capacità dei fumi → riduce la visibilità in caso di incendio)

1-2 • la prova prevede che un campione di materiale venga messo per 12 secondi da una fiamma (per i materiali sospesi) per 30 secondi ad una distanza di 4 cm (per pareti)

3 • la fiamma di innesco viene posta a 2 cm dal materiale e inoltre abbiamo a distanza un pannello che irradia calore simulando un incendio in corso

PARAMETRI VALUTATI

- tempo di post-combustione: quanto dura la fiamma libera su un materiale
- tempo di incandescenza: quanto dura l'incandescenza visibile sul materiale dopo che la fiamma si è spenta
- area danneggiata: misura l'area compromessa
- gocciolamento: porzioni incandescenti di materiali che si rammolliscono, si distaccano e possono provocare altro incendio

Il tempo di post combustione e l'area danneggiata sono parametri che valgono di più in termine di pericolosità

Tanto più è alto il numero della classe, tanto più il materiale è pericoloso

Per quanto riguarda le MATERIE PLASTICHE:

- Termoplastici TP: rammolliscono e fondono per effetto del calore, dando vita a gocciolamento
- Termindurenti TI: tendono a carbonizzarsi ed a prevenire l'ignizione si comportano in modo simile al legno. si forma in superficie uno strato carbonioso (char) limitando, rallentando la combustione e la perdita delle caratteristiche dell'oggetto

Appendice 1) Il comportamento al fuoco dei materiali

Un materiale, in vicinanza o a contatto con una fiamma, può:

- bruciare (il legno, le materie plastiche);
- può modificare la sua composizione chimica senza bruciare (i marmi, i leganti aerei ed idraulici, i cementi quando si siano preventivamente idratati);
- può modificare in modo più o meno importante le sue dimensioni (gli acciai, i laterizi).

I materiali che bruciano sono detti **combustibili**, gli altri sono denominati **incombustibili**. Non si sta a sottolineare l'importanza di conoscere il comportamento al fuoco dei materiali e, nel caso che questi siano combustibili, di conoscere le conseguenze della loro combustione. Si ricorda comunque che, per ovvie ragioni di sicurezza, specialmente per quanto attiene i locali pubblici, è importante stabilire se un materiale è incombustibile o meno e, se è combustibile, quali sono le conseguenze della sua combustione. In Italia, inoltre, gli edifici a carattere pubblico debbono essere sottoposti ad uno specifico collaudo, effettuato dai Vigili del fuoco.

Per affrontare in modo esaustivo questo argomento, iniziamo a ricordare cosa si intende per combustione.

1.1. La combustione

Si indicano con il nome di **combustibili** tutte le sostanze che, in opportune condizioni, sono capaci di combinarsi con un comburente. Le reazioni di combustione sono quindi processi esotermici e di ossidazione, nel corso dei quali il combustibile agisce da sostanza ossidabile ed il comburente (in genere, l'ossigeno dell'aria) da sostanza ossidante.

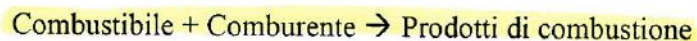
L'**esotermicità** della combustione fa sì che elevate siano le temperature raggiunte dalle specie reagenti in quanto i fenomeni di trasferimento del calore (conduzione, convezione ed irraggiamento) non sono in grado di disperdere così efficacemente l'elevata quantità di energia termica rilasciata.

La **conduzione termica** può avvenire per trasferimento di energia nel materiale, attraverso il moto elettronico oppure per trasferimento di fononi, tramite vibrazioni reticolari. Il trasferimento per **irraggiamento** si manifesta attraverso l'emissione, da parte del corpo caldo, di radiazioni a lunghezza d'onda caratteristica (UV, visibile, IR). Il trasferimento per **convezione** è il trasferimento di calore da parte di un fluido, in genere un gas, che, a causa del riscaldamento varia di densità e quindi migra.

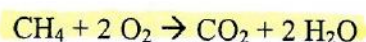
Condizione necessaria alla combustione è che **combustibile** e **comburente** siano presenti nelle proporzioni corrette ed a una opportuna temperatura per divenire sorgenti di accensione (o ignizione). Per **temperatura di accensione** od **ignizione** si intende la temperatura minima alla quale si deve trovare la miscela combustibile-comburente affinché inizi la reazione di combustione.

Generalmente un preriscaldamento del combustibile è necessario all'innesco di fiamma: si formano così specie volatili che possono avere parte attiva nella combustione (come si vedrà nel caso dei materiali polimerici).

Un processo di combustione può essere schematizzato come segue:



Un semplice esempio di combustione è quello che coinvolge il gas metano:



Scienza e Tecnologia dei Materiali (Ing. CIVILE)
Docente: Prof. Laura Montanaro

contribuisce direttamente od indirettamente all'incendio. L'apparecchio di misura consiste di un forno elettrico con velocità di salita in temperatura programmabile, entro il quale si posiziona il campione, e di tre termocoppie, quella del forno, quella posta sulla superficie del campione, quella posta dentro il campione (Figura 1.1).

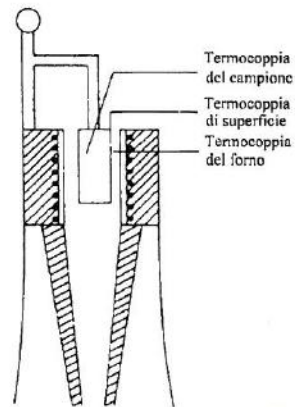


Figura 1.1. Apparecchio per la prova d'incombustibilità

Si riscalda il forno e, durante il riscaldamento, si verifica se le tre termocoppie segnalano la stessa temperatura; se ciò avviene significa che né sulla superficie del provino né al suo interno sono avvenute reazioni di combustione: il materiale è quindi giudicato incombustibile. In caso contrario, il materiale è giudicato combustibile.

Per valutare il grado di pericolosità di un materiale combustibile, in Italia sono stati normati tre metodi: la prova di reazione al fuoco (CSE RF 1/75, ora recepita dalla UNI 8456) dei materiali sospesi (i quali possono essere investiti dal fuoco su entrambe le facce) e quella dei materiali che possono essere investiti dal fuoco su una sola faccia (CSE RF 2/75, ora recepita dalla UNI 8457), nonché la prova di reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innescio in presenza di calore radiante (pannello radiante) (CSE RF 3/77, ora recepita dalla UNI 9174).

Le prime due sono prove volte alla caratterizzazione del materiale nella fase di innescio dell'incendio, la terza invece è volta a caratterizzarne il comportamento in fase di incendio in propagazione.

Il metodo CSE RF 1/75, reazione al fuoco di materiali sospesi e suscettibili di essere investiti dalla fiamma su entrambe le facce (ad esempio, i tendaggi), serve a determinare il tempo di post-combustione, il tempo di incandescenza, l'area danneggiata ed il gocciolamento di un provino del materiale, sottoposto all'azione di una piccola fiamma applicata al suo bordo inferiore. Il metodo fornisce un'indicazione sulla reazione al fuoco del materiale nella fase iniziale dell'incendio, sotto l'azione di una sorgente di ignizione di limitata intensità. Il provino è sospeso verticalmente nella camera di combustione mediante una cornice metallica a forma di U rovesciata. Essa è quindi esposta ad una fiamma definita che investe il suo bordo inferiore per 12 secondi.

Il metodo CSE RF 2/75 è la cosiddetta reazione al fuoco dei materiali che possono essere investiti da una piccola fiamma da una sola faccia (ad esempio materiali da rivestimento, a parete, soffitto, pavimento, serramenti...) e serve anch'esso a determinare il tempo di post-combustione, il tempo di incandescenza, l'area danneggiata ed il gocciolamento di un provino del materiale, sottoposto all'azione di una piccola fiamma applicata su un'unica faccia e si riferisce come prima alla fase iniziale dell'incendio. Il provino è sospeso verticalmente nella camera di combustione entro una cornice a forma di U rovesciata. Essa

Scienza e Tecnologia dei Materiali (Ing. CIVILE)
Docente: Prof. Laura Montanaro

Tabella 1.1 – Classificazione di alcuni materiali secondo i metodi CSE RF2 e CSE RF3

Materiali		Paramet. Fatt. molt. del livello	CSE - RF/2						CSE - RF/3							
			Post com- bustione × 2	Incande- scenza × 1	Zona dann. × 2	Goccio- laman. × 1	Somme ponder.	Categ.	Posiz. del prov. a parete	Veloc. di prop. × 2	Zona dann. × 2	Incande- scenza × 1	Goccio- laman. × 1	Somme ponder.	Categ.	Classe
Rivestimento murale 100 PP			1	1	1	1	1	6	I	45°	1	1	1	6	I	1
Rivestimento murale vinilico			1	1	1	1	1	6	I	45°	1	1	1	6	I	1
Legno rovere			1	1	1	1	1	6	I	45°	3	2	3	14	III	3
Legno abete			1	1	1	1	1	6	I	45°	3	2	3	14	III	3
ABS			3	1	2	1	1	12	II	45°	2	3	1	14	III	3
PVC			1	1	1	1	1	6	I	45°	1	1	1	6	I	1
Poliestere + fibra vetro + gelcoat normale			3	1	1	1	1	10	II	45°	3	2	1	12	II	3
Poliestere + fibra vetro + gelcoat autoestinguente			1	1	1	1	1	6	I	45°	3	2	1	12	II	2

Scienza e Tecnologia dei Materiali (Ing. CIVILE)
Docente: Prof. Laura Montanaro

termoindurenti (TI). I TP rammolliscono e fondono per effetto del calore, dando vita a gocciolamento; i TI tendono invece a carbonizzarsi ed a prevenire l'ignizione. Il primo stadio della combustione di un polimero è la degradazione termica che si traduce nello svolgimento di gas (in genere idrocarburi) infiammabili. La combustione di tali gas si traduce in uno sviluppo di calore in parte assorbito dal polimero. Il fenomeno tende così ad auto-sostenersi. Ovviamente è importante la natura chimica dei prodotti di degradazione. Certi gas (idrocarburi alifatici derivanti da poliolefine) bruciano con elevata esotermia. Altri gas (come quelli provenienti dalla degradazione del PVC e dei polimeri fluorurati) sono incombustibili e possono pure giocare un ruolo da inibitori della combustione della materia plastica. In Tabella 1.9 sono riportate le temperature di accensione, in presenza di una fiamma di innesco o per autocombustione, di alcuni materiali plastici. In Tabella 1.10 sono invece riportati alcuni calori di combustione.

Tabella 1.3
Temperature di ignizione di alcuni polimeri

Materiale	<i>T ignizione flash (°C)</i>	<i>T autocombustione (°C)</i>
Polimetilmetacrilato (PMMA)	280-300	450-460
Polietilene (PE)	340-355	350
Polistirene (PS)	345-360	485-495
Polivinilcloruro (PVC)	390	455

Tabella 1.4
Calori di combustione di alcuni polimeri

Materiale	<i>Calore di combustione (kJ/kg)</i>
Polietilene (PE)	46500
Polipropilene (PP)	46000
Polistirene (PS)	42000
Polivinilcloruro (PVC)	20000
Polimetilmetacrilato (PMMA)	26000

I materiali polimerici si classificano **infiammabili** (o combustibili) ed **autoestinguenti** sulla base della loro **indice limite di ossigeno**, il tasso limite di ossigeno (riferito ad una miscela azoto + ossigeno, e quindi con riferimento all'aria) al di sotto del quale la combustione non si propaga nel materiale.

Dal momento che il tasso di ossigeno nell'aria è del 21% in volume, cioè 0,21, i polimeri che presentano un indice limite inferiore a 0,21 sono detti combustibili od infiammabili, quelli con indice superiore a 0,21 sono detti autoestinguenti, in quanto la loro combustione non si può propagare in aria, a meno di un apporto esterno di ossigeno. L'indice limite (Tabella 1.5) dipende dalla natura chimica e dalla struttura del polimero.

Tabella 1.5
Indici limite di ossigeno per alcuni materiali polimerici

Materiale	<i>Indice</i>	Materiale	<i>Indice</i>
Polietilene (PE)	0,17	Polivinilcloruro (PVC)	0,45
Polipropilene (PP)	0,17	Politetrafluoroetilene (PTFE)	0,95
Polistirene (PS)	0,18	Policarbonato (PC)	0,27
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,17		

Scienza e Tecnologia dei Materiali (Ing. CIVILE)
Docente: Prof. Laura Montanaro

Europea, comportando conseguentemente un faticoso e costoso lavoro di certificazione presso ciascun Ente di ogni Paese di appartenenza.

La Comunità Europea ha pertanto creato una Commissione europea per l'attuazione della direttiva dei prodotti della costruzione (Direttiva 89/106), che ha emanato recentemente due importanti decisioni che riguardano rispettivamente la resistenza al fuoco degli elementi strutturali e la classificazione della reazione al fuoco dei materiali da costruzione. Quest'ultima norma è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee 2000/147 CE e comprende una nuova classificazione (Tabella 1.6), che si basa su metodi di prova unificati, tra i quali il cosiddetto "Single burning item" (SBI), che riscuote ancora molti giudizi discordi e perplessità.

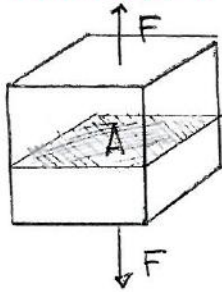
Tabella 1.6

Classi di reazione all'azione dell'incendio per materiali da costruzione ad eccezione dei pavimenti (G.U. Comunità Europee 2000/147/CE)

Classe	Metodo di prova	Criterio di classificazione	Classificazione aggiuntiva
A1	EN ISO 1182 (non combustibilità)	Aumento $T \leq 30^{\circ}\text{C}$ Perdita di massa $\leq 50\%$ Durata incendio = 0 (non persistente)	--
	EN ISO 1716 (potere calorifico)	Potere calorifico $\leq 2,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ o $\leq 1,4 \text{ MJ m}^{-2}$	--
A2	EN ISO 1182 (non combustibilità)	Aumento $T \leq 50^{\circ}\text{C}$ Perdita di massa $\leq 50\%$ Durata incendio = 20 secondi	--
	EN ISO 1716 (potere calorifico)	Potere calorifico $\leq 3,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ o $\leq 4,0 \text{ MJ m}^{-2}$	--
	EN 13823 (SBI)	Tasso di incremento di incendio $\leq 120 \text{ W s}^{-1}$ Propagazione laterale del fuoco < margine del campione Rilascio totale di calore dopo 600 s $\leq 7,5 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e gocce / particelle ardenti
B	EN 13823 (SBI)	Tasso di incremento di incendio $\leq 120 \text{ W s}^{-1}$ Propagazione laterale del fuoco < margine del campione Rilascio totale di calore dopo 600 s $\leq 7,5 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e gocce / particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 (esposizione a piccola fiamma per 30 s)	Propagazione del fuoco $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 secondi	
C	EN 13823 (SBI)	Tasso di incremento di incendio $\leq 250 \text{ W s}^{-1}$ Propagazione laterale del fuoco < margine del campione Rilascio totale di calore dopo 600 s $\leq 15 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e gocce / particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 (esposizione a piccola fiamma per 30 s)	Propagazione del fuoco $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 secondi	
D	EN 13823 (SBI)	Tasso di incremento di incendio $\leq 750 \text{ W s}^{-1}$	Produzione di fumo e gocce / particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 (esposizione a piccola fiamma per 30 s)	Propagazione del fuoco $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 secondi	
E	EN ISO 11925-2 (esposizione a piccola fiamma per 30 s)	Propagazione del fuoco $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 secondi	Gocce / particelle ardenti
F	Reazione non determinata		

Tale metodo (PR EN 13823) dovrebbe prevedere la valutazione della quantità di calore emesso dal provino, della velocità di sviluppo del calore, della quantità di fumo emessa, della velocità di rilascio e del gocciolamento. Comunque, nella normativa europea, saranno anche previste altre metodologie di prova complementari, nonché procedure diverse

PROPRIETA' MECCANICHE



Area A e' superficie portante
F forza a trazione uniaassiale

Abbiamo una reazione di allungamento ΔL lungo la direzione di trazione
 $\Delta L = L - L_0$

se noi valutassimo il binomio $F \leftrightarrow \Delta L$ riguardante quel tale oggetto non valuto il materiale e il suo comportamento ma valuto solamente quel tale oggetto.

Esempio: camminata su parquet di un signore (peso 90kg) e di una signora (60 kg)
la sollecitazione della donna provoca pu' stress al materiale di quella dell'uomo.

- Consideriamo la sollecitazione

$$\sigma = \frac{F}{\text{Area portante}} = [\text{MPa}] = \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

1 MPa = 10^6 Pa

Definendo σ mi svincolo dalla geometria dell'oggetto

la sollecitazione e' detta stress.

Per quanto riguarda la risposta del materiale:

- definiamo la deformazione (strain)

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

ϵ e' adimensionale

Anche qui abbiamo normalizzato e ci siamo svincolati dalla geometria del materiale

legge di Hooke

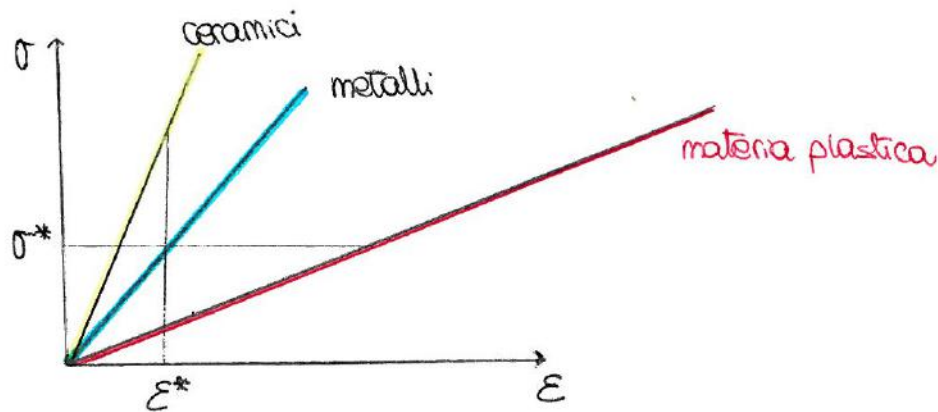
Vale solo in campo elastico. la ϵ di deformazione e' solo elastica e non plastica.

$$\sigma = E \epsilon$$

E = modulo di Young

la legge di Hooke viene rispettata dalla maggior parte dei materiali: tranne i materiali elastomerici o gomme.

Le gomme non rispettano la legge di Hooke, sono materiali a comportamento elastico non lineare



Il modulo di Young può essere calcolato sulla base di parametri atomici

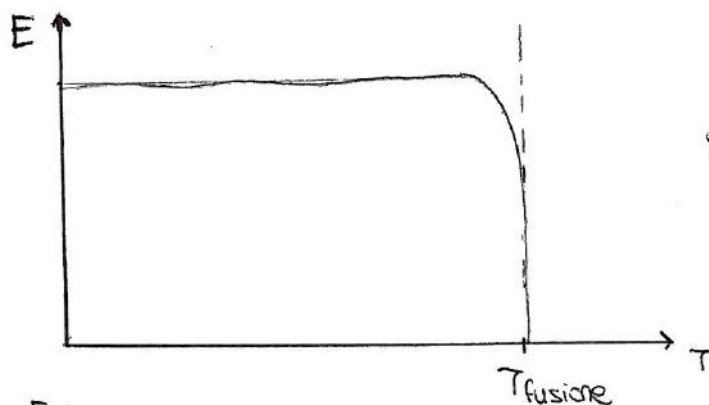
$$E = \frac{S}{a_0} \rightarrow \begin{array}{l} \text{rigidezza di legame (energia di legame)} \\ \text{distanza di legame} \end{array}$$

Per il diamante $E = 1000 \text{ GPa}$ valore enorme che è stato calcolato atomicamente e coincide perfettamente con E calcolato sperimentalmente

Abbiamo per le materie plastiche una dipendenza del modulo elastico della temperatura.

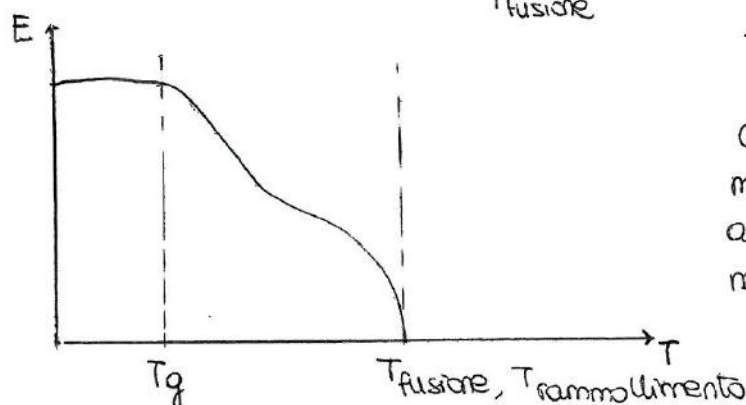
Per i metalli e i ceramici invece il modulo elastico rimane pressoché identico fino alla temperatura di fusione

♥ Temperatura di transizione vetrosa: se la temperatura è più bassa di questa temperatura limite, il modulo di Young del materiale plastico è il più alto possibile, gradualmente si abbassa con l'aumentare della temperatura



Metalli e ceramiche

Il modulo elastico crolla solo in prossimità della fusione



T_g = temperatura di transizione vetrosa

Generalmente T_g è una temperatura molto bassa e a temperatura ambiente le materie plastiche non hanno massimo modulo di Young

Una importante sollecitazione complessa è la FLESSIONE che può essere scomposta in trazione uniaassiale e compressione uniaassiale

de costanti elastiche

■ Per la compressione e trazione uniaassiale vale la legge di Hooke

$$\sigma = E \epsilon$$

■ la costante elastica descrive una trasformazione perpendicolare alla direzione di deformazione dello stress in esame

Così avviene sul piano x, y

Nel disegno diminuzione dell'area di base

Coefficiente di Poisson

$$\epsilon_x = \epsilon_y$$

(isotropo)

$$v = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon}$$

← deformazione trasversale lungo x o y
 ← deformazione di trazione o compressione

convenzione: per far sì che il coeff. di Poisson sia positivo

In trazione uniaassiale, ϵ è positivo mentre ϵ_x e ϵ_y sono negative e quindi v diventerebbe negativo. Cambiando di segno v è ritenuto positivo

Materiale isotropo: il materiale si deforma lungo l'asse x esattamente tanto quanto si deforma lungo l'asse y
 valore della proprietà è indipendente dalla direzione lungo la quale si misura la proprietà

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

Esempio: legno → lignina + fibre di legno (tipico materiale anisotropo)
 Il valore del modulo elastico sarà dato sia lungo il parallelo alle fibre che lungo la perpendicolare alle fibre

Il valore di coefficiente di Poisson massimo è 0,5 il minimo è 0,05

$$v = \boxed{0,5}$$

trazione uniaassiale → la riduzione di lunghezza dell'asse x e dell'asse y è metà dell'allungamento lungo l'asse z .
 complessivamente l'oggetto cambia geometria ma l'oggetto non cambia di volume

$$\Delta V = 0$$

PROVE MECCANICHE

Si classificano in tre grandi categorie:

- Statiche
- Dinamiche
- A fatica

■ Statiche: applicazione graduale, progressiva fino a rottura del provino

■ Dinamiche: si applica in modo istantaneo una sollecitazione, un impulso di energia, tale da indurre la rottura del provino al momento dell'impatto

■ A fatica: sollecitazioni variabili, ondulate, cicli ripetuti di sollecitazioni fino a che dopo un tot di cicli il provino non si spezza

Normative: EN UNI, EN ISO, ASTM ← normative per i materiali
le utilizzano American standards of testing materials

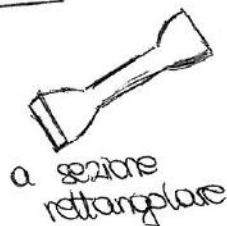
I materiali rispondono in modo non costante ma a seconda di come noi li stressiamo. Le prove sono quindi fondamentali.
Se ci forniscono dati meccanici ottenuti con prove non della normativa noi progettiamo su falsi dati compromettendo l'intero progetto

Prove statiche

- Prova a trazione
 - Prova a compressione
 - Prova a flessione
 - Prova di durezza
- } finiscono a rottura del materiale in studio
← ci si ferma prima della rottura

Si devono rompere decine, centinaia di provini e utilizzare metodi di calcolo statistico per ottenere valori medi significativi

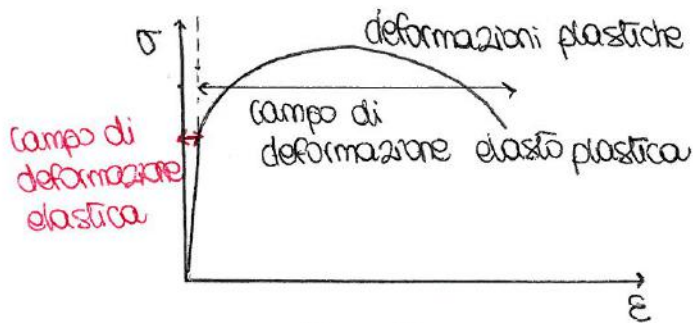
• Prova a trazione



Geometria a osso di cane: le sezioni più grandi vengono afferrate dalle macchine di prova.

Gli afferraggi delle macchine rovinano le sezioni più grandi ma non devono assolutamente romperle, per questo... le si fanno di sezione portante più grande capace di sopportare più stress

Per i metalli duttili



Le deformazioni plastiche sono di entità superiore rispetto alle deformazioni elastiche

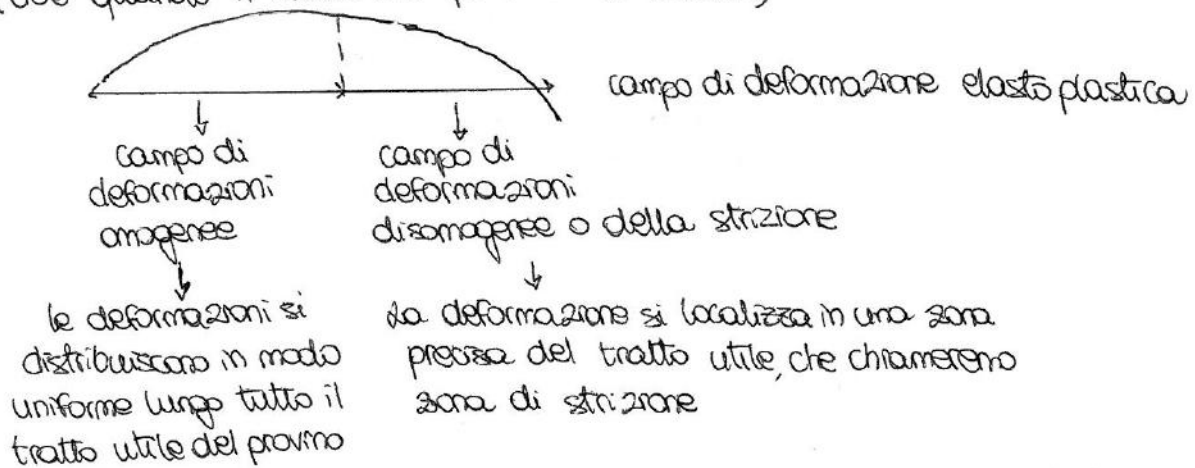
Questo comportamento accomuna quasi tutti i metalli

Nelle ghise abbiamo un contenuto di carbonio elevato dal 2,1% in su
Acciai \rightarrow fino al 2,1% di carbonio in peso (3,5% \div 4,5%)

Tanto più carbonio è presente, tanto più fragile o meno duttile è il materiale.

La ghisa ha molto carbonio e quindi ha un comportamento meno plastico degli altri metalli e si rompe facilmente.

Il campo di deformazione elastoplastica si chiama così perché la deformazione elastica rimane fino a quando non cessa la sollecitazione (cioè quando il materiale perviene a rottura)



Parametri meccanici ricavabili analizzando il campo di deformazione elastica:

1) inclinazione \rightarrow per ottenere il modulo di Young E

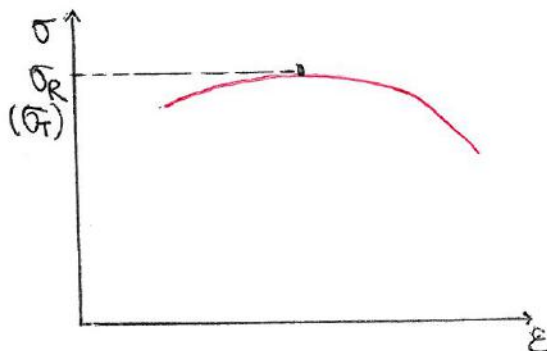
la misurazione del modulo di Young in realtà è ottenuta valutando la velocità di propagazione delle onde sonore all'interno del materiale

$$v \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}} \leftarrow \begin{array}{l} E \leftarrow \text{modulo di Young} \\ \rho \leftarrow \text{densità materiale} \end{array}$$

velocità di propagazione delle onde sonore

④ σ_R resistenza a rottura (a trazione): corrisponde con il massimo valore σ nel grafico (σ, ϵ)

Ni stiamo controllando la velocità di deformazione e quindi non permettiamo al materiale raggiunto σ_e di deformarsi e rompersi alla velocità che vorrebbe.



Parlando di σ_r bisogna specificare se e' a trazione o a compressione
Meglio qui chiamare σ_r , σ_t

$\sigma_e, \sigma_y, \sigma_{0.2}, \sigma_t \rightarrow$ descrivono la RESISTENZA

elastica globale

Per quanto riguarda la strizione: il materiale, dal momento che noi gli imponiamo una deformazione a velocità controllata, si deforma nel punto dove è più debole. La curva si inclina in quanto o diminuisce poiché vogliamo mantenere la deformazione a velocità costante.

⑤ strizione a rottura S_R

a_s = sezione minima della zona di strizione

$$S_p = \frac{a_0 - a_s}{a_s} \quad a_0 \text{ e' la sezione utile del provino}$$

⑥ ϵ_R deformazione plastica a rottura: la otteniamo quando il provino torna a riposo

Modulo elastico $E \rightarrow$ RIGIDEZZA
 σ_{el} σ_y $\sigma_{0.2\%}$ $\sigma_R \rightarrow$ RESISTENZA
 E_R , $S_R \rightarrow$ DUTTILITA'
 Area sottesa \rightarrow TENACITA'

CURVE INGEGNERISTICHE E CURVE REALI

se salgono i parametri di resistenza, diminuiscono i parametri di duttilità
 la tenacità è l'energia $\left[\frac{J}{m^3} \right]$ che deve essere fornita all'unità di volume
 del materiale per pervenire a rottura.

le curve che abbiamo definito sono dette curve ingegneristiche ottenute in
 modo controllato.

le curve ingegneristiche servono per confrontare i materiali direttamente.

Ogni materiale ha una sua curva ingegneristica.

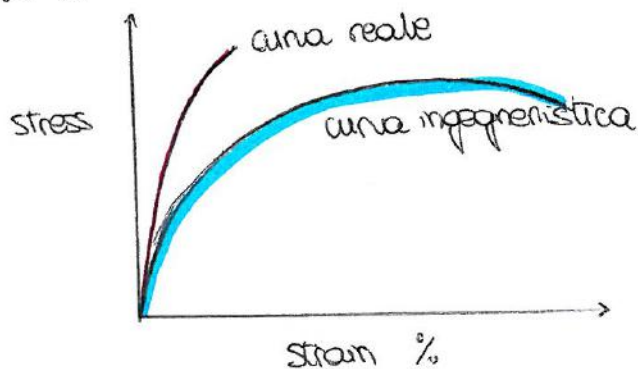
le curve ingegneristiche sono diverse dalle curve reali.

le curve reali si rompono quando raggiungono un massimo.

Il passaggio tra curva reale e curva ingegneristica non comprende
 alcun errore per la realizzazione del progetto.

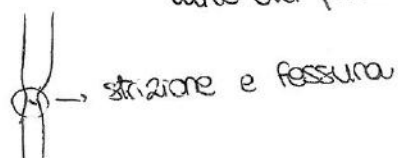
la curva ingegneristica viene usata per progettare, questa sottoestima la
 bontà del materiale, il che è un bene.

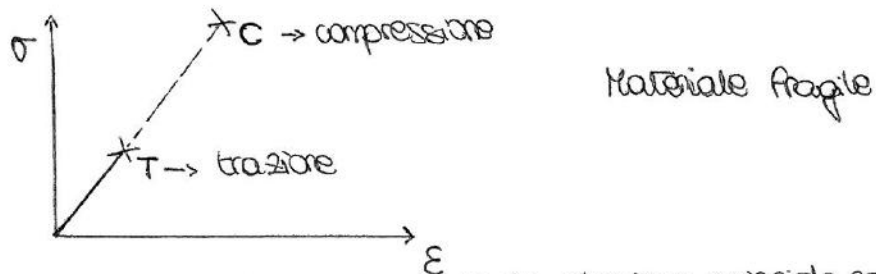
le curve reali non sono confrontabili tra un materiale e l'altro.



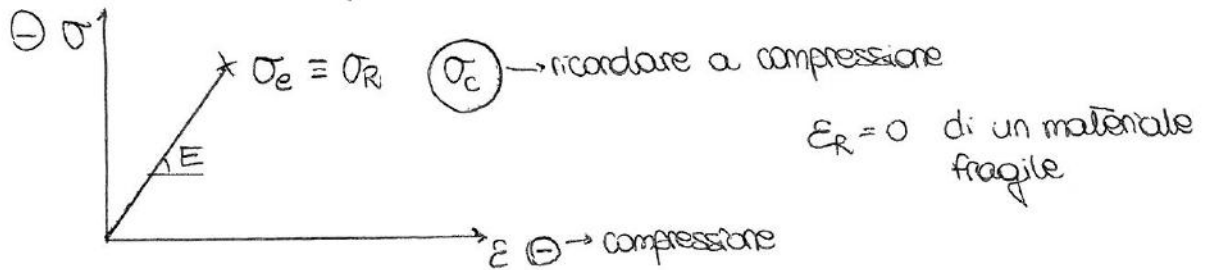
In VIRTUAL LAB: a seconda del materiale i provini hanno sezione utile più
 larga o più sottile

Estensimetro: solo nel tratto elastico della prova, serve per
 vedere l'allungamento puntuale del tratto
 utile del provino.





In un materiale fragile il limite elastico coincide con la resistenza a rottura



Possiamo solo misurare l'energia elastica che ci verrà restituita a rottura del materiale

La trazione e' una prova che si applica ai materiali duttili mentre la prova a compressione si applica ai materiali fragili

$\epsilon_1 = 0$ nella prova a compressione perché non abbiamo alcuna deformazione perché la rottura avviene in campo elastico

le ghise hanno $E_r = 0 \div 0,2$ cioè ha un comportamento tipicamente elastico fino a rottura.

PROVA DI FLESSIONE

Comprime una sollecitazione complessa. La prova a flessione viene utilizzata sia per materiali duttili che per materiali fragili.

Per qualificare le zone di giunzione, di saldatura tra metalli si sottopone il giunto di saldatura alla prova di flessione.

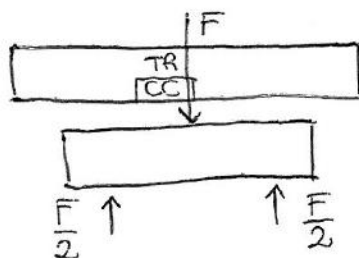
Le zone di giunzione sono zone deboli in quanto possono arrugginire e possono rompersi.

da prova a flessione e' piu' "cattiva" rispetto a quella a trazione e a quella a compressione.

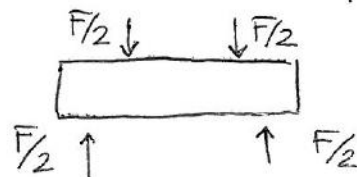
per un materiale fragile $\sigma_c > \sigma_f > \sigma_t$
 \downarrow compressione \downarrow trazione
 flessione

la prova a flessione consiste in compressione + trazione

■ Prova a flessione a tre punti



■ Prova a flessione a 4 punti



Di solito la prova a 4 punti ottiene risultati peggiori della prova a 3 punti perché aumenta il volume del provino soggetto a sollecitazione e quindi statisticamente è più facile a rottura.

Profili di trazione e compressione



la superficie superiore ha un massimo di compressione mentre la superficie inferiore ha un massimo di trazione

$|T_c| > |T_f| \rightarrow$ abbiamo compressione che eguaglia la trazione ma il provino non è scarico

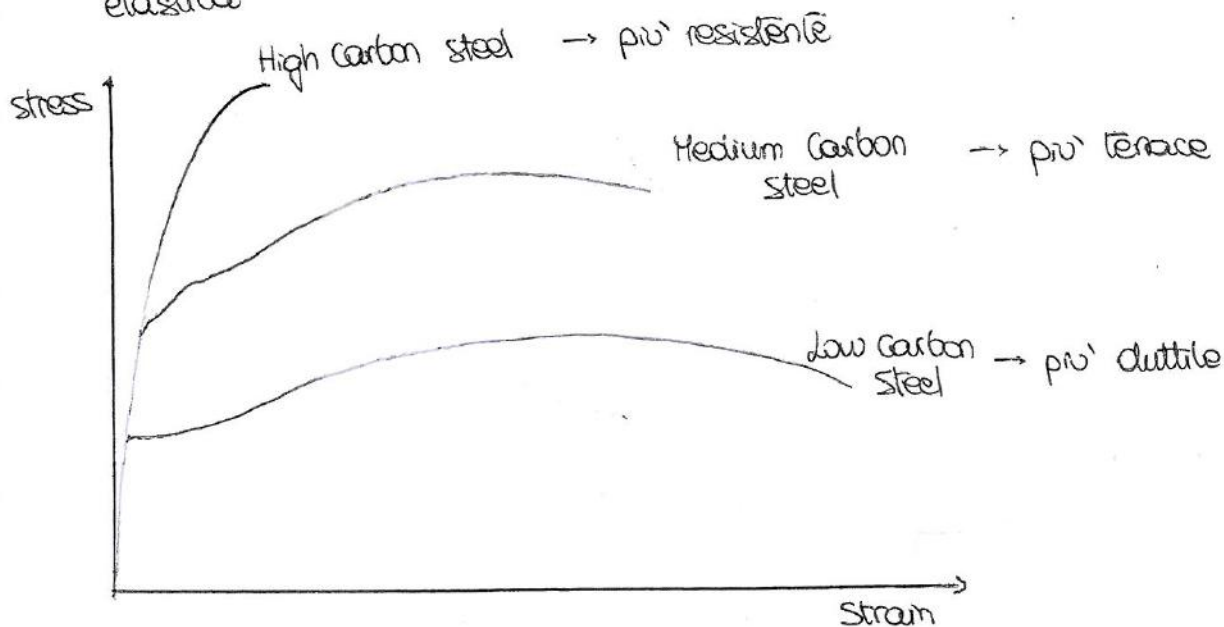
lo sclerometro è uno strumento che valuta la durezza. È dotato di un indentatore, si imposta il carico, si pone l'indentatore sul materiale e un sistema digitalizzato ci dà i valori di lettura. Può essere fatto in situ in quanto è veloce e non provoca danni.

TENACITA'

lavoro necessario per portare a rottura il materiale (lavoro di frattura). Questo lavoro quantifica la capacità del materiale di opporsi alla propagazione della frattura.

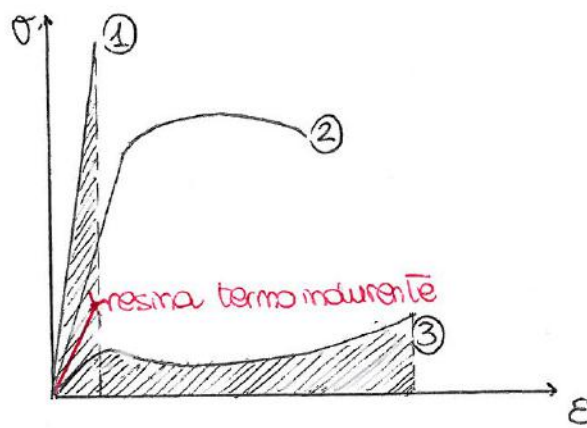
tenacità \neq resistenza

←
dipende sia dalla resistenza che dalla capacità di deformarsi plasticamente. La deformazione plastica consuma più energia della deformazione elastica.



Aumentando il carbonio nell'acciaio: crescono σ_e , σ_r , H ma diminuiscono le caratteristiche di duttilità ϵ_R , S_R .

la tenacità è una funzione della resistenza e della duttilità ma non è una resistenza o una duttilità.



- ① Ceramica $\sigma_R >$
- ② Metallo $\sigma > \leftarrow$ tenacità
- ③ Termoplastico $\epsilon_R >$

① e' molto resistente ma non si deforma

③ e' molto duttile ma poco resistente, e' un po' piu' tenace di ① ma molto meno di ②

Per quanto riguarda la tenacità:

Metalli \rightarrow termoplastici \rightarrow ceramici \rightarrow resina termoindurente

TEORIA DI GRIFFITH

- Per i ceramici:
- i valori di resistenza sono piu' bassi di quelli che ci aspetteremmo secondo la teoria
 - il comportamento, la resistenza e' diversa in trazione e compressione.

\nwarrow PERCHE'?

Griffith studio i materiali fragili.

In particolare studio il vetro di silice filabile. Faceva delle fibre di vetro che potevano essere sottoposte a trazione.

Le fibre appena filate sottoposte a trazione avevano una resistenza a rottura pari a quella che ci si poteva aspettare secondo i calcoli sull'energia di legame degli atomi.

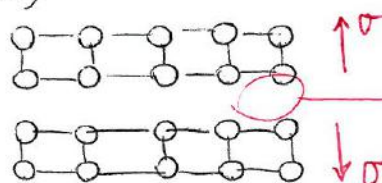
Le stesse fibre lasciate in laboratorio diminuivano progressivamente la loro resistenza fino ad arrivare al valore medio del vetro.

Invecchiando le fibre avevano sviluppato dei difetti superficiali a livelli microscopici (ma non atomici!). Piccoli danneggiamenti provocati da qualche urto o altro.

Le fessure, le cricche, i difetti microscopici che ha un materiale quando viene creato o messo in opera, fa' calare la resistenza teorica che il materiale avrebbe calcolando i legami.

Queste cricche e difetti creano dei vuoti (di natura millimetrica) che riducono la superficie di portanza e quindi meno resistenza.

Ora vediamo la situazione con gli atomi (ma la teoria di Griffith riguarda milioni di atomi non 5)



Qui non abbiamo legame quindi gli atomi non legati sono sottoposti a piu' stress

I materiali fragili consumano energia unicamente per spezzare i legami.

L'espressione di Griffith si riferisce solo ai materiali fragili perché si parla solo di γ che parla dell'energia spesa per spezzare ma non comprende l'energia per deformare.

Materiali duttili:
(Orowan-Irwin)

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2(\gamma + \gamma_p)E}{\pi a}}$$

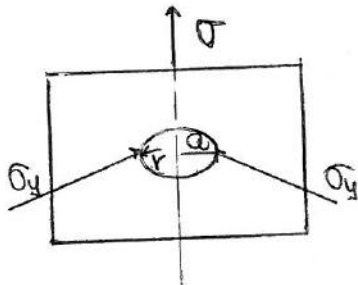
γ_p = energia spesa per deformare irreversibilmente il materiale

Tenacità:

- materiali fragili $G_c = 2\gamma$
- materiali duttili $G_c = 2(\gamma + \gamma_p)$

Esercizio

Valore di σ_y al vertice del difetto di raggio di curvatura $r = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$ e lunghezza $2a$ di $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ per una σ a trazione pari a 170 MPa



$$\sigma_y = \sigma \left[1 + 2 \left(\frac{a}{r} \right)^{1/2} \right]$$

$$\sigma_y = 170 \left[1 + 2 \left(\frac{1,25 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/2} \right] = \underline{257,4 \text{ MPa}}$$

legge generale

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{G_c E}{\pi a}}$$

Modi di propagazione di cricca

■ **MODO I**: A trazione semplice, e' il piu' semplice, due lembi vengono trattenuti e si separano



■ **MODO II**: taglio, i due lembi della cricca scorrono tra loro



■ **MODO III**: combinazione degli altri due, i due lembi si muovono come una forbice



Definiamo tenacità a frattura

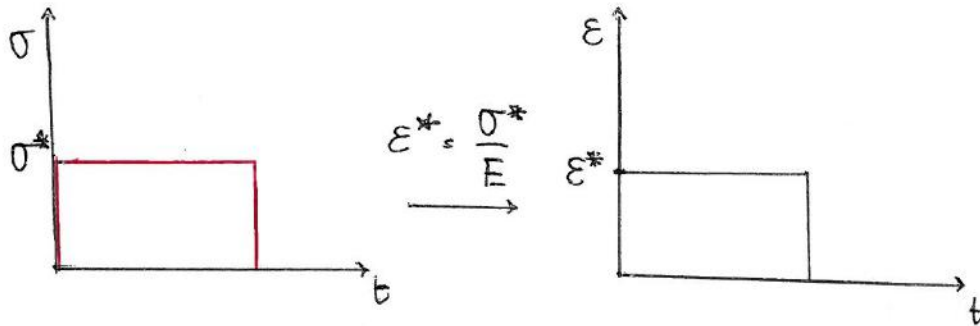
$$K_{IC} = \sqrt{E G_c}$$

$$K_{IC} = \underbrace{\sigma^*}_{\text{componente}} \cdot \underbrace{\sqrt{\pi a}}_{\text{materiale}} \cdot \sqrt{E G_c}$$

Lo scorrimento viscoso (a caldo): CREEP (vedi anche pag. 120)

I materiali metallici sono incombustibili ma possono subire lo scorrimento viscoso CREEP.

A temperatura ambiente metalli e ceramici si deformano indipendentemente dal tempo di corso.

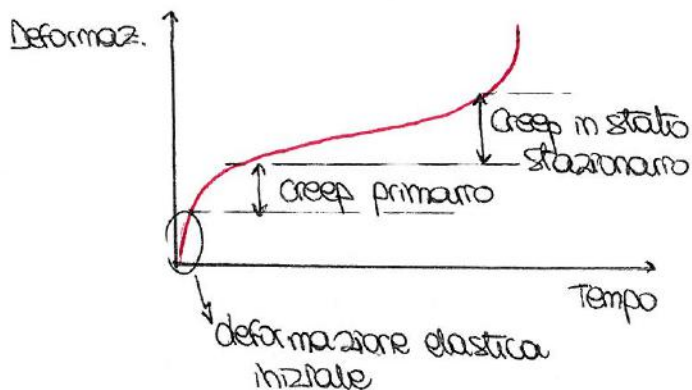


A temperatura elevata la deformazione non ha più il comportamento che ci aspettiamo

da $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ della temperatura di fusione

$0,35 \div 0,5 T_f$ per i METALLI (problema negli incendi)

$0,45 \div 0,7 T_f$ per i CERAMICI



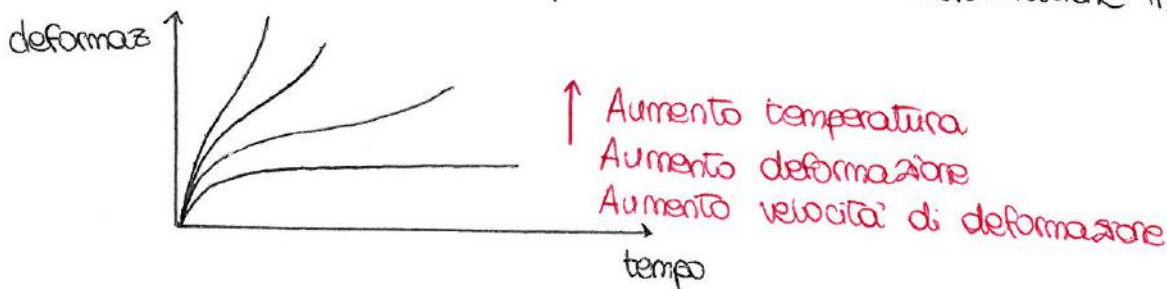
La deformazione continua a crescere fino a rottura di materiale.

Deformazione totalmente irreversibile

Creep in stato stazionario: deformazione a velocità costante

Il livello di stress applicato e l'aumento di temperatura determinano l'andamento del fenomeno di creep.

■ Tanto sforzo, alta temperatura \rightarrow molta deformazione in poco tempo



I LEGANTI

Definizione di legante: sostanze di natura inorganica, sotto forma di polveri fini di natura ceramica. Vengono sfruttati con impasto con acqua, hanno caratteristiche di plasticità che viene persa col tempo, si indurisce e sviluppa proprietà meccaniche e di collante.

Adesivi e collanti: sono invece di natura organica

d'acqua sarà un veicolo che rende plastico il nostro materiale ceramico ma sarà anche un reattivo che indurrà il materiale ceramico a sviluppare proprietà meccaniche

↓
a temperatura ambiente avvengono reazioni chimiche che provocano indurimento dell'impasto

leganti aerei: il legante sviluppa proprietà meccaniche solo se viene esposto continuamente all'aria

- Gesso
- Calce aerea

leganti idraulici: leganti che sono in grado di rapprendere e sviluppare proprietà meccaniche anche completamente e continuamente immersi nell'acqua. Durano anche nel tempo sott'acqua

- Calci idrauliche
- Cementi (ci sono moltissime varietà di cemento)

Passiamo da un impasto plastico ad una struttura monolitica.
Parleremo di presa e indurimento

rappresentano due fasi dello stesso processo chimico

1^a fase: presa → perdita di plasticità

2^a fase: indurimento → sviluppo di proprietà meccaniche

Dobbiamo mettere il legante in opera quando non ha ancora fatto presa.

PASTA: impasto tra polvere del legante e acqua, senza alcun materiale lapideo (aggregato inerte)

MALTA: impasto tra legante acqua e aggregato fine per lo più di origine o silicea o calcarea (SiO_2 / CaCO_3)

CALCESTRUZZO (CLS): impasto tra polvere di materiale inorganico, acqua e aggregati fini e grossolani

Il calcare biidrato ha una forma di cristalli aciculari (come dei bastoncini) che si intersecano tra loro durante la crescita sviluppando grandi proprietà meccaniche. Questi cristalli sono delle dimensioni di alcune decine di micron. Ha proprietà meccaniche atte a resistere alcune decine di MPa per ogni cristallo.

Per il gesso aggiungiamo più acqua (anche in maniera rilevante) di quantità necessaria stechiometricamente per ottenere il legante.

Quanto tempo passa dal momento in cui si ha la presa della pasta? Il tempo di presa è molto breve: a seconda della natura del materiale.

Il tempo di presa dipende dalla:

- temperatura
- la dimensione dell'interfaccia → cioè controllo la granulometria tanto più la polvere è fine tanto più velocemente farà presa

SCAGLIOLA + ACQUA → GESSO

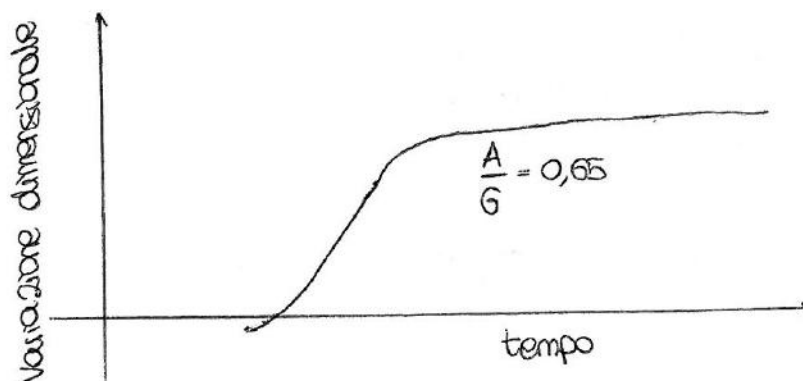
- la reazione è espansiva → il volume del prodotto è maggiore del volume dei due reagenti

Per tutti gli altri materiali inorganici leganti invece si avrà contrazione.

È grazie all'essere espansivo che si può utilizzare senza aggregati, possiamo mettere in esercizio solo l'impasto scagliola acqua.

Viene utilizzato per fissaggio di tasselli oppure per riempire fori.

- la reazione è fortemente esotermica → sviluppa una grande quantità di calore.



Rapporto Acqua / legante

$$\frac{A}{G} = \frac{\text{Acqua}}{\text{Gesso}}$$

Con l'esotermia abbiamo quindi un'alta temperatura dell'impasto che tende a far evaporare l'acqua, ecco perché ne mettiamo di più