Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari
Tesi di laurea
Cartoleria e cancelleria
Stampa file e fotocopie
Print on demand
Rilegature

NUMERO : 302 DATA : 14/06/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Audisio

MATERIA : Materiali per il Design

Prof. Actis

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 STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 32

LA STRUTTURA DEI MATERIALI:

Il materiale è aggregato di atomi e molecole che grazie a legami acquisisce una struttura che gli garantisce varie reazioni e sollecitazioni. Sono gli atomi e le molecole a costruire la materia, dal tipo di legame derivano la struttura finale e le proprietà dell'oggetto.
Esistono 3 classi di materiali : metalli, polimeri, ceramici, poi ci sono i materiali compositi formati da 2 materiali uniti; infine ci sono anche i materiali naturali come il legno e cuoio. Per esaminare i materiali si usano diffrattometria raggi x, microscopia elettronica a scansione o trasmissione e la microscopia a forza atomica, esaminano fino all'atomo.

LEGAMI CHIMICI: gli atomi sono costituiti da un nucleo (protoni + e neutroni) e da elettroni - che occupano dei livelli energetici; gli elettroni del livello più esterno sono elettroni di valenza grazie ai quali avvengono i legami, massimo 8 elettroni. Tipi di legami:

- ionico, cessione di elettroni da atomo all'altro con formazione di ioni
- covalente, compenetrazione tra atomi di uno o più elettroni
- metallico, compenetrazione di elettroni di valenza tra mlt atomi attigui.

tra molecole diverse si formano legami deboli , si ricorda il dipolo/ dipolo (idrogeno) e i legami di van der waals.

LEGAME IONICO: si forma tra atomi diversi, un atomo abbonda di elettroni l'altro no, x avere configurazione stabile. catione+ (atomo che cede) anione- (atomo che riceve); questo legame è adirezionale xke il campo di attrazione tra ioni presenta simmetria sferica.

LEGAME COVALENTE: compenetrazione uno o più elettroni, compenetraz. di un elettrone-> legame covalente semplice compenetraz. due elttroni-> legame cov doppio e così via. Si può formare tra atomi simili o atomi diversi(es del carbonio) è un legame direzionale .

LEGAME METALLICO: metalli hanno pochi elettroni di valenza legati debolmente al nucleo, se ci sono molti atomi di metalli elettroni viaggiano e si forma una nuvola elettronica e un'attrazione elettrostatica tra i nuclei(+). legame forte, agiste in tutte le direzioni quindi è adirezionale.

LEGAMI DEBOLI:sono le interazione elettrostatiche tra le molecole che hanno dipoli elettrici (la molecola è una insieme di piccoli atomi tenuti insieme da legami covalenti); quando i dipoli sono deboli (carbonio,idrogeno) si parla di interazioni di van der waals, i legami dipolo/dipolo sono interazioni più deboli di quelle dei legami ionici, queste interazioni danno vita a sostanze molecolari cioè un aggregato di molecole che interagiscono debolmente. le sostanza macromolecolari sn eccezione, sono molecole costituite da molti atomi uniti da legami covalenti, anche se sono deboli sono tanti legami quindi elevata resistenza alle sollecitazioni (polimeri).

LA STRUTTURA DEI MATERIALI: diverse strutture: cristallina,amorfa e semicristallina.

STRUTTURA CRISTALLINA: atomi in modo ordinato e ripetitivo. (materiali metallici e ceramici). legami forti quindi resistenza alle sollecitazioni. il reticolo cristallino metallico può essere deformato grazie alle dislocazioni (piccoli difetti reticolari) mentre quello dei materiali ceramici (leg ionici e covalenti) non consente la deformazione.

STRUTTURA AMORFA:in questa struttura i gruppi di atomi o molecole di dispongono in modo disordinato anche se all'interno ci sono legami forti.

STRUTTURA SEMICRISTALLINA: strutture cristalline e amorfa coesistono (polimeri) , causa di differenti temperature di fusione delle zone cristalline e di rammollimento x quelle amorfe questi materiali hanno temperature d'impiego superiori a quelle dei polimeri amorfi, i polimeri

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 32

Struttura:

- sequenza ordinata nello spazio di elementi metallici e non che si legano x formare reticolo cristallino , fa eccezione il vetro.
- elettroni di valenza utilizzati x legami che tengono insieme gli atomi

Proprietà:

- elevata resistenza meccanica a compressione, bassa resistenza a trazione.
- elevato isolamento termico elettrico xke gli elettroni sn vincolati
- elevata inerzia chimica e resistenza ad alte temperature
- comportamento a frattura di tipo fragile

Lavorabilità:

- non posso essere deformati plasticamente
- vetri si possono formare con tecnologie convenzionali a elevate temperature.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 32

polimeri mentre ceramici e vetro tenacità molto bassa.

PROPRIETA' FISICHE E CHIMICHE

CONDUCIBILITA' TERMICA: proprietà che regola il trasferimento di calore, se bassa conducibilità allora sono isolanti. metalli conduttori,polimeri isolanti,ceramici varia.

CONDUCIBILITA' ELETTRICA:capacità di un materiale di condurre corrente, normalmente di indica la resistività misurata in microohm x centimetro che diminuisce all'aumentare della conducibilità elettrica, proprietà legata alla mobilità degli elettroni.

MAGNETISMO:fenomeno x cui i materiali esercitano forze su altri, si hanno 3 tipi di materiali: non magnetici, ferromagnetici e magneti permanenti(materiali con cui sono fatte le calamite).

MASSIMA TEMPERATURA DI SERVIZIO:temperatura massima alla quale un materiale può essere usato per impieghi strutturali, x i metalli e i ceramici è una temp elevata , x i polimeri dipende dalla struttura.

DURABILITA':resistenza all'ambiente in cui si trova il manufatto nel suo normale utilizzo. metalli e polimeri forse problemi di durabilità, i ceramici no. Resistenza all'acqua naturale,mare,agenti atmosferici,sole,detergenti e solventi.

CARATTERISTICHE OTTICHE

TRASPARENZA:

- qualità ottica , trasparenza del materiale
- trasparente, trasparenza buona (mat amorfi,vetro)(polimero se omogeneo)
- traslucido, la luce diffusa è trasmessa tramite il materiale
- opaco,non trasparente la luce non passa attraverso. (mat cristallini,metalli,ceramici) (polimero se eterogeneo)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 32

COME SI DIMENSIONA UN OGGETTO:

DEFORMABILITA' DI UN OGGETTO: qualsiasi oggetto sottoposto a forze subisce variazioni delle sue dimensioni.

DIVERSI TIPI DI SFORZO E DEFORMAZIONE: lo sforzo non è una grandezza misurabile , si può valutare come rapporto tra la forza agente e la sezione resistente. La deformazione è il rapporto tra l'allungamento subito e la lunghezza iniziale; vari tipi di sforzo : trazione o compressione,taglio,flessione e torsione.

TRAZIONE O COMPRESSIONE: Se il corpo si allunga nella direzione della forza allora sarà deformazione di trazione, se il corpo si accorcia nella direzione della forza allora sarà deformazione di compressione.

- Ci sono molte forze interne che agiscono in questa situazione
- si definisce sforzo il rapporto tra la forza applicata F e la sezione iniziale Ao , si misura in N/ m*2 cioè in Pascal , oppure in MPa (un milione di Pa) oppure in GPa (un miliardo di Pascal).
- deformazione è il rapporto tra l'allungamento subìto dall'oggetto (delta L) e la lunghezza iniziale (Lo). Essa è adimensionale essendo un rapporto tra due lunghezze.
- poi c'è il legame sforzo-deformazione: è provato con la legge di Hooke che finchè si resta del campo delle deformazioni elastiche esiste una relazione di proporzionalità tra sforzo e deformazione : Sforzo applicato = modulo di elasticità di Young x la deformazione. La legge di Hooke permette di calcolare lo sforzo necessario, il modulo di elasticità del materiale utilizzato e di calcolare la deformazione che l'oggetto subisce.

Ogni materiale è caratterizzato da uno specifico valore del modulo di elasticità E. Maggiore è questo modulo minore è la deformazione che il materiale subisce a priorità di sforzo agente.
Nella scelta del materiale esso deve:

- essere sufficientemente resistente ,cioè la sua resistenza intrinseca deve essere superiore allo sforzo agente.
- deve essere sufficientemente rigido cioè il suo modulo di elasticità deve essere abbastanza alto da determinare un allungamento DELTA L inferiore a quello massimo di progetto.

FLESSIONE: lo stato di flessione è formato da due momenti uguali e opposti che agiscono sullo stesso piano determinando una deformazione di flessione. si nota che :

- ogni rettangolo elementare del corpo si deforma incurvandosi
- in ogni sezione di passa da una sezione in cui le fibre sono sollecitate a trazione e allungate , a una condizione in cui le fibre sono sollecitate a compressione e accorciate.
- esiste una zona (asse neutro) in cui le fibre non sono né sollecitate né deformate
- in caso di geometria simmetrica l'asse neutro si trova nella mezzeria dell'altezza o del diametro
- la sollecitazione dipende dalla posizione dell'asse neutro: se y è + : lo sforzo è di trazione ; se y è 0 lo sforzo è nullo; se y è - lo sforzo è di compressione.

MOMENTI DI INERZIA: è una grandezza che valuta la resistenza che una sezione resistente oppone a essere deformata e dipende dalla sua geometria. tanto più è il rapporto di altezza lunghezza della sezione tanto più è alto il momento di inerzia; la sezione a doppia T garantisce il massimo valore del momento di inerzia; le sezioni cave determinano un momento di inerzia superiore alle sezioni piane.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 32

MATERIALI METALLICI:

INTRODUZIONE: elevate caratteristiche meccaniche, sono materiali inorganici composti da un unico elemento metallico. Nel legame metallico c'è la presenza di elettroni liberi quindi buona conduzione termica ed elettrica oltre a lucentezza e riflettività , le deformazione nel reticolo cristallino consente che si possano deformare plasticamente.

LEGAME CHIMICO E STRUTTURA CRISTALLINA:tutti i metalli tranne il mercurio sono allo stato solido, gli atomi sn disposti in un reticolo cristallino; gli elettroni si muovono tra i vari atomi del reticolo formando la nude elettronica(legame metallico) questo è un legame forte, grazie a gli elettroni che si muovo c'è buona conducibilità elettrica e termica; il legame essendo determinato da forze di attrazione elettrostatica il legame è adirezionale; i metalli hanno struttura cristallina compatta, ci sono 3 tipi di reticoli: cubico a facce centrate, esagonale compatto e cubico a corpo centrato.

DIFETTI RETICOLARI: difetti puntiformi sono difetti che riguardano solo un numero ridotto di atomi oppure i difetti lineari coinvolgono difetti più estesi(dislocazioni) e poi ci sono i difetti di superficie (bordi di grano).

- difetti puntiformi sono costituiti da :
  - vacanze che sono posizioni reticolari non occupate da alcun atomo.(la presenza di vacanze facilita i processi di diffusione)
  - atomi interstiziali: atomi del metallo stesso e non che occupano una normale posizione reticolare.
- difetti lineari e deformazione plastica: fino a che la sollecitazione è al di sotto di un valore questo valore si chiama limite elastico, la deformazione permanente si manifesta con lo scorrimento avvenuto di una parte del cristallo rispetto all'altra.
  Le dislocazioni sono dei difetti formati da successioni di atomi posizionati in punti che non coincidono con posizioni reticolari, due tipi di dislocazioni : - dislocazione a spigolo(piu facili) e dislocazioni a vite (piu complesse). se non sono presenti dislocazioni la deformazione avviene per scorrimenti progressivo della dislocazione entro il cristallo, le dislocazioni posso cambiare la loro forma e aumentare di numero. essa è condizionata da due fenomeni:
  - l'incrudimento = con una forza elevata si può far scorrere le dislocazioni all'interno del reticolo , si verifica così un aumento delle deformazioni che durante lo scorrimento possono interagire tra loro, con l'aumento delle dislocazioni e la loro interazione esse sn meno mobili quindi aumenta la caratteristica di resistenza meccanica del materiale. - ricristallizzazione : ad alta temperatura di verificano fenomeni di ri arrangiamento della posizione degli atomi nel reticolo , si riduce il numero di dislocazioni e c'è l'aumento delle dimensioni di alcuni grani cristallini.
- effetto della temperatura e deformazione plastica: con la deformazione plastica a caldo non si ha l'incrudimento del materiale, con la deformazione a freddo invece di ha l'incrudimento del materiale quindi aumento delle caratteristiche meccaniche e difficile deformazione plastica.
- difetti di superficie e bordi di grano: un materiale metallico è costituito da piccoli cristalli detti grani cristallini ognuno formato dal reticolo cristallino con orientazione diversa dagli altri, i bordi di grano sono la superficie di confine tra due grani adiacenti; quando la rottura avviene attraverso i grani si parla si frattura transcristallina(temperature non elevate), frattura intercristallina si propaga lungo le superfici di separazione dei grani (temperature elevate)
- effetto della deformazione plastica sui bordi di grano: la deformazione plastica oltre alle dislocazione forma la rottura dei grani cristallini, solo la deformazione plastica a

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 13 di 32

corrosione intergranulare. le caratteristiche meccaniche di questo acciaio possono essere aumentate solo con l'incrudimento.
- Gli acciai inox ferritici contengono ferro carbonio e cromo, essi non contengono nichel,elemento costoso.
- Gli acciai inox martensitici si usano quando c'è bisogno di elevate resistenze meccaniche ,resistenza alla corrosione grazie al cromo, quello più utilizzato è l'AISI 410.
-Acciaio inox duplex grazie al bilanciamento degli elementi lega sono x metà formati da austenite e per metà da ferrite.

GHISE: Sono leghe ferro-carbonio che contengono anche silicio, le loro caratteristiche rispetto agli acciai sono = fondono con maggiore facilità e possono essere colate in forme complesse, buona resistenza alla corrosione atmosferica , costano abb poco; nonostante tutto hanno basse caratteristiche meccaniche e sn fragili, non posso essere lavorate x deformazione plastica ne a freddo ne a caldo. Ci sono vari tipi di ghise: bianche,grigie,conchigliate,malleabili,sferoidali e lagate.
LE GHISE GRIGIE: il carbonio si presenta sotto forma di noduli ramificati di granite, con queste sono possibili quasi tutti i trattamenti termici eseguibili sugli acciai; lo sforzo di rottura dipende dal tenore di carbonio e silicio, dalla velocità di raffreddamento, dal trattamento termico, dalla forma e distribuzione di grafite. usata x contrappesi ascensori,tombini e griglie stradali,basamenti x motori. Resistenza a compressione elevata.

RAME E LEGHE DI RAME:
RAME PURO: elevata conducibilità termica,facilità di formatura ed elevata deformabilità sia caldo che freddo, ottenimento di getti, caratt meccaniche buone, buona resistenza alla corrosione,facilità di giunzione x saldatura e brasatura, le proprietà meccaniche del rame sn basse e si posso aumentare x incrudimento e deformazione plastica a freddo.
LEGHE RI RAME: hanno questi vantaggi: migliori caratteristiche meccaniche, miglior colabilità, miglior lavorabilità alle macchina utensili,miglior resistenza alla corrosione.

OTTONI: Gli ottoni sono leghe Cu-Zn, quindi composte principalmente da rame e da zinco.
Sono le leghe di rame probabilmente più diffuse grazie alle elevate caratteristiche meccaniche unitamente alla buona resistenza alla corrosione e lavorabilità.
Si distinguono:
- OTTONI ALFA (Ottoni monofasici α): fino al 36% di Zn
- OTTONI BETA: dal 36-45% di Zn

Presentano:
- buone caratteristiche meccaniche
- lavorabilità a freddo (OTTONI ALFA)
- lavorabilità a caldo (OTTONI ALFA + BETA)
- BUONA RESISTENZA ALLA CORROSIONE

Dal 10% al 20% di Zn si hanno delle leghe facilmente lavorabili dette SIMILORI, per via della colorazione simile a quella dell'oro.
La temperatura di fusione di queste leghe è di 925-955°C.

Alla lega possono essere aggiunti altri elementi per ottenere determinate proprietà:
- il manganese e lo stagno aumentano la resistenza alla corrosione
- il ferro aumenta il carico di rottura
- l‘alluminio aumenta la resistenza alla corrosione e all‘abrasione
- l‘antimonio e l‘arsenico inibiscono la dezincificazione
- il nichel migliora le caratteristiche meccaniche e la resistenza alla corrosione
- il silicio serve a disossidare

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 13 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 32

LEGHE DA DEFORMAZIONE PLASTICA: la maggior parte delle leghe in alluminio sono utilizzate allo stato semilavorato, cioè formate per deformazione plastica. L'aggiunta di elementi in lega può modificare le proprietà dell'alluminio, migliorando alcune caratteristiche.
Leghe alluminio-silicio (serie 4000): non particolarmente adatte a trattamenti termici, ma in compenso hanno la miglior resistenza alla corrosione e eccellente colabilità.
Leghe alluminio-zinco (serie 7000): hanno la più elevata resistenza a trazione fra tutte le leghe di alluminio, ma sono più pesanti e meno resistenti alla corrosione.

TITANIO E LEGHE DI TITANIO:
Il titanio è un metallo duro, color argento e con bassa densità (4,51 g/cm*3), è abbondante sulla crosta terrestre, quindi grande disponibilità. Per quanto riguarda la struttura cristallina, a temperatura ambiente il titanio ha struttura esagonale compatta denominata *fase alfa*, che si mantiene fino a 882,5°C dove la struttura subisce una modificazione diventa sistema cubico a corpo centrato, chiamata *fase beta.* Le sue caratteristiche sono: leggerezza, resistenza alla corrosione, modesta espansione termica, proprietà meccaniche elevate, amagneticità, biocompatibilità. E' un ottimo materiale strutturale, è più elastico dell'acciaio; l'elevato punto di fusione rende il titanio idoneo per utilizzi a temperature elevate. Altra caratteristica del titanio è la memoria di forma, che si manifesta quando è in lega col nichel.

LEGHE DI TITANIO: l'aggiunta di elementi di lega al titanio influenza la temperatura della trasformazione *alfa/beta*, è bene dividere gli elementi di lega in stabilizzanti della fase alfa (alluminio, ossigeno e azoto) e stabilizzanti della fase beta (cromo, vanadio e niobio).
Leghe alfa: sono induribili solo con deformazione plastica a freddo e sono caratterizzate da ottima saldabilità, duttilità, car. meccaniche basse.
Leghe alfa e beta: contengono elementi in tenori tali da assicurare a temperatura ambiente la presenza di una certa quantità di fase beta, quindi son più resistenti delle leghe alfa. Sono meno saldabili delle leghe alfa e richiedono trattamenti termici post-saldatura per diminuire la fragilità.
Leghe beta: hanno struttura dura e resistente che può essere ulteriormente rafforzata mediante tempra di soluzione e invecchiamento.

ZINCO:
ha densità 7,13 g/cm*3, punto di fusione a 419,5°C, struttura cristallina a temperatura ambiente e.c. Anche se utilizzabile come metallo per applicazioni massime, il maggior utilizzo è legato ai trattamenti di rivestimento dell'acciaio per proteggerlo dalla corrosione.

TECNOLOGIE DI LAVORAZIONE:
possono essere realizzate secondo modalità oe sequenze diverse in base a cosa si vuole ottenere. Si possono individuare:

1. processi per ottenimento di semilavorati
2. lavorazioni alle macchine utensili
3. operazioni di giunzione tra pezzi diversi
4. operazioni di rifinitura superficiale

1) PROCESSI PER OTTENIMENTO DI SEMILAVORATI:
un semilavorato può essere ottenuto direttamente per fusione (getti), mediante sinterizzazione o tramite solidificazione e successive lavorazioni plastica.
LAVORAZIONI DI FONDERIA:
lo scopo è quello di ottenere direttamente mediante un processo di solidificazione dei pezzi di geometria complessa, detti getti, riducendo al minimo le lavorazioni successive. Gli stampi possono essere a perdere o permanenti. I principali metodi di colata sono:

- Colata in sabbia: stampo ottenuto compattando sabbia e leganti attorno a un modello che

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 32

polimero organico. I vantaggi dell'incollaggio sono la possibilità di farlo a bassa temperatura, il fatto di non appesantire la struttura e poter unire materiali diversi.

4) OPERAZIONI DI FINITURA SUPERFICIALE:
prima di realizzare le operazioni di finitura occorre preparare la superficie: è possibile utilizzando abrasivi sospinti da un getto d'aria o sotto forma di pasta. È possibile applicare su molti materiali dei rivestimenti metallici, generalmente impiegati per conferire proprietà superficiali al manufatto differenti da quelle del materiale di base. Sulle superfici di alcuni metalli si possono formare degli ossidi mediante un processo di ossidazione anodica; l'impiego di alluminio anodizzato consente di ottenere effetti estetici differenti.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 32

MATERIALI CERAMICI:

classe di materiali molto ampia ed eterogenea, suddivisa in *ceramici tradizionali* e *avanzati*. Sono generalmente solidi inorganici. Essi presentano le proprietà di durezza, refrattarietà, bassa conducibilità termica ed elettrica e fragilità. La loro struttura è spesso cristallina, anche se alcuni presentano una struttura in parte cristallina e in parte amorfa (vetrosa).

LEGAMI CHIMICI, STRUTTURA, PROPRIETA':
alla base di molte proprietà dei ceramici vi sono i forti *legami chimici primari*, che possono essere di due tipi: *ionico* (carattere direzionale) o *covalente* (carattere adirezionale).
La natura adirezionale permette l'impaccamento degli ioni secondo svariate strutture cristalline con due sole limitazioni:

- anioni: ioni a carica negativa, sono di dimensioni maggiori rispetto i corrispondenti atomi;
- cationi: sono più piccoli e occupano gli interstizi nel reticolo cristallino tra gli anioni.

La seconda limitazione è che il cristallo deve essere elettricamente neutro.
In alcuni ceramici sono importanti anche i legami secondari.
Molte delle proprietà dei ceramici dipendono dalla loro struttura cristallina; conducono poco l'elettricità e sono quindi buoni isolanti: questo è dovuto alla mancanza di elettroni liberi.
Nonostante ciò, i ceramici possono essere resi conduttori in due modi:

- aumentando la temperatura in modo da accrescere i difetti reticolari di punto, determinando quindi una conduzione di tipo ionico;
- introducendo alcuni elementi metallici di transizione, determinando così particolari stati elettronici nei quali sono presenti elettroni mobili o vacanze elettroniche.

Nei ceramici le dislocazioni non sono comuni e sono difficili da muovere a causa dei legami ionici, ecco perché risultano fragili.

COME SI OTTENGONO I MATERIALI CERAMICI: DALLE POLVERI AI PRODOTTI
i ceramici sono prodotti a partire da polveri mediante un processo di cottura. La composizione delle polveri di partenza condiziona fortemente le proprietà dei prodotti finiti. Nel caso dei ceramici tradizionale le materie prime si trovano in natura sotto forma di minerali di argilla e di silice; per i ceramici avanzati, le polveri di partenza sono ottenute per sintesi attraverso sofisticati processi produttivi. Le polveri vengono vetrificate nel caso dei tradizionali, sintetizzate per gli avanzati; durante questi processi le particelle si legano e coalescono sotto l'influenza del calore, diminuendo il volume e la porosità. Una volta cotti, i ceramici sono difficilmente lavorabili, quindi il processo di ottenimento dei materiali sta tutto nel processo di formatura.
I prodotti identificati come *ceramici tradizionali* sono materiali come porcellana e vasellame, mattoni e piastrelle; i *ceramici avanzati*, che coprono volumi di produzione inferiori e sono a maggior valore aggiunto, spaziano dai ceramici per applicazioni elettroniche o magnetiche, a quelle ottiche, nucleari o biologiche.

CERAMICI TRADIZIONALI:
ottenuti a partire da materie prime naturali; utilizzati per la produzione di prodotti di uso comune.

MATERIE PRIME:
si trovano in natura e solitamente a basso costo; nella maggior parte dei casi si tratta di silicati, composti a base di silice, e alluminosilicati, cioè allumina più silice. I ceramici tradizionali sono spesso indicati come ceramici silicei e la loro fabbricazione è spesso indicata come industria della silice. Le materie prime utilizzate per i tradizionali sono:

- argilla: caratteristica più importante è la plasticità, intesa come capacità di deformarsi sotto l'azione di una pressione esterna e di conservare la forma. La plasticità viene gradualmente persa durante l'essiccamento. Le classi più importanti di minerali argillosi sono la caolite e la montmorillonite, entrambi formati da particelle di forma piatta che scorrono una sull'altra.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 32

all'abrasione e agli shock termici.

- Abrasivi: materiali duri costituiti da particelle con spigoli vivi e affilati, usati per adradere e spianare le superfici di materiali più teneri. La maggior parte degli abrasivi sono composti da particelle di materiale ceramico; le polveri abrasive possono essere compattate mediante opportuni leganti solidi, per formare utensili, o essere usate tal quali o disperse in fluidi. I materiali abrasivi possono essere *abrasivi naturali* (includono diamante, corindone e smeriglio) o *abrasivi sintetici* (prodotto di lavorazioni più sofisticate di materie prime; includono il carburo di silicio, il diamante sintetico e l'allumina). Una delle loro proprietà è la durezza, che può essere misurata con diverse scale.

CERAMICI TRADIZIONALI:
Rappresentano uno sviluppo tecnico rispetto a quelli tradizionali. Conducono l'elettricità come e meglio dei metalli, opportunamente stimolati assumono i colori e le sfumature che desideriamo. Sono definiti come materiale inorganico, non metallico, principalmente cristallino di composizione rigorosamente controllata, prodotto secondo dettagliate regole da materie prime e/o caratterizzate in modo estremamente accurato. Per l'attenzione prestata al progetto della microstruttura ingegnerizzata e al controllo del processo, i ceramici avanzati hanno spesso un valore aggiunto.

PRODUZIONE:
sono generalmente ottenuti per miscelazione e successiva calcinazione di polveri (riscaldamento ad alta temperatura). Come materie prime sono usati precursori sintetici a elevatissima purezza; polveri che abbiano caratteristiche definite e controllate sul piano chimico, cristallografico e fisico. La cottura dei ceramici avanzati avviene mediante sinterizzazione allo stato solido: gli atomi si spostano da una particella all'altra e nella regione di giunzione si forma un collo che le unisce.

CERAMICI AVANZATI STRUTTURALI:
sono materiali ceramici che presentano proprietà meccaniche opportune in condizioni operative impegnative. Possono essere materiali adatti per ambienti particolarmente erosivi, corrosivi o a elevata temperatura. I *ceramici tenacizzati*, sebbene siano meno tenaci dei metalli, rappresentano un miglioramento rispetto ai tradizionali e ai vetri; la tenacità a frattura è definita come il valore critico del fattore di intensificazione degli sforzi.
Limitazioni: nonostante le loro proprietà, i ceramici tenacizzati non hanno ottenuto grande impiego a causa dell'alto costo. Le fibre sono spesso suscettibili all'ossidazione a elevata temperatura.
*Applicazioni:*vengono utilizzati laddove siano richieste, oltre che un'elevata resistenza agli agenti corrosivi, alle proprietà di isolamento e alla durezza, anche una notevole resistenza all'usura, una resistenza meccanica e in particolare alle vibrazioni e agli urti.

ELETTROCERAMICI:
i materiali ceramici con proprietà elettriche sono un fenomeno relativamente recente; essi sono usati per produrre circuiti integrati e condensatori. Alcuni sono materiali piezoelettrici, cioè sviluppano uno sforzo sotto l'azione di un campo elettrico; altri presentano proprietà magnetiche.
Molti ceramici possono essere opportunamente “drogati” con elementi a valenza diversa per consentire il fenomeno della conduzione di cariche elettriche altrimenti impedito. I materiali utilizzati di partenza sono di elevatissima purezza, spesso trattati in delle camere sterili.

CERAMICI OTTICI:
alcuni ceramici avanzati presentano peculiari proprietà ottiche, in particolare alcuni uniscono alla trasparenza notevole resistenza all'attrito o alle alte temperature. Un esempio di applicazione sono i lettori dei codici a barre dei supermercati, fatti di zaffiro; un altra applicazione sono i contenitori per lampade. Un ulteriore uso dei ceramici ottici è sotto forma di pigmenti; i pigmenti ceramici sono costituiti da ossidi o da seleniuri in combinazione con specifici elementi di metalli di transizione.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 32

che durante il riscaldamento formano bolle di gas che trascina con sé le bollicine presenti nella massa vetrosa e opera un efficace rimescolamento, omogeneizzando la massa fusa.

4. Formatura: lenta, fino alla temperatura di lavorazione. La lavorazione dopo l'uscita dal forno si effettua mediante procedimenti differenti. I principali metodi di formatura sono:
   - galleggiamento: per la produzione di lastre, si ottengono vetri con superfici perfettamente piane e parallele. Il vetro fuso passa dal basino di fusione, attraverso rulli laminatori, sopra un bagno metallico fuso in atmosfera controllata;
   - soffiatura: consente di impartire la forma desiderata insufflando aria con l'ausilio di appositi stampi. La soffiatura a mano è ormai utilizzata solo per lavorazioni artigianali;
   - pressatura: utilizzata quando non vi sono cambi di sezione troppo bruschi; il vetro viene adattato a uno stampo a cui aderisce per mezzo di un punzone e indurisce per il contatto;
   - filatura: si possono ottenere fibre di vetro e lana di vetro; in genere si ottiene per stiramento meccanico.
5. Trattamenti di finitura: i vetri così ottenuti possono subire ulteriori trattamenti, che consentono di migliorare alcune proprietà:
   - ricottura: rilascio tensioni interne tramite riscaldamento. Il vetro ottenuto per stiratura e laminazione presenta uno stati di tensioni residue che vengono eliminate con un trattamento di ricottura;
   - tempra: per aumentare la resistenza meccanica, i vetri possono essere temprati, introducendo così uno stato di sollecitazione superficiale. La *tempra fisica* si ottiene riscaldando il vetro a temperatura di circa 600°C e raffreddando poi velocemente con getti d'aria entrambe le facce della lastra; la *tempra chimica* invece si effettua immergendo il vetro in un bagno di sali potassici a circa 350°C.

PROPRIETA' DEL VETRO:

il vetro è un solido quasi perfettamente elastico, un isolante termico ed elettrico eccellente, ed è anche molto resistente in ambienti corrosivi. La struttura amorfa è responsabile di molte proprietà, come resistenza a trazione, resistenza elettrica, l'espansione termica. Il vetro è un materiale isotropo.

- Caratteristiche meccaniche: resistenza a trazione dei vetri commerciali molto bassa, dovuta alla presenza di piccoli difetti superficiali. Vetri di sicurezza: per migliorare le scarse proprietà meccaniche del vetro e in particolare la fragilità possibile ricorrere a:
  - vetri armati: vengono prodotti inserendo una rete metallica con funzione di trattenere i frammenti in caso di urto;
  - vetri temprati: vetri infrangibili, resistono di più agli urti e quando si rompono si frantumano in piccoli frammenti con spigoli arrotondati;
  - vetri stratificati: si ottengono interponendo tra due lastre di vetro una lastra di materiale plastico; in caso di urto si rompono a raggiera e i frammenti rimangono bloccati.
- Proprietà chimico-fisiche: la temperatura di esercizio dipende molto dalla composizione. I vetri sodico-calcici hanno temperature di esercizio modeste; le temperature aumentano passando dai borosilicati a quelli in silice. Un altro fattore importante è la resistenza agli shock termici. La variazione del volume del materiale può non essere omogenea.
- Proprietà ottiche: i vetri presentano diverse proprietà ottiche, tra cui:
  - trasparenza: capacità di trasmettere le radiazioni del campo del visibile. Sia il fenomeno della cristallizzazione, sia le disomogeneità peggiorano il comportamento ottico, poiché possono disperdere la luce;
  - fotosensibilità: l'esposizione a radiazioni ultraviolette determina la riduzione/ossidazione di alcuni ioni metallici; a ciò corrisponde una variazione di livelli energetici negli orbitali e rende possibile l'assorbimento/emissione di fotoni di lunghezza d'onda diversa;
  - rifrazione e riflessione di luce: quando un raggio di luce passa da un mezzo trasparente a un altro esso sarà in parte riflesso e in parte rifratto. La direzione del raggio rifratto dipende dall'indice di rifrazione dei due mezzi coinvolti.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 32

PROPRIETA' DEL LEGNO:
il legno è un materiale anisotropo, ovvero le sue proprietà e il suo aspetto variano a seconda di quale sia la direzione considerata. L'anisotropia è conseguenza diretta del fatto che il legno sia un materiale naturale che si forma per soddisfare le funzioni vitali di una pianta. La densità del legno è solitamente minore di quella dell'acqua, è un ottimo isolante termico, acustico ed elettrico. Il legno può subire, oltre che un degrado di tipo chimico o fisico (brucia!), un attacco di tipo biologico.

RESISTENZA MECCANICA:
i principali fattori che determinano la resistenza meccanica del legno sono:

- i difetti: la loro presenza ha conseguenze importanti, in quanto modifica la struttura del legno e quindi le sue proprietà meccaniche;
- la densità: direttamente correlata alla sua resistenza meccanica, in quanto è legata allo spessore della parete delle cellule;
- il contenuto di umidità: la rimozione dell'acqua contenuta nella cavità delle cellule non ha alcun effetto sulla resistenza a compressione, mentre il successivo allontanamento dell'acqua adsorbita nelle pareti aumenta il livello di resistenza;
- la direzione di sollecitazione.

DEFORMAZIONI:
ha comportamento viscoelastico, cioè la deformazione che subisce sotto peso aumenta nel tempo, nell'edilizia viene considerato il modulo elastico valutato con prove di flessione di breve durata.

PROPRIETA' CHIMICHE E FISICHE:

- degrado: il legno è una sostanza organica, quindi può essere attaccato da agenti biologici, come insetti e funghi. I funghi possono portare alla decomposizione del legno, gli insetti xilofagi possono essere adulti che mangiano il legno o larve che scavano vere e proprie gallerie. Gli estratti del legno impediscono lo sviluppo di agenti di decomposizione. È necessario applicare dei trattamenti idonei ad aumentare la resistenza; gli impregnanti possono essere applicati a spruzzo, per immersione o sotto pressione
- degrado fisico: in assenza di attacco biologico, gli agenti atmosferici, quali sole, pioggia e vento, limitano i loro effetti a uno strato superficiale, quindi cambia solo il colore del legno
- combustione: una forma di attacco termochimico particolarmente grave è l'incendio. Il fatto che il legno sia materiale combustibile è un fatto che ne limita l'utilizzo, tuttavia il comportamento del legno al fuoco presenta aspetti interessanti, come il fatto che il legno può conservare per tempi relativamente lunghi la sua resistenza meccanica.

APPLICAZIONI:
solo in alcuni casi il tronco viene utilizzato tale e quale, più frequentemente viene tagliato in direzione longitudinale per ottenere elementi di sezione rettangolare (assi, travi). Questo viene fatto prima della stagionatura, ottenendo così il materiale chiamato *legno massello*.

DERIVATI DEL LEGNO:
si tende ad abbandonare il legno massello in favore di semilavorati ottenuti riducendo il legno in piccoli elementi. Sono disponibili diversi tipi di materiali ricavati dal legno:

- legno compensato: costituito da sottili strati di legno, ricavati tagliando a spirale il tronco, sovrapposti con diverso orientamento di fibre e incollati in modo da ottenere pannelli.
- truciolato: prodotto utilizzando piccoli pezzetti di legno dolce, che vengono essiccati, spruzzati con adesivo e pressati a temperatura elevata; si ottengono dei pannelli
- pannelli di fibre: ottenuti pressando fibre di legno, sfibrate meccanicamente con colle
- legno lamellare: più strati di lamelle, giuntate, incollate e sovrapposte per elementi edili.
- sughero: corteccia della quercia da sughero, molto elastico.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 32

dall'imballaggio, all'edilizia, ai trasporti, all'elettronica, ecc.
le caratteristiche dei materiali polimerici sono la leggerezza, la capacità di isolamento, l'inerzia chimica e ambientale, la facile processabilità. I polimeri hanno una densità pari a 1 g/cm*3. I polimerici hanno conducibilità termica di tre ordini di grandezza inferiore rispetto ai metalli ed elettrica di venti milioni di ordini di grandezza inferiore sempre ai metalli, il che li classifica come isolanti termici ed elettrici.
I polimeri sono materiali chimicamente inerti, virtualmente immuni alla corrosione e con buone caratteristiche di resistenza ai solventi, alle radiazioni solari, ecc. Si definisce:

- sensibilità agli agenti chimici: la facilità con cui alcuni agenti chimici sono in grado di penetrare all'interno del materiale e di provocare diminuzione di resistenza meccanica;
- sensibilità ai raggi ultravioletti: la facilità con cui l'esposizione prolungata ai raggi solari provoca reazioni chimiche che alterano l'aspetto e le proprietà meccaniche.

Uno dei vantaggi di utilizzare materiali polimerici risiede nell'economicità e versatilità dei processi produttivi, nella grande varietà di forme ottenibili e i costi di lavorazione relativamente bassi.

PROPRIETA' MECCANICHE:
i vantaggi dell'utilizzo di materiali polimerici sono la leggerezza, la capacità di isolamento, l'inerzia chimica e ambientale, la facile processabilità; gli svantaggi sono un basso valore del modulo elastico, che si traduce in maggiore deformabilità del manufatto.
Anche per i polimerici possiamo distinguere due differenti comportamenti meccanico: un comportamento elastico e uno essenzialmente elasto-plastico.
I materiali polimerici si snervano e si rompono più facilmente dei materiali metallici; nei polimerici lo snervamento può avvenire in due modi:

- crazing: formazione di piccole fessure dette crazes. In corrispondenza della rottura delle fibrille la frattura del materiale avviene in maniera istantanea.
- Snervamento per scorrimento: formazione di una strizione che, con l'aumento della deformazione imposta, può propagarsi lungo tutto il provino fino ad arrivare a rottura.

Lo snervamento per crazing è il preludio a un comportamento fragile a frattura, mentre lo snervamento per scorrimento è il preludio a un comportamento tenace.
Invecchiamento fisico: riduzione della tenacità con il trascorrere del tempo.

PROPRIETA' OTTICHE:
le definizioni e i metodi di misura delle principali proprietà ottiche sono:

- indice di rifrazione (n): rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo che si considera;
- riflettanza (R): rapporto tra la velocità della luce riflessa e l'intensità della luce incidente perpendicolarmente su una superficie;
- gloss: è la riflettanza misurata per angoli diversi da 0° (solitamente 20°, 60° e 85°)
- trasmissione luminosa: rapporto fra l'intensità di luce trasmessa attraverso una lastra di materiale e l'intensità della luce incidente perpendicolarmente;
- torbidità: frazione di luce trasmessa attraverso una lastra di materiale al di fuori di un angolo di 2,5° rispetto alla direzione di un fascio di luce incidente perpendicolarmente alla lastra.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 32

1,10 €/kg; materiale caratterizzato da una buona trasparenza, ma bassa resistenza al graffio e scarsa resistenza agli agenti chimici. A temperatura ambiente è molto fragile, snervando per crazing; questo ne limita le applicazioni, che risultano pertanto essere oggetti usa e getta. Può essere tenacizzato con aggiunta di una seconda fase gommosa. Viene anche utilizzato come espanso.

POLIMETILMETACRILATO (PMMA):
è un materiale amorfo vetroso con costo di 2 €/kg; ottima trasparenza e resistenza ai raggi UV, il che lo rende adatto a usi esterni. Applicazioni tipiche del PMMA sono lampioni, fanalini delle auto, vasche, lavabi e insegne luminose. Il PMMA snerva per crazing a temperatura ambiente, quindi fragile. La sua deformabilità è comunque superiore a quella del PS; a temperatura di 60°C il polimero presenta comportamento tenace, in quanto snerva per scorrimento.
Tuttavia l'affidabilità per applicazioni strutturali risulta compromessa, l resistenza del PMMA diminuisce notevolmente se entra in contatto con determinate sostanze (alcol, olio di silicone, ecc.) che provocano la comparsa di microfessurazioni.

ELASTOMERI:
si definiscono gomme o elastomeri i materiali polimerici con Tg inferiore alla temperatura ambiente, caratterizzati da un recupero totale e istantaneo della deformazione dopo rimozione del carico applicato. Questo tipo di comportamento si può ottenere con due tipi di struttura chimica:

- copolimeri a blocchi con "reticolazione fisica": corrisponde allo gomme termoplastiche;
- polimeri amorfi reticolati chimicamente: caso più frequente. Con Tg<Ta, la temperatura di transizione vetrosa limita inferiormente il campo di temperature di applicazione di questi elastomeri: per T<Tg infatti il materiale diventa vetroso.

Per *reticolazione chimica* si intende l'insieme di reazioni chimiche che portano alla formazione di legami covalenti tra le diverse catene polimeriche, il processo di reticolazione comprende la trasformazione di un polimero costituito da catene singole in un polimero in cui le singole catene non son più distinguibili.
Uno dei più comuni metodi di reticolazione è il processo di vulcanizzazione delle gomme, utilizzato per la reticolazione di polimeri che contengono doppi legami nella catena molecolare; essa comporta il riscaldamento del polimero in presenza di zolfo.
Resistenza all'abrasione e resistenza alla lacerazione sono le proprietà comunemente utilizzate per differenziare tra loro i polimeri elastomeri in termini di comportamento meccanico.

POLIMERI SEMICRISTALLINI:
sono costituiti da due fasi distinte, una *fase amorfa* e una *fase cristallina*, che presentano caratteristiche diverse. La fase amorfa è caratterizzata dalla temperatura di transizione vetrosa, la fase cristallina è caratterizzata dalla temperatura di fusione, rappresentativa di un passaggio di stato, da ordinato a disordinato. All'aumentare della temperatura si passa da uno stato in cui si distinguono le due fasi, a uno stato fluido in cui non si ha più distinzione da cristallino ad amorfa vetrosa.
Non tutti i polimeri possono cristallizzare, in quanto esistono dei requisiti per la cristallizzabilità di una molecola che sono correlati all'ordine strutturale che caratterizza un cristallo:

- costituzione regolare: presenza di un ordine con cui atomi, o gruppi di atomi, si ripetono lungo la catena. Questa condizione è soddisfatta in tutti gli omopolimeri;
- regolarità di configurazione: la disposizione di atomi/gruppi atomici nello spazio deve ripetersi con una certa regolarità lungo la catena. Questo requisito è sempre soddisfatto nei polimeri la cui unità ripetitiva è simmetrica. Se è asimmetrica, non sempre è verificata. Nel caso di regolarità di configurazione, il polimero è detto *stereoregolare*.

Qualora venga a mancare uno o entrambi i requisiti di regolarità richiesti per la cristallizzazione, il polimero risultante sarà amorfo allo stato solido.

È possibile esaminare il comportamento di un polimero semicristallino al variare della temperatura: a temperatura superiore alla temperatura di transizione vetrosa, il materiale ha comportamento

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 32

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 32

molecolare unità monomeriche sia di tipo A che di tipo B. Si distinguono tre tipi di copolimero:

- casuale: si ha disposizione casuale delle unità monomeriche di tipo A e di tipo B nella catena molecolare;
- blocchi: vi sono blocchi costituiti solo da unità monomeriche di tipo A e blocchi costituiti solo da unità monomeriche di tipo B;
- a innesto: si distingue una catena principale costituita solo da unità monomeriche di un tipo dalla quale dipartono ramificazioni costituite da unità monomeriche di tipo diverso.

I due omopolimeri "poli A" e "poli B" possono essere mescolati per ottenere una **miscela**. Si presentano a questo punto due casi distinti:

- "poli A" e "poli B" sono miscibili:il materiale risultante è omogeneo, cioè ha una sola fase;
- "poli A" e "poli B" sono immiscibili: il materiale risultante non è omogeneo e presenta una fase continua, la matrice, costituita dall'omopolimero presente in quantità maggiore, e una fase dispersa, costituita dal secondo omopolimero. La miscela ha due Tg.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 32