MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

TECNOLOGIA DEI MATERIALI

STRUTTURA DEI MATERIALI

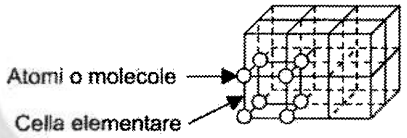
I materiali da costruzione sono utilizzati dall'uomo per realizzare ciò di cui ha bisogno e qualunque sia l'applicazione, la scelta del materiale, è parte integrante del progetto. In genere possono essere adatti più materiali che presentano caratteristiche e costi diversi; sarà quindi necessario un compromesso tra esigenze tecniche, commerciali ed economiche.

Il concetto di materiale è comunemente legato allo stato solido. Generalmente ad un materiale si richiede che possa mantenere la sua forma anche quando viene sollecitato da forze esterne, pur subendo delle deformazioni, che però implicano un movimento di tutti gli atomi o molecole di cui è costituito. In ogni caso deve comunque essere in grado di sopportare il peso proprio.

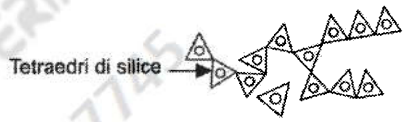
Il passaggio da materia, con cui si indica tutto ciò che ha massa, a materiale avviene attraverso l'applicazione di una qualche tecnologia che ne guida la trasformazione sia nell'aspetto che nelle caratteristiche fisico – chimiche in vista del suo utilizzo. La materia può presentarsi in diversi stati, a seconda del modo con cui le unità elementari (atomi o molecole) sono legate. I diversi stati sono determinati dall'equilibrio tra l'energia di coesione, che tende ad avvicinare gli atomi, e l'energia termica, che tende ad allontanarli. Nei fluidi (gas e liquidi) prevale l'agitazione termica, mentre nei solidi prevale la coesione. I fluidi, al contrario dei solidi, sono caratterizzati dall'assenza di una forma propria e, nel caso dei gas, anche da un volume proprio.

I solidi possono essere:

- di tipo *cristallino*, cioè caratterizzati da una struttura ordinata a livello atomico o molecolare (ad esempio il reticolo cristallino dei metalli o di molti materiali ceramici);

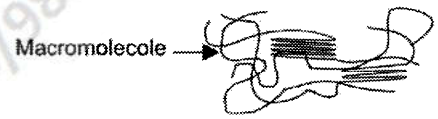


- di tipo *amorfo*, cioè caratterizzati da una struttura disordinata simile a quella dei liquidi (è il caso, ad esempio, dei vetri nei quali con un raffreddamento rapido si "congela" la struttura amorfa del liquido);



Esistono poi strutture più complesse come:

- la *semicristallina* normalmente presente in molti materiali polimerici.



- la struttura dei gel costituiti da una dispersione in un liquido di particelle molto fini (in generale di dimensioni inferiori al micrometro) legate in una struttura che intrappola il liquido stesso.
  Nei gel la contemporanea presenza di una fase liquida e di una fase solida, fa si che, a seconda del numero e del tipo dei legami tra le particelle, si può avere un comportamento prossimo a quello di un liquido o a quello di un solido (es. la pasta di cemento idratata).

Per comprendere le proprietà di un materiale è necessario conoscere la sua struttura. Lo studio della struttura dei materiali viene effettuato con diversi livelli di dettaglio, in genere identificati con l'ordine di grandezza degli elementi considerati.

La struttura atomica o molecolare descrive il modo con cui gli atomi o le molecole che costituiscono il materiale sono legati fra loro. La microstruttura rappresenta la struttura del materiale osservata con l'ausilio di microscopi. La macrostruttura è la struttura del materiale come si presenta a livello macroscopico cioè come si vede ad occhio nudo. Ognuno di questi livelli fornisce delle informazioni utili a comprendere o prevedere il comportamento del materiale stesso.

A livello macroscopico il materiale è valutato nel suo insieme: viene in genere considerato come continuo e omogeneo e si considerano proprietà medie valide in tutto il suo volume, anche se a livello microscopico la situazione può essere differente.

Se queste proprietà sono le medesime in tutte le direzioni, allora il materiale è isotropo; viceversa, se le proprietà dipendono dalla direzione lungo cui vengono valutate, il materiale è anisotropo.

La caratterizzazione di un materiale dal punto di vista tecnologico, tramite le prove sperimentali, viene normalmente eseguita a livello macroscopico.

La qualità dell'informazione in genere, è soddisfacente solo all'interno delle condizioni di prova. L'estrapolazione oltre tali condizioni è rischiosa, in quanto basata su osservazioni empiriche che possono non tener conto di tutti i processi chimici e fisici

che avvengono all'interno dei materiali. Lo studio accurato e la costruzione di modelli scientifici delle proprietà dei materiali possono essere effettuati solo conoscendo la struttura dei materiali sia a livello molecolare sia a livello microscopico.

Per microstruttura di un materiale si intende la struttura che si presenta a un livello di dettaglio tale per cui si possano individuare le singole particelle che lo costituiscono. A questo livello si possono riconoscere le entità costituenti il materiale come le cellule nel legno, i grani cristallini nei metalli, le fibre o le cariche nei compositi, e caratterizzarle dal punto di vista di:

- *geometria* – forma, disposizione, distribuzione dimensionale;
- *proprietà* – chimiche, fisiche e meccaniche;
- *interfaccia* – le zone di separazione rappresentano delle discontinuità nella struttura e possono dar luogo a comportamenti aggiuntivi;
- *porosità* – influenza resistenza meccanica e durabilità.
  *I pori possono essere assimilati ad una fase (riempita di aria o acqua a seconda dei casi) che contribuisce a determinare le proprietà macroscopiche del materiale. Un'implicazione immediata è una drastica diminuzione della resistenza meccanica all'aumentare della porosità. Se i pori sono pieni d'aria e sono isolati tra loro, conferiscono caratteristiche di isolamento termico al materiale. Viceversa, se i pori sono comunicanti rappresentano una via d'accesso per le specie aggressive e quindi sono d'importanza fondamentale nel determinare la resistenza al degrado del materiale.

A volte elementi diversi vengono deliberatamente miscelati per ottenere materiali compositi con proprietà migliori rispetto a quelle dei singoli componenti.

La struttura atomica o molecolare descrive il modo con cui gli atomi o le molecole che costituiscono il materiale sono legati fra loro.

A livello molecolare il materiale viene considerato in termini di aggregati di atomi o di molecole (le celle elementari dei reticoli cristallini dei metalli, le molecole di cellulosa nel legno, le unità ripetenti di un polimero, i silicati di calcio idrati nella pasta di cemento idratata).

In base alla struttura a livello atomico si possono suddividere i materiali in diverse classi, in funzione sia del tipo di particelle elementari che li costituiscono, sia del modo con cui queste sono legate fra loro (cioè del tipo di legame chimico presente).

A sua volta il legame chimico dipende dalla struttura degli atomi coinvolti.

Lo Stato Solido

I materiali di interesse ingegneristico sono allo stato solido in cui gli atomi sono disposti nello spazio secondo una struttura tridimensionale ordinata e ripetitiva, chiamata reticolo cristallino. In un solido cristallino i nuclei occupano i nodi del reticolo e ogni atomo ha un intorno assolutamente identico a quello degli altri, da questo fatto discende la nozione di ordine a lungo raggio.

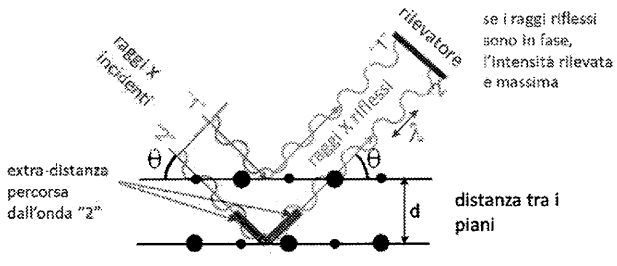
Nel caso di un singolo cristallo puro, l'ordine interno si manifesta con la simmetria dell'aspetto esteriore. Il cristallo può essere immaginato o come una disposizione regolare di atomi o come un reticolo tridimensionale ottenuto per ripetizione di un'identica unità di base o anche detta cella unitaria.

In un materiale semicristallino si possono individuare zone cristalline, e quindi ordinate, circondate da atomi non disposti in maniera ordinata.

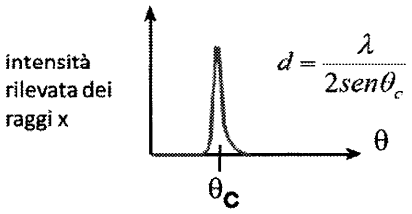
La sistemazione degli atomi secondo un reticolo ordinato è una conseguenza della tendenza della materia verso la condizione di energia interna minima.

Conseguenza della disposizione regolare degli atomi nello spazio è l'anisotropia di alcune proprietà.

La struttura dei cristalli è misurata con la diffrazione dei raggi X



Misurando l'angolo critico θc, corrispondente all'intensità massima dei raggi,si può calcolare la distanza tra i piani atomici d.

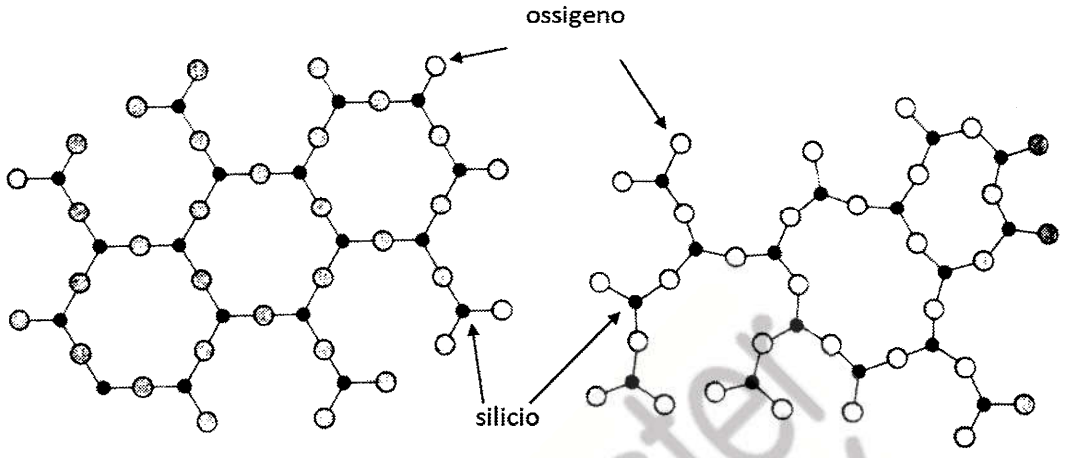


MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Nei solidi amorfi, invece, gli atomi non sono organizzati secondo un reticolo tridimensionale ma sono distribuiti disordinatamente nello spazio.

Conseguenza di tale organizzazione è che i solidi amorfi sono isotropi, inoltre, a parità di composizione chimica, un solido amorfo è più reattivo di un solido cristallino.

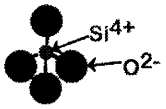
Ad es. la silice (SiO2) può presentare le due possibili strutture: la cristallina e l'amorfa.

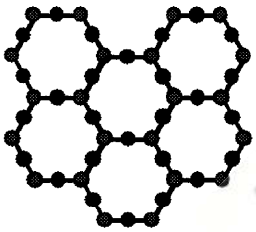


MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

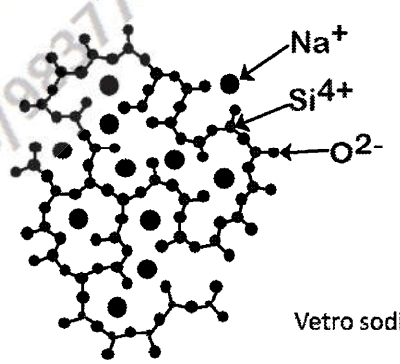
Struttura del vetro

L'elemento base della silice e dei silicati è il tetraedro SiO_4^{4-} che nel quarzo (SiO_2) è in forma cristallina chiusa.



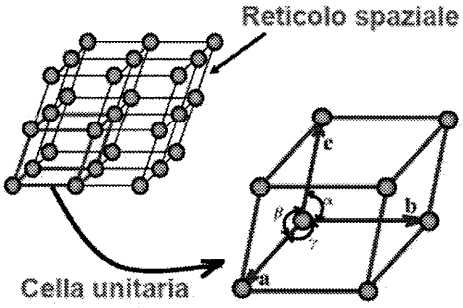


L'introduzione di altri elementi (come Na+ , Mg2+ ,Ca2+ ,ecc.) interferisce con la formazione del cristallo, per cui il vetro risulta amorfo.



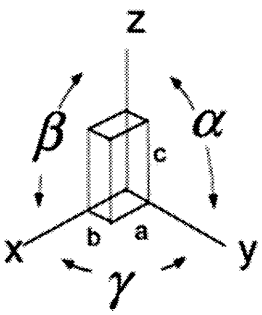
Vetro sodico

- Gli atomi, disposti in configurazioni ripetitive 3D, con ordine a lungo raggio (LRO), danno luogo alla *struttura cristallina*.
- Le proprietà dei solidi dipendono dalla struttura cristallina e dalla forza di legame.
- Una rete immaginaria di linee, con atomi all'intersezione delle linee, che rappresenta la disposizione degli atomi, è detta *reticolo spaziale*.
- La cella unitaria è quel blocco di atomi che si ripete per formare il reticolo spaziale.
- I materiali con disposizione di ordine a corto raggio sono detti materiali amorfi.



Esistono 7 diversi tipi di celle unitarie e 14 modi diversi per costruire reticoli ottenuti ripetendo periodicamente delle celle elementari.

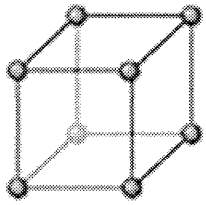
La periodicità tridimensionale può essere realizzata da differenti geometrie riassunte dai sistemi cristallini:



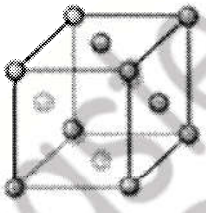
CUBICO	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
TETRAGONALE	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
ORTOROMBICO	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
MONOCLINO	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\gamma=90^\circ\neq\beta$
TRICLINO	$a\neq b\neq c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq90^\circ$
ESAGONALE	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ\ \ \gamma=120^\circ$
ROMBOEDRICO	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq90^\circ$

Qui di seguito si riportano in maggior dettaglio le tre strutture in cui i metalli cristallizzano più frequentemente.

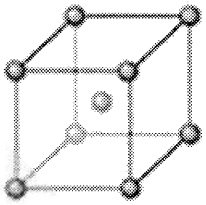
- Sistema cubico
  tre assi uguali con angoli retti
  a = b = c α = β = γ = 90°



Cubico semplice

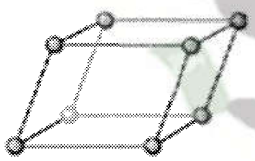


Cubico a facce centrate

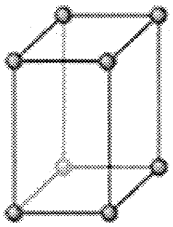


Cubico a corpo centrato

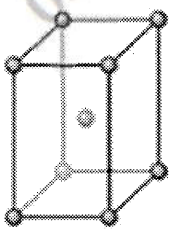
- Sistema triclino
  assi disuguali → a ≠ b ≠ c
  angoli disuguali non retti → α ≠ β ≠ γ ≠ 90°



- Sistema tetragonale
  solo due assi uguali con angoli retti
  a = b ≠ c α = β = γ = 90°



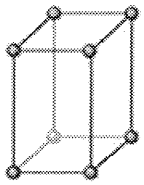
semplice

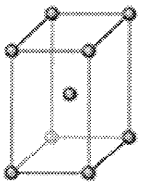


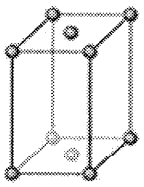
a corpo centrato

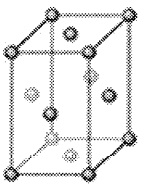
- Sistema ortorombico
  tre assi disuguali con angoli retti
  a ≠ b ≠ c α = β = γ = 90°

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

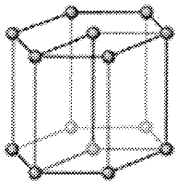

semplice


a corpo centrato

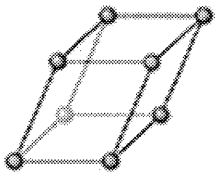

a base centrata

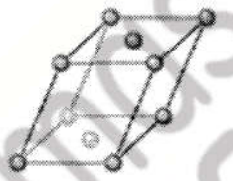

a facce centrate

- Sistema esagonale
  solo due assi uguali → a = b ≠ c
  due angoli retti → α = β = 90° γ = 120°

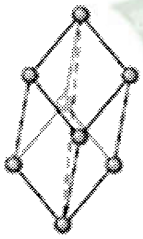


- Sistema monoclino
  assi disuguali → a ≠ b ≠ c
  due angoli retti → α = γ = 90° β ≠ 90°


semplice


a base centrata

- Sistema romboedrico
  tre assi uguali → a = b = c
  angoli uguali non retti → α = β = γ ≠ 90°



Gli impaccamenti ordinati producono strutture cristalline caratterizzate da:

- Cella unitaria
  La più piccola entità che contiene tutti gli elementi di simmetria del cristallo
- Numero di coordinazione
  Numero di atomi adiacenti che circondano ciascun atomo
- Fattore di impaccamento (P.F. oppure F.I.)
  Frazione volumetrica di atomi nella cella unitaria

$$\text{P. F.} = \frac{volume\ di\ atomi\ nella\ cella}{volume\ della\ cella}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
cell. 388 9837745