



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 881

DATA: 12/03/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Golisano

MATERIA: Scienza e Tecnologia dei Materiali

Prof. Spriano

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.**

4-3-2012

Lezione 1

La scienza dei materiali

Le proprietà dei materiali sono strettamente legate alla struttura atomica, cioè alla modalità con cui gli atomi e le molecole che costituiscono i materiali si dispongono nello spazio.

La scienza dei materiali si occupa proprio dell'analisi di questo fatto: studia cioè le relazioni esistenti tra:



dei materiali.

Le **proprietà** sono il modo in cui il materiale risponde all'ambiente in cui si trova e alle sollecitazioni. Le principali proprietà da noi analizzate sono: **meccaniche**, tra cui: - deformazione elastica (recupera delle proprietà di partenza una volta eliminato il carico) **REVERSIBILE**
- deformazione plastica (non torna più alle condizioni di partenza una volta eliminato il carico) **IRREVERSIBILE**;

- **termiche**: trasmissione del calore, dilatazione termica e capacità termica;
- **elettliche e magnetiche**: risposta a campi elettromagnetici;
- **ottiche**: assorbimento, trasmissione e diffusione del calore;
- **chimiche**: reazione con l'ambiente e resistenza a corrosione.

La classificazione dei materiali

Essa avviene secondo tre modalità:

- **tipo di legame chimico**;
- **struttura**, cioè la conformazione atomica, la quale può essere cristallina (ordinata) o amorfa (disordinata);
- **applicazioni**, strutturali (sostengono carichi) o funzionali (ogni altra applicazione);

I legami chimici

Tipologie: - legame metallico → **metalli**

- legame ionico (Me + O) → **ossidi, ceramici, vetri**

- legame covalente (metalli + C, N; diamante) → **ceramici (carburi, nitruri)**

- Van der Waals (C + H + (Cl, F, O...)) → **polimerici**

Materiali ceramici

I solidi caratterizzati da legami covalenti o legami ioni sono detti materiali ceramici. Essi, in base alla tipologia di legame, presentano:

- elevata inerzia chimica
- " rigidità
- " durezza (resistenza all'incisione)
- " T° di fusione
- " resistenza (termica ed elettrica), a causa della localizzazione degli elettroni.

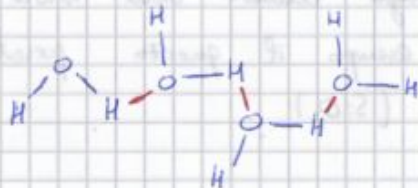
I materiali ceramici vengono impiegati:

- uso domestico: latrine, piastrelle, sanitari, ceramica...
- applicaz. industriali: porcellane tecniche e refrattari.
- utensili da taglio: punte diamantate.

Legami secondari

Esistono legami piuttosto deboli che però warranto menzione in quanto spiegano alcune proprietà apparentemente "strane" di alcune sostanze. Queste tipologie di legame sono:

- legame ad idrogeno:



legame fisico che non coinvolge trasferimento di elettroni

- forze di Van der Waals: che si instaurano tra le cariche opposte di dipoli permanenti.

Materiali polimerici

Sono sostanze molecolari, costituite da lunghe catene di atomi di C e H, legate tra loro da legami deboli quali forze di Van der Waals o ponti a idrogeno. Gli elementi che costituiscono la catena sono legati con legami covalenti, ma le proprietà di questi dipendono principalmente dai legami secondari.

Essi sono composti organici macromolecolari, naturali o sintetici, con bassa densità (sia perché costituiti di atomi leggeri sia perché essi dispongono gli uni molto lontani dagli altri), lavorabili meccanicamente (cioè per stampaggio), Non conducono né il calore né l'elettricità ed hanno basse resistenze termiche e meccaniche.

5-7-2013

Lezione 2

Struttura dei materiali

A seconda della disposizione spaziale degli atomi, la struttura dei materiali può essere di tre tipi: 1) **cristallina**, cioè ordinata (ceramici, metalli);

2) **amorfa**, cioè disordinata (vetri, polimeri amorfi);

3) **semicristallina**, cioè con una struttura in cui vi sono zone ordinate e zone disordinate (vetroceramici).

Struttura cristallina

Nei materiali cristallini gli elementi costituenti, che sono atomi per i metalli, molecole per i polimeri e ioni per i ceramici, sono sistemati ordinatamente in posizioni geometriche ben definite. In tali disposizioni è possibile individuare una **cella elementare** che si ripete molte volte nello spazio, sempre uguale.

Due materiali diversi, entrambi cristallini, possono avere la stessa configurazione della cella elementare, tuttavia le dimensioni geometriche di queste sono necessariamente diverse, questo perché gli elementi costituenti sono diversi da materiale a materiale, pertanto essi esercitano, in maniera reciproca, forze diverse tal da farli avvicinare ad una **distanza di equilibrio** (o di legame), che in generale è diversa da sostanza a sostanza.

I parametri che descrivono la cella unitaria sono: - a, b, c (vettori);

- α, β, γ (angoli di cella).

I valori di a, b, c in generale non sono univoci, ma cambiano al variare della **temperatura** e dell'**applicazione di carichi**. Alla temperatura dello 0 K gli atomi non ferono sulle posizioni di equilibrio, ossia ai vertici del cubo; con l'aumentare della temperatura essi oscillano attorno alla loro posizione di equilibrio provocando effetti macroscopici quali la **dilatazione termica** e la **fusione**.

Per studiare le strutture cristalline è utile considerare gli atomi come sfere rigide, impenetrabili di raggio ben definito, in questo modo la distanza minima fra due atomi è pari al diametro.

I metodi di rappresentazione della cella unitaria sono sostanzialmente 2:

uno che consente una migliore comprensione della struttura, ma non rispetta i rapporti pieni-vuoti, l'altro che rappresenta meglio lo stato reale, ma rende difficile la comprensione concettuale.

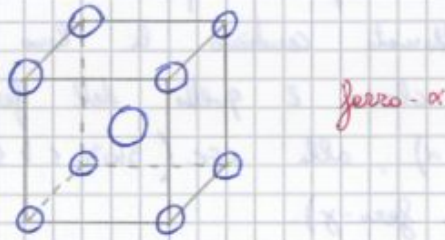
Gli elementi caratteristici del reticolo cristallino sono:

Le strutture che andremo ora ad esaminare sono quelle che presentano i più alti valori di impacchettamento sferico.

Tali strutture sono 3: - CFC (cubica a facce centrate);
 - CCC (cubica a corpo centrato);
 - ESC (esagonale compatta).

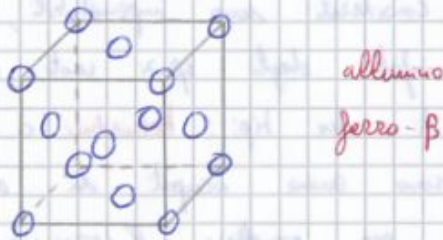
Struttura CCC

Si tratta di una cella unitaria cubica nella quale vi è un atomo centrale, mentre gli altri sono disposti sui vertici del cubo. Tale struttura è quella assunta dal ferro ad α di sotto 910°C (detto ferro- α).



Struttura CFC

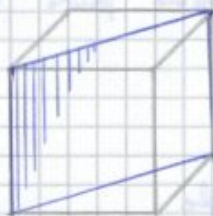
Si tratta di una cella unitaria cubica in cui gli atomi sono disposti sui vertici del cubo e al centro di ciascuna faccia di esso (tipica dell'alluminio e del ferro- β , tra i 910° e i 1332°C).



Per descrivere meglio queste due strutture si usano due parametri:

- densità lineare, data dal rapporto tra il numero di diametri atomici intersecati dalla linea considerata e la lunghezza della linea stessa;
- densità planare, data dal rapporto tra l'area occupata dagli atomi i cui centri sono tagliati dall'area in esame e l'area selezionata.

Per quanto riguarda il reticolo CCC la linea con la maggiore densità lineare coincide con la diagonale principale del cubo, mentre il piano con la maggiore densità planare è quello:



Nel reticolo CCC ci sono **molte lacune**, ottaedriche e tetraedriche, ma tutte di **piccole dimensioni**. Questo tipo di reticolo, dunque, non si presta bene alla costituzione di leghe in quanto non è facile trovare atomi sufficientemente piccoli da occupare questo tipo di interstizi.

Nel reticolo FCC, invece, ci sono **pochissime lacune**, ma di queste poche lacune quelle ottaedriche sono grandi a sufficienza da ospitare atomi di elementi diversi.

Struttura amorfa

Vengono definite amorse tutte quelle sostanze in cui molecole/ atomi/ ioni **non presentano la struttura ordinata e periodica** tipica dei cristalli. In questo caso gli atomi e le molecole sono disposti in maniera casuale nello spazio, questo perché il materiale si è solidificato così velocemente da non dare il tempo alle molecole e agli atomi di disporsi in una condizione termodinamicamente ordinata.

Un tipico esempio di materiale amorfo è il **vetro** e tutti quei liquidi ad **altissima viscosità**.

Solidi semicristallini

Vi sono poi alcune sostanze, come i **solidi molecolari**, che presentano una struttura intermedia, ossia tale per cui in alcune zone riesce ad individuare una disposizione geometrica regolare e altre zone completamente amorse in cui ciò non è possibile.

In questo caso l'elemento costituente è rappresentato da molecole di pochi atomi o macromolecole: quest'ultime sono i **polimeri** in cui le forze intermolecolari sono molto più deboli di quelle intramolecolari, e pertanto presentano basse proprietà meccaniche.

Inoltre i parametri reticolari (come il lato della cella) sono alti, il che determina una **bassa densità**.

- **impurezze cliniche**, determinate, ad esempio, da un diverso numero di anioni e cationi, che muovendosi in modo tale da compensare la carica complessiva, lasciano dietro di sé degli spazi vuoti.
- **vibrazioni atomiche**, infatti, quando le temperature sono molto alte, gli atomi vibrano così forte da uscire dal reticolo. Quanto vol due che **più è alta la temperatura, più è elevato il numero delle vacante**.

Difetti interstiziali e sostituzionali

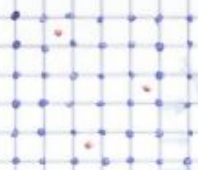
I composti solidi, ossia quei materiali allo stato solido costituiti da elementi diversi più comunemente vengono detti **soluzioni solide**. Esse sono costituite da:

- **solvente**, componente presente in maggiore quantità;
- **soluto**, " " " " concentrazione minore.

Si dice, quindi, che si forma una **soluzione solida** quando, per aggiunta di atomi del soluto nel materiale ospite:

- viene mantenuta la struttura cristallina del solvente;
- la composizione è **omogenea**, ossia gli atomi "responsabili" delle impurezze sono disposti in maniera uniforme nel reticolo, senza accumuli o "grumi".

La condizione ideale per la realizzazione di **soluzioni solide** sta nell'atomo responsabile del difetto: più questi presenta valori di elettronegatività e dimensioni simili a quelli del solvente, più il composto ha la possibilità di essere omogeneo ed essere considerato come una soluzione solida. L'esempio più classico di questo sono le **leghe metalliche**.



se $\bullet = \bullet$ \Rightarrow processo auto-interstiziale

se $\bullet \neq \bullet$ \Rightarrow " " etero-interstiziale

Per leghe metalliche gli atomi etero-interstiziali H, C, N, C
" ossidi " elementi etero-interstiziali sono
ioni metallici di piccole dimensioni

Come è facile prevedere, ogni materiale presenta un suo **valore massimo di stress interstiziale sopportabile**, questo si traduce col dire che vi è un **limite di solubilità** dell'atomo interstiziale in ciascun reticolo.

Tale valore, in generale, varia con la temperatura: solitamente **più la temperatura è alta più la solubilità è elevata**.

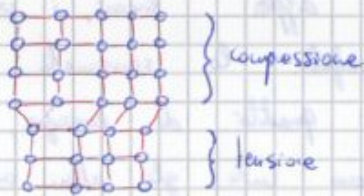
metallo base.

Difetti lineari

Per indicare un difetto lineare si parla di **dislocazioni**, ossia imperfezioni reticolari che si estendono lungo una direzione. Se osservate al microscopio, esse si presentano come linee nere di forma irregolare.

Tali dislocazioni si formano durante la **solidificazione** o durante la **deformazione plastica** e, in generale, sono presenti in un numero molto elevato.

Un esempio di dislocazione è la **dislocazione a spigolo**, imperfezione che consiste nell'avere un piano cristallino in più o in meno rispetto al reticolo perfetto.

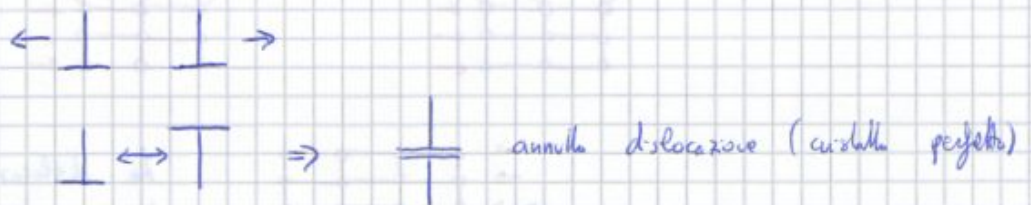


Per poter descrivere tale dislocazione si usano due elementi:

- **linea di dislocazione**, cioè la direzione lungo la quale si "infilza" il piano in più o quello mancante
- **vettore di Burgers**, il quale identifica l'ampiezza, la direzione e il verso dello spostamento degli atomi attorno alla dislocazione. (vedi metodo della circuitazione di Burgers su slide).

Logicamente l'effetto che un'imperfezione di questo tipo determina è analogo a quello detto prima circa i difetti puntuali, in questo caso, però, il numero di "atomi in più" è molto maggiore, pertanto maggiore sarà lo stress causato.

Dislocazioni dello stesso verso si respingono, mentre con verso opposto si annullano:



Dislocazioni e piani

Lo scorrimento è più facile sui piani e nella direzione ad elevata densità atomica, che vengono perlopiù definiti sistemi di scorrimento.

Di conseguenza se il vettore di Burgers e la linea di dislocazione includono il piano a maggiore densità, allora la dislocazione si muove più facilmente. Il motivo di ciò è sempre legato ad un discorso energetico: lungo i piani a bassa impaccamento lo spostamento di un passo atomico è più lungo e, di conseguenza, richiede maggiore energia.



passo lungo \Rightarrow + energia



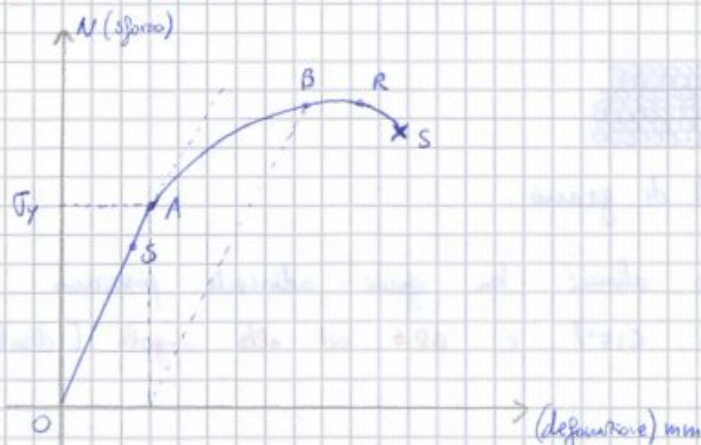
passo corto \Rightarrow - energia

Durante il loro movimento le dislocazioni generano nuove dislocazioni, generando quella che viene più comunemente detta selva di dislocazioni e che spiega perché i metalli si incrudiscono.

Se prendiamo un campione metallico e gli applichiamo una certa forza vediamo che questo si deforma in maniera elastica; aumentando la forza fornisco l'energia necessaria a muovere le dislocazioni lungo i piani preferenziali (passando alla def. plastica). Se però poi continuo ad applicare la stessa forza scopro che il materiale non si deforma più plasticamente, questo perché i moti dislocativi di piano hanno originato nuove dislocazioni che si bloccano le une con le altre. In questo caso devo applicare dall'esterno una forza maggiore, necessaria per vincere la repulsione fra le due o più dislocazioni vicine.

Detto ciò possiamo affermare che il carico di snervamento è tanto più elevato quanto più alta è la densità di dislocazioni.

Diagramma sforzo - deformazione



Tutto 0-A: deformazione elastica. Il materiale, una volta eliminata il carico, torna nelle condizioni di partenza. Quindi perché lo sforzo non ha determinato la rottura di legame ma solo un loro modesto allungamento necessario

↑ **BGG** sono regioni con una dimensione dell'ordine di 2-5 diametri atomici, dove non esiste ordine cristallino e due grani adiacenti si adattano l'un l'altro. È impo. considerare queste regioni come delle superfici che avvolgono il grano, il quale è un'entità 3D.

I bordi di grano sono zone ad elevato contenuto energetico, tanto più alto quanto più elevato è l'angolo di dislocazione, in cui si ha la **maggior reattività chimica** ed influenza le proprietà elettriche dello stesso.

Inoltre, dalla presenza dei bordi di grano dipende la **trasparenza del materiale**: i materiali trasparenti non hanno bordi di grano, quindi o presentano una struttura priva di cristalli (amorfa) oppure sono monocristallini.

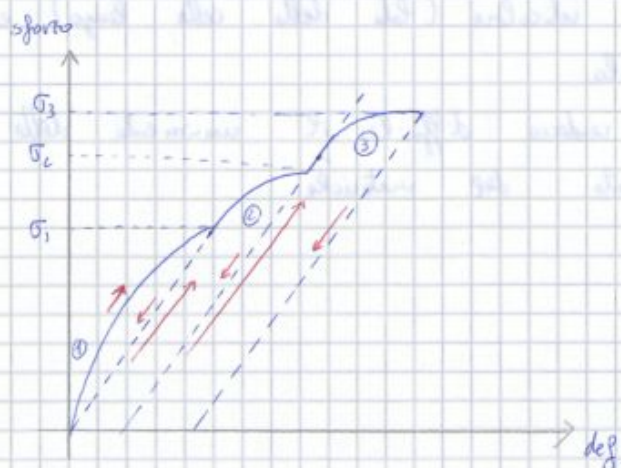
Difetti di Volume

Si hanno quando si aggiungono elementi in lega oltre il limite di solubilità, formando all'interno del metallo una seconda fase (grano o grano) che determina stessi intorni.

Metodi di rafforzamento dei metalli

Le tecniche adottate per "creare" difetti all'interno dei materiali, ottenendo nuove proprietà termo-meccaniche sono:

- 1) **Incrudimento**: si applicano sul materiale delle tensioni esterne ad intervalli, le forze che si applicano sono, di volta in volta, variabili, in quanto il valore dello sforzo di snervamento aumenta ogni volta che si effettua un nuovo ciclo. Questo processo consiste di aumentare il carico di snervamento, in quanto, all'interno del metallo, vengono a originarsi nuove dislocazioni:



12-3-2013

10

Lezione 4

Diagrammi di stato

Prima di addentrarci nello specifico nel campo dei diagrammi di stato, diamo alcune definizioni che verranno utili per i discorsi fatti in seguito:

- **lega**: materiale metallico ottenuto tramite combinazione chimica di diversi elementi;
- **solvente**: elemento o composto presente in maggiore quantità;
- **soluto**: " " " " " " minore quantità;
- **soluzione solida**: tipologia di lega ottenuta mediante l'aggiunta di atomi del soluto nel materiale ospite, in modo tale da preservare la struttura cristallina e garantire l'omogeneità composizionale e strutturale;
- **sistema**: insieme di leghe possibili di uno o più componenti.
- **fase**: porzione omogenea di un sistema chimico-fisico eterogeneo, identificabile in base al suo stato di aggregazione e alla sua struttura interna.

Ogni singola fase, in ogni sua parte, ha lo stesso comportamento e soggetto a sollecitazioni fisiche e chimiche.

Una stessa fase può essere costituita anche da più di un elemento chimico, inoltre uno stesso elemento o composto può entrare come fasi diverse, se posto a temperature diverse.

Vediamo ora cosa sono i diagrammi di stato: i **diagrammi di stato** sono dei grafici nei quali vengono descritte quante e quali fasi di un sistema sono presenti al variare dei parametri (P e T) del sistema stesso. Essi sono validi se ci si trova in condizioni di **equilibrio termodinamico** (minimo valore di energia libera di Gibbs). Si possono costruire sperimentalmente o tramite calcolo e ci consentono di determinare le fasi presenti al variare dei valori di P, T e composizione di sistema.

Inoltre da questi siamo in grado di calcolare le quantità relative delle fasi presenti in equilibrio, determinare la solubilità massima di un elemento dentro l'altro, conoscere la temperatura di fusione delle varie fasi e det. la temperatura a cui avvengono le trasformazioni di fase.

Diagrammi di stato binari

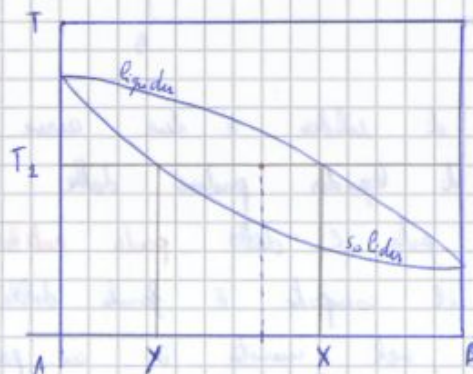
Sono diagrammi in cui viene considerato un sistema binario A-B, in cui A e B sono due elementi diversi. Essi sono tracciati a P-cost (non impo x materiali solidi), riportando sulle ascisse la **composizione percentuale** e sulle ordinate la **Temperatura**.

1. Alla temperatura T_1 il composto è tutto liquido
2. Alla temperatura T_2 il composto comincia a solidificare, formando una fase solida α in cui sono contenuti entrambi gli elementi A e B (la composizione della fase α e della fase L si ottengono con la **regola dell'orizzontale**). A differenza dell'elemento puro, la solidificazione non avviene ad una unica temperatura, ma in un intervallo di temperature.
3. Alla temperatura T_3 i cristalli solidi si ingrandiscono a discapito della fase liquida (la percentuale in peso delle due fasi si calcola con la **legge della leva**).
4. Alla temperatura T_4 la fase liquida è quasi del tutto nulla.
5. Alla temperatura T_5 il composto è tutto solido e forma una soluzione solida in cui i due elementi A e B non sono più distinguibili (aggiunto la % di comp.).

Regola dell'orizzontale

Consente di trovare la composizione delle due fasi in equilibrio all'interno di una zona bifasica. Tali valori si leggono sull'ascissa del diagramma.

Per calcolarli si traccia l'isoterma e vengono individuati i punti, una sulla curva di liquidi una sulla curva di solidi, da questi si fanno partire due verticali, individuando i punti sull'asse delle ascisse x e y : x rappresenta la **composizione del liquido**, y quella del **solido**.



x : fase liquida - 40% A
- 50% B

y : fase solida - 70% A
- 30% B

Come si vede ad una stessa temperatura corrispondono composti in diverse percentuali con la stessa composizione in fase.

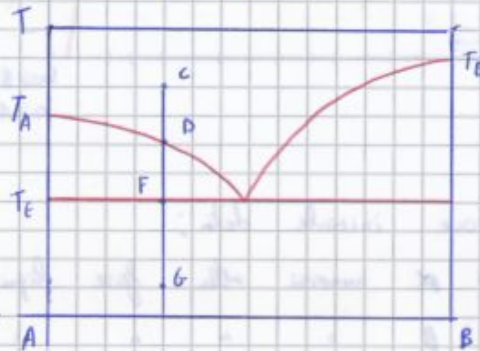
legge della leva

Consente di calcolare le percentuali in peso delle fasi in una certa zona bifasica. Tale legge dice che la percentuale in peso di una certa fase è pari al rapporto tra il braccio di leva opposto al punto rappresentativo di tale fase e la lunghezza totale della leva.

temperatura di fusione degli elementi che lo costituiscono.

Se la composizione percentuale è diversa da quella che corrisponde alla composizione eutettica, il solido che si viene a creare non presenta più una struttura lamellare, ma hanno invece una struttura mista tra lamellare e granulare.

Prediamo ad esempio una lega **ipoeutettica**:



Nel tratto CO il composto è tutto liquido, ma quando viene raggiunta la temperatura T_0 si iniziano a formare dei cristalli di A che diventano più grossi via via che la temperatura scende. Nel tratto DF, quindi, la lega è costituita da una fase liquida in cui sono immersi dei cristalli di A. Passata la temperatura T_E la fase liquida solidifica in una struttura lamellare, in cui vengono intrappolati i cristalli di A.

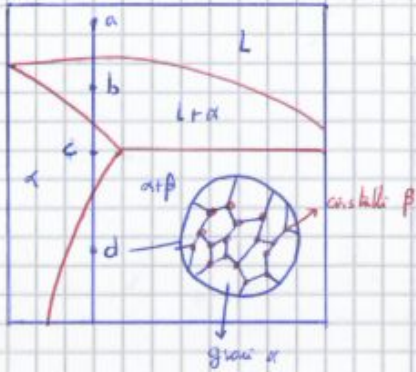
Il procedimento è analogo se la retta della trasformazione interseca la linea di liquidus di B, con l'unica differenza che i cristalli che si creano saranno di B e non di A.

Diagrammi di stato a miscibilità parziale allo stato solido: eutettici

In questo caso gli elementi considerati presentano un **limite di solubilità**, cioè oltre un certa composizione percentuale i due elementi risultano immiscibili gli uni negli altri. L'esempio più classico è quello del composto acqua e zucchero: all'inizio lo zucchero si scioglie completamente in acqua formando una soluzione liquida in cui i due elementi sono indistinguibili, ma se continuiamo ad aggiungere zucchero raggiungeremo un valore tale per cui lo zucchero che è presente in più resterà solido all'interno della soluzione.

Il diagramma di legge di questo tipo è fatto così:

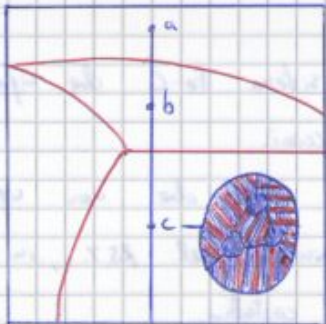
- lega bifasica (non eutetica)



Zone a, b, c (vedi prima)

zona d: all'interno dei grani di α che si sono venuti a creare si formano dei piccoli cristalli di β , formati da tutti quegli atomi in più di B che non hanno trovato posto nel reticolo cristallino: abbiamo dunque superato il limite di solubilità.

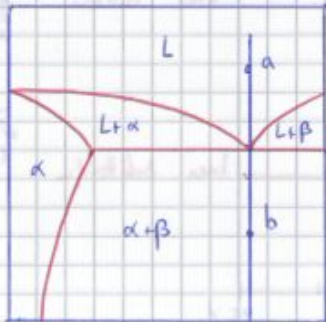
- lega ipoeutetica



Zone a, b: vedi prima

zona c: struttura a lamelle di α e β alternate con all'interno grani di α derivanti dalla cristallizzazione primaria

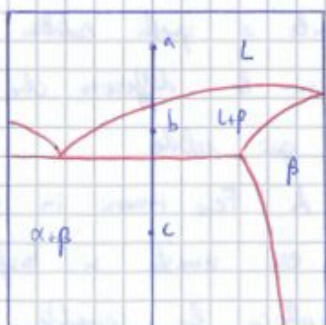
- lega eutetica



zona a: vedi sopra

zona b: struttura lamellare di α e β alternati senza grani derivanti da cristallizzazione primaria

- lega ipereutetica



Tutte come lega ipoeutetica, con α e β che si scambiano di ruolo

Lezione 5

Proprietà meccaniche

Le principali proprietà meccaniche dei materiali che andremo ad osservare sono:

- **elasticità**: il materiale, dopo essere deformato, riacquista le proprietà iniziali;
- **plasticità**: " " " " " " , non riacquista più le proprietà iniziali;
- **fragilità**: tendenza di un materiale a rompersi in maniera improvvisa senza deformarsi plasticamente;
- **usura**: tendenza di un materiale a consumarsi;
- **durezza**: capacità di un materiale di incidere un altro materiale;
- **fatica**: tendenza di un materiale a rompersi dopo essere stato sottoposto ad un numero elevato di vibrazioni anche piccole.

Le sollecitazioni a cui sono sottoposti i materiali possono essere classificate in:

- **sollec. indipendenti dal tempo** (statiche o quasi statiche): ad esempio la prova a trazione, dato perché il tempo di risposta del materiale non è paragonabile alla durata della prova;
- **sollec. dipendenti dal tempo** (dinamiche): prova d'urto, tempi paragonabili;
- **sollec. dip. dalla temperatura**.

L'applicazione di una forza ad un struttura determina uno stato di sollecitazione e crea una deformazione. Si definisce sforzo o tensione σ il rapporto tra la forza F e la superficie A .

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [Pa] = \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Esistono 3 stati di sollecitazione: **trazione**, **compressione** e **torsione** (che origina il taglio)

La **deformazione** ϵ da trazione o compressione si calcola come

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

l_0 = lunghezza iniziale

l = " finale

Δl = allungamento / accorciamento

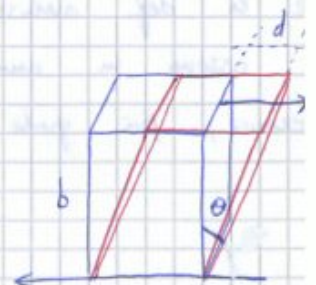
La **deformazione** γ da sforzo di taglio si calcola come

$$\gamma = \frac{d}{b} = \tan \theta$$

d = allungamento

b = altezza

θ = angolo di taglio



18-03-2013

15

.. Continua su coefficiente di Poisson

Come detto il coefficiente di Poisson può raggiungere un valore massimo pari a 0,5. In natura non esistono materiali con un valore di $\nu = 0,5$, solo alcune gomme hanno valori prossimi allo 0,5: questo vuol dire che si stringono molto in trazione e si dilatano molto in compressione. I metalli hanno valori $\nu \approx 0,3$, vuol dire che si stringono un po' in trazione e si dilatano poco in compressione.

Il sughero, invece, ha $\nu = 0$, questo vuol dire che sottoposto ad una sforzo di trazione non si stringe e se sottoposto a compressione non si dilata.

Esistono poi materiali (spugne polimeriche auxetiche) che invece che ridurre la loro sezione in caso di trazione, la aumentano, e peraltro hanno un valore di $\nu < 0$.

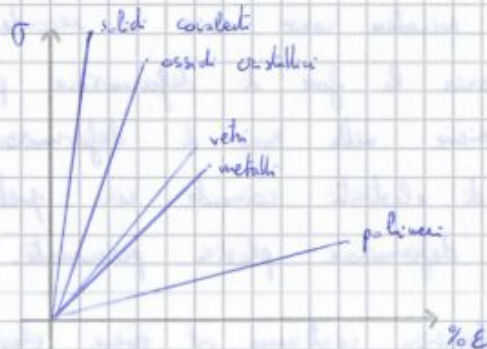
Modulo di Young E

Il modulo di Young è un valore caratteristico del materiale che non dipende dalla geometria del provino. I fattori da cui dipende E sono molti:

- 1) **energia dei legami**: E tanto più elevato quanto più forti sono i legami chimici;
- 2) **struttura del materiale**: E è più basso per i materiali amorfi e cresce via via che il reticolo si fa più ordinato;
- 3) **temperatura di fusione**: E tanto più elevato quanto più alta è la T° di fusione (in linea con l'energia di legame).

$E(\text{acciaio}) = 210 \text{ GPa}$

NON DIP. NE' DALLA
PRESENZA NE' DAL TIPO
DELLE DISLOCAZIONI !!!



E coincide con la pendenza della curva (ricordarsi che modulo di Young elevato vuol dire deformazione bassa)

Per comprendere il comportamento elastico siliziumo i legami tra gli atomi con delle molle. In assenza di forze esterne gli atomi si trovano ad una certa distanza di equilibrio r_0 , che corrisponde all'equilibrio tra le forze repulsive e le forze attrattive (vedi diagramma Coulomb-Horse). Applicando una forza F esterna gli atomi si allontanano di un valore Δr tale per cui la forza esterna F è controbilanciata dall'aumento ΔF della forza di attrazione tra gli atomi. A livello macroscopico questo si traduce in un allungamento del materiale di un valore ΔL .

Ritorna la forza gli atomi riescono a tornare nella loro posizione di equilibrio sotto l'azione delle forze interatomiche.

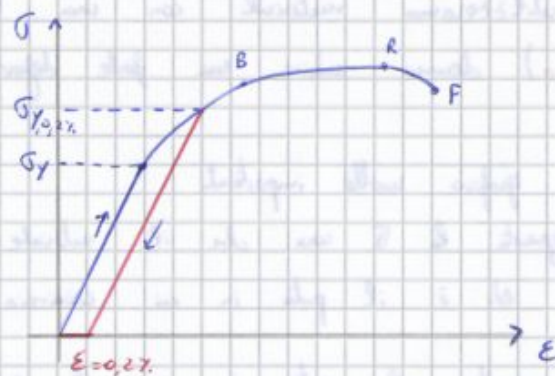
In questi materiali, infatti, se gli si applica uno sforzo costante, la deformazione che subisce aumenta progressivamente nel tempo (creep)

Da questa proprietà di questi materiali è lo **sueramento**, ossia la capacità di impedire la propagazione delle onde elastiche all'interno del materiale.

Plasticità

Superato il carico di sueramento σ_y il materiale smette di avere un comportamento elastico e ne assume uno plastico. In campo plastico la legge di Hooke non vale più, perché le deformazioni subite dal materiale non sono più reversibili.

Ma come ho il valore di σ_y ? Tecnicamente è il punto in cui la curva del diagramma σ - ϵ cambia di pendenza rispetto al tratto relativo alla fase elastica. In realtà questo valore è difficile da trovare quindi, per convenzione, considero come σ_y il punto corrispondente ad una **deformazione permanente dello 0,2%**.



Quando il materiale non ha comportamento duttile, cioè non ha un campo plastico, si verifica la **rottura di strappo**, ossia la rottura fragile che avviene in campo elastico in quanto il carico richiesto per rompere il materiale è minore di quello necessario per muovere le dislocazioni.

Non tutti i materiali hanno una curva monotona come quella in figura: vi sono degli acciai che presentano un **carico di sueramento superiore**, che indica il punto in cui inizia la def. permanente, e un **carico di sueramento inferiore**, che indica il punto in cui comincia la **banda di Lüders**.

Per spiegare queste zone partiamo dalla considerazione per cui la sollecitazione non è posta il primo non è la stessa in tutti i punti: essa è maggiore nella parte centrale e minore in quelle zone in prossimità dei punti di aggancio alla macchina.

quello nomiale.

Finché sono in campo elastico la scarto tra le due curve è trascurabile, mentre, entrando nella zona plastica la differenza tra le due curve si fa evidente: in sostanza fino al 10% di deformazione possiamo considerare la curva ingegneristica come una curva reale.



Proprietà meccaniche e temperatura

Le curve $\sigma-\epsilon$ dipendono dalla temperatura, tant'è vero che uno stesso materiale, al variare della temperatura, passa da un comportamento fragile ad uno estremamente duttile (vedi i polimeri).



Proprietà ceramiche

Comportamento fragile: carico di scoppio teorico molto alto e la rottura coincide con il carico di rottura teorico dei legami covalenti/ionici.

Cause di fragilità: -porosità e difetti superficiali (a causa di questi difetti microscopici la rottura avviene ad un valore inferiore puramente del carico teorico).

Proprietà dei polimeri

Comportamento fragile o duttile: deformazioni elastiche elevatissime (anche 700% - le gomme) oppure

comportamento anelastico o viscoso

8-4-2013

78

La fatica

La fatica di un materiale indica il degrado della resistenza meccanica di un materiale quando è sottoposto ad uno sforzo **ciclico**: in qualunque materiale, infatti, se sottoposto a carichi di applicazione e rimozione dei carichi si rompe a valori degli sforzi nettamente più bassi del carico limite a trazione e snervamento.

Si definisce così una nuova **tensione limite a fatica** che indica la tensione oltre la quale il materiale non sopporta più un determinato numero di cicli.

Ma qual è il motivo di questa anomalia? Vi sono dei punti del materiale nei quali lo sforzo applicato risulta maggiore del carico nominale applicato dall'esterno.

Tali punti (che sono ad esempio cricche, spigoli vivi o difetti superficiali) rappresentano l'**innesco**, cioè il punto dal quale il difetto inizia a propagarsi.

Infatti, a causa dei carichi maggiori, la zona intorno all'innesco si def. plasticamente e ogni volta che il ciclo raggiunge il suo valore massimo, la cricca crea una nuova superficie di debolezza. Quando la cricca raggiunge la propagazione limite il materiale si rompe di solito per rottura fragile.



Da questi fattori che influenzano la resistenza a fatica sono:

- presenza di concentrazioni degli sforzi (cricche e difetti);
- condizioni superficiali; (pau)
- 1° di esercizio.

La **prova a fatica** consiste nel sottoporre un campione cilindrico di materiale a una rotazione e, contemporaneamente, ad un carico perpendicolare all'asse di rotazione.

Da questa prova si può realizzare un diagramma cicli/ σ detto **diagramma di Wohler**: molti materiali presentano una curva che tende asintoticamente ad un certo valore di σ , tale valore viene detto **tensione limite di fatica** ed indica il valore della tensione al di sotto della quale non si verificano fenomeni di rottura a fatica neanche per un numero infinito di cicli.

La **prova a durezza** consiste semplicemente nel vedere quanto una punta di un certo materiale (solitamente di diamante) penetra nel provino per effetto di un certo carico. Tale prova può essere:

- **sferica**, si misura la durezza Brinell $\Rightarrow H_B = \frac{\text{carico}}{\text{area impronta}} = \frac{F}{\pi D h}$



- **piramidale**, si misura la durezza Vickers $\Rightarrow H_V = \frac{\text{carico}}{\text{area impronta}} = 1,854 \cdot \frac{F}{D^2}$



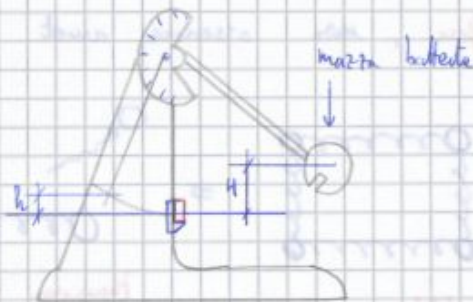
La prova così realizzata non è di tipo distruttivo, e può spesso essere effettuata come verifica di controllo qualità.

Resilienza e tenacità

La **tenacità** è la misura della quantità di energia che un materiale è in grado di assorbire prima di raggiungere la rottura.

La **resilienza** è una misura della quantità di energia che un materiale è in grado di assorbire prima di raggiungere la rottura per un solo impulso cioè la fragilità.

La prova viene effettuata con il **pendolo di Charpy**.

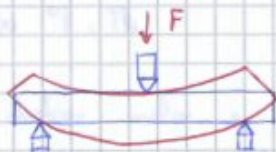


Misura il valore di h_2 , perché tanto più basso è il valore della quantità di energia cinetica ceduta per la frattura dell'unità, cioè quanto energia ha assorbito il campione per rompersi.

Molto importante sono le T^0 di transizione di questa prova, infatti, a T^0 possono oltre 0°C i materiali assumere un comportamento fragile e si rompono molto facilmente.

Prova a flessione a 3 o 4 punti

È un tipo di prova che si effettua soprattutto sui materiali fragili e che consiste di ottenere dati sia sulla trazione che sulla compressione.



Capacità termica specifica

Per poter confrontare tra loro capacità termiche di sostanze diverse introduco il concetto di **calore specifico c** , inteso come capacità termica della massa cubica di materiale. L'unità di misura per il SI è il $\frac{J}{kg \cdot K}$, ne esiste però un molto usato la **caloria (cal)** intesa come il calore necessario a innalzare di $1^\circ C$ un grammo di acqua.

Il calore specifico **NON dipende dalla struttura** (amorfa o cristallina) e **NON dipende dal legame chimico dei materiali**. Esso è infatti correlato al **peso atomico** della sostanza: maggiore è il peso, minore è il calore specifico, questo perché il calore necessario per innalzare di $1^\circ C$ una mole di qualunque sostanza elementare (ad esempio Al, Fe, Cu, etc...). È sempre lo stesso e vale circa **$25 J/mol \cdot K$** e prende il nome di **calore atomico**. Pertanto, se una sostanza ha un maggior peso specifico, vuol dire che in un kg di materia c'è un numero basso di atomi e dunque il suo calore specifico sarà basso.

Esempio: 1) Alluminio (Al) \Rightarrow Leggero \Rightarrow Peso specifico basso \Rightarrow Tanto materia \times 1 kg di sostanza
 \Downarrow
Calore specifico alto

2) Piombo (Pb) \Rightarrow Pesante \Rightarrow Peso specifico alto \Rightarrow Poca materia \times 1 kg di sostanza
 \Downarrow
Calore specifico basso

I materiali con un **alto calore specifico**, come l'acqua, variano lentamente la loro temperatura quando aggiungo o sottraggo calore. Questo spiega perché le zone costiere mantengono un clima mita anche d'estate: l'acqua dei mari assorbe molta dell'energia solare senza determinare grosse variazioni di temperatura; il calore così immagazzinato viene rilasciato lentamente di notte, garantendo 1° gradenti anche quando la 1° scende.

Il calore specifico costituisce il principale fattore su cui fare affidamento nella scelta di un materiale isolante, a seconda se si deve isolare dal caldo o dal freddo:

- in caso di **clima estivo** \Rightarrow materiali con **alto calore specifico**
- in caso di **clima invernale** \Rightarrow " " **basso calore specifico**

Conduttività termica

La conduttività termica definisce l'attitudine di un materiale a trasferire energia termica da un sistema ad alta temperatura ad uno a bassa temperatura.

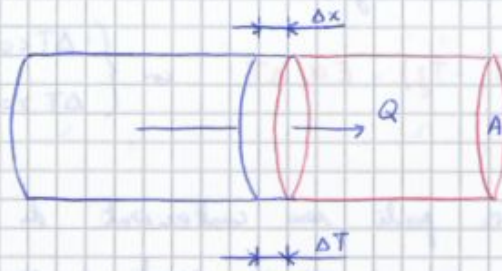
Tale energia viene trasferita tramite gli **elettroni liberi** (metalli) oppure con la **propagazione delle onde vibrazionali (fononi)** (cerami e polimeri).

Coefficiente di conduttività termica

È la quantità di calore (J) che in un secondo attraversa, alla direzione del moto del calore, una superficie di 1 m² di materiale spesso 1 m, quando la differenza di T° fra la sup. d'entrata e d'uscita è di 1 K.

Aumento cond. termica

Metalli
Ceramiche
Polimeri



$$q = \frac{Q}{A} = k \frac{dT}{dx} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \circ \left[\frac{J}{sm} \right]$$

I materiali isolanti devono avere una **bassa conduttività termica**, ma essi è destinati a cambiare durante l'esercizio del materiale. Ad esempio, nei materiali fibrosi (legno) la conduttività varia a causa dell'assorbimento di vapori acqueo, il cambiamento di forma e lo schiacciamento che il materiale subisce in opera.

Pertanto, le imprese che realizzano i materiali isolati, forniscono il valore di **conduttività termica utile**, cioè quel valore che l'azienda garantisce per il 90% della produzione, per un tempo di 25 anni di esercizio (t₉₀).

Altri parametri sono

- resistenza termica utile $R_0 = \frac{s}{\lambda_0}$, dove s è lo spessore di isolante;
- trasmittanza " U_0 , pari all'inverso di R₀.

Dilatazione termica

I materiali, in generale, se raffreddati si contraggono e se scaldati si dilatano. Tale processo di dilatazione termica viene definito moltiplicato come

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_l (T_0 - T_f) = \alpha_l \Delta T \quad (\text{lineare})$$

$$\frac{V_f - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_v (T_0 - T_f) = \alpha_v \Delta T \quad (\text{volumica})$$

Il valore di α (coeff. di dilataz. termica) è tanto più alto quanto più deboli sono i legami: è questo il caso dei polimeri termoplastici i quali si espandono molto perché le catene molecolari sono legate tra loro solo da legami deboli di Van der Waals e non ci sono reticolazioni.

Nel caso più generico, i metalli con alto punto di fusione sono quelli che tendono a dilatarsi meno e, sempre in generale, il rapporto tra T° di fusione e α è **inversa** = **mente proporzionale**.

dell'esterno, questo perché il calore fornito serve per far avvenire il cambiamento di stato e non a aumentare l'energia cinetica degli atomi.

Si hanno così dei cicli di questo tipo:



In 20 anni sono previsti 7300 cicli

In generale qst materiali hanno un comportamento variabile in funzione dei cicli e sono detti **PCM**. Vengono utilizzati a pareti interne, pareti esterne e pannelli, con i grandi vantaggi di:

- riduz. oscillaz. termiche;
- riduz. consumi a climatizzazione;
- riduz. carichi termici estivi;
- sfomento flusso termico.

Esistono sia **PCM organici** (paraffine, acidi grassi) che **inorganici** (sali idrati).

Paraffine: consistenza simile a quella della cera, struttura molecolare a catena lineare;

Vantaggi: non corrosivi / riciclabili / no problemi sottoraffreddamento (solidificaz. a T° di disgregam.

Svantaggi: costosi / possono essere combustibili / possibili reazioni con CO_2

Sali idrati: Vantaggi: economici / non infiammabili / riciclabili

Svantaggi: possono contenere alcuni metalli / necessitano di additivi a stabilizz.

Eutettici: miscela di sost. organiche (acidi grassi) e inorganiche (sali) ottenendo punti di fusione + bassi di qdli delle singole sostanze (vedi diagrammi eutettici)

Questi materiali vengono comprati sottoforma di polveri e trasformati in capsule. A questo punto

posso seguire due strade: 1) miscelare le capsule con leganti quali gesso e cemento;

2) inserire queste capsule in pannelli.

Solitamente questi stati di PCM vengono interposti tra l'isolante e la parete esterna.

INDICE

MATERIALI PER ISOLAMENTO TERMICO

FIBRA DI LEGNO e FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA
SUGHERO
FIBRA DI CELLULOSA

MATERIALI DI ORIGINE VEGETALE

POLISTIRENE ESPANSO (SINTERIZZATO ED ESTRUSO)
POLIURETANO
POLIESTERE

MATERIALI DI ORIGINE SINTETICA

FIBRA DI VETRO
FIBRA DI ROCCIA
ARGILLA ESPANSA
PERLITE E VERMICULITE ESPANSA
VETRO CELLULARE
SCHIUMA MINERALE, CALCIO
SILICATO, CALCE-CEMENTO
CELLULARE

MATERIALI DI ORIGINE MINERALE

TABELLE COMPARATIVE

MATERIALI DI ORIGINE VEGETALE

FIBRA DI LEGNO

- **PRODUZIONE:** Prodotti da materiale di scarto della lavorazione del legno. Trattamento con solfato di alluminio (antitaramico ed antiparassitario; attiva le proprietà leganti della lignina). Per pannelli idrorepellenti viene aggiunta una sostanza impermeabilizzante (bitume o resine naturali).
- **ECOCOMPATIBILITA':** Eco-compatibili, ma l'aggiunta di impermeabilizzanti e collanti spesso ne altera l'eco-compatibilità; il consumo di energia per la loro produzione è molto alto
- **PROPRIETA':**
 - largamente disponibili.
 - isolamento termico dal caldo: elevato. calore specifico: assorbe calore senza innalzare la propria temperatura, capacità di rallentare il passaggio del calore all'interno della struttura, consentendo uno sfasamento termico; densità elevata
 - fonoassorbenti
 - la traspirabilità è ottima, per via di una struttura porosa di tipo aperto
 - non devono essere imbevuti d'acqua e devono conservati in luoghi asciutti; l'umidità assorbita penetra all'interno della fibra, mentre lo spazio tra le fibre rimane pieno d'aria => il potere isolante non diminuisce, al contrario dei materiali fibrosi di origine minerale (fibra di vetro o di roccia) le cui fibre non sono in grado di assorbire l'umidità al loro interno.

MATERIALI DI ORIGINE VEGETALE

SUGHERO

- **PRODUZIONE:** ricavato dalla componente meno pregiata della corteccia della quercia da sughero. Pannelli di colore bruno (cottura, a pressione, senza l'aggiunta di collanti). Pannelli espansi (cottura a alta temperatura con rigonfiamento dei granuli-tostatura): molto leggeri, ma meno resistenti meccanicamente. Pannelli di colore biondo (processo, sotto pressione, a microonde ad alta frequenza, senza utilizzo di collanti, o tramite la compressione a caldo di una miscela di granuli di sughero con collanti).
- **ECOCOMPATIBILITA':** prodotto ecocompatibile, modesto impatto ambientale (basso inquinamento, elevato fabbisogno energetico), riciclabile e compostabile. Possono contenere alte percentuali di collanti a base di urea-formaldeide
- **PROPRIETA':**
 - Cellule poliedriche con ampie cavità contenenti aria => ottime proprietà isolanti termoacustiche e antivibranti, elasticità, traspirabilità.
 - Isolante dal caldo, ma a bassa densità,
 - permeabile al vapore,

MATERIALI DI ORIGINE VEGETALE

FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA

- **PRODUZIONE:** Impregnati con magnesite (assorbita dalle fibre) e/o cemento (riveste esternamente le fibre). Si eliminano le sostanze organiche infiammabili e deperibili.
- **ECOCOMPATIBILITA':** non è riciclabile.
- **PROPRIETA':**
 - la durata è notevolmente più lunga del legno non mineralizzato
 - sono insensibili all'acqua e al gelo
 - vengono utilizzati anche per pavimentazioni contro-terra, per il risanamento di muri umidi.
 - elevate capacità di accumulo termico (isolanti dal caldo); densità elevata.
 - fonoassorbenti
 - traspiranti.
 - materiale incombustibile e che non sviluppa gas tossici
 - facilmente trasportabili e maneggevoli
 - possono essere lavorati con i comuni attrezzi per il legno.
 - possono essere accoppiati ad altri materiali (lana minerale, polistirene)
 - il coefficiente di espansione termica è basso (buona stabilità dimensionale)
 - ottimo ancoraggio a tutte le malte.

MATERIALI DI ORIGINE SINTETICA POLIESTERE

- La fibra di poliestere è un isolante termico ed un fonoassorbente, che garantisce una lunga durata nel tempo.
- E' un materiale considerato altamente ecologico, in quanto prodotto da materiale plastico riciclato, non contiene sostanze tossiche, può essere maneggiato e posto in opera in totale sicurezza.
- E' in commercio principalmente sotto forma di materassini flessibili.
- Esistono anche pannelli pre-acoppiati, costituiti dall'unione fra un isolante fibroso in fibra di poliestere con una lamina fono-impedente ad alta densità, con tenuta all'aria e al vapore acqueo, che assolvono le funzioni di isolamento acustico e termico.
- Il loro impiego è nelle intercapedini delle murature perimetrali esterne e delle murature divisorie interne fra unità immobiliari diverse.



MATERIALI DI ORIGINE MINERALE FIBRA DI ROCCIA

- **PRODUZIONE:** Deriva da rocce eruttive con additivi collanti.
- **ECOCOMPATIBILITA':** impatto sulla salute e sull'ambiente molto pesante, per via della potenziale tossicità delle fibre. I materiali più recenti vengono prodotti in modo da minimizzare questi rischi. Possono essere biosolubili, non cancerogeni, non irritanti per la pelle o meno a seconda delle caratteristiche e del processo produttivo
- **PROPRIETA':**
 - Ottimo isolante acustico, protegge dall'acqua ed è traspirante alla diffusione del vapore.
 - la lana di roccia, grazie alla sua struttura a celle aperte, è un ottimo materiale fonoassorbente,
 - consente di ostacolare il passaggio sia di caldo sia freddo,
 - contribuisce a rallentare la propagazione di un incendio e a limitare l'emissione di gas tossici,
 - Il suo costo al m3 è di circa 150€.



MATERIALI DI ORIGINE MINERALE FIBRA DI VETRO

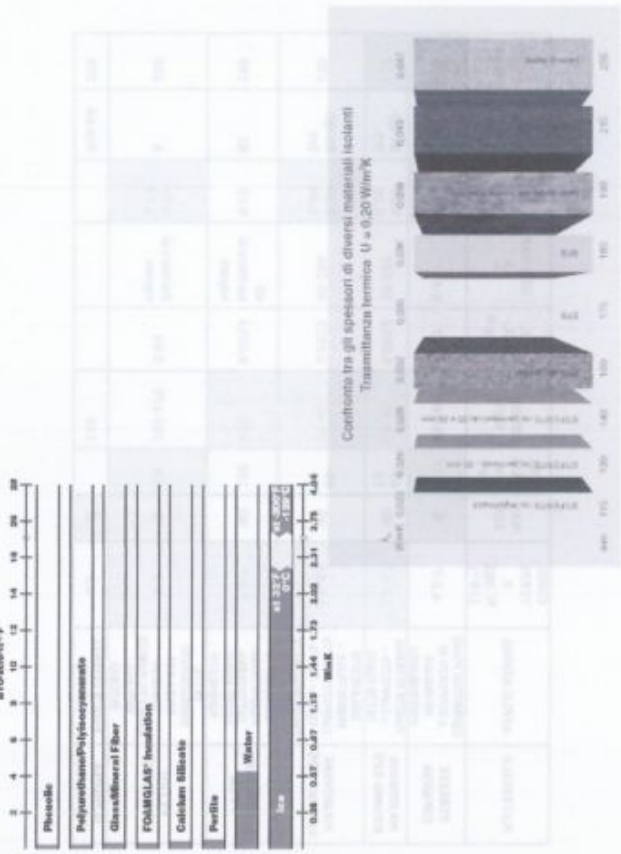
- **PRODUZIONE:** Deriva dal riciclo del vetro (colore giallo per gli additivi.)
- **ECOCOMPATIBILITA':** impatto ambientale elevato, ma è prodotto con il 95% di materie prime naturali e riciclate (80% di vetro riciclato) ed è riciclabile. Alcuni prodotti utilizzano resine che riducono le emissioni di formaldeide e composti organici volatili
- **PROPRIETA':**
 - Utilizzati sia come fonoisolanti anti-calpestio sia per facciate, ma non per pareti controterra.
 - ottime proprietà termoisolanti. La sua conduttività si avvicina a quella dell'aria.
 - buona resistenza all'invecchiamento,
 - resistente contro parassiti e imputrescibile.
 - Viene proposto come isolante efficace sia contro il caldo che contro il freddo.
 - una limitata umidificazione può causare un forte aumento della conduttibilità termica.
 - Traspirante.
 - elevata stabilità dimensionale.
 - E' un materiale incombustibile, che non alimenta il fuoco e non propaga le fiamme
 - la tenuta dei giunti è buona perché le fibre dei prodotti accostati si compenetrano.
 - nel caso si dovessero bagnare, riacquistano le loro proprietà dopo essersi asciugati.
 - Non presentano problemi di taglio: si tagliano con attrezzi comuni ottenendo tagli netti.



MATERIALI DI ORIGINE MINERALE VETRO CELLULARE

- **PRODUZIONE:** si ottiene da fusione di polveri di vetro riciclato e puro con carbonio (espansione) o è insuflato gas nella massa fusa del vetro.
- **ECOCOMPATIBILITA':** materiale ecologico: esente da additivi ignifughi, si compone per oltre il 60% di vetro riciclato. La sua produzione richiede un elevato dispendio di energia.
- **PROPRIETA':**
 - materiale impermeabile sia all'acqua che al vapore (vetro a cellule chiuse).
 - rigonfiamento nullo in ambienti ad elevato tasso di umidità (pavimenti controterra).
 - deve essere riparato dal gelo tramite un'opportuna guaina.
 - E' resistente ai parassiti, in quanto inorganico, e imputrescibile.
 - Ha una buona resistenza alla compressione anche con carichi duraturi
 - Ha densità piuttosto bassa.
 - Non è combustibile. In caso di incendio, non sviluppa fumi né gas tossici.
 - Ha un'elevata stabilità dimensionale, in quanto il coefficiente di dilatazione è ridotto.
 - E' resistente ad acidi e solventi organici in quanto composto di puro vetro.
 - Può essere modellato nella forma voluta mediante semplici attrezzi.
 - Il prezzo al m3 è di circa 550 €.

FIGURE 1: Comparative Thermal Conductivities



RESISTENZA MECCANICA



COSTO



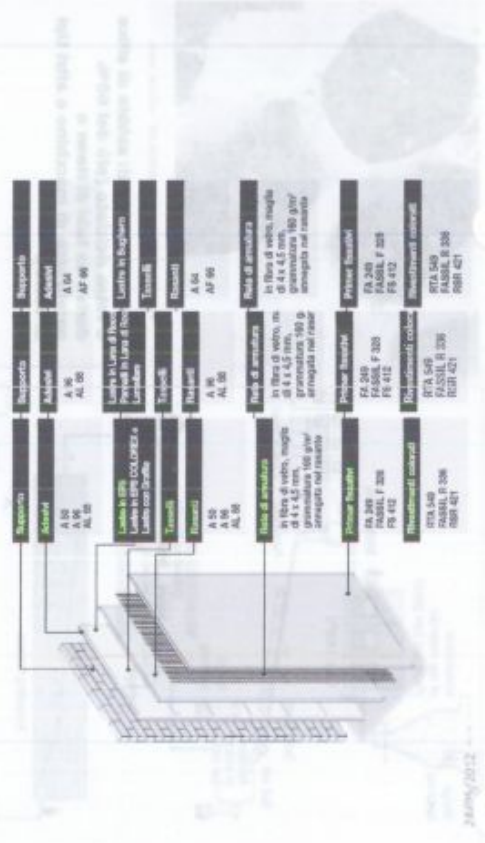
ISOLAMENTO



STABILITA' DIMENSIONALE



SISTEMI INTEGRATI PER CAPPOTTI



resistenza media tramite metodi statistici.

Il tipo di rottura del provino ci consente di dare un primo giudizio sulla qualità del c.s.: se il provino si rompe formando una serie di **prismi** con le facce inclinate, rispetto al prisma, di circa **45°**, allora il c.s. è di **buona qualità**.

Se il c.s. è **scaduto** allora il provino si sbriciola senza pezzi privi di rottura. Il motivo di ciò è legato al fatto che gli sforzi che det. la rottura del provino sono sforzi di taglio interno e questi aumentano il loro valore massimo lungo i prismi inclinati a 45°.

Sostanzialmente, fino al 30% del carico massimo, il provino ha un comportamento **elastico** in cui la propagazione delle cricche è avvenuta, superato questo valore la curva si discosta dalla linearità e le cricche si **propagano in modo stabile**, cioè solo se aumenta il carico. Oltre l'80% del carico massimo le cricche diventano **instabili** e si propagano anche senza aumento del carico.

Calcolo statistico della resistenza caratteristica a compressione R_{ck}

La resistenza caratteristica a compressione $R_{ck} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ è definita come quel valore tale per cui il 95% della popolazione di provini riesce a resistere senza rompersi. Quindi solo il 5% dei provini di c.s. si rompono per carichi \leq all' R_{ck} .

Il provino su cui noi effettuiamo la prova è estremamente udolto rispetto al getto da dove rappresentava e da solo non è in grado di rappresentare la resistenza del c.s. da cui è stato ottenuto. Per questo motivo occorre **aumentare il numero di provini** da sottoporre al test di compressione, facendo attenzione che questi prendano le stesse proprietà di formazione (dimensioni, t° e umidità di stagionatura, etc...).

I valori di R_{ck} variano da **8-10 N/mm²** (scaduto) a **60-70 N/mm²** (ottimo).

Il calcolo dell' R_{ck} viene fatto come segue:

Calcolo della resistenza media

$$R_{cm} = \frac{\sum_i R_{ci}}{i}$$

R_{ci} = resistenza provino i -esimo
 i = numero dei provini

Calcolo dello scarto quadratico medio

$$S = \left[\frac{\sum_i (R_{ci} - R_{cm})^2}{i-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Calcolo della resistenza caratteristica

$$R_{ck} = R_{cm} - 1,64 S$$

1,64 = coeff. di forma x provini cubici

gli acciai

* un max di
a 723°C

Introduzione

Le leghe di ferro e carbonio si dividono in due grandi categorie:

- **gli acciai**, con una concentrazione di carbonio inferiore al 2% in peso, i quali, in relazione alle varie temperature, assumono strutture diverse;

Le strutture principali di cui parleremo sono:

- **l'austenite** (soluzione solida $\text{Fe}_\gamma + \text{C}$)
- **la ferrite** (soluzione solida $\text{Fe}_\alpha + \text{C}$)
- **la perlite** (lamelle alternate di ferrite e cementite Fe_3C)

- **le ghise**, con una concentrazione di carbonio compresa tra il 2 e il 4%.

La ferrite

Il ferro, fino alla temperatura di 910°C assume una configurazione CCC. Essendo questa una struttura cristallina con spazi interstiziali troppo ridotti, il Fe_α non presenta un elevato valore di solubilità del carbonio, questo proprio perché gli atomi di C non riescono a posizionarsi bene nel reticolo CCC del ferro senza stravolgere troppo la geometria atomica. L'insieme in soluzione solida di Fe_α e di carbonio prende appunto il nome di ferrite, molto duttile e dunque poco valido per applicazioni strutturali.

L'austenite

Tra i 910°C e i 1394°C il ferro assume una configurazione FCC e non detto Fe_γ : questo presenta spazi interstiziali più grandi in grado dunque di ospitare facilmente gli atomi di carbonio, ecco perché nel Fe_γ la solubilità raggiunge il 2% (contro $\approx 0,03\%$ della ferrite). Le soluzioni solide di $\text{Fe}_\gamma + \text{C}$ si dicono **austenite** e presentano resistenze migliori e duttilità più bassa.

La cementite

Il ferro e il carbonio, oltre a costituire leghe, formano anche un composto intermedio definito come **cementite** o semplicemente **carburo di ferro** Fe_3C , molto duro e fragile. Quando l'acciaio fuso viene lasciato raffreddare, il C in eccesso non esce dalla soluzione come carbonio puro, ma si lega a 3 atomi di ferro formando la cementite.

Essa, però, si forma solo alla T° che corrisponde alla trasformazione **eutettica** o **euteticoide** ed è sempre presente nelle leghe di Fe-C.

Dalla trasformazione eutetticoide si ottiene una struttura a lamelle alternate di cementite e ferro α che prende il nome di **perlite**. Dalla forma e dimensione delle lamelle di perlite dipendono le proprietà meccaniche del materiale:

- la composizione del materiale;
- la velocità di riscaldamento;
- T° e tempo di trattamento;
- velocità di raffreddamento.

Classificazione degli acciai

Gli acciai, solitamente, vengono classificati a seconda del tenore di carbonio e dell'eventuale presenza di ulteriori elementi metallici in lega. La classificazione più usata è la seguente:

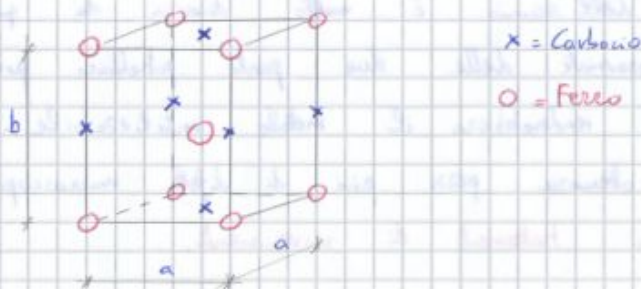
- acciai speciali o legati: lega di Fe + C + elementi metallici in % non trascurabili;
- acciai al carbonio:

Acciai extra dolci	C < 0,15%	}	meno costosi e + facilmente lavorabili e saldabili (a caldo)
Acciai dolci	C 0,15% - 0,25%		
Acciai semiduri	C 0,25% - 0,50%		
Acciai duri	C 0,50% - 0,75%		
Acciai extraduri	C > 0,75%		



La martensite

La martensite è un costituente microstrutturale che si viene a creare solo in particolari condizioni: essa, infatti, si crea quando il materiale viene raffreddato molto rapidamente in maniera tale da impedire al carbonio di diffondersi, rimanendo così intrappolato nella struttura CCC, cioè, per la presenza del carbonio negli spazi interstiziali, diventa **parallelepipedo a corpo centrato**. In generale le T° di lavoro vanno da una temperatura $> A3$ ad una prossima alle T° ambiente.



Venendo a formare solo a certe condizioni di non equilibrio, la martensite viene definita una struttura **metastabile**.

Martenite

La martenite, di cui parleremo prima a proposito dei risultati della tempra, **non rappresenta una fase stabile**, perché è satura rispetto alla concentrazione di carbonio, di conseguenza non appare nel diagramma di stato.

Per la sua struttura atomica, in cui l'atomo di C si va a collocare in uno degli interstizi della cella ccc del Fe, è molto dura (grazie alle tensioni interne) e fragile, proprietà che la rendono difficilmente lavorabile.

Per far sì che la fragilità non ne comprometta l'utilizzo, la martenite deve essere **riscaldata** ($220^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 550^{\circ}\text{C}$) e successivamente **raffreddata in modo naturale**, in questo modo la cementite che si viene a formare blocca la propagazione delle cricche rendendo il materiale meno fragile.

Un altro modo per ridurre la fragilità dell'acciaio martenitico è adottare una **tempra martenitica scalare**: si immergono i pezzi in un bagno salino T° di poco superiore alla T° a cui inizia a formarsi la martenite e li **mantengono per un certo tempo a T° costante**, in modo tale che tutto il pezzo raggiunga la stessa T° ma che il processo di formazione della martenite cominci.

A questo punto il tutto viene poi raffreddato in olio fino a Tamb. In questo modo la trasf. martenitica avviene contemporaneamente in tutto il pezzo ottenendo un **materiale abbassando delle tensioni interne**.

(Processo di tempra tipico coltelleria, bullonaria, utensileria).

Normalizzazione

La normalizzazione consiste in un preriscaldamento dell'acciaio a $T^{\circ} \approx 50^{\circ}\text{C}$ (di poco superiore di A_2) e in successivo **raffreddamento in aria calma**. A livello atomico si ottiene una struttura mista di ferrite e perlite, ma la perlite risulta costituita da cristalli più piccoli rispetto a quelli ottenuti per ricottura.

Il risultato, in termini di **resistenza**, è migliore rispetto a quella ottenuta con **uff. lento**, e non si ha la fragilità della tempra. Possiamo dire che si tratta di un processo più "raffinato" e controllato rispetto alla ricottura, che viene fatto su particolari tipi di profilati e gli acciai da carpenteria.

Rinvenimento

Il rinvenimento ha, come obiettivo, quello di **ridurre la fragilità** degli acciai sottoposti a tempra o normalizzazione, a dispetto di una piccola diminuzione della durezza. Tutto questo per **evitare rotture da usi**.

Il processo consiste in un riscaldamento a T° < di quelle di trasf. della martenite, in modo tale da eliminare parte delle tensioni interne, e poi facendo raffreddare il pezzo in

Questi 3 fattori determinano uno spostamento della temperatura della transizione
 duttile - fragile, la quale avviene a T° superiori della T° ambiente. Questo porta
 a una **frattura intergranulare**, la quale infangolisce l'acciaio.
 Per evitare tutto ciò occorre:
 - controllare la comp. chimica;
 - effettuare un trattamento a $T^{\circ} > 575^{\circ}\text{C}$ o sotto 357°C ma
 con un rapidissimo raffreddamento a T° amb.

Struttura / micro-costituente	Fasi presenti	Disposizione delle fasi	Proprietà meccaniche (relative)
Sferoidite <i>NO</i>	Ferrite α + Fe_3C	Particelle sferiche, relativamente piccole, di Fe_3C disperse in una matrice di ferrite α	Tenera e duttile
Perlite grossolana	Ferrite α + Fe_3C	Strati alternati di ferrite α + Fe_3C che sono relativamente spessi	Più dura e più resistente della sferoidite ma non così duttile come la sferoidite
Perlite fine	Ferrite α + Fe_3C	Strati alternati di ferrite α + Fe_3C che sono relativamente sottili	Più dura e più resistente della perlite grossolana ma non così duttile come la perlite grossolana
Bainite <i>NO</i>	Ferrite α + Fe_3C	Particelle di Fe_3C molto minute e allungate disperse in una matrice di ferrite α	Durezza e resistenza maggiori rispetto alla perlite fine, durezza minore della martensite; duttilità più grande della martensite
Martensite rinvenuta	Ferrite α + Fe_3C	Particelle sferiche di Fe_3C molto piccole disperse in una matrice di ferrite α	Resistente; non così dura come la martensite, ma molto più duttile della martensite
Martensite	martensite	Grani aghiformi	Molto dura e molto fragile

Acciai speciali:

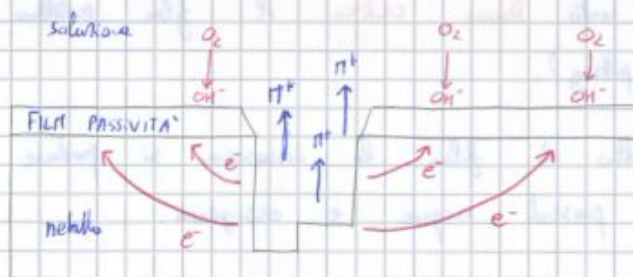
L'aggiunta di elementi all'interno della lega d'acciaio può determinare microstrutture e proprietà addizionali:

- $\text{Si}, \text{Cr}, \text{V}, \text{Mn}$ \rightarrow stabilizzatori α \Rightarrow più solubili nella ferrite che nell'austenite e favoriscono la formazione di ferrite
- Mn, Ni \rightarrow stabilizzatori γ \Rightarrow più solubili nell'austenite e possono dare acciai austenitici (duttile e non magnetico) a T° ambiente
- Cr, Ni \Rightarrow se gli acciai vengono ricoperti con questi due elementi metallici \rightarrow ottiene l'inossidabilità

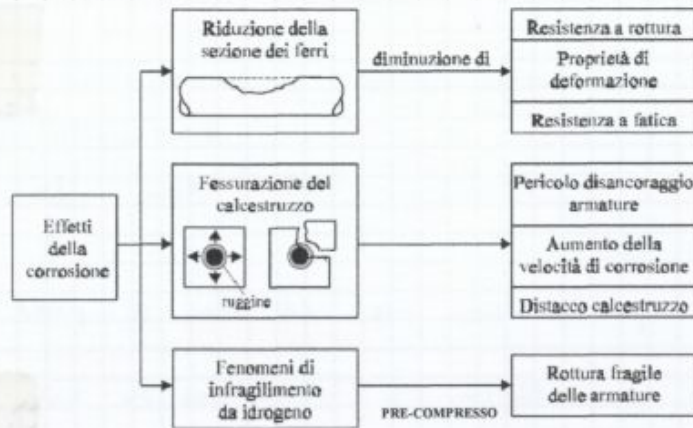
La **velocità di corrosione** dipende dalla capacità/inefficienza della specie ossidante (nel nostro caso il ferro) di migrazione fino alla superficie del metallo, o dalla formazione di un ossido superficiale che impedisce la fuoriuscita di ioni metallici/elettroni. Questo **impedimento** può anche essere molto sottile, un po' essere efficace deve: essere compatto, ricoprire tutta la superficie, aderire perfettamente al pezzo. Esistono molti materiali che di loro spontanea natura danno origine a questo **stato passivante**: un esempio è l'Al, il quale crea, con valori di pH prossimi alla neutralità, uno stato superficiale uniforme e compatto che impedisce al metallo interno di correre. **L'ossido di ferro non ha queste proprietà di ossido barriera**, questo perché è molto fragile e si sfalda facilmente, in questo modo porta a contatto con l'aria parte del metallo ancora "sano" il quale si arrugginisce rendendo il processo ancora più rapido. Infatti, nel caso in cui lo stato passivante venga meno si ha un notevole aumento localizzato della velocità di corrosione **laddove il film è danneggiato**.

Corrosione localizzata (pitting)

Questa tipologia di corrosione si verifica su materiali che presentano un buon grado di autoprotezione (acciai inox, alluminio, rame, titanio...). La meccanica è piuttosto semplice: una piccola porzione di film di passivante sulla **na**, mettendo a contatto diretto del metallo "sano" con l'aria e dunque con l'ossigeno. Il metallo, a questa parte libera elettroni, ossidandosi, e tali elettroni vengono "usati" dall'ossigeno per ridursi portando alla formazione dell'ossido. Il processo prosegue **in linea retta** portando alla formazione di veri e propri **fori**, talvolta anche passanti, proprio perché il film protettivo impedisce agli elettroni di disperdersi lateralmente (**avvolgimento**).



Ad esempio, nelle leghe di acciaio con aggiunta di Cr, vi sono i **granuli di Carburo di Cr (CrC)** che fungono da **iniziatori** del processo: è vero che il Cr non arrugginisce, ma è molto vero che nelle zone di bordo del grano il **tenore di Cr è bassissimo**; da qui dunque inizia il processo di **corrosione localizzata intergranulare**.



Conseguenze strutturali della corrosione delle armature nelle opere in calcestruzzo armato

La prevenzione della corrosione delle armature

- 1) Limitare la fessurazione del c.s.;
- 2) Evitare geometrie complesse, spigoli vivi, zone con possibili ristagni d'acqua;
- 3) Usare ferri + resistenti alla corrosione;
- 4) Garantire adeguata spessore del copriferro;
- 5) Inteneri programmi di ispezione e manutenzione.

Acciai inossidabili

Gli acciai inossidabili sono leghe di acciaio + Cr o acciaio + Cr + Ni, con tenore di Cr non inferiore al 12%. Il Cr infatti crea il classico strato passivante in grado di proteggere l'acciaio dagli agenti corrosivi.

Per sapere se un acciaio inossidabile è autentico, fessatico o martensitico a partire dalla sua composizione si usa il cosiddetto **diagramma di Schaeffler**, con il quale si incrociano le **quote equivalenti di Cr e Ni**, individuando un punto su diagramma: a seconda della zona in cui si trova il punto, l'acciaio viene classificato.

Il termine **equivalente**, ad esempio per il Cr, fa riferimento alla **q.t. % di Cr pesante + la q.t. % di elementi diversi dal cromo che però hanno proprietà simili**: quote vengono pesate attraverso opportuni coeff.

Un acciaio inossidabile si dice **sensibilizzato** quando in lui la precipitazione dei carburi di Cr lungo i bordi di grano, che det. il problema descritto prim.

Questo si ottiene quando il raffreddamento non è sufficientemente rapido.

I polimeri

Il polimero è un materiale organico costituito da macromolecole con struttura lineare o ramificata costituite da monomeri. Con il termine **monomero** indichiamo una molecola semplice dotata di gruppi funzionali in grado di combinarsi ricorsivamente con altre molecole uguali o reciprocamente complementari. Per estensione, il termine viene usato anche per identificare l'unità strutturale ripetitiva che forma un polimero.

I legami che caratterizzano la struttura possono essere:

- legami all'interno delle catene (legami covalenti forti);
- legami tra le catene (legami deboli di Van der Waals → termoplastici covalenti → resine termoindurenti). Essi sono i responsabili di alcune proprietà quali la **rigidità**, la **viscosità** e la **resistenza all'usura**.

Il materiale plastico commerciale è sempre costituito da una percentuale di additivi (fino 80%) e da un percentuale di polimero, il quale dunque rappresenta la parte in minoranza.

Questo sostanzialmente per 2 motivi: - **riduzione dei costi** (solo polimero troppo caro);

- **aumento prestazioni** (si conferiscono proprietà migliori come tenacità, resistenza, stabilità, ...).

I polimeri vengono classificati come:

- **termoplastici**: sono materiali che durante la lavorazione e l'indurimento non subiscono alterazione della loro struttura chimica. Ogni trasformazione è dunque reversibile e può essere ripetuta più volte;
- **termoindurenti**: nel passaggio dallo stato plastico a quello indurito cambiano in maniera **irreversibile** la loro struttura chimica, con la formazione di legami incrociati tra le molecole che non si possono più rompere. Se questi materiali vengono scaldati dopo l'indurimento non ritornano plastici, ma si decompongono carbonizzando.
- **elastomeri**: la loro caratteristica fondamentale è la grande **deformabilità ed elasticità**: possono essere sia termoplastici che termoindurenti.

Termoplastici

Data la loro proprietà di avere un'impalcatura completamente reversibile, la loro produzione si basa sulla **ripetuta modellazione per colata o blando riscaldamento**.

Essi, inoltre, sono caratterizzati da bassa densità, buona chimica e buone proprietà isolanti.

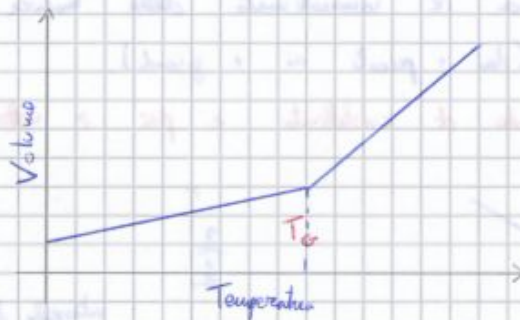
La maggior parte di queste caratteristiche dipendono da:

Come già detto prima, più un polimero ha una catena lineare più è semplice la sua cristallizzazione. Il fatto che i polimeri siano o no cristallizzabili, si ha una diff. di indice di rifrazione tra le zone amorfe e le zone cristalline, e ciò che porta alla cosiddetta opacizzazione per cristallizzazione.

Anche le forze intermolecolari influenzano sulla cristallinità: i gruppi etero polari agevolano la cristallizzazione, mentre gli anelli aromatici impilati su piani paralleli rendono i cristalli amorfi + resistenti.

- **temperatura di transizione vetrosa**: il diagramma temperatura-volume specifico di un polimero è diverso da quello di un metallo: la curva, infatti, non è monodroma, ma è spezzata in corrispondenza di una temperatura T_g detta **temperatura di transizione vetrosa**.

Essa rappresenta la T° a cui tutti i legami di Van der Waals si rompono e le catene polimeriche, avendo più libertà, si espandono con maggiore facilità:



Nei polimeri, dunque, la deformazione plastica non è legata al movimento delle dislocazioni ma al movimento delle macromolecole, in modo da aggirare il carico applicato.

Pertanto

- a $T > T_g$ le catene sono più libere e non hanno problemi nel muoversi per trovare altre posizioni per aggirare le sollecitazioni trasmesse dall'esterno;
- a $T < T_g$ le catene sono vincolate dai legami di Van der Waals e non si possono spostare per trovare altre posizioni per diminuire la sollecitazione alla quale sono state sottoposte. Le catene, dunque, sono **sufficientemente forti** da resistere al carico applicato e **non si piegano**, ma in un caso che il carico aumenta le catene non riescono più a rispondere alle sollecitazioni esterne e il polimero si **rompe di schianto**.

Pertanto: $T > T_g \Rightarrow$ stato gommoso

$T < T_g \Rightarrow$ composti vetrosi (fragile e duro)

Più i legami di Van der Waals sono deboli e più è bassa la T_g , quindi i polimeri con catene ramificate hanno T_g elevate.

I polimeri termoplastici possono avere 3 categorie di comportamento plastico:

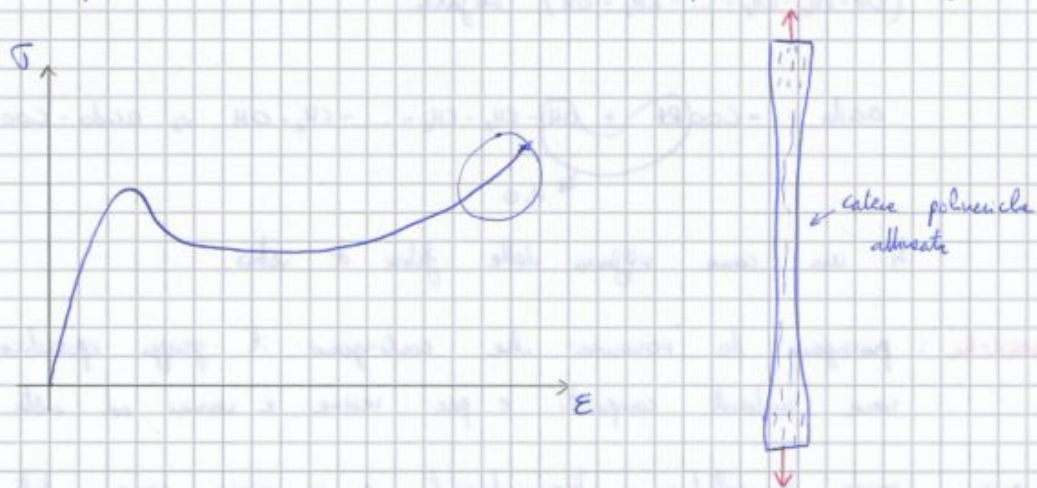
- materiali termoplastici fragili: polistirene
- materiali termoplastici duttili: ABS (Acetilminerale - Butadiene - Stirene)
- materiali termoplastici duttili con esteso striscio a freddo: polietilene

Nel ① caso la frattura insorge in campo elastico

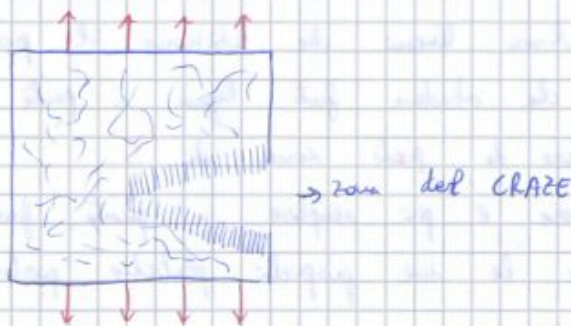
Nel ② caso oltre lo snervamento insorge la deformazione plastica. Nelle zone cristalline le catene si allineano nella direzione del carico, in grado anche l'ordine di cristallinità aumenta e si osserva un cambiamento di colore (imbracamento).

In questo caso si parla di **svotamento delle catene polimeriche**.

Da un punto di vista del diagramma σ - ϵ , questa zona coincide con quella di incrudimento dei metalli, in questo punto ad un rafforzamento del polimero, rafforzamento legato alle maggiori forze di Van der Waals e legami a ponti di H che si vengono a stabilire tra le catene così allineate che si trovano molto più vicine del solito. Questo processo è quello che sta alla base della produzione delle fibre sintetiche



Se il polimero è fragile l'orientamento avviene solo in prossimità della zona di frattura, che propagandosi porta alla rottura del materiale



La grande deformabilità è dovuta proprio ai cross-link: quando applico un carico, le catene molecolari si muovono nella direzione del carico, cercando di ridursi al minimo gli sforzi interni; quando il carico viene tolto i cross-link si comportano come delle molle e richiama le catene alla loro posizione iniziale.

Se nei polimeri termoplastici aggiungiamo additivi per conferire caratteristiche particolari, negli elastomeri si aggiungono le **canche**. Le canche non sono altro che polveri mescolate col polimero **prima della vulcanizzazione** e consentono di:

- migliorare trazione, abrasione e durezza (nerofumo);
- ridurre i costi di produzione.

Altri additivi che si aggiungono sono i:

- **plastificanti**: oli minerali che restano allo stato liquido e che riducono la viscosità delle mescole;
- **antiossidanti**: ritardano il degrado dovuto alla rottura dei legami superficiali ad opera dell'ossigeno e dell'ozono nell'aria, oltre che la luce.

Le gomme dunque hanno un'elastica elevata e **non sono soggette a deformazioni permanenti**, neanche se lavorate per lunghi tempi e con elevate sollecitazioni.

A differenza degli altri materiali, negli elastomeri il modulo elastico **non è la pendenza della curva del diagramma σ - ϵ** , ma è il **carico necessario per raggiungere un allungamento del 100%** (una gomma non è classificata tale se non ha un allungamento minimo del 100%).

C'è molto da fare perché le gomme hanno dati tecnici piuttosto dispersi: due gomme con la stessa miscela, possono avere valori di resistenza diversi (grande variabilità nell'omogeneità e nell'orientamento delle catene).

In generale, però il comportamento delle gomme varia in **funzione della temperatura**:

- a **basse temperature** le gomme si irrigidiscono;
- ad **alte temperature** le gomme si degradano più velocemente.

Questo sostanzialmente vuol dire che anche le gomme hanno un loro T_g .

Applicazione dei polimeri in edilizia:

- **Adesivi**: alcuni polimeri vengono utilizzati per collegare parti diverse di uno stesso materiale o di due materiali differenti formando un giunto che può essere sottoposto a sforzi di compressione (ideale), taglio o peeling (da evitare).

La frattura di un giunzione può avvenire in vario modo, e a seconda di come questa si verifica possiamo capire se l'adesivo è adatto o meno per quell'impiego.

La loro **instabilità** viene attivata dall'umidità atmosferica, dall'esposizione al solvente o da reazioni chimiche interne. I materiali sigillanti sono soprattutto **elastomeri** plastici, elatoplastici o elastici a seconda delle proprietà richieste.

Il classico esempio di sigillante elastico è il **silicone**: questo è costituito da lunghe catene polimeriche in cui il C è sostituito dal Si, dove le valenze residue sono saturate da gruppi organici ($-CH_3$, $-C_2H_5$...)

- **Panneggiamenti** (polimeri vinilici) adatti a trattamenti microstatici e batteriologici;

- **Pareti divisorie e pannelli** rivestimenti

- **Tubazioni**: a acqua calda (uscoldamento a pannello) e a acqua fredda (uso potabile).

Materiali compositi

I materiali compositi sono materiali costituiti da un composto che funge da **matrice** e da un altro composto che funge da **rinforzante**. I due sono separati da un'interfaccia **netta** di spessore **nullo**. La combinazione di due composti porta alla nascita di un materiale con proprietà meccaniche superiori a quelle dei singoli materiali.

Vi sono composti di uso comune (come asfalto e cemento) e composti tecnologici, quali i polimeri termoindurenti in cui vengono aggiunte fibre rinforzanti di vetro, C e/o Kevlar.

Solitamente la **matrice** è un **polimero termoindurente** (epossidico), mentre il materiale rinforzante è costituito da **fibre** di materiale vario. In generale la fibra di un materiale è più resistente di un qualunque altro oggetto di forma diversa realizzato con lo stesso materiale, questo perché, per le sue dimensioni, la fibra è uno stato quasi perfetto, in grado non presenta difetti macroscopici.

Per migliorare la resistenza a trazione occorre fare molta attenzione all'architettura delle fibre, le quali sono molto resistenti se sollecitate lungo il loro asse e molto deboli se sollecitate ortogonalmente ad esso. Ecco perché, spesso, si sovrappongono più fogli di fibre disposti con diverso ordine.



Per quanto riguarda le fibre di carbonio il motivo di ciò è legato alla tipologia di legame: lungo i piani a cella esagonale i legami sono fatti in

19-03-2013

1

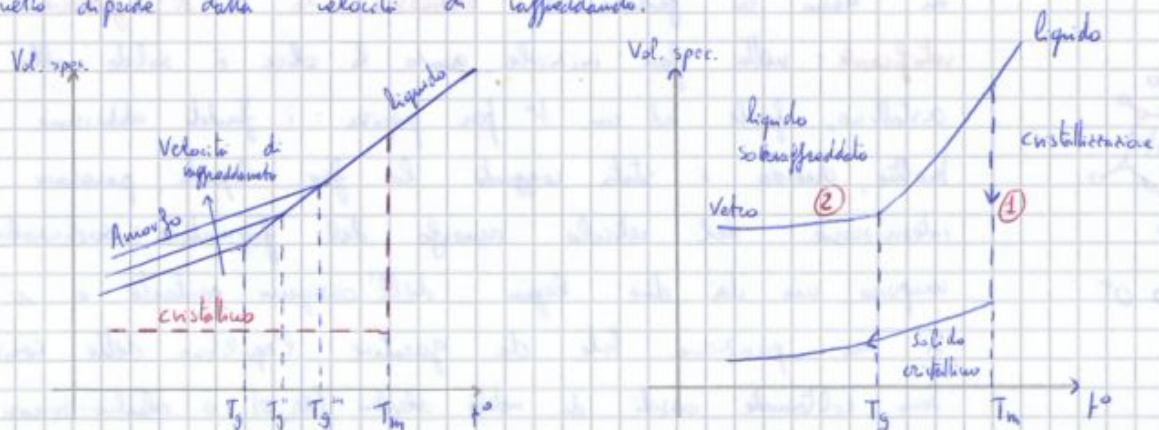
1 Vetri

I vetri sono materiali caratterizzati da proprietà tipiche dei solidi, che hanno una struttura **amorfa**, molto più simile a quella di un liquido che a quella di un solido: un vetro è dunque una qualunque sostanza che, in opportune condizioni, conserva lo stato amorfo. La struttura amorfa di un silicio puro è dovuta al fatto che, a causa di un raffreddamento troppo rapido, gli atomi/molecole del materiale non sono riuscite a dar origine ad una struttura cristallina ordinata: l'ordine si è infatti conservato a corto raggio (mantenimento nel tetraedro silicio) ma non a lungo raggio.

Le strutture amorfe sono **termodinamicamente metastabili**: il materiale, cioè, di una spontanea natura, tende ad assumere la struttura che lo porta ad avere il più basso valore possibile di energia interna; nel nostro caso la struttura più stabile è quella cristallina, di conseguenza i vetri tendono a raggiungere questa configurazione (si dice che **vetrificano**) alle condizioni termodinamiche e cinetiche lo permettono.

Il processo di vetrificazione è deleterio per il vetro, che in questo modo perde molte delle sue caratteristiche principali (come la trasparenza), tuttavia il processo è molto lento e non apprezzabile ad occhio nudo, pertanto non si preoccupa più di tanto.

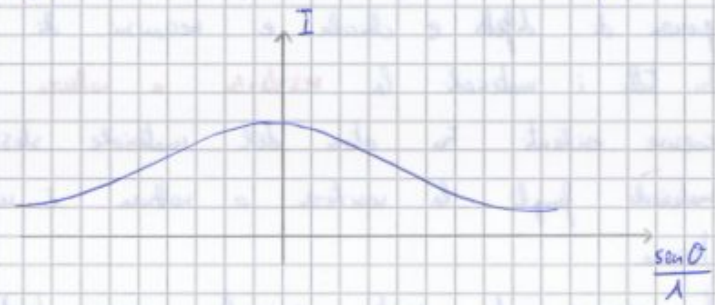
Nei materiali con struttura amorfa non esiste una temperatura di fusione, questo perché i legami dei solidi amorfi non si rompono tutti alla stessa temperatura, ma si ha un **intervallo termico** in cui il materiale prima rammollisce e poi fonde. Se dunque una sostanza ha la tendenza ad assumere una struttura amorfa, viene raffreddata con una velocità maggiore della sua velocità di cristallizzazione, tende a mantenere il suo stato liquido anche al di sotto della **temperatura di fusione T_m** , sebbene la sua viscosità aumenti (si parla di **liquido sottoraffreddato**). In corrispondenza poi di una certa temperatura **T_g** detta di **transizione vetrosa** ($T_g < T_m$), correlata in corrispondenza del punto della curva in cui cambia la pendenza, il materiale diviene solido, mantenendo la struttura amorfa. Dal grafico si vede bene che sia la T_g sia il volume specifico del vetro dipende dalla velocità di raffreddamento.



- **intermedi**: non sono né fusi né modificati, cioè si posizionano nel vetro vetoso ma non sono in grado di fondere; servono per attribuire proprietà particolari al vetro (allumina Al_2O_3 , ossido di titanio TiO_2).

Proprietà del vetro

- **Proprietà ottiche**: la diffrazione dei raggi x di un vetro non presenta picchi ossia punti di interferenza costruttiva, ma un alone dovuto all'assenza di ordine cristallino a lungo raggio. Pertanto i vetri non sono in grado di dare interferenza costruttiva alle onde elettromagnetiche.



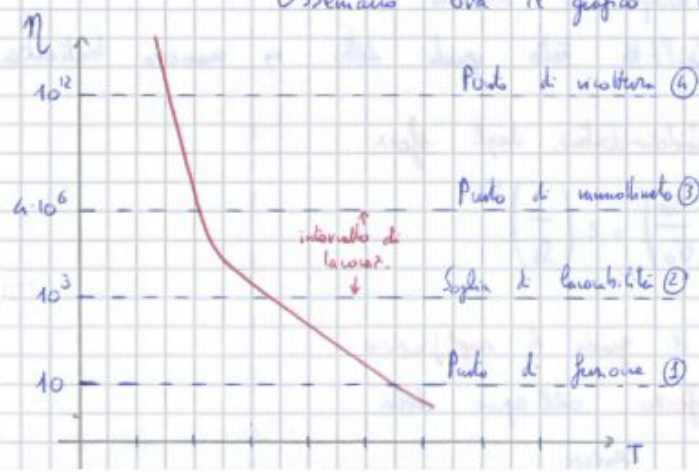
- **Proprietà fisiche**: la risposta di un vetro ad una sollecitazione meccanica dipende dalla T°

- per $T < T_g$ il materiale ha comportamento prevalentemente elastico e soggetto a frattura fragile
- per $T > T_g$ il materiale ha un comportamento viscoso con scorrimento delle unità strutturali del vetro.

La proprietà di **viscosità** indica la resistenza di un materiale a scorrere allo scorrimento, in risposta alle sollecitazioni meccaniche applicate tangenzialmente. Questo spiega perché le def. plastiche dei vetri sono di questo tipo: in risposta allo sforzo applicato, i legami si spezzano e si riformano in altre posizioni.

La viscosità nei materiali amorfi segue un andamento esponenziale decrescente rispetto alla temperatura, secondo una curva continua.

Osserviamo ora il grafico viscosità - temperatura ($\eta - T$)



- ① Punto di fusione: il vetro può essere considerato un liquido;
- ② Punto di lavorazione: il vetro non è abbastanza viscoso da mantenere la forma assegnatagli;
- ③ Punto di ramollimento: max T° alla quale si può maneggiare il vetro senza deformato.

Critici alla teoria di Griffith

Durante la propagazione della cricca il materiale around parte dello sforzo applicato dall'esterno lo rilascia per la creazione di due nuove superfici all'apice della cricca.

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2}$$

E = modulo elastico

γ_s = energia sup. specifica

a = semilunghezza cricca ritena

$$\sigma_c^2 \pi a / E > G_c$$

condiz. di propagazione della cricca secondo Griffith

σ_c = tensione critica, superata la quale il difetto si propaga e la cricca si allarga

Non tutte le cricche si comportano allo stesso modo.

$$K_{Ic} = \sigma_c (\pi a)^{1/2} Y$$

Y = fattore di forma

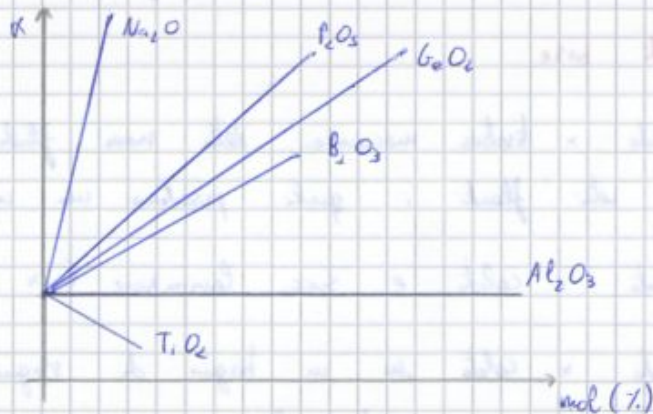
σ_c = sforzo critico

K_{Ic} = tenacità a frattura in condizioni di def. piano (+ è alto + la rottura fragile è meno probabile)

Maggior numero di cricche è superficie

- **Proprietà termiche - conducibilità**: i vetri sono materiali con un altissimo disordine strutturale, questo vuol dire che il cammino libero le fononi, ossia il punto responsabile della propagazione del calore, è breve, di conseguenza la conducibilità di calore di questi materiali è piuttosto bassa.

- **dilat. termica**: a seconda della composizione del vetro, il coefficiente di dilatazione termica α è molto diverso



Per vetri da finestra, in cui le def. possono anche essere discrete si usano ossidi di sodio (α alto), mentre per vetri per usi particolari si usano ossidi di titanio (α basso)

- Vetri con piombo: - t° lavorat. bassa, brillanti, x lenti ottiche;
- Vetri borosilicati (Pyrex): elevate resistenza a shock termici, vetri vetri, x stufe da laboratorio, stanghie, etc...
- Vetri alluminio-silicati: alta resistenza a graffi e t° elevate.

26-3-2013

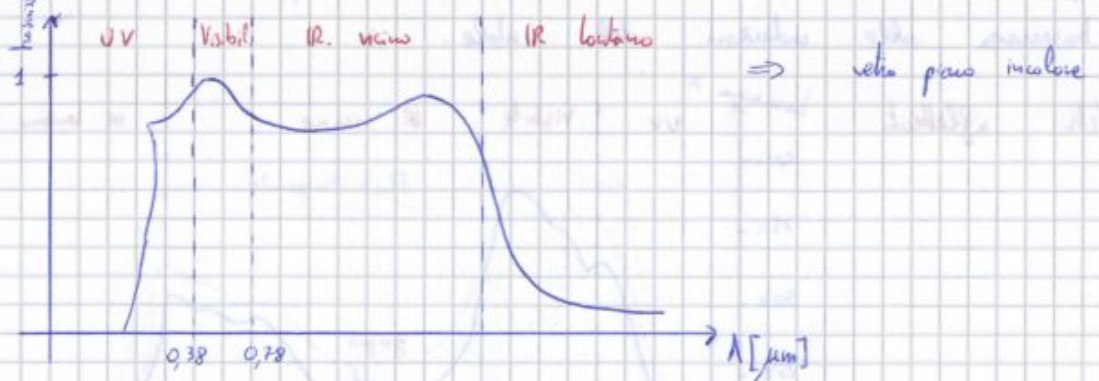
I vetri in edilizia

I vetri in edilizia svolgono la funzione fondamentale di garantire un adeguato livello di illuminazione degli ambienti interni. Inoltre è su di loro che dobbiamo operare per controllare le trasmissioni di calore tra int. ed esterno. Dunque le funzioni cui devono assolvere sono 2: - **attenuare gli effetti dell'irradiazione solare** (vetri assorbenti e vetri riflettenti); - **migliorare l'isolamento termico** (vetri isolati e vetri bassocostanti).

In entrambi i casi lo scopo è quello di ridurre i costi di condizionamento estivo / riscaldamento invernale.

Irraggiamento solare

Il vetro, in questo materiale amorfo, è trasparente, il che vuol dire che fa "passare" le radiazioni elettromagnetiche che corrispondono alla λ dell'IR e dell'UV. La **curva di trasmissione** del vetro ci dice quanto di questa radiazione passa e quanto viene assorbita (con aiuto della t° del vetro) e poi rilasciata per convezione e irraggiamento.



L'irraggiamento solare che colpisce un vetro viene in parte riflesso, in parte assorbito e in parte trasmesso al vetro stesso. Si definisce **fattore di riflessione ρ** il rapporto tra il flusso energetico riflesso e quello incidente.

L'energia incidente I_0 si divide dunque in:

- energia riflessa = $\rho \cdot I_0$
- energia trasmessa = $\tau \cdot I_0$

Vetri riflettenti

Essi rappresentano la soluzione più moderna per ottenere l'eccellente inibizione solare. Questi vetri riflettenti verso l'esterno della vetrata in notevole frazione dell'energia solare incidente, senza l'inconveniente di bloccare parte delle radiazioni del visibile.

Per ottenere questo risultato si fa in modo di ottenere, sulla superficie esterna del vetro, un sottilissimo strato di **metalli** e/o **ossidi metallici**, che per la loro struttura atomica sono in grado di riflettere bene buona parte delle radiazioni solari.

Le tecniche per avere questo risultato sono 2:

- **pirólisi**: sulla superficie del vetro ancora caldo vengono spruzzati opportuni reagenti formati da filati di ossidi metallici (questa tecnica oggi poco utilizzata perché crea delle coperture relativamente ruvide e l'ampietà).
- **sputtering catodico**: in questo caso lo strato riflettente viene creato off-line, cioè quando il prodotto stesso è già uscito dal forno a vetri. Attraverso una particolare tecnica che combina campi elettromagnetici e vuoto spinto, si fa depositare lo strato metallico sulla superficie del vetro. La tecnica dello sputting catodico è + costosa della pirólisi, ma consente di ottenere un prodotto decisamente migliore.

Con vetri riflettenti, la quantità di radiazione trasmessa all'ambiente esterno passa dall'80% dei vetri chiari, al 20%.

Vetri isolanti

Lo scopo dei vetri isolanti è quello di ridurre la trasmissione termica dall'interno verso l'esterno. Per ottenere questo risultato si usano appunto vetri "a pacchetto": tra due lastre di vetro float chiaro si lascia un'intercapedine d'aria (o di gas nobili come l'argon), in quanto l'aria condurrà il calore 50 volte meno del vetro. Logicamente più lo spessore dell'intercapedine è alto, più l'isolamento è migliore, ecco perché esistono anche vetri a doppia intercapedine (vetri "inti al perno" o "isolamento

Vetri bassoremissivi

Per migliorare l'isolamento termico di un vetrato occorre ridurre il più possibile la trasmissione delle radiazioni emesse nel lontano IR. Per fare ciò si riveste la faccia esterna del vetro interno di un vetrocamera con un **film a bassa emissività**, cioè ad alta riflettanza dell'IR vicino. Questi vetri, utilizzati in combinazione con vetri isolanti, sono detti **bassoremissivi**.

giunge all'azione della rete metallica, che induce un progressivo e lento scioglimento della lastra, evitando la formazione di bucce e schegge pericolose.

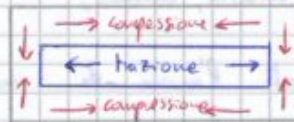
Vetri temprati

Loiè sappiamo il processo di tempra comporta la formazione di tensioni interne al materiale anche in assenza di carichi esterni.

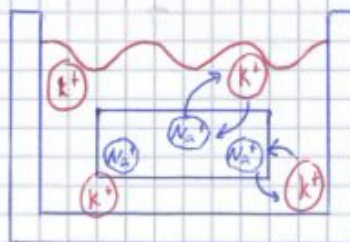
Nei vetri la tempra avviene in due modi:

- **tempra termica**: si investe con aria una lastra di vetro a T vicina alla T di ramollimento. Durante il raffreddamento si crea una grande diff di temperatura tra esterno ed interno del vetro: il vetro, infatti, quando si trova ad una $T < T$ transizione vetrosa diventa rigido, mentre l'interno tende a contrarsi quando l'esterno è rigido. Tutto ciò porta ad avere un vetro in cui all'interno viene ad avere una condizione di **tensione**, mentre all'esterno si trova in **compressione**.

Questo processo aumenta la resistenza a flessione del vetro, la resistenza agli shock termici e soprattutto impedisce al vetro, quando si rompe, di formarsi grosse e pericolose schegge: i vetri temprati, infatti, quando si rompono si spezzano in mille pezzi, rendendoli così + sicuri.



- **tempra chimica**: avviene per scambio ionico i vetri contenenti ioni Na^+ scambiano ioni K^+ provenienti dal KNO_3 fuso; essendo il raggio ionico del K^+ maggiore di quello dell' Na^+ si originano delle tensioni di compressione sulla superficie esterna del vetro e delle zone di tensione all'interno. La resistenza a compressione che si ottiene con questo processo è molto più alta di quella che si ha con tempra termica, tuttavia lo spessore del vetro così prodotto è limitato: ecco perché il principale impiego di questi vetri è nel settore dell'ottica.



Scambio ionico

I materiali ceramici

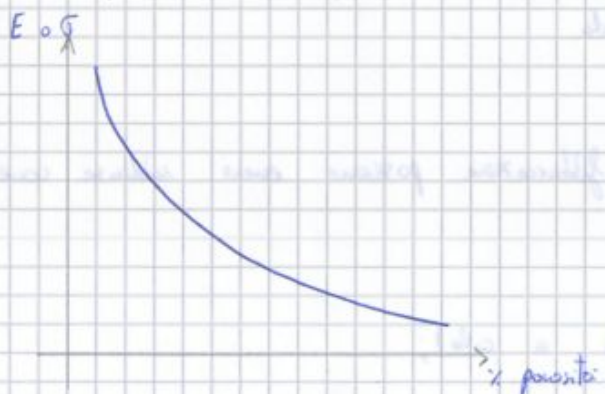
I materiali ceramici sono caratterizzati dall'avere una struttura atomica in cui, a forza da produrre, sono forti legami direzionali (ionico-covalenti), i quali conferiscono al materiale nel suo complesso, le seguenti proprietà: alta resistenza al calore e all'attacco chimico (sono spesso materiali inerti), isolante elettrico, fragilità, elevata durezza, rigidità, buona resistenza a compressione e assenza di def. plastiche.

In generale, però, noi definiamo ceramico un materiale ottenuto da materie prime **inorganiche non metalliche**, formati a freddo e consolidati mediante cottura (secondo un processo che analizzeremo meglio in seguito). I prodotti in materiali ceramici non vengono prodotti per frizione e stampaggio semplicemente perché la T° di frizione di questi materiali supererebbero troppo elevate.

I materiali ceramici sono inoltre caratterizzati da **elevati porosità residua**, cioè porosità dante al processo di produzione. I pori costituiscono il principale difetto di qst. materiali e possono essere: pori aperti, comunicanti con l'esterno; pori chiusi, non " " " " " " " "

Come detto, i pori peggiorano notevolmente le proprietà meccaniche dei ceramici, questo perché costituiscono **punti di concentrazione degli sforzi**, dove innescano la formazione e la propagazione delle cricche, e **diminuiscono la sezione reale del pezzo**.

Se ad esempio osserviamo i grafici $\% \text{ porosità} - \text{ modulo elastico}$ e $\% \text{ porosità} - \text{ resist. a flessione}$ osserviamo che le due grandezze sono inversamente proporzionali.



L'effetto della porosità porta anche ad una **riduzione della conduttività termica κ** , questo perché l'aria, contenuta nei pori, è un cattivo conduttore di calore e pertanto la trasmissione di calore totale risulta ridotta.

In fine i pori aumentano la resistenza agli shock termici: infatti, dalla formula

$$TSR \approx \frac{\sigma_k}{E \alpha}$$

si vede bene come tale resistenza dipenda da E e da κ , valori che, **rispettivamente, aumentano e diminuiscono**, con l'aumentare della $\%$ di porosità.

3) Ciclo prodotti smaltati in monocottura: come biscottura ma non c'è la 1^a cottura. 8

Preparazione delle polveri e dell'impasto

I materiali che vanno a costituire l'impasto devono essere sbriciolati per macinazione. La macinazione può essere:

- per via secca, si usa un max 5% di H₂O e porta ad una riduzione granulometrica meno marcata;
- per via umida, consente una migliore omogeneizzazione, ma aumenta la riduzione granulometrica.

Nella macinazione per via umida, al fine di ridurre la riduzione granulometrica, è necessario effettuare, in un secondo momento un processo detto di atomizzazione - ciò consiste in un rapido arricchimento e punto; il materiale macinato all'aria in contatto d'acqua del 3-6% in peso, quando questo all'inizio era del 33-37%. Come si vede, l'acqua non viene eliminata totalmente altrimenti la possibilità di formatura si ridurrebbero notevolmente.

N.b: la macinazione avviene tramite mulini a martelli o a pale.

Processi di formatura

I processi di formatura variano a seconda della geometria che si vuole ottenere sul prodotto finito. I principali processi oggi adottati sono:

- **pressatura**, si usa per produrre piastrelle e stanghe (impasti poco umidi);
- **estrusione**, " " " " e laterali (" umidi);
- **colaggio**, " " " " stampati (impasto molto umido).

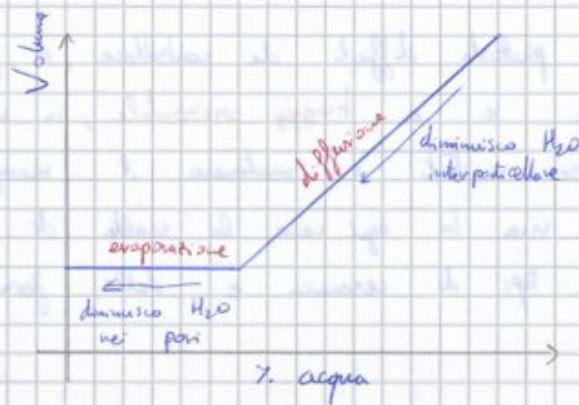
Nel processo di pressatura possono essere fatti più stampi successivi, conferendo al prodotto finito geometrie particolari (ved tegole).

Nel processo di estrusione il materiale viene spinto attraverso una matrice di estrusione con forme particolari.

Nel processo di colaggio si hanno due varianti:

- **colaggio per oggetti cavi**;
- **colaggio per oggetti pieni**.

In ogni caso la sospensione colata prende il nome di **barbottina** e si usano degli stampi utilizzabili di gesso o resina (tempi di colaggio minori, durata dello stampo maggiore). Sia gli stampi in gesso che quelli in resina devono essere piovosi, perché tale proprietà facilita il processo di produzione. Questi inoltre vengono creati tramite tecniche CAD/CAM in 4 parti, ricordandosi sempre che il prodotto finito, a causa del ritiro, avrà un dimensione minore risp a quella dello stampo.



Le due fasi di rinascita dell'acqua pendono, rispettivamente, il nome di:

- **diffusione**, da interno a sup. poro
- **evaporazione**, da sup. poro

Ecco perché è richiesto che gli stampi siano costituiti da materiale poroso: perché favorisce la migrazione dell'acqua nella fase di essiccamento.

Le camere di essiccamento sono dei lunghi tunnel attraversati da aria calda e con valori di umidità e temperatura controllati, in cui i manufatti, raccolti in apposite cassette su rotaie, attraversano tale tunnel asciugandosi progressivamente.

Per ottenere manufatti più pregiati si adottano anche tecniche di **uscaldamento con microonde** che abbreviano i tempi di trattamento e aumentano la capacità produttiva.

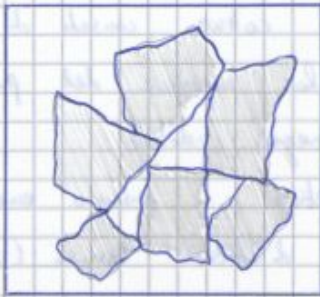
Processi post essiccamento

- **Smaltatura**: applicazione di un rivestimento sottile che riduce il potere assorbente e aumenta la resistenza agli agenti atmosferici e le qualità meccaniche
- **Aggiunta di elementi cromofori solubili**: su elementi di copertura o su manufatti faccine a vista
- **Anotatura**: attraverso un'energia spazzolamento con setole metalliche si elimina lo strato superficiale più debole, portando in superficie lo strato più inteso e più duro, aumentando così la resistenza ad abrasione del materiale

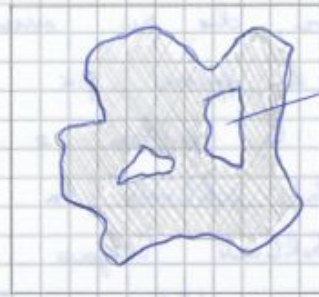
La cottura

La fase di cottura è una delle più delicate dell'intero processo di produzione delle ceramiche, questo perché le condizioni e le temperature a cui si arriva durante la cottura devono essere mantenute costantemente al fine di ottenere un prodotto finito solido e funzionale.

La cottura avviene in forni di dimensioni variabili, a seconda della grandezza dei pezzi, in cui si cerca di mantenere una temperatura uniforme, al fine di ottenere una cottura uniforme. La tipologia dei forni è mutata molto nel tempo: si è passati da **forni primitivi**, con il focolare nella parte bassa, per i quali



1° fase: compattazione a freddo

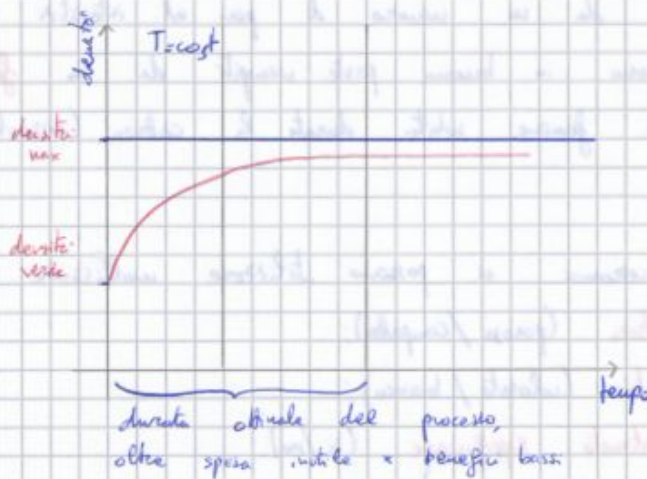


vuoti (impiccioliscono, ma sono responsabili del non raggiungimento della densità teorica)
 ↳ porosità residue

2° fase: riscaldamento a T° elevate, aumento della mobilità atomica, diffusione di atomi allo stato solido, riduzione dei vuoti e dei bordi di grano, aumento della densità

Vi sono molti tipi diversi di sinterizzazioni, le più usate sono quelle senza pressione o totalmente allo stato solido, o con presenza di una fase liquida.

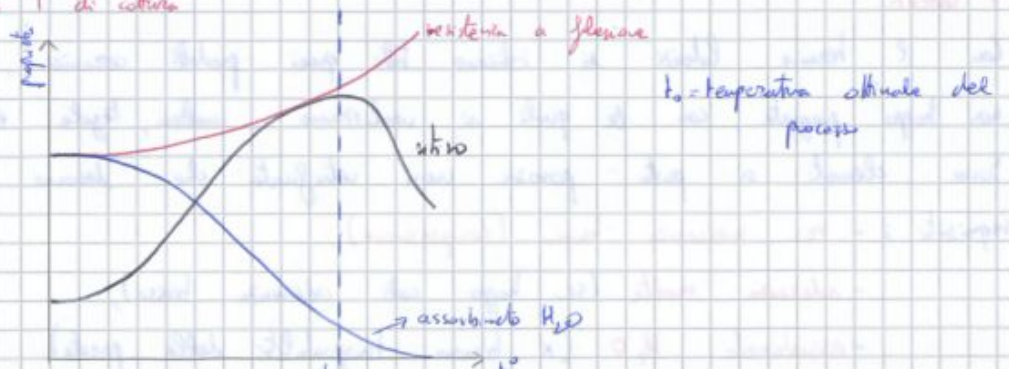
Di seguito viene riportato il diagramma tempo-densità di un processo di sinterizzare come, in cui si evidenzia come la densità del verde aumenta molto rapidamente all'inizio per poi tendere asintoticamente al valore di densità ideale



Il tutto dipende sempre dalla composizione dell'impasto e dalle T° di lavoro

Per ottenere prodotti compatti si utilizzano T° > 1200°C e impasti da densa fase vetraria che occupa la maggior parte delle porosità, mentre per ottenere prodotti porosi si usano T° inferiori e impasti con pochi fondenti, altrimenti si ha troppa fase liquida che va ad occupare le porosità.

Proprietà in funzione della T di cottura



Per quanto riguarda i laterizi adibiti come elementi di copertura abbiamo:

- tegole (con fissaggio tramite incastrici);
- coppi (" " ottenuti per sovrapposizione).

Su questi elementi è indispensabile effettuare specifiche prove di impermeabilità, resistenza a flessione e resistenza agli urti.

Esempi di prodotti pasta porosa: cotto, maiolica, cottoforte, terraglia;
 " " " " compatti: gres rosso, clinker, gres porcellanato.

Classificazione delle piastrelle

Le piastrelle vengono classificate in gruppi, in funzione di due soli parametri:

- assorbimento acqua (4 categorie I, II, III, IV);
- metodo di formazione (estrusione o pressatura).

Cerami a pasta compatta

I più comuni sono i gres, la cui importanza è data dalla tipologia di tecnica produttiva, infatti con il termine **grefificazione** si indica precisamente quel processo che porta alla parziale vetrificazione di alcuni elementi in miscela durante la cottura.

I gres possono essere **naturali**, se in natura esistono delle miscele di argilla che di per sé, se cotte, danno origine a grefificazione, o **artificiali**, se i prodotti di vetrificazione vengono aggiunti durante la preparazione della miscela.

Altro prodotto ceramico a pasta compatta è la **porcellana**, realizzata con una miscela argillosa molto pura e pregiata detta **caolino**.