

Classi di Biomateriali

I metalli come biomateriali

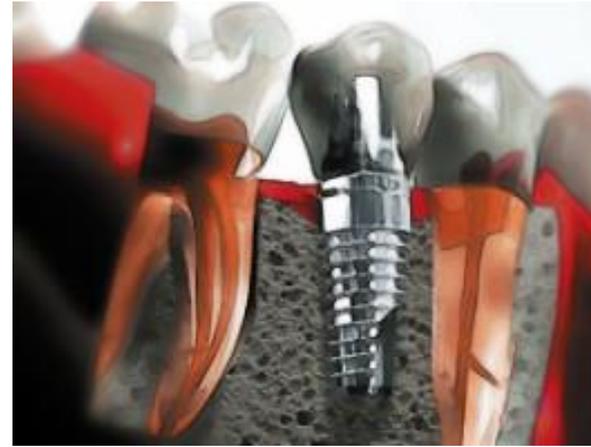
Sostituzione di tessuti duri, ossa e denti, per le loro proprietà meccaniche (protesi ortopediche e dentali, mezzi di osteosintesi)

PROPRIETA' MECCANICHE

- **Elevati modulo elastico** (100-200 GPa) e **carico di snervamento** (300-1000 MPa). Strutture capaci di sopportare carichi elevati senza grandi deformazioni elastiche e plastiche (permanenti).
- **Buona duttilità**. Possibilità di essere plasmati in forma complessa. La deformazione plastica consente di sostituire un componente prima che si rompa.
- **Elevata resistenza alla fatica meccanica**. Indicati per applicazioni che prevedono cicli di carico

BIOCOMPATIBILITA'

- **Corrosione in ambiente biologico**. Conseguenze: perdita di materiale metallico dall'impianto con rischio di perdita di funzionalità e contaminazione dei tessuti

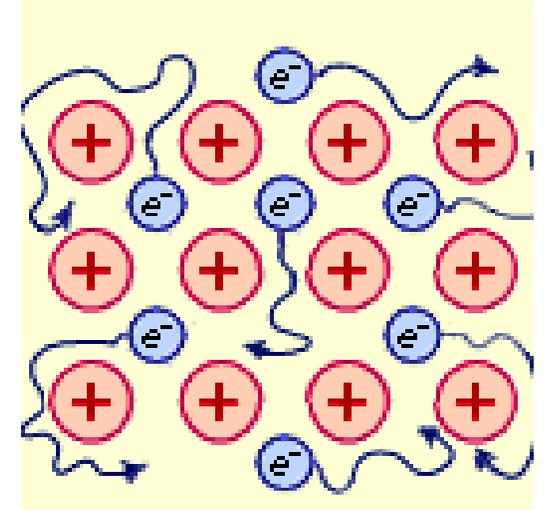


Legame metallico

- Strutture cristalline compatte con numero di coordinazione fino a 12
- Elevate energie di legame
- Pochi elettroni di valenza



TEORIA DELLE BANDE
(basata sulla teoria degli orbitali molecolari)



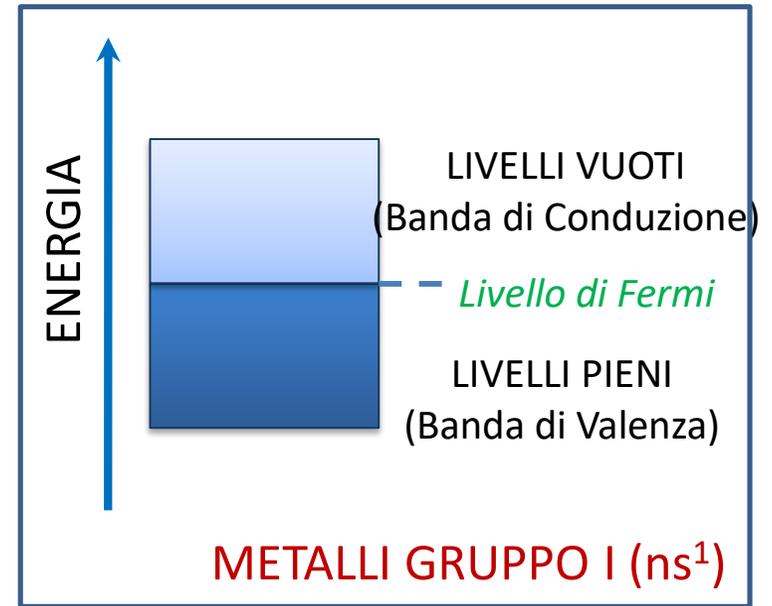
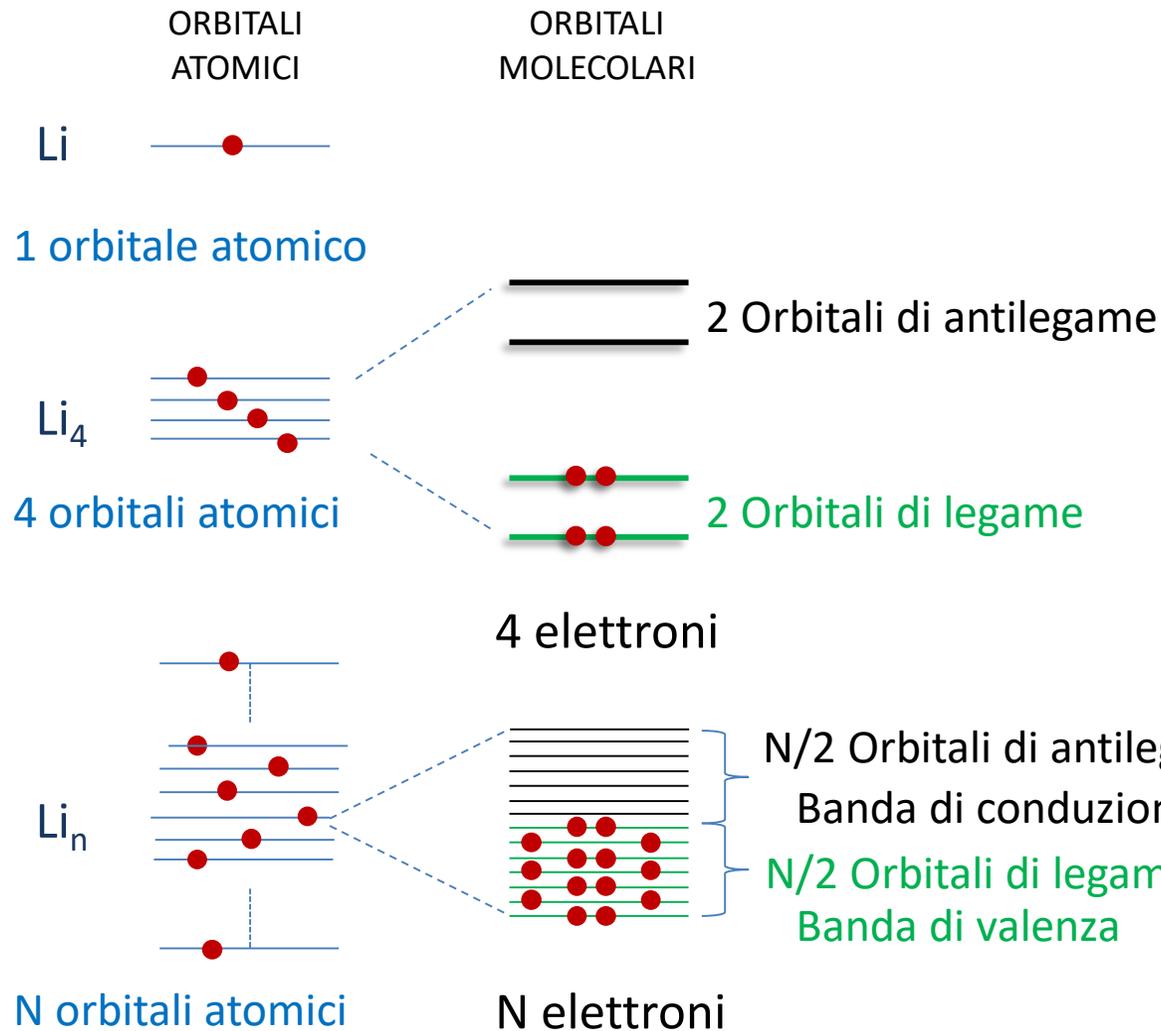
Gli atomi che costituiscono un cristallo metallico conservano la struttura dei livelli interni completi e perdono gli elettroni di valenza che si distribuiscono su nuovi orbitali estesi a tutto il cristallo

I metalli sono costituiti da un reticolo di ioni positivi immersi in un mare di elettroni

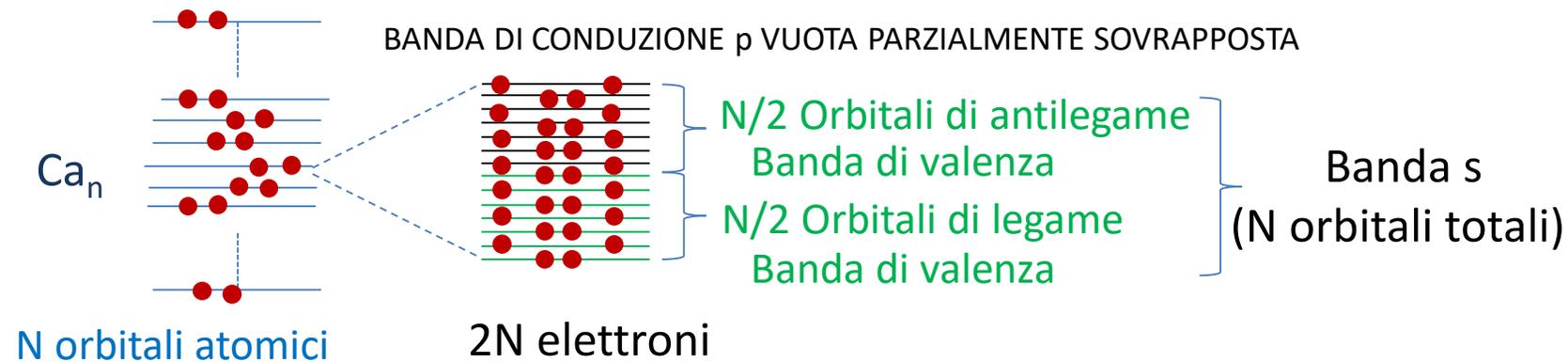
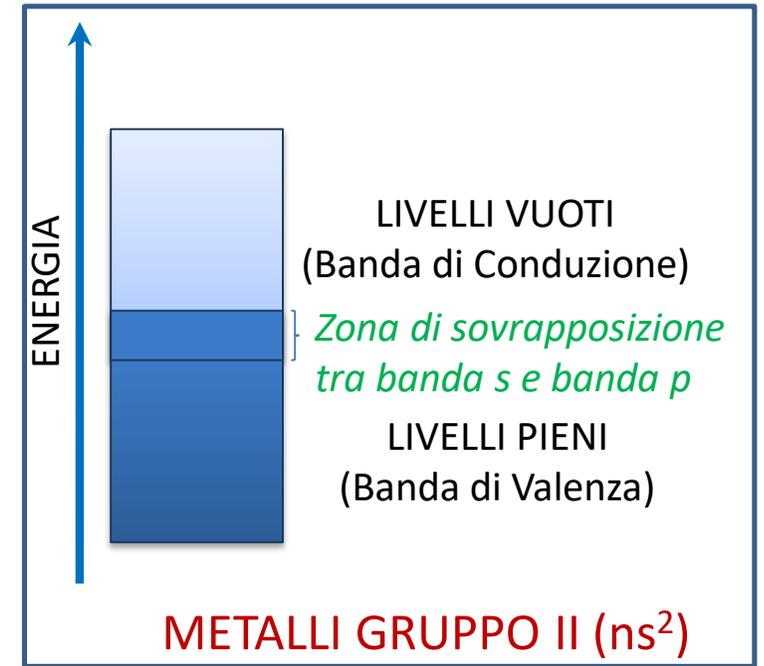
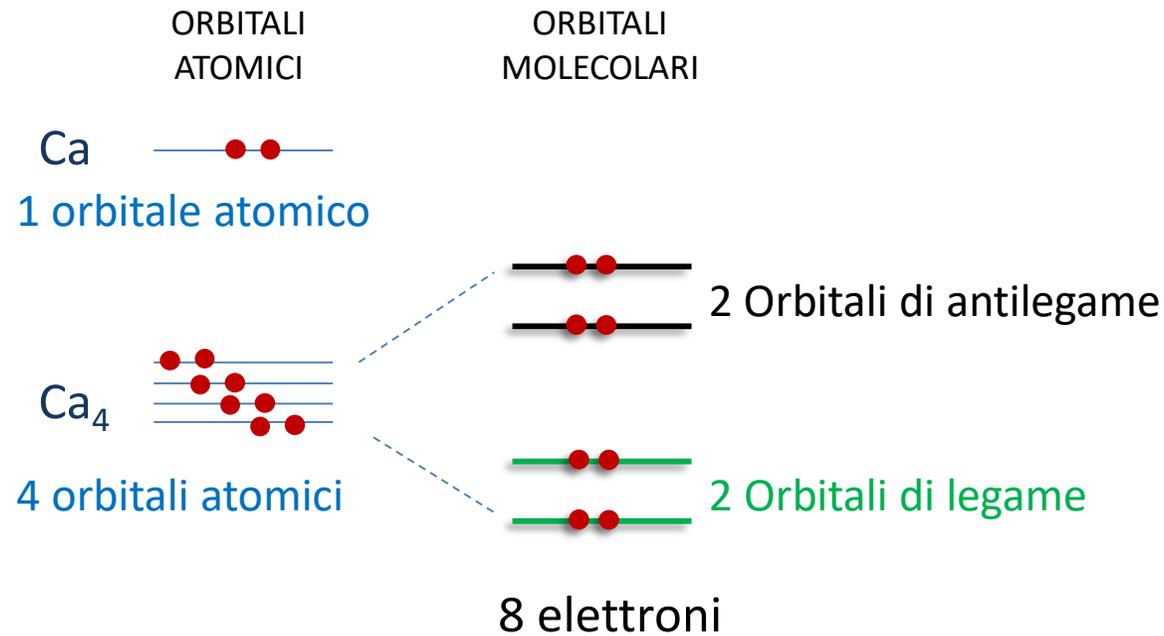
Gli orbitali atomici vengono combinati per ottenere orbitali molecolari di legame e di antilegame

Cristalli metallici: N orbitali atomici \rightarrow N orbitali molecolari molto ravvicinati tra loro che costituiscono un quasi continuo di energia (**banda**)

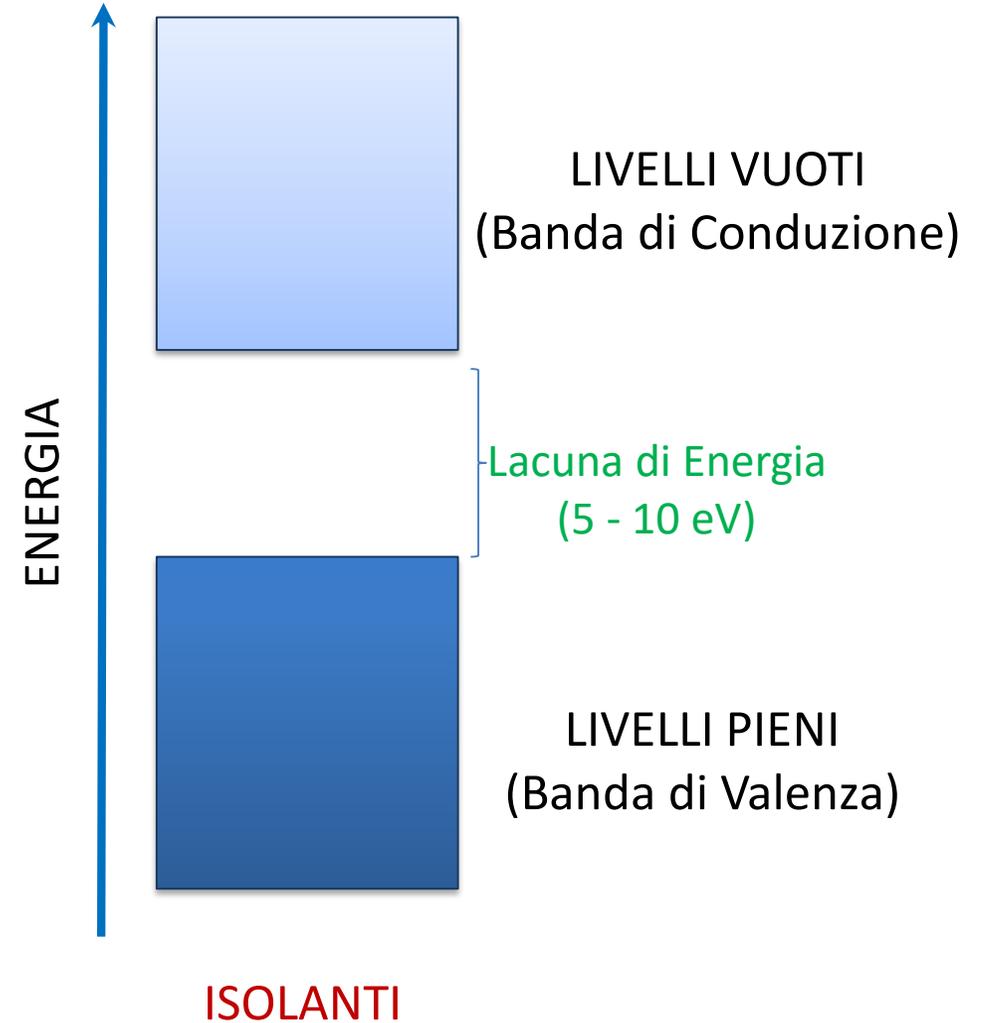
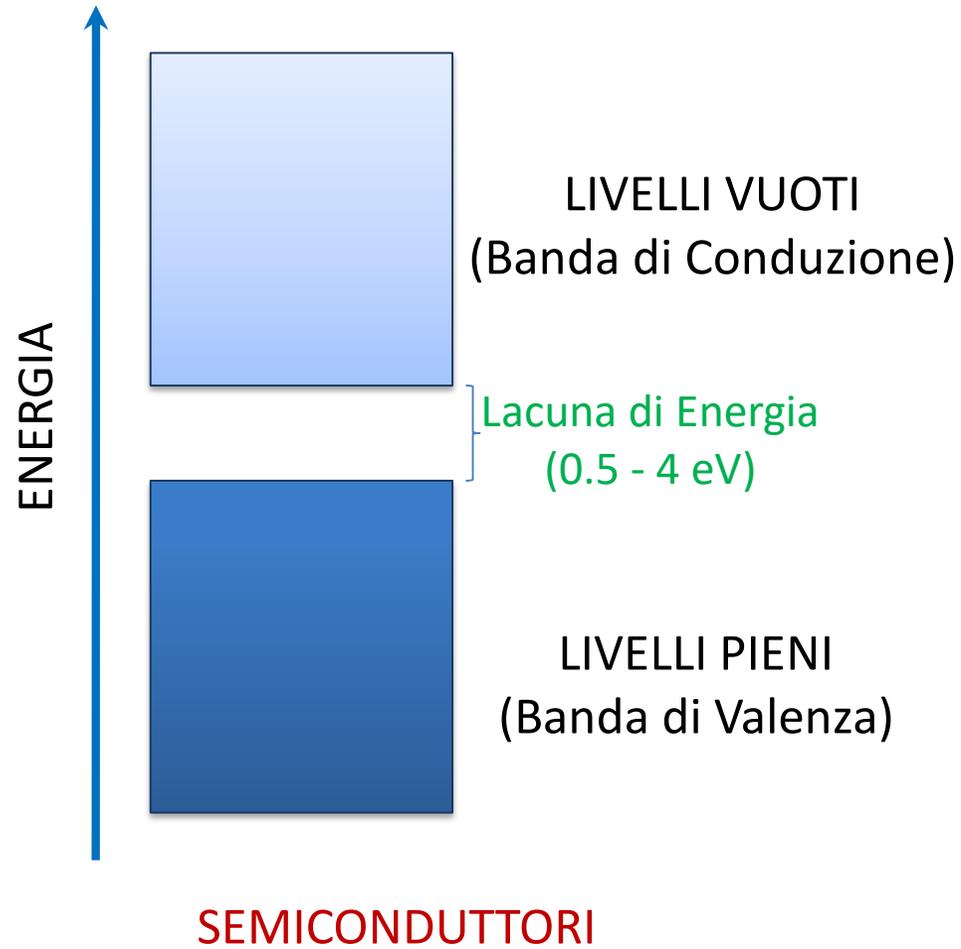
Legame metallico - Meccanismo di conduzione (I gruppo)



Legame metallico - Meccanismo di conduzione (II gruppo)



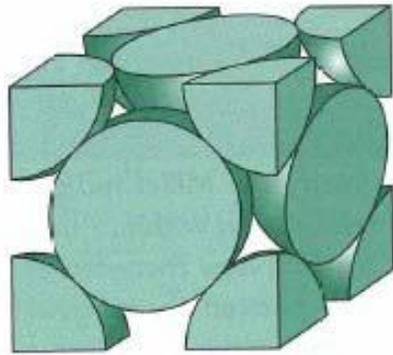
Legame metallico - Semiconduttori ed isolanti



Metalli. Reticoli cristallini

I reticoli cristallini sono caratterizzati da una struttura geometrica tridimensionale che si ripete nello spazio (cella elementare)

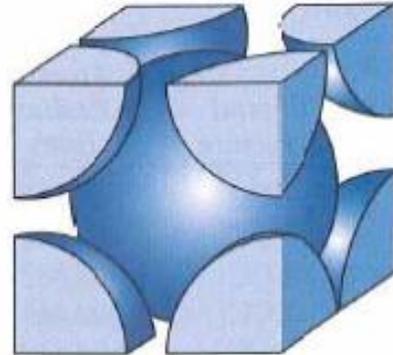
I **METALLI ELEMENTARI** (un solo elemento metallico) presentano 3 reticoli



Cubico a facce centrate (CFC)

$$nc(\text{CFC})=12$$

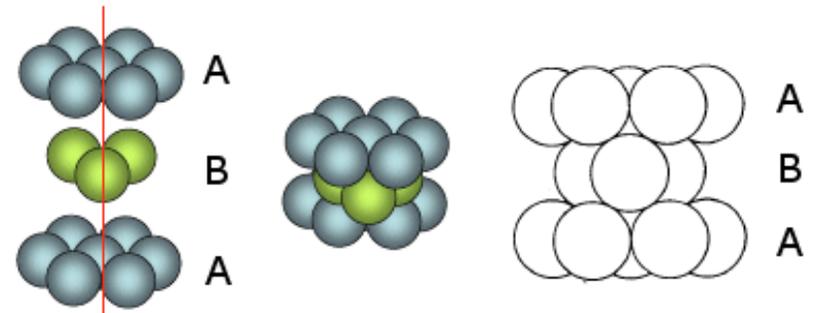
Ba, Cr, Fe- α , K, Li, Mo, Na
Nb, Ta, V, W, Zr



Cubico a corpo centrato (CCC)

$$nc(\text{CCC})=8$$

Al, Ag, Au, Ca, Cu, Ni, Pb, Pd, Pt



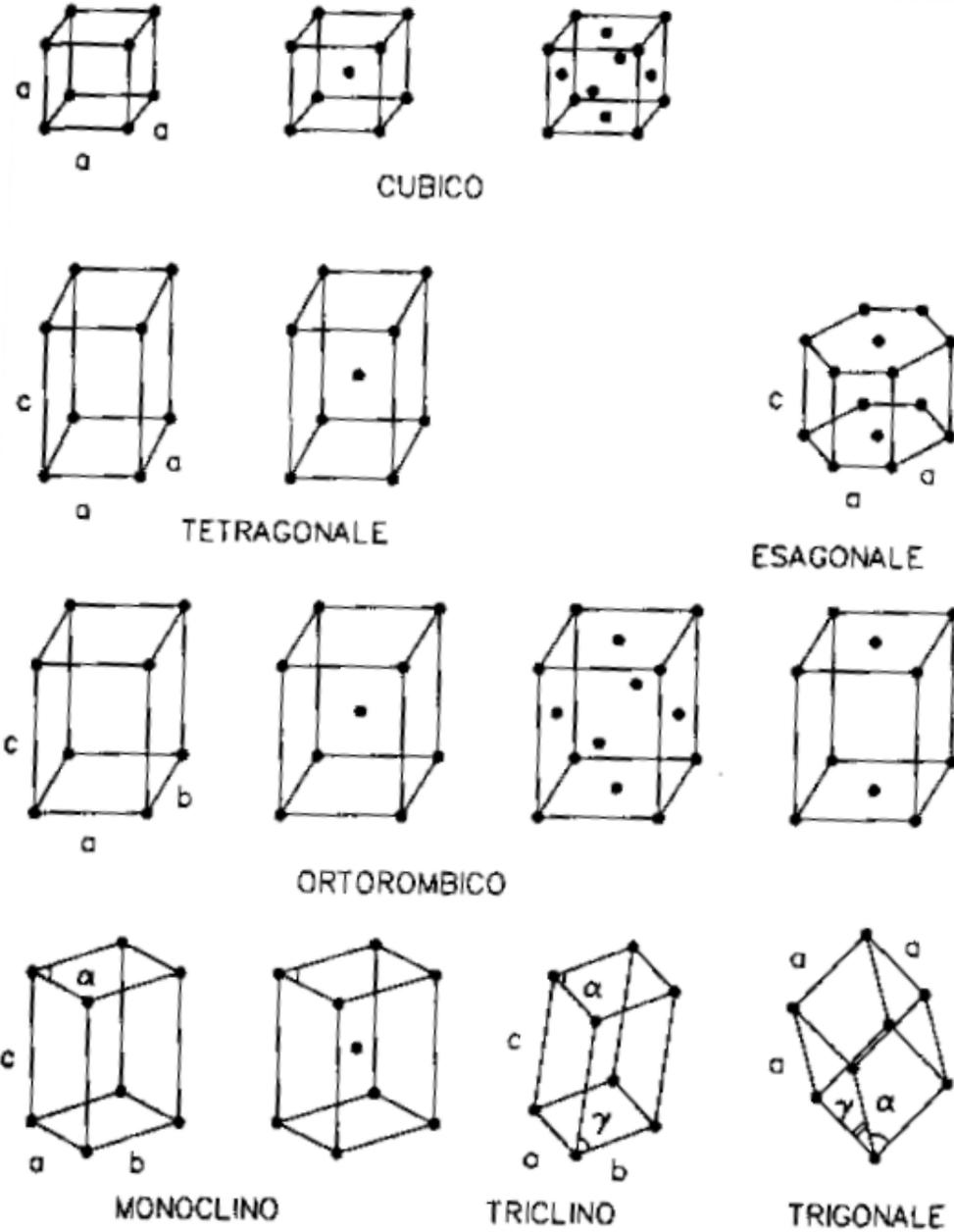
Esagonale compatto (EC)

$$nc(\text{EC})=12$$

Be, Cd, Co, Mg, Ti, Zn

Il numero di coordinazione (nc) rappresenta il numero di atomi con cui ogni atomo è in contatto

Metalli.
Reticoli cristallini (Bravais)



I reticoli possibili sono 14

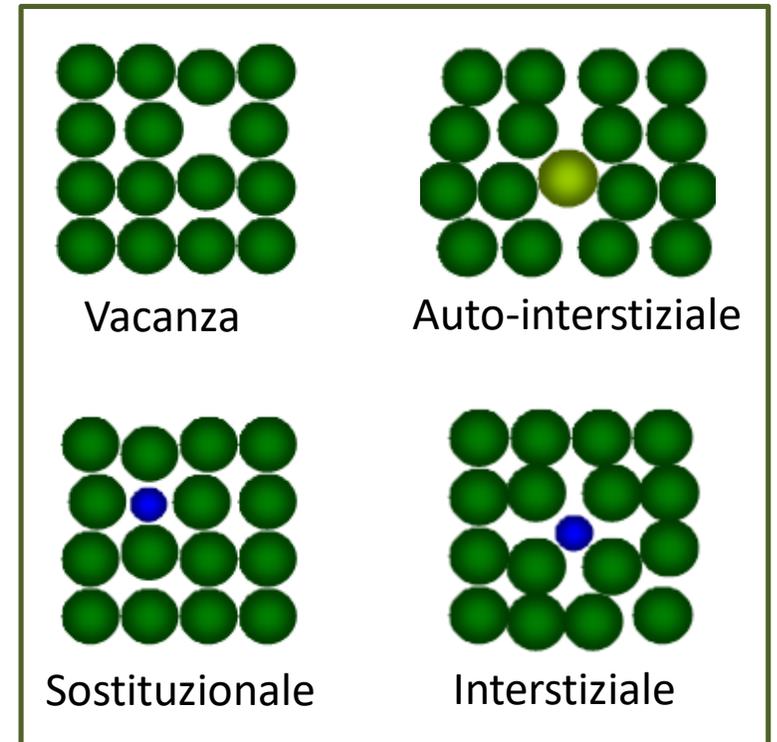
Metalli. Difetti

Durante la formazione dei cristalli si formano dei difetti.
La forza guida della formazione è l'entropia

La presenza di difetti influenza le proprietà dei materiali

DIFETTI PUNTUALI

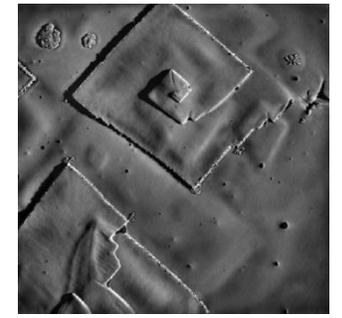
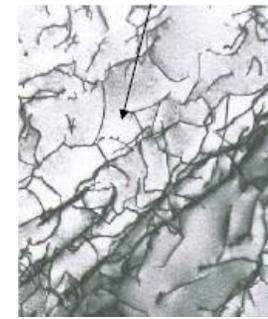
- **Vacanza:** assenza di un atomo in una posizione reticolare. Favoriscono la diffusione solida (metalli, 1/10000 atomi)
- **Atomo auto-interstiziale:** atomi del metallo occupano posizioni non reticolari (raro nei metalli, richiede grandi deformazioni del reticolo)
- **Atomi sostituzionali:** atomi di elementi diversi occupano normali posizioni reticolari
- **Atomi interstiziali:** atomi di elementi diversi occupano posizioni non reticolari



Metalli. Difetti

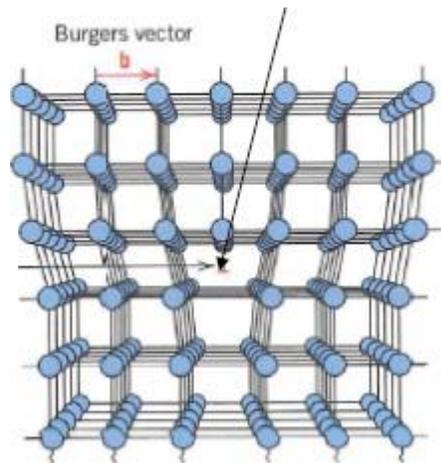
DIFETTI LINEARI

- **Dislocazioni:** difetti lineari in cui gli atomi sono disallineati
- Esistono due tipi di dislocazioni: a spigolo e a vite
- La regione circostante una dislocazione presenta una distorsione del reticolo



Dislocazione a spigolo

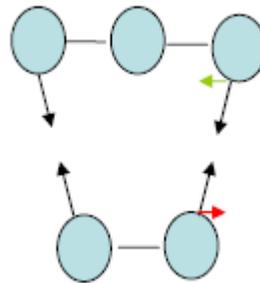
La dislocazione è perpendicolare al piano della pagina



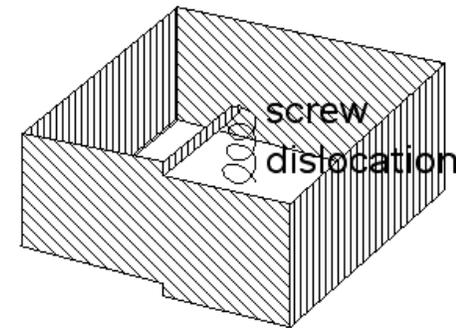
Linea della dislocazione a spigolo

Mezzo piano cristallino extra

La componente delle forze dei legami superiori crea compressione (verde). Sugli atomi inferiori agisce una forza di trazione (rosso)

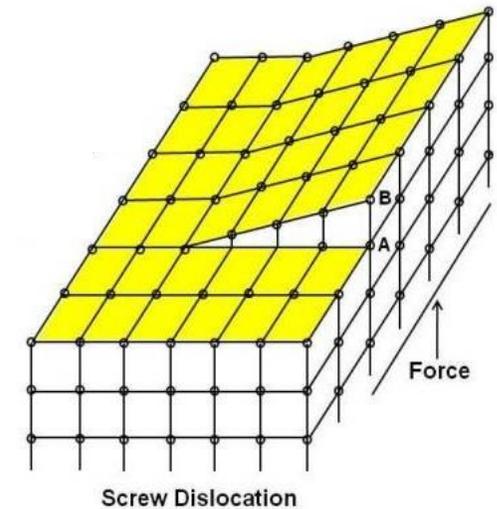


Dislocazione a vite



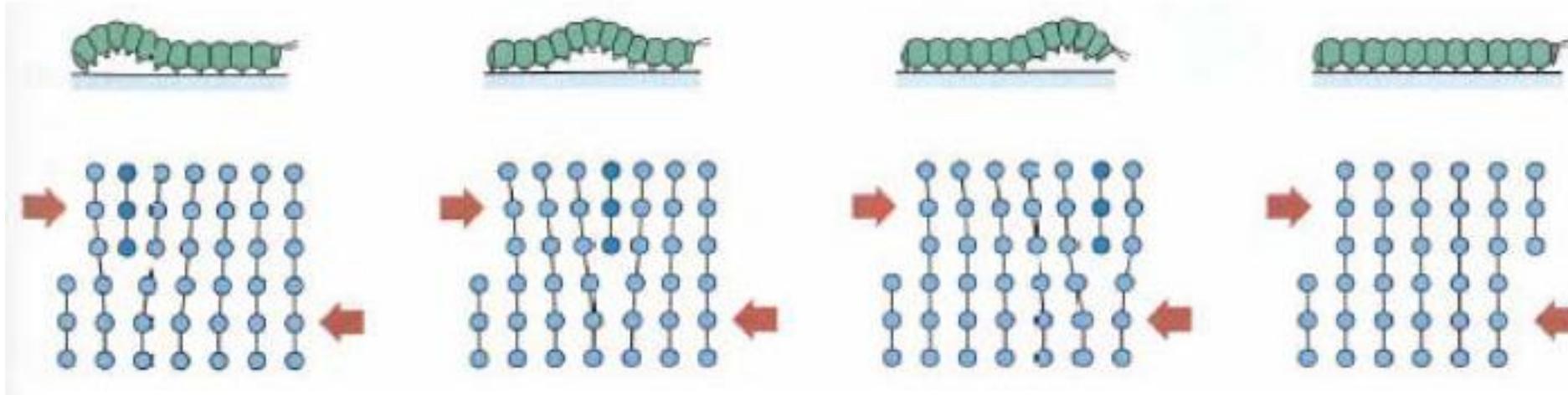
I piani atomici non sono più separati, ma formano una spirale

Una parte del reticolo è slittata



Metalli. Difetti

- A causa dell'anisotropia cristallina esistono dei piani e delle direzioni di scorrimento preferenziali di una parte del reticolo sull'altra
- Le dislocazioni abbassano la resistenza allo scorrimento

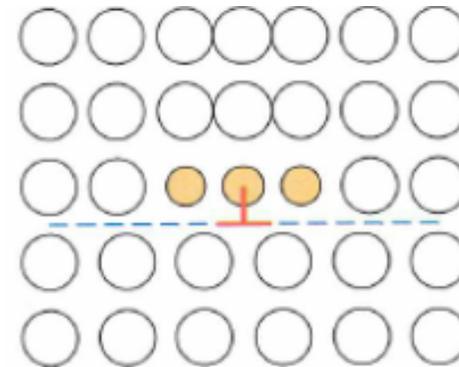
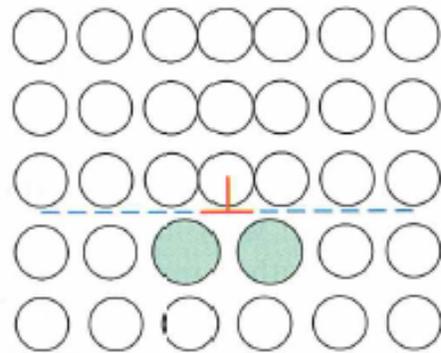


- Durante la deformazione plastica di un reticolo le dislocazioni aumentano e si muovono. Il loro incontro può bloccarle, irrigidendo il materiale e aumentando lo sforzo per la deformazione successiva

Metalli. Difetti

- Uno dei meccanismi per **migliorare le proprietà meccaniche** (aumentando il carico di snervamento) di un metallo è introdurre delle impurezze che impediscano il movimento delle dislocazioni
- Introduzione di eteroatomi (es. C in Fe, acciaio) che inducono delle deformazioni nel lattice agendo come barriera al movimento delle dislocazioni

Dislocazione a spigolo

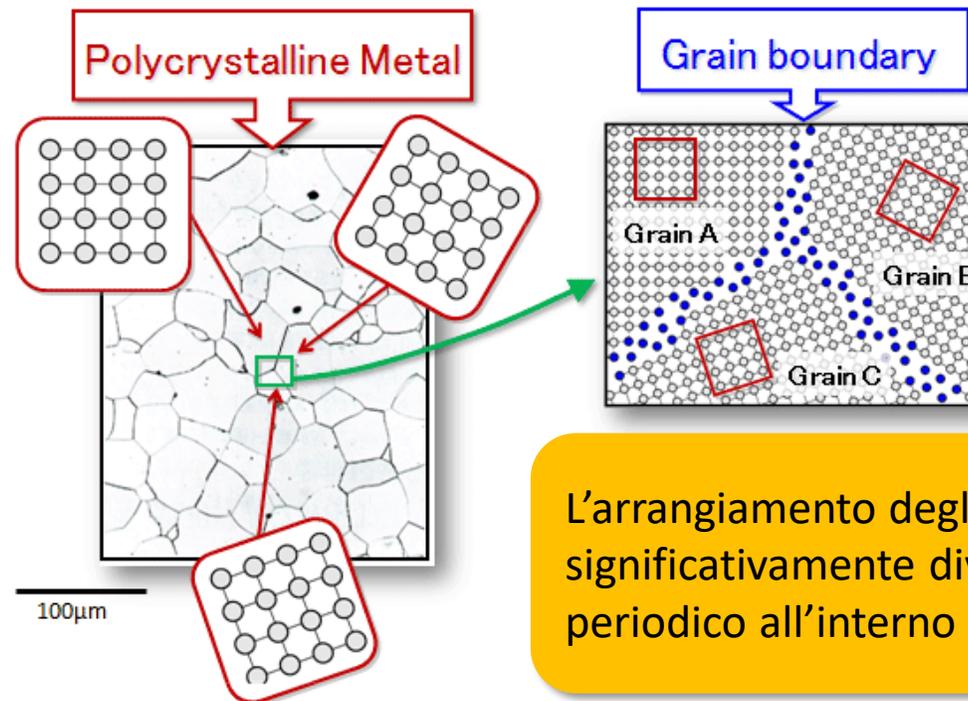


Gli atomi più grandi (verdi) eserciteranno una compressione sugli atomi circostanti andando a bilanciare la tensione indotta invece dalla dislocazione. Vale il contrario se si aggiungono atomi più piccoli.

Metalli. Difetti

DIFETTI DI SUPERFICIE

- La quasi totalità dei solidi sono aggregati policristallini piuttosto che monocristalli
- I singoli cristalli, detti **grani**, sono orientati casualmente fra loro (isotropi)
- Ai **bordi di grano** sono associati difetti reticolari dovuti alla vicinanza tra reticoli diversamente orientati che interferiscono.
- Le distorsioni reticolari generano nel materiale una certa quantità di energia interna che rende termodinamicamente meno stabile il policristallo rispetto al monocristallo



L'arrangiamento degli atomi ai bordi di grano è significativamente diverso rispetto a quello periodico all'interno dei grani

Metalli. Struttura e proprietà

- Materiali cristallini con celle elementari CCC, CFC e EC
- Ottimi conduttori di elettricità e calore (moto elettroni e vibrazioni reticolari)
- A causa della non direzionalità del legame metallico è possibile lo scorrimento tra i piani reticolari (deformazione plastica)
- I materiali metallici possono essere metalli elementari o leghe (combinazione di metalli diversi in percentuali diverse)
- Le leghe hanno proprietà specifiche non ottenibili dai materiali elementari

Metalli. Corrosione



- La corrosione è il processo di dissoluzione di un metallo in seguito a reazioni Red/Ox



- La tendenza di metalli differenti a passare in soluzione dipende dai loro potenziali (red-ox). Si ossidano più facilmente quei metalli che hanno E° più bassi
- La corrosione dipende dal pH
- Difetti strutturali o irregolarità superficiali (es. fessure, cricche, cavità, bordi di grano) favoriscono i processi corrosivi
- Le sollecitazioni meccaniche (es. sfregamento, trazione) possono accelerare la corrosione
- La corrosione comporta **perdita di resistenza** del pezzo metallico e **rilascio eccessivo di ioni metallici nel corpo umano**, che può provocare effetti indesiderati ai tessuti

Metalli come biomateriali

Acciaio inox (316L)

Lega a base di Fe con basso contenuto di C ed alto contenuto di Cr e Ni e moderato contenuto di Mo

Resistenza alla corrosione

- Elevato tenore di cromo ($> 12\%$) che forma in superficie un sottile strato di ossido, Cr_2O_3 , passivante e molto ben aderente alla superficie
- Contenuto di carbonio $< 0.03\%$: favorisce la formazione di carburi che migliorano le proprietà meccaniche ma sono soggetti a corrosione in ambiente biologico
- Moderata aggiunta di molibdeno (2-3%) per ridurre ulteriormente la corrosione (da Cl^-)

Proprietà meccaniche

- Aggiunta di nichel (12-14%) per migliorare la resistenza meccanica. Il Ni stabilizza la fase CFC più resistente rispetto alla CCC. Migliora la resistenza sotto sforzo.

Vantaggi

- Buona malleabilità (migliore rispetto alle leghe di Co)
- Migliore resistenza meccanica (rispetto al Ti)

Svantaggi

- Resistenza alla corrosione limitata in alcune condizioni → Protesi ortopediche temporanee (viti, piastre e chiodi)

Metalli come biomateriali

Leghe di cobalto (Co-Cr-Mo e Co-Cr-Ni-Mo)

Resistenza alla corrosione

- Elevato tenore di cromo (> 12%) che forma in superficie un sottile strato di ossido, Cr_2O_3 , passivante e molto ben aderente alla superficie
- Aggiunta di molibdeno per ridurre ulteriormente la corrosione e indurire la lega
- Aggiunta di nichel migliora notevolmente la resistenza alla corrosione sotto sforzo

Proprietà meccaniche

- Biomateriale più resistente. Co-Cr-Mo tende a danneggiarsi per fatica. Co-Cr-Ni-Mo: eccellente resistenza alla fatica meccanica

Vantaggi

- Resistenza meccanica superiore (ideale per le teste femorali nelle protesi)
- Resistenza alla corrosione superiore rispetto all'acciaio inox

Svantaggi

- Bassa resistenza alla fatica (Co-Cr-Mo)

Metalli come biomateriali

Titanio e sue leghe

Quasi Ti puro (98.9-99.6%). Lega Ti6Al4V (6% Al, 4% V)

Resistenza alla corrosione

- Ottime. Si ricopre di uno strato di ossido passivante (3-6 nm TiO_2)
- Soggetto a corrosione per sfregamento (non adatto negli accoppiamenti articolari)
- Trattamenti superficiali per osteoinduzione

Proprietà meccaniche

- Molto leggero (bassa densità)
- Le impurezze (specie N e O) rendono superiore la resistenza meccanica e riducono la duttilità
- Scarsa resistenza al taglio (meno utile per le viti per ossa, piastre e simili)
- Elevato attrito per scorrimento (non adatto negli accoppiamenti articolari)

Vantaggi

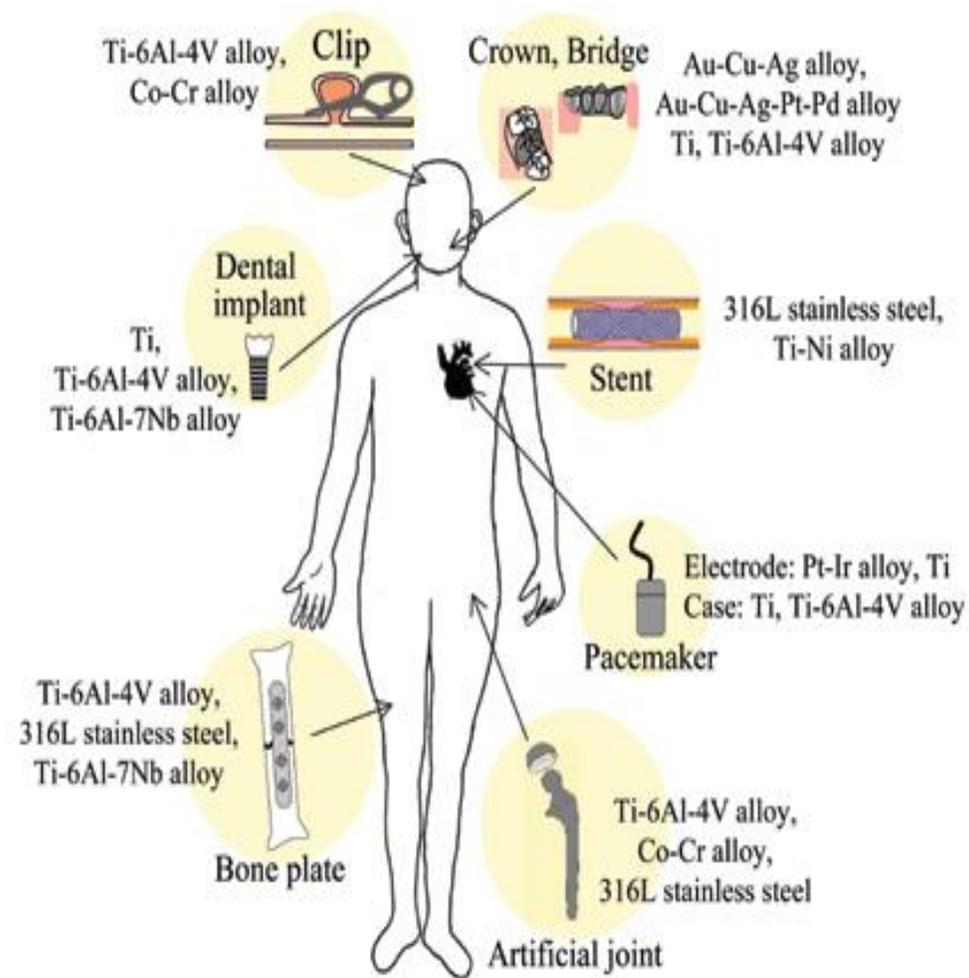
- Buona biocompatibilità
- Resistenza meccanica superiore
- Resistenza alla corrosione superiore rispetto all'acciaio inox

Svantaggi

- Elevato logoramento per frizione

Metalli come biomateriali

	VANTAGGIO	SVANTAGGI	IMPIANTI
Acciaio inox	Buona duttilità, permette deformazione plastica	Resistenza alla corrosione limitata	Impianti ossei, stent vascolari, protesi dentali
Co-Cr-Mo	Elevata durezza	Soggetti a fatica e rottura improvvisa	Valvole cardiache, protesi dentali, testa femorale (protesi d'anca)
Ti e leghe	Elevata resistenza meccanica, minore rigidità, elevata resistenza corrosione, buona biocompatibilità, osteoinduzione	Elevato logoramento per frizione	Impianti ossei, protesi d'anca (no testa femorale ma stelo), valvole cardiache, protesi vascolari



Ceramics come biomateriali

Sostituzione funzionale di tessuti duri

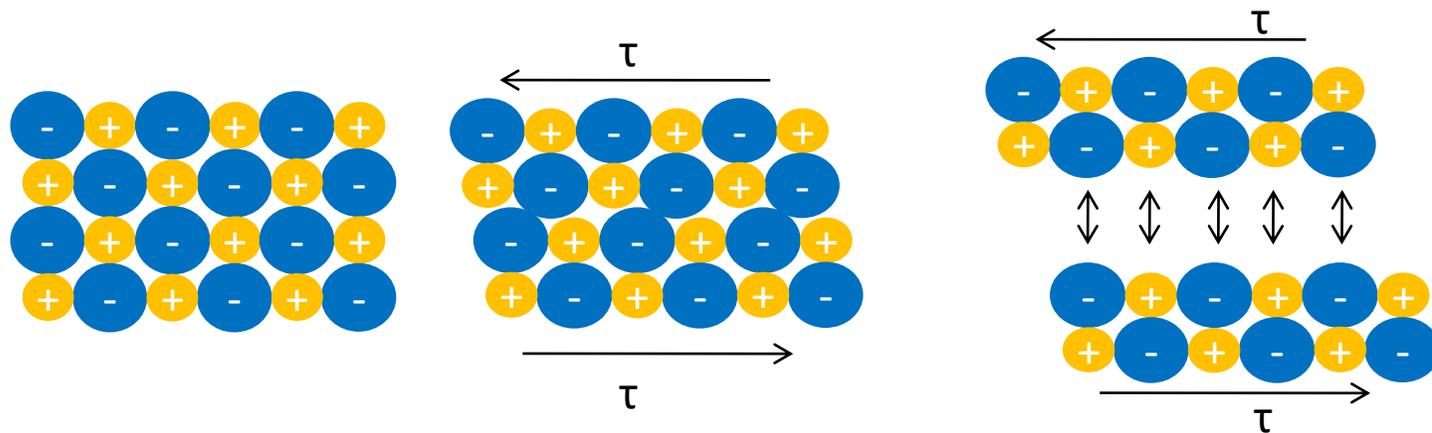
- Settore ortopedico
- Settore odontoiatrico

TABLE 1.3. Ceramics Used in Biomedical Applications

Ceramic	Chemical Formula	Comment
Alumina	Al_2O_3	Bioinert
Zirconia	ZrO_2	
Pyrolytic carbon		
Bioglass	$\text{Na}_2\text{OCaOP}_2\text{O}_3\text{-SiO}$	Bioactive
Hydroxyapatite (sintered at high temperature)	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	
Hydroxyapatite (sintered at low temperature)	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	Biodegradable
Tricalcium phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	

Ceramics. Struttura e proprietà

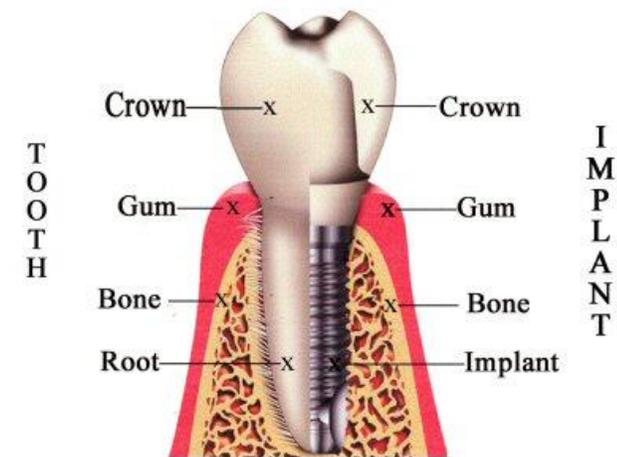
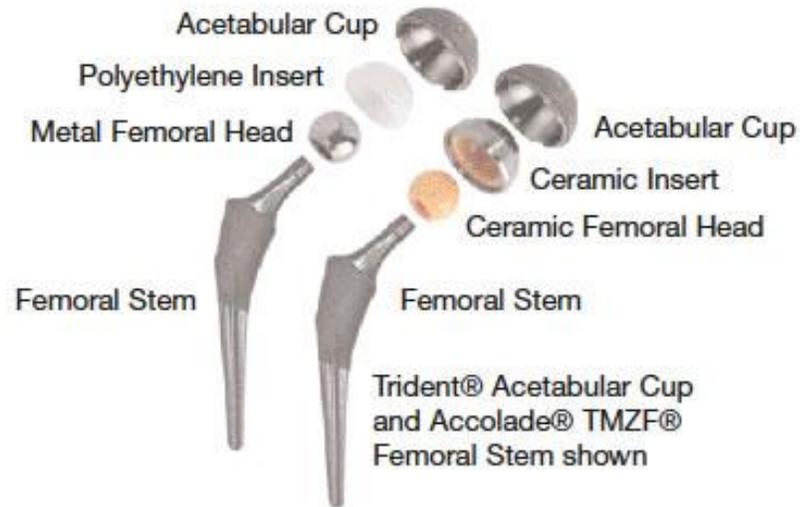
- Composti inorganici costituiti da elementi metallici e non metallici (ossidi: Al_2O_3 , MgO , SiO_2 ; sali ionici: NaCl , CsCl)
- Tipo di legame: da covalente-ionico a ionico puro
- Policristallini: il tipo di cella dipende dalle dimensioni dei raggi ionici degli elementi costituenti
- Bassissima conducibilità termica ed elettrica
- Altissime temperature di fusione (legami molto forti)
- Elevata inerzia chimica
- Proprietà meccaniche: elevata durezza e fragilità. Resistenza alla compressione. Bassissimo coefficiente di attrito per superfici lappate (elevata resistenza all'usura)



Ceramici come biomateriali

Allumina (Al_2O_3)

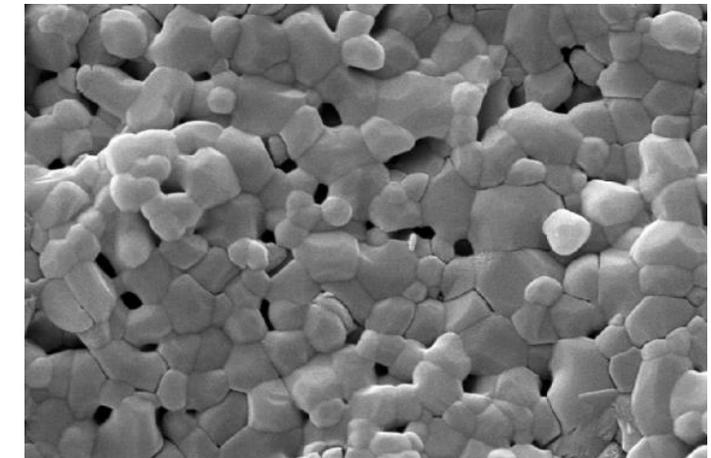
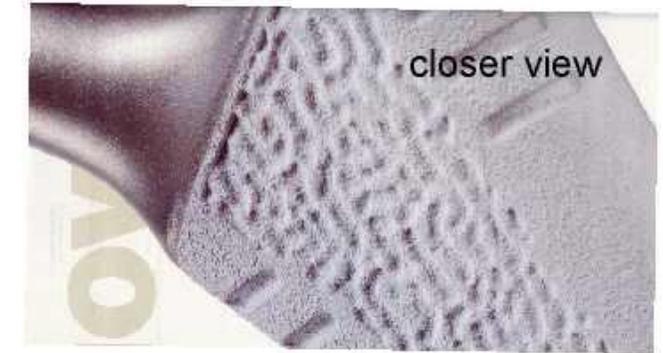
- **Bioinerte.** Il materiale impiantato non induce né subisce alterazioni chimiche o biologiche a contatto con l'ambiente biologico. Resistente alla corrosione
- Applicazioni: Testa femorale protesi d'anca. Elevata durezza e basso coefficiente di attrito. Velocità logoramento ceramica-ceramica 1/10 metallo-plastica. Protesi ginocchio. Protesi articolari
- Applicazioni: impianti dentali. In passato usati per sostituire i metalli ma in seguito a insuccessi (durezza e fragilità) vengono usati essenzialmente per i rivestimenti



Ceramici come biomateriali

Idrossiapatite (HA, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) e fosfati di calcio riassorbibili

- Caratteristiche chimico-strutturali molto simili alla componente inorganica naturale dell'osso e dei denti
- **Bioattiva.** Crescita interna osso. Permette un ottimo fissaggio delle protesi all'osso. Se all'interno dell'osso si inserisce un materiale ricoperto di HA porosa, l'osso riconosce il materiale ed avvia un processo di penetrazione di sostanze organiche e di crescita interna (*fissazione biologica*). Dimensioni pori: 50-150 μm per garantire la vascolarizzazione del tessuto che cresce internamente.
- Applicazioni: rivestimenti di protesi metalliche in ortopedia e odontoiatria, realizzazione di piccole ossa (es. timpaniche)
- **Biorassorbibile.** La velocità di dissoluzione dipende dalla struttura cristallina, porosità, pH, Ca/P (HA meno solubile del $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). I fosfati di calcio riassorbibili vengono man mano sostituiti dall'osso.

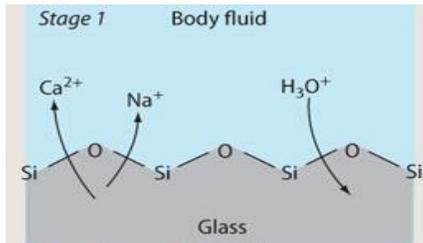
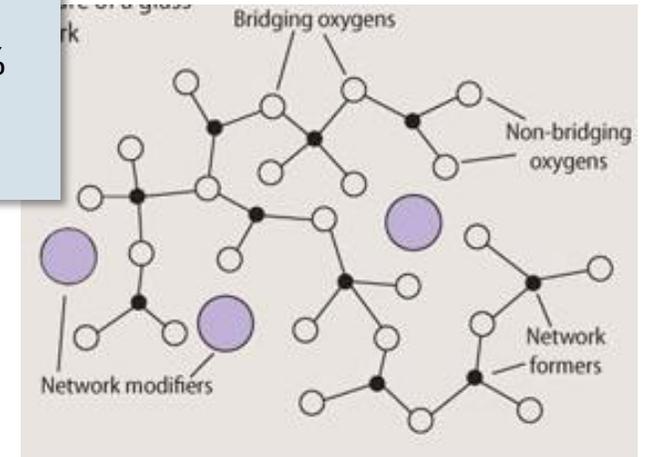


Ceramici come biomateriali

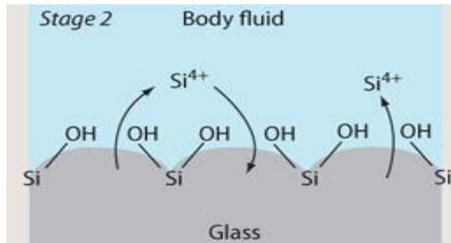
Vetri bioattivi ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$)

- Impiegati per riparare e/o sostituire tessuto osseo
- La **bioattività** dipende dalla composizione chimica del vetro
- La **bioattività** si esplica in 5 stadi

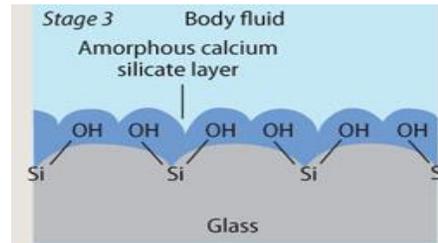
$\text{SiO}_2 \sim 30-55\%$
 $\text{Na}_2\text{O} \sim 20-25\%$
 $\text{CaO} \sim 15-30\%$
 $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 4-7\%$



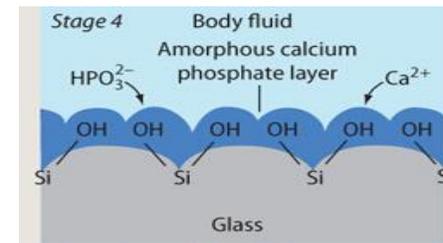
1. Scambio cationico tra Na^+ e Ca^{2+} del vetro e H_3O^+ del fluido biologico. $\text{pH} \uparrow$



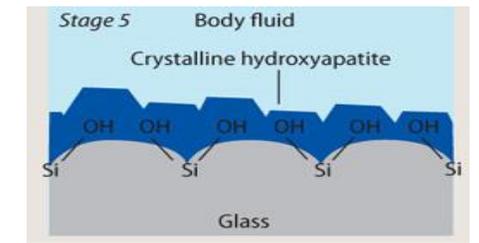
2. Idrolisi ponti silossanici e formazione SiOH . Rottura del reticolo vetroso.



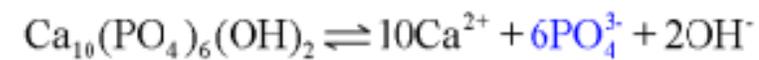
3. Condensazione di gruppi SiOH e ripolimerizzazione di silice come gel ($2\text{Si-OH} \rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}$), con inclusione di calcio Ca^{2+}



4. Precipitazione di ioni PO_4^{3-} e Ca^{2+} dal fluido biologico nello strato di silicato (gel) a dare uno strato amorfo di fosfato di Ca



5. Mineralizzazione. Cristallizzazione dello strato di fosfato a dare idrossiapatite



- Colonizzazione, proliferazione e differenziazione di cellule staminali in osteoblasti
 → formazione tessuto osseo (*fissazione bioattiva*)

Classi di Biomateriali

POLIMERI: Definizione

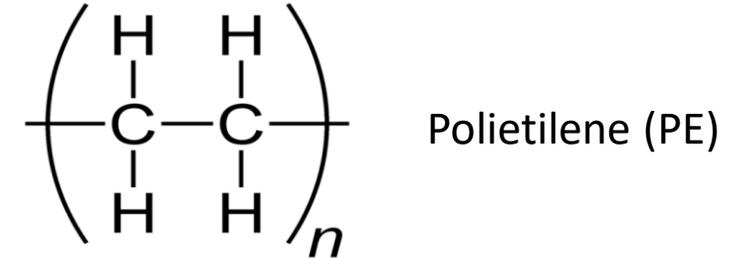
- macromolecole costituite da unità ripetitive, dette monomeriche, legate tra loro a formare lunghe catene

POLIMERI NATURALI

proteine, amido, cellulosa,
DNA, collagene, gomma, seta, ...

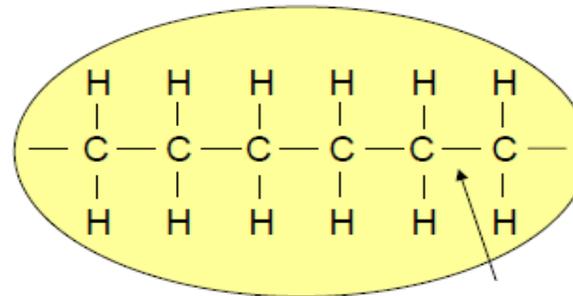
POLIMERI SINTETICI

PP, PE, PET, PTFE,
PVC, PDMS, PU, PEEK, ...



Legami nei polimeri

- Intra-molecolari: legami covalenti lungo lo scheletro polimerico
- Inter-molecolari: legami secondari (deboli) o covalenti tra le catene



Legame covalente



Legami
secondari o
covalenti

Degradazione polimeri

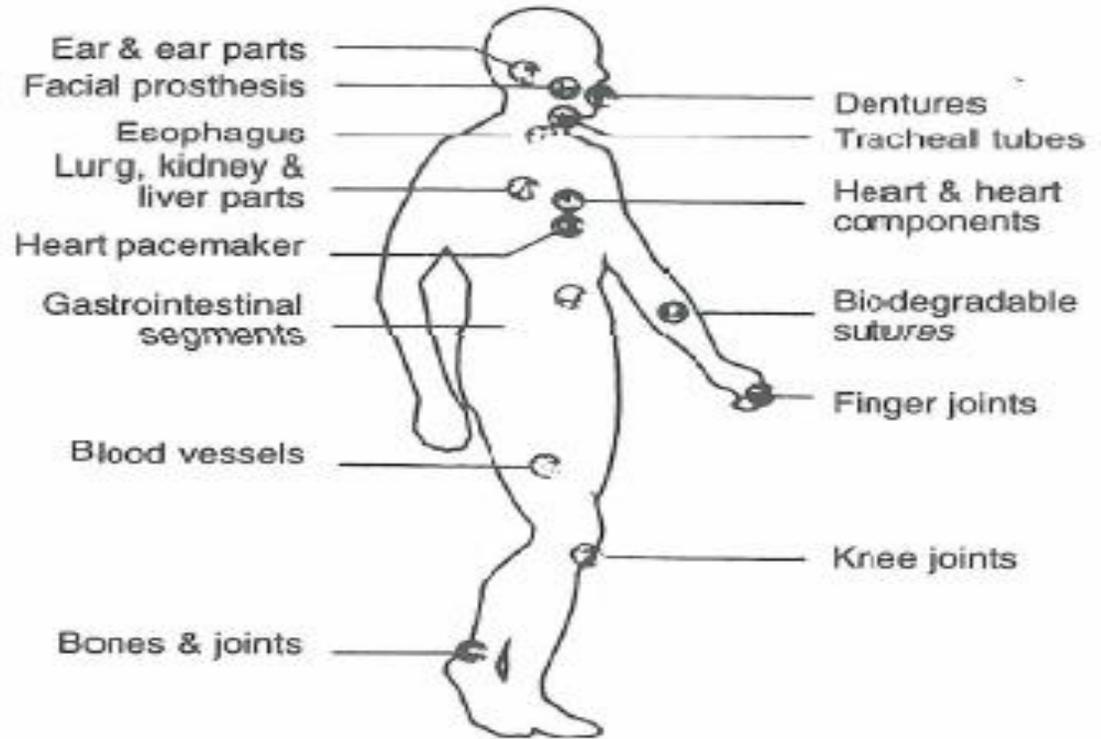
- La degradazione di un polimero consiste nella rottura di legami chimici sia nella catena principale che in quelle laterali
- La degradazione comporta diminuzioni delle proprietà meccaniche (eventuale perdita di funzionalità di un impianto)

CAUSE

- **Idrolisi.** La velocità di degradazione dipende dalla facilità di penetrazione dell'acqua nel polimero. Per aumentare la resistenza: (i) diminuire la porosità, (ii) usare agenti idrofobi, (iii) aumentare il grado di cristallinità
- **Biodegradazione.** La degradazione è mediata da agenti biologici (es. enzimi o microorganismi)
- **Sterilizzazione.** Usata per inattivare i microorganismi ed evitare infezioni in seguito all'impianto di un dispositivo. La degradazione è causata dalle alte temperature o radiazioni

Polimeri come biomateriali

- Facilità di modellamento in forme complesse
- Possibilità di avere buona biocompatibilità, intesa come interazione che promuove l'accettazione da parte dell'organismo a causa della similarità di struttura tra alcuni polimeri sintetici e i polimeri naturali contenuti nei tessuti

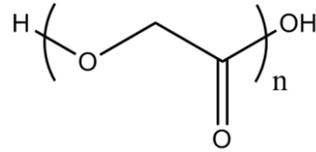
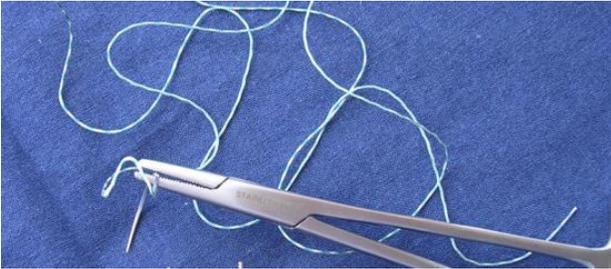


Ear & ear parts: acrylic, polyethylene, silicone, poly(vinyl chloride) (PVC)
Dentures: acrylic, ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), epoxy
Facial prosthesis: acrylic, PVC, polyurethane (PUR)
Tracheal tubes: acrylic, silicone nylon
Heart & heart components: polyester, silicone, PVC
Heart pacemaker: polyethylene, acetal
Lung, kidney & liver parts: polyester, polyaldehyde, PVC
Esophagus segments: polyethylene, polypropylene (PP), PVC
Blood vessels: PVC, polyester
Biodegradable sutures: PUR
Gastrointestinal segments: silicones, PVC, nylon
Finger joints: silicone, UHMWPE
Bones & joints: acrylic, nylon, silicone, PUR, PP, UHMWPE
Knee joints: polyethylene

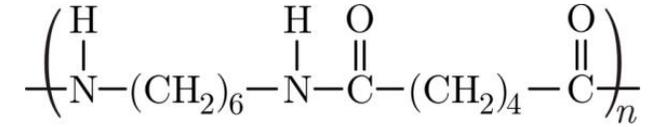
Polimeri come biomateriali

Poliesteri e poliammidi

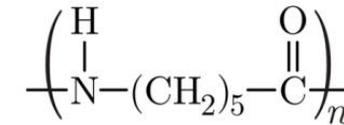
- SUTURE: bioassorbibili (es. PGA) e non bioassorbibili (es. Nylon)



PGA, acido poliglicolico

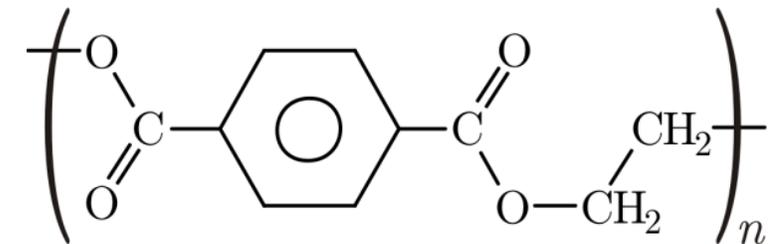
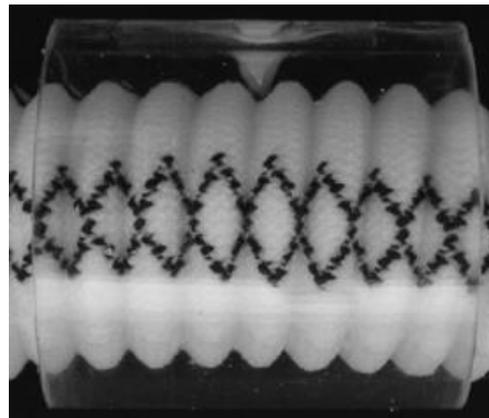
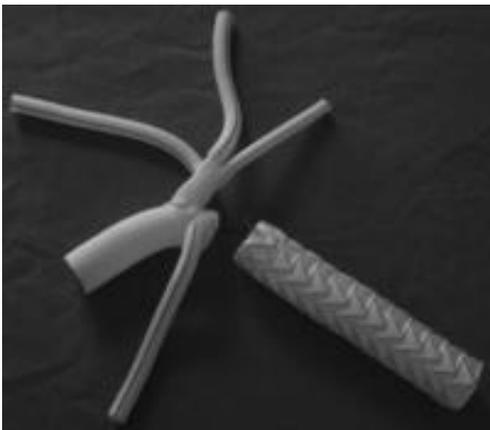


Nylon 66



Nylon 6

- ORTOPEDIA: viti, placche e chiodi intramidollari riassorbibili (es. PGA, PLA)
- CARDIOVASCOLARE: protesi vascolari e anelli di sutura per protesi valvolari cardiache



PET, polietilentereftalato

Fibre: Dacron

Polimeri come biomateriali

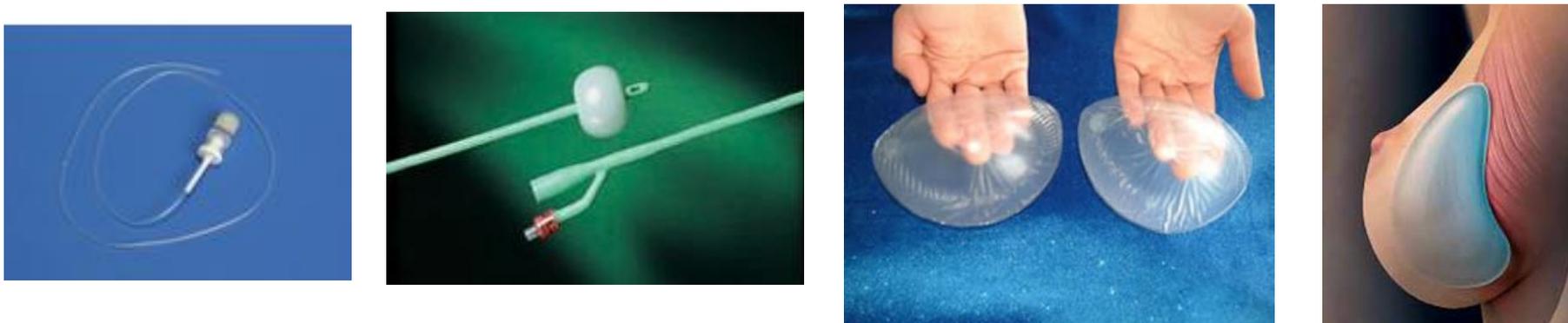
Polietilene

- ORTOPEDIA: acetabolo in protesi d'anca e piatto tibiale in protesi ginocchio (UHMWPE). Ottime proprietà antiattrito e resistenza forze impulsive, buona biocompatibilità.



Polisilossani

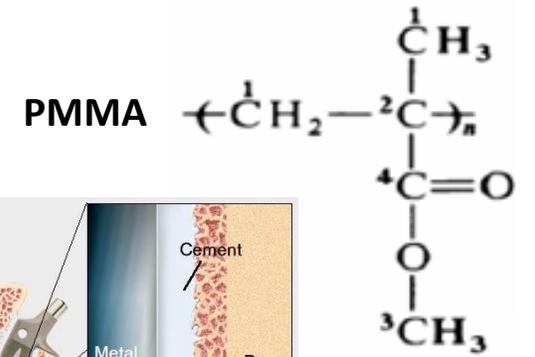
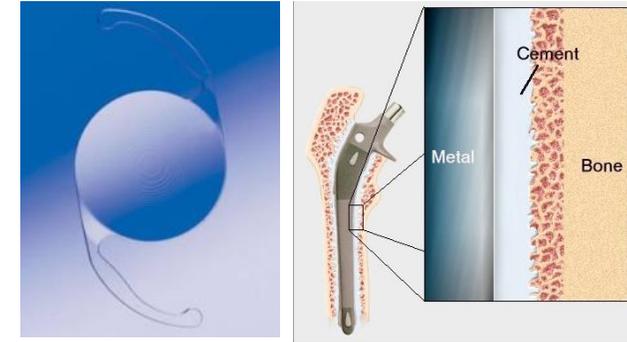
- Cateteri e tubi per condurre fluidi biologici. In chirurgia plastica come riempitivi.



Polimeri come biomateriali

Polimetilmetacrilato (PMMA)

- OCULISTICA: lenti intraoculari. Buona biocompatibilità e trasparenza
- ORTOPEDIA: cemento osseo per protesi articolari



Idrogel

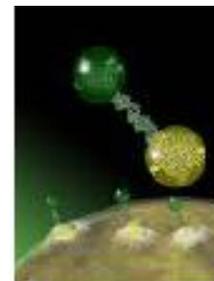
- Sono polimeri reticolati in grado di rigonfiarsi notevolmente. Si preparano disperdendo catene polimeriche reticolate in acqua, il cui contenuto può superare il 99%
- Diversamente dagli altri polimeri che interagiscono con l'acqua solo in superficie, in questi materiali l'acqua può diffondere all'interno. Riescono a mimare in questo i tessuti naturali
- Applicazioni: lenti a contatto (es. silicone), ingegneria tissutale (es. PLA), drug delivery



Lente



Scaffold

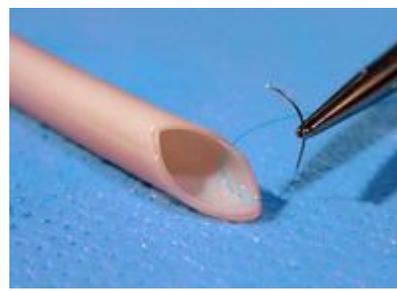


Drug delivery

Classi di Biomateriali

Polimeri naturali

- **Rilevanza:** largamente impiegati in medicina
- **Fabbricazione:** Principalmente estratti da tessuti umani o animali, decellularizzati con sterilizzanti
- **Applicazioni:** valvole cardiache, rigenerazione del menisco, suture, drug-delivery



Vaso sanguigno in collagene



Sutura in collagene



Menisco in collagene

Vantaggi

- Nessun problema di tossicità
- Possono funzionare biologicamente a livello molecolare, non solo macroscopico
- Possono degradarsi nel corpo per attacco enzimatico. Possono essere trattati per aumentare la reticolazione e diventare meno degradabili

Svantaggi

- Reazione immunologica. Il sistema immunitario del corpo riconosce il materiale come struttura biologica di un altro organismo e cerca di distruggerlo (necessità di devitalizzare i tessuti prima dell'impianto, distruggendo cellule e componenti immunogeni)
- Elevata variabilità dei sistemi naturali
- Strutturalmente più complessi dei materiali sintetici. Manipolazione tecnologica più complicata

Polimeri naturali

Quale è la connessione tra i tessuti corporei e i polimeri?

Quattro tipi fondamentali di tessuti corporei

- **Epiteliale.** Membrana continua che riveste tutto il corpo. Funzione protettiva e di trasporto
- **Connettivo.** Fibroso. Funzione di sostegno
- **Muscolare.** Filamenti contrattili. Movimenti volontari e involontari
- **Nervoso.** Neuroni. Attività muscolare e mentale

Questi tessuti sono in gran parte composti da tre categorie di polimeri

- **Proteine.** Catene di amminoacidi (es. seta, collagene, elastina, miosina, fibrina)
- **Polisaccaridi.** Catene di zuccheri (es. glicosaminoglicani, glicogeno, chitina)
- **Polinucleotidi.** Catene di nucleotidi (es. DNA, RNA)

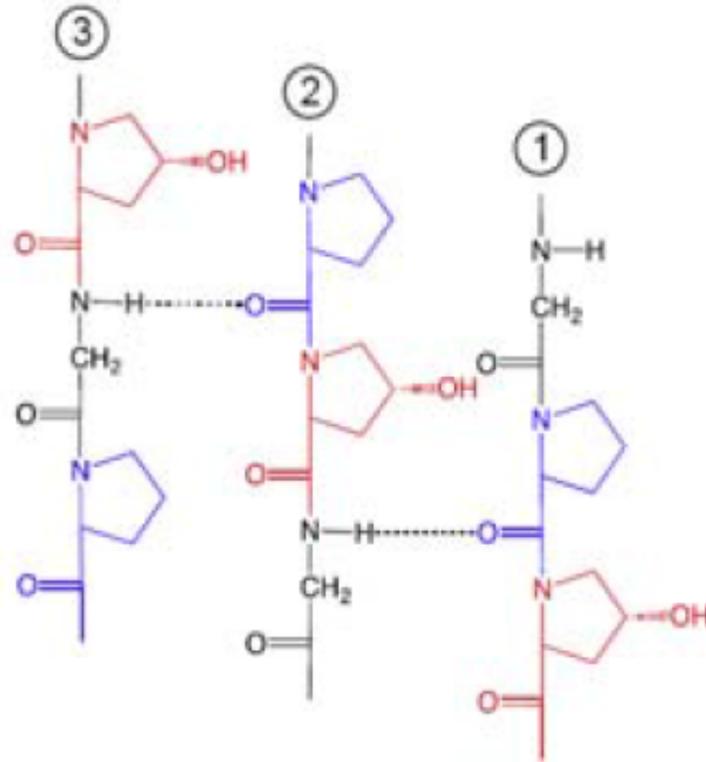
Polimeri naturali

Se le molecole che costituiscono i tessuti naturali sono simili, cosa determina le loro diverse funzioni?

- **Configurazione molecolare.** Es. Sono state identificati 29 tipi di collagene con diversi legami tra le eliche e struttura gerarchica
- **Composizione.** Es. La cartilagine ha più polisaccaridi dei legamenti
- **Organizzazione.** Es. Cartilagine isotropa, legamenti anisotropi (hanno una direzione preferenziale)

La struttura si è adattata per svolgere una specifica funzione

Polimeri naturali. Collagene



Gly-X-Y triplet motif of collagen.

- Representative portions of three individual α -chains (labeled 1, 2, 3) are shown.
- Each chain is comprised of glycine (black), **proline** (position "X", **blue**) and **hydroxyproline** (position "Y", **red**).
- A **hydrogen bond** is formed between **the N-H of glycine** on each chain **and the carbonyl group of proline** on an adjacent chain.
- The hydrogen bond between chains 1 and 3 is not shown for clarity.

Polimeri naturali. Elastina

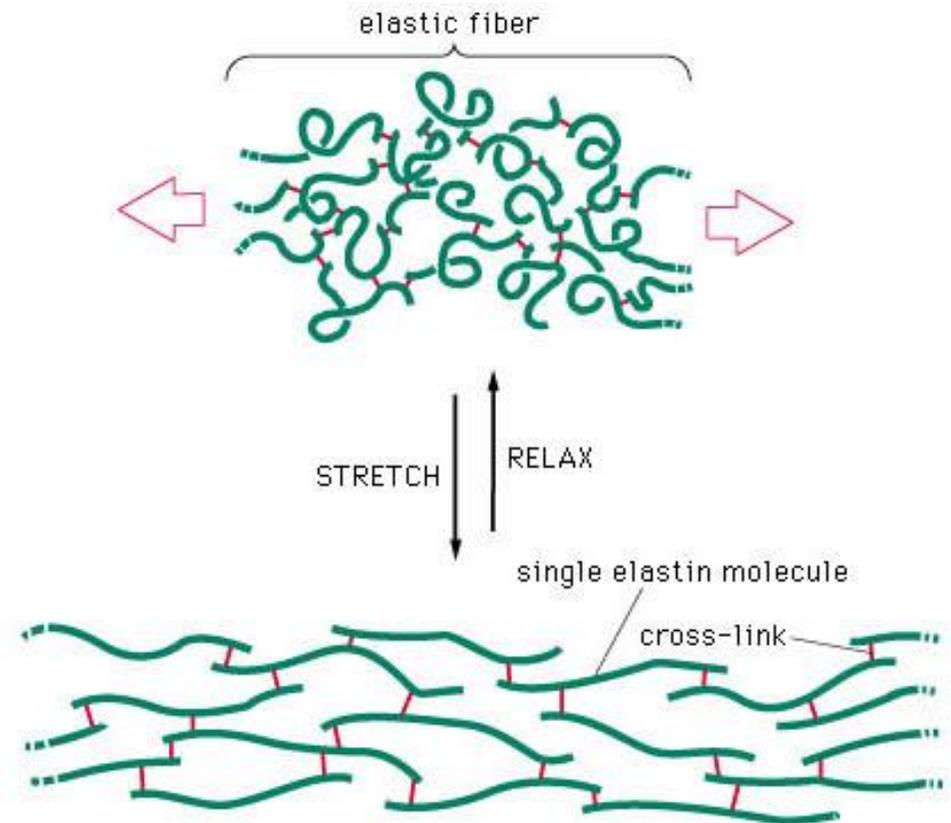
- Proteina fibrosa abbondante nei tessuti elastici (pelle, pareti arteriose e certi legamenti)
- E' la proteina meno solubile nel corpo umano

Struttura

- Conformazione spiraliforme ad avvolgimento disordinato (amorfa)
- Struttura molto reticolata

Funzione

- Elevata resistenza a forze impulsive (urti improvvisi)
- Elevata elasticità (basso E)
- Cosmetica
- Cicatrizzante



Proteine come biomateriali

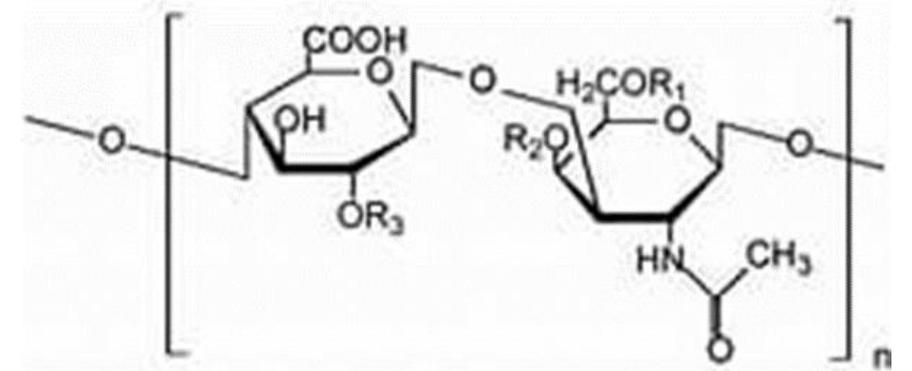
Collagene

- Bioscaffold. Usati per fornire una struttura di sostegno per la rigenerazione di tessuti
- Chirurgia estetica. Nel 2007, 175.000 iniezioni di collagene negli USA
- Protesi vascolari. Tubi di collagene come vasi sanguigni (collagene umano o animale)
- Drug delivery e suture

Polisaccaridi. Glicosaminoglicani (GAGs)

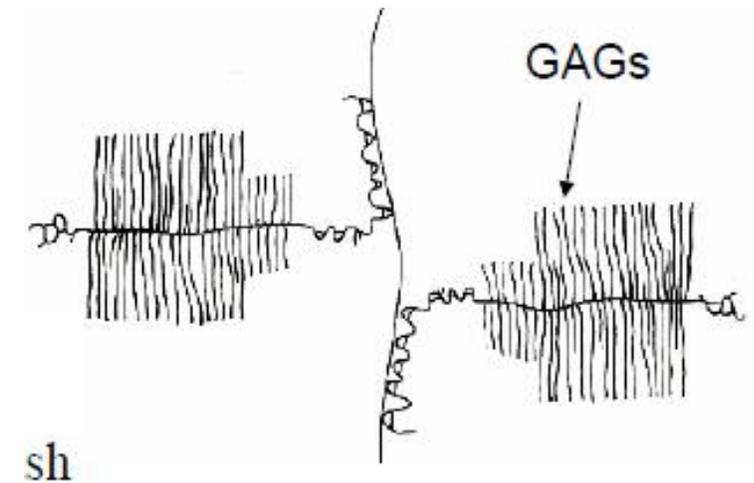
Struttura

- Polimeri lineari formati da unità disaccaridiche (aminosaccaride + monosaccaride acido)
- Nei tessuti si legano alle proteine (proteoglicani)



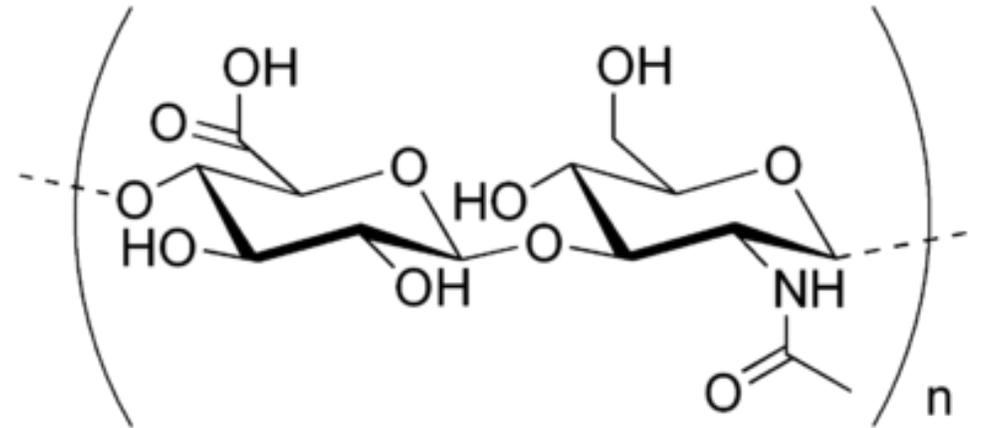
Funzione

- Contengono una grande quantità di acqua di riserva
- Svolgono funzioni lubrificanti prevenendo il danneggiamento delle cellule del tessuto da stress fisici
- Legano l'acqua aumentando la viscosità dei tessuti e riducendone la permeabilità
- Assorbendo acqua (che è incomprimibile) aumentano la resistenza alla compressione mantengono il grado di idratazione, turgidità e plasticità
- In ingegneria tissutale. Impiegati con il collagene nella costruzione di scaffold biodegradabili per la rigenerazione di tessuti di sostegno



Polisaccaridi come biomateriali

- **Acido ialuronico.** Chirurgia estetica: trattamenti antirughe



- **Eparina.** Anticoagulante sanguigno

