The background consists of several vertical bands of different colors and textures. From left to right, there are bands of dark green, purple, blue, red, yellow, and teal, each with a fine, repeating geometric pattern. To the right of these, there are larger, more abstract shapes in shades of light green, pink, and blue, also with a repeating pattern. The overall effect is a vibrant, multi-colored, textured surface.

# CHIMICA DEI MATERIALI

# Classificazione dei materiali

**MATERIALI ORGANICI SINTETICI**

**MATERIALI ORGANICI BIOLOGICI**

**MATERIALI METALLICI**

**MATERIALI CERAMICI (o NON METALLICI)**



## Classificazione dei materiali in base all'utilizzo:

- **Strutturali:** plastica, cemento, metalli ecc
- **Funzionali:** proprietà particolari, ossidi, metalli, nitruri ecc

### Alcuni esempi di materiali funzionali.

Proprietà	Tipo di materiale	Applicazione	Esempio
Elettriche	Isolanti	Isolamento elettrico	$\text{Al}_2\text{O}_3$
	Dielettrici	Materiali attivi	PLZT*
	Conduttori elettronici	Chip	$\text{TiSi}_2$
	Semiconduttori	Chip, sensori	Si
	Conduttori ionici	Elettroliti celle a combustibile	PSZ**
	Conduttori misti	Elettrodi celle a combustibile	$\text{LnMnO}_3$
Magnetiche	Ferromagneti	Registrazione di informazioni	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Termiche	Conduttori termici	Scambiatori di calore	SiC
	Isolanti termici	Refrattari	MgO
Ottiche	Cromofori	Pigmenti, laser a ioni	Cr : $\text{Al}_2\text{O}_3$
	Materiali trasparenti	Fibre ottiche	Ge : $\text{SiO}_2$
	Prop. ottiche non lineari	Interruttori	$\text{LiNbO}_3$
	Fotovoltaici	Celle solari	Si, BP
	Conduttori trasparenti	Display	In : $\text{SnO}_2$
Chimiche	Materiali attivi	Catalizzatori	Cermets
	Materiali inerti	Protettori contro la corrosione	Ossidi ceramici
	Materiali biocompatibili	Protesi	C/SiC, diamante

\* PLZT è un acronimo per  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x-y}\text{La}_y\text{Ti}_x)\text{O}_3$ , un titanato misto di zirconio e lantanio

\*\* PZT è un acronimo per  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ , un titanato misto.

## Classificazione in base al tipo di **legame**:

Tipo	Unità di reticolo	Proprietà	Esempi	Energia di reticolo (eV · mol <sup>-1</sup> )
Covalente	Atomi	Semiconduttori, isolanti, duri, bassa mobilità	SiC	10,5
			Diamante	7,4
Ionico	Cationi e anioni	Conduttori ionici fragili	LiF	10,4
			CsI	6,0
			MgO	40,5
Metallico	Cationi ed elettroni interstiziali	Conduttori elettronici, plastici, resistenti	Mg	1,5
			Fe	4,3
			Mo	6,8
Legame idrogeno	Protoni e atomi di alta elettroneg.	Isolanti, basso punto di fusione	Ghiaccio	0,5
			HF	0,3
Forze dispersive	Molecole	Punto di fusione molto basso	SiH <sub>4</sub>	0,1

# Metodi di preparazione Solidi inorganici

## Metodo ceramico



Metodo antichissimo

Semplice ma lento

Sintesi di **solidi inorganici** ad es. come superconduttori

**Riscaldare insieme i due reagenti solidi per ottenere il  
composto desiderato**



Samarium in polvere

+

**SmS** (superconduttore)



Zolfo in polvere

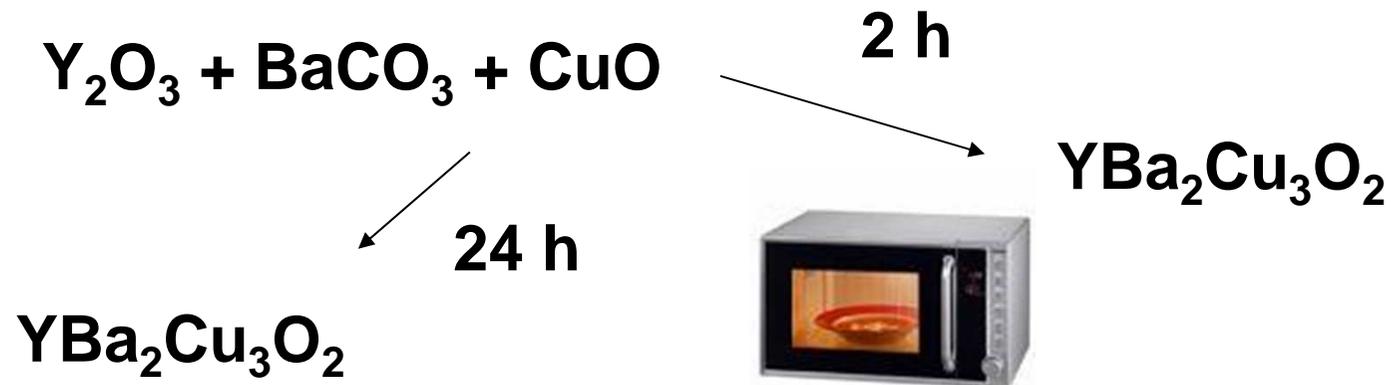
Miscelazione in crogiuolo di silice sigillato a 1000 K

Prodotto omogeneizzato e riscaldato a 2300 K in crogiuolo di tantalio sigillato

**Svantaggi**: alte temperature; intenso uso di energia elettrica; tempi molto lunghi; possibilità di decomposizione dei prodotti; reazione rallentata dalla velocità di diffusione

Necessario rendere la miscela omogenea con **continue macinazioni**

Possibilità di utilizzare le **microonde** per diminuire i tempi di preparazione



Ossidi che assorbono microonde: ZnO;  $V_2O_5$ ;  
MnO<sub>2</sub>; PbO<sub>2</sub>; Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; NiO; WO<sub>3</sub>; CuO

Ossidi che non assorbono microonde: TiO<sub>2</sub>; CeO<sub>2</sub>;  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; SnO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

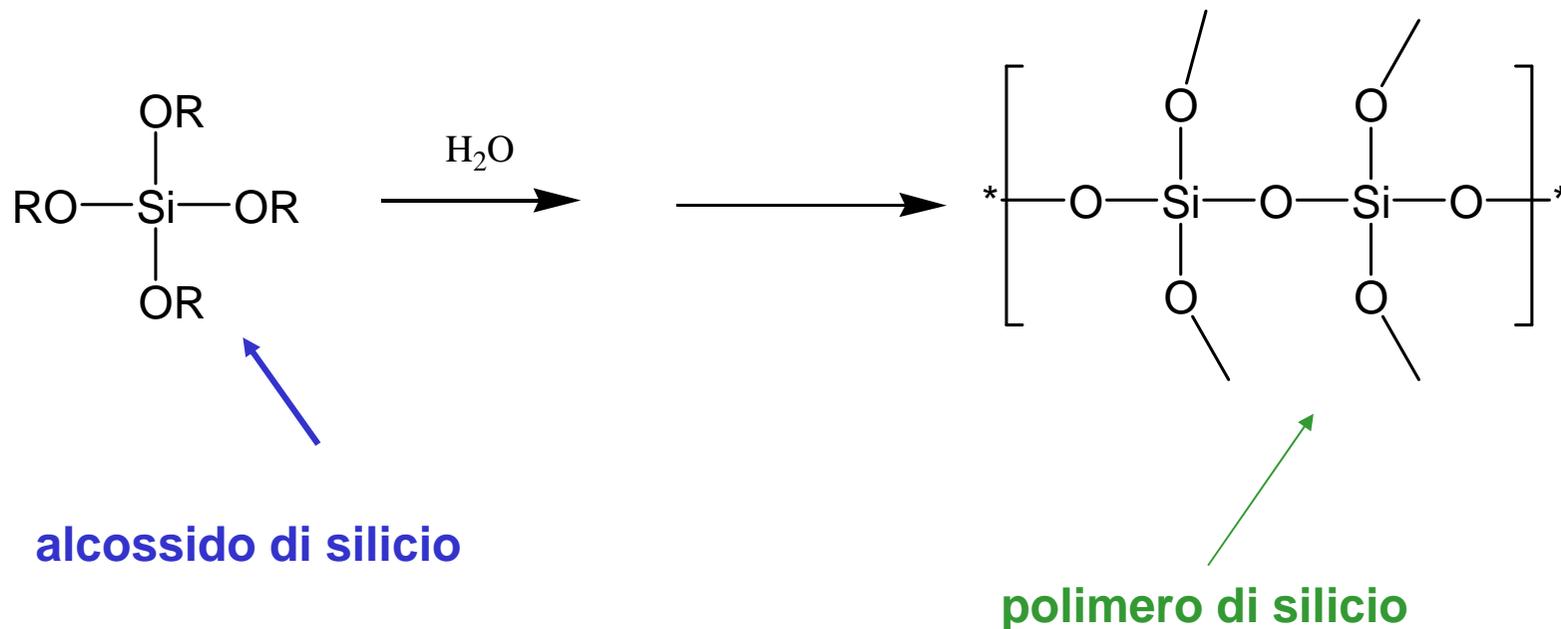
## Metodo sol-gel

**Sol**= sospensione colloidale di particelle di dimensioni 1 - 100 nm in un liquido

**Gel**= solido semirigido costituito da un reticolo di materiale polimerico o colloidale (sol concentrato) contenente le molecole di liquido

E' possibile preparare, a temperature relativamente basse, materiali a base di **ossidi inorganici** con le desiderate caratteristiche di durezza, resistenza chimica e termica e porosità

Mediante tecnologia sol-gel è possibile produrre un'ampia varietà di network inorganici usando come monomeri precursori **alcossidi di silicio** o di altri elementi. Ad es. per ottenere **film sottili di silice**:



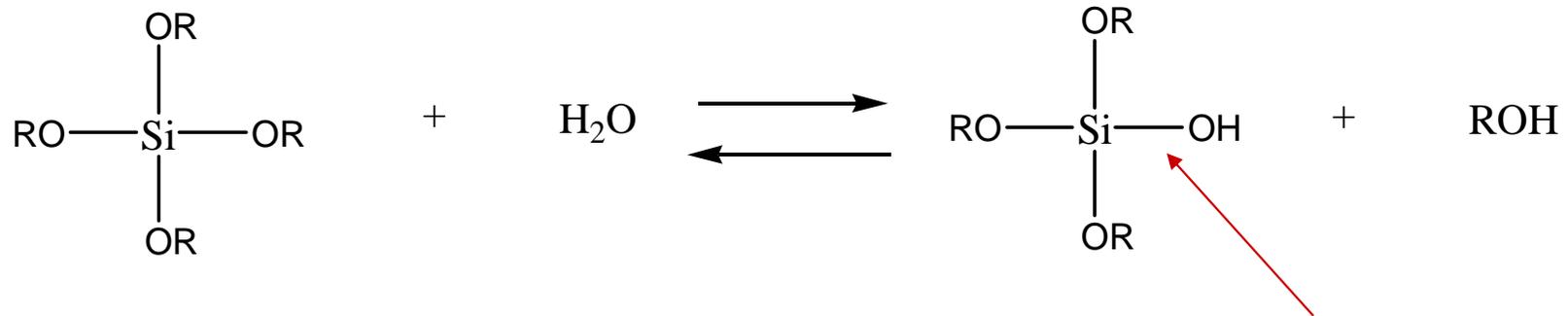
R è un alchile (ad es. CH<sub>3</sub>)

Il processo sol-gel implica:

- **l'idrolisi dell'alcolossido di silicio**
- la formazione di una **sospensione colloidale**
- l'evoluzione di questa verso un **gel** in un processo di condensazione

# IDROLISI

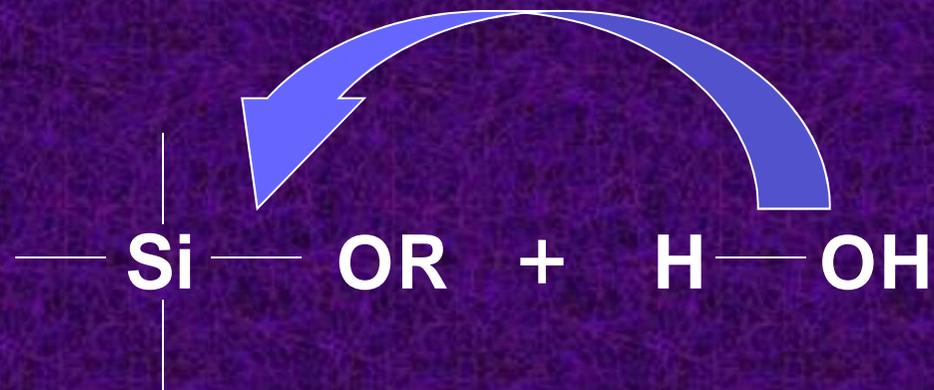
Gli alcossidi di silicio si idrolizzano sia in ambiente acido che in ambiente basico. Si forma il sol. Lo schema di reazione è il seguente



**Gruppo silanolo**

# La chimica del metodo

*Idrolisi*



Gli alcossidi di silicio si IDROLIZZANO attraverso un attacco dell'acqua sull'atomo di silicio sia in ambiente basico che acido

# CONDENSAZIONE

I gruppi silanolo formati nel processo di idrolisi tendono a dare reazioni di **polimerizzazione** con formazione di legami **Si-O-Si**. Il sol si trasforma in gel.

La reazione di condensazione può avvenire principalmente secondo due meccanismi: attacco di un gruppo silanolo su un atomo di silicio e successiva espulsione di una molecola di acqua oppure attacco del silanolo su un monomero parzialmente idrolizzato con eliminazione di una molecola di alcol

La reazione di condensazione procede verso la formazione di un **network di struttura diversa** in base alle condizioni di reazione.

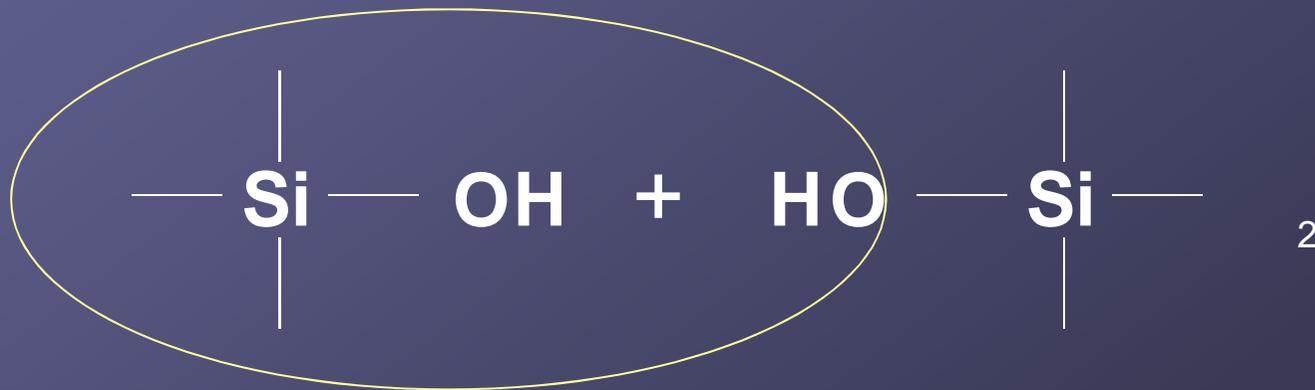
Nonostante l'evoluzione degli alcossidi verso networks inorganici sia un processo spontaneo nelle condizioni previste dal metodo sol-gel, di solito si utilizza un **catalizzatore** per accelerare la reazione o per favorire la formazione della struttura desiderata.

I catalizzatori di solito utilizzati sono acidi inorganici, basi, alcossidi di metalli di transizione ed anioni fluoruro

# La chimica del metodo

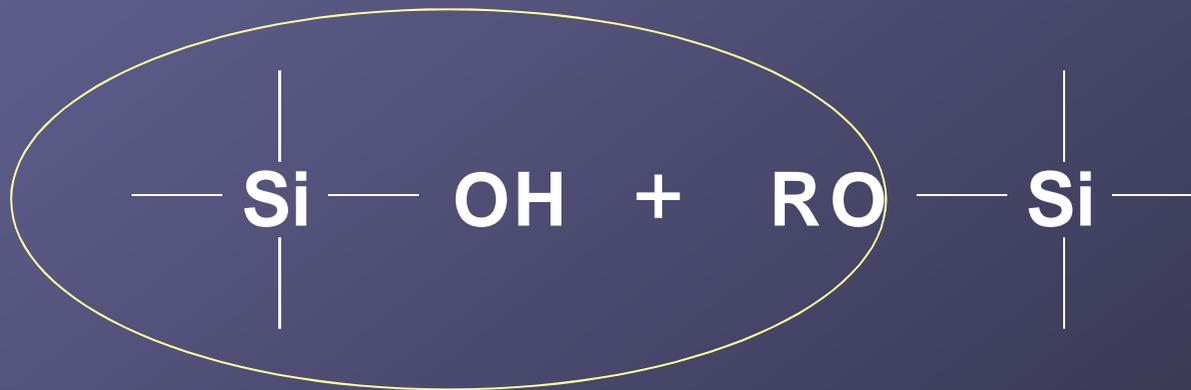
## Polimerizzazione per condensazione

I gruppi SILANOLO ottenuti tendono a formare dei legami. La reazione può avvenire secondo due meccanismi:

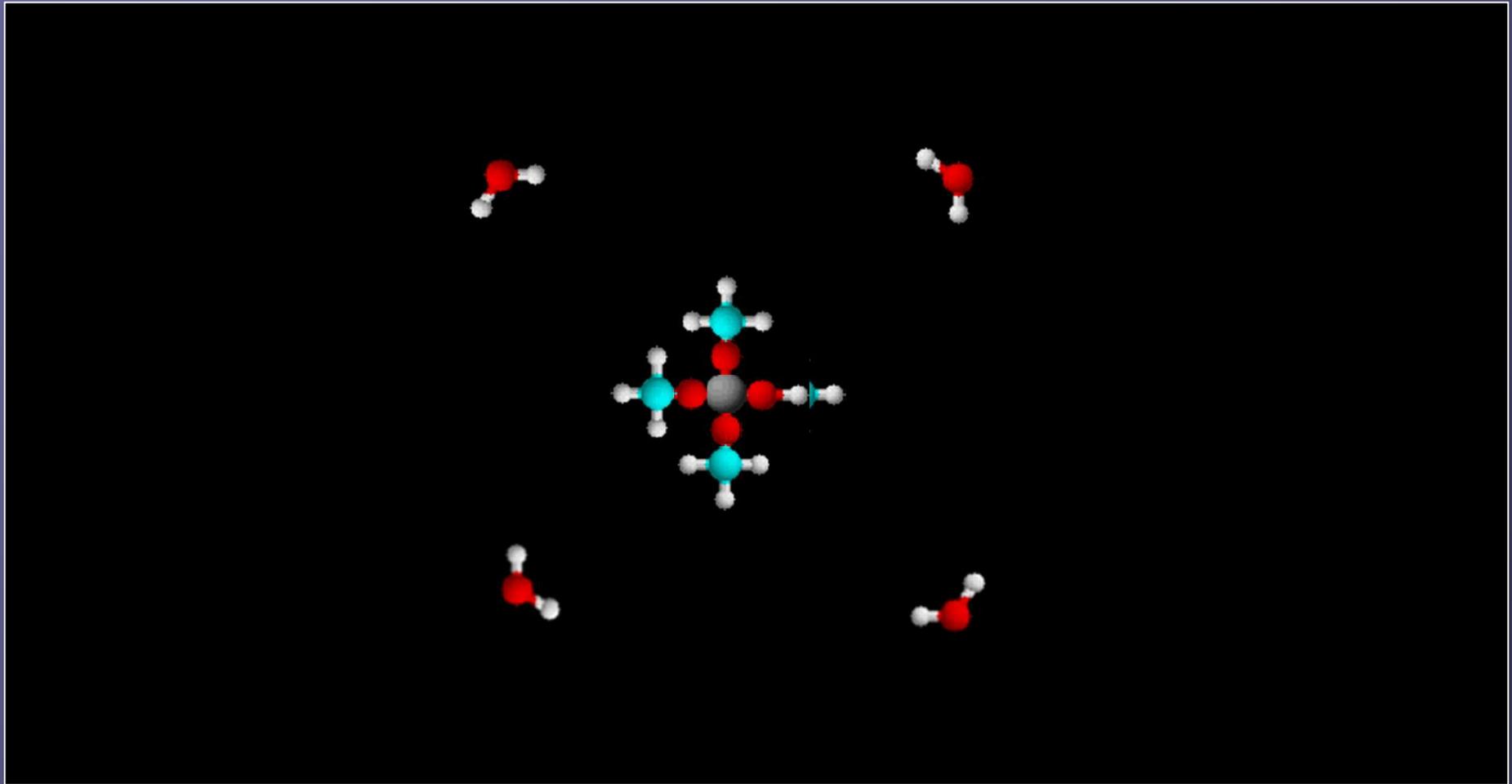


attacco di un gruppo SILANOLO sul silicio di un'altra molecola con espulsione di un molecola d'acqua

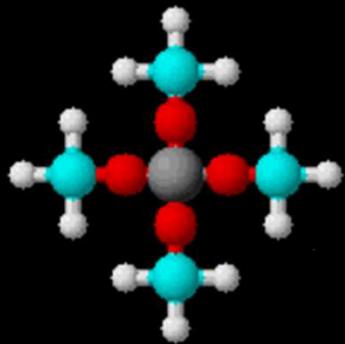
oppure attacco con espulsione di un molecola di alcol in caso di un monomero parzialmente idrolizzato



# *IDROLISI*



# *IDROLISI e POLICONDENSAZIONE*



La velocità minima di condensazione si ha a pH 1,5 – 2. La reazione di condensazione porta alla formazione di una **soluzione colloidale che evolve in un gel**



Struttura di gel ottenuti per condensazione in ambiente acido (sinistra) e basico (destra)

## ESSICCAMENTO

Il processo di essiccamento del gel in ossido ceramico si divide in diversi stadi. Inizialmente il gel subisce una diminuzione di volume proporzionale alla quantità di liquido evaporato e l'interfaccia liquido-vapore è localizzata sulla superficie.

Ad un certo punto, detto **punto critico**, le particelle sono troppo fortemente impaccate ed il riarrangiamento interno non è più possibile.

In questo stadio dell'essiccamento è più probabile che avvengano **fratture**

Tra i vantaggi del metodo:

- semplicità delle reazioni chimiche
- basse temperature di lavoro
- disponibilità di precursori alcossidi (metalli e non metalli) liquidi o solidi (solubili nei solventi usuali)
- possibilità di preparare soluzioni di monomeri o oligomeri



**Utile per preparare le fibre ottiche per le quali è necessaria silice di purezza molto elevata**

## METODO CVD (Chemical Vapour Deposition)

Ad elevata temperatura una miscela di gas costituita da un **gas trasportatore** che è inerte (Ar o N<sub>2</sub>) e un **gas reattivo** viene portata a pressione tale da produrre la reazione di **condensazione di strati metallici, ceramici, ecc** sul pezzo da ricoprire.

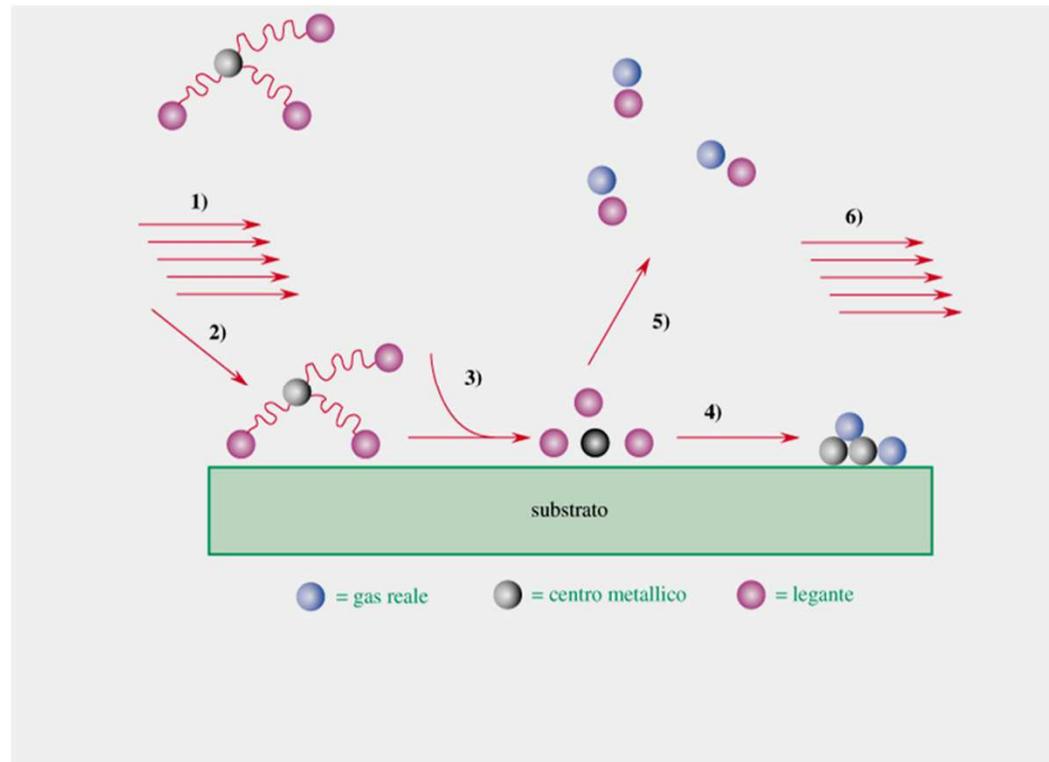
Il meccanismo di deposizione è una **reazione chimica con il gas reattivo**

I componenti della reazione CVD devono essere tutti allo stato gassoso o facilmente evaporabili.

La deposizione dei film sottili avviene **attraverso una reazione chimica** partendo dalla fase gas in una zona molto vicina al substrato solido o sul substrato stesso.

Il materiale solido, o **substrato**, viene riscaldato a una temperatura uguale alla temperatura di reazione dei gas in modo da produrre la reazione di condensazione degli strati metallici o ceramici sul pezzo da ricoprire

I **pezzi da ricoprire** devono sopportare le temperature di reazione senza deformarsi o reagire o formare sottoprodotti non volatili



**FASI DI UN PROCESSO CVD: flusso del gas di trasporto, processi di diffusione, reazione del substrato**

Alcune delle **reazioni più utilizzate** per ottenere, ad esempio, allumina, nitruro o carburo di titanio con questo tipo di processo sono le seguenti:



Le **principali applicazioni** delle CVD:

Deposizione di film superconduttori, semiconduttori e isolanti per **circuiti integrati**

Formazione di **strati ad elevata durezza** destinati a ridurre l'usura di componenti meccanici

Produzione di **strati protettivi contro la corrosione** o l'ossidazione ad alte temperature

**Barriere** di diffusione; barriere termiche; **infiltrazione** in materiali porosi o in fibre

Produzione di **materiali compositi** formati da elementi difficili da sintetizzare

**Applicazioni ottiche**

Vantaggi delle CVD:

**ottima aderenza** del deposito dovuta a fenomeni di diffusione nel substrato

**elevato potere penetrante** con la possibilità di ricoprire pezzi con forme complesse, cavità e porosità

facile **variabilità della composizione chimica** dello strato di rivestimento e formazione di strati ad elevata densità (**bassa porosità**)

**Elevata purezza** con giusta scelta di reagenti e condizioni di reazione

## **Limiti:**

**bassa velocità** di deposizione (circa 2  $\mu\text{m/h}$  per il rivestimento di TiN a 1000 °C)

eventuale **formazione di sottoprodotti di reazione corrosivi** (es. HCl)

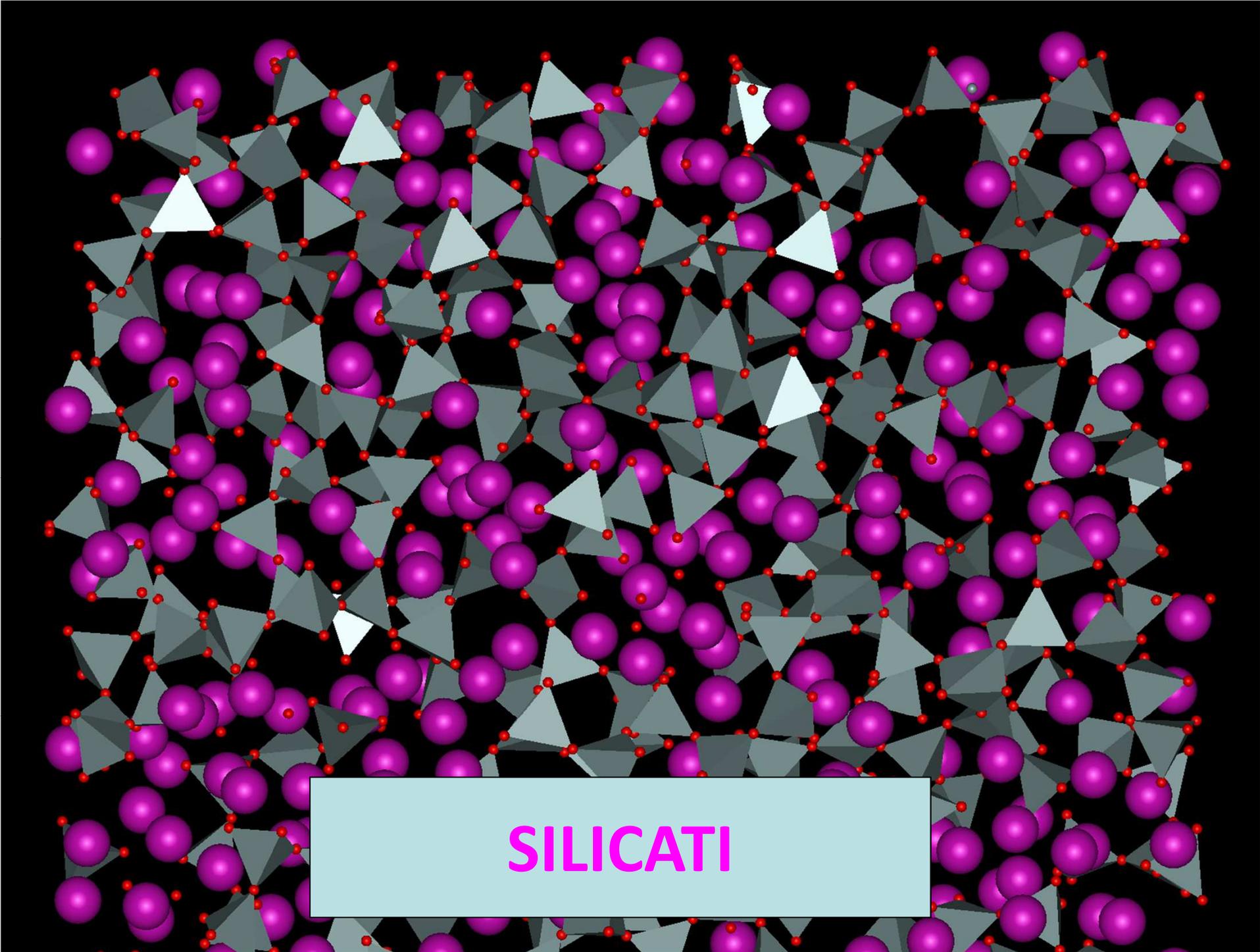
**alte temperature** (900-1000 °C) con conseguente necessità di ritrattare termicamente sottovuoto alcuni pezzi (es. alcuni acciai)

**costo** delle **materie prime**

Altri metodi

**Idrotermico:** sintesi in autoclave ad altissime pressioni e temperature; per produrre zeoliti, cristalli di quarzo piezoelettrici, ecc

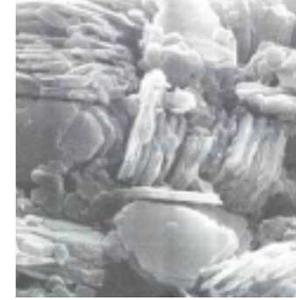
**Metodo del precursore:** per produrre ossidi misti; viene sintetizzato un composto contenente già i metalli nel rapporto stechiometrico giusto ed in seguito a decomposizione termica si ottiene il materiale desiderato



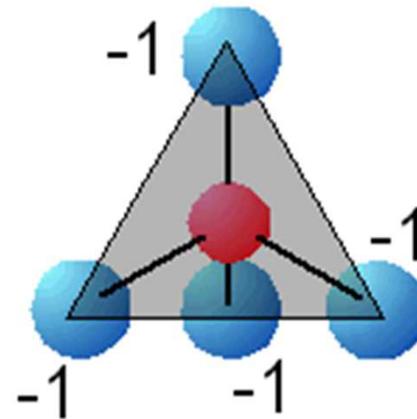
**SILICATI**

# SILICATI

I silicati sono costituiti da **tetraedri [SiO<sub>4</sub>]** uniti per uno o più vertici a dare unità polimeriche più grandi.



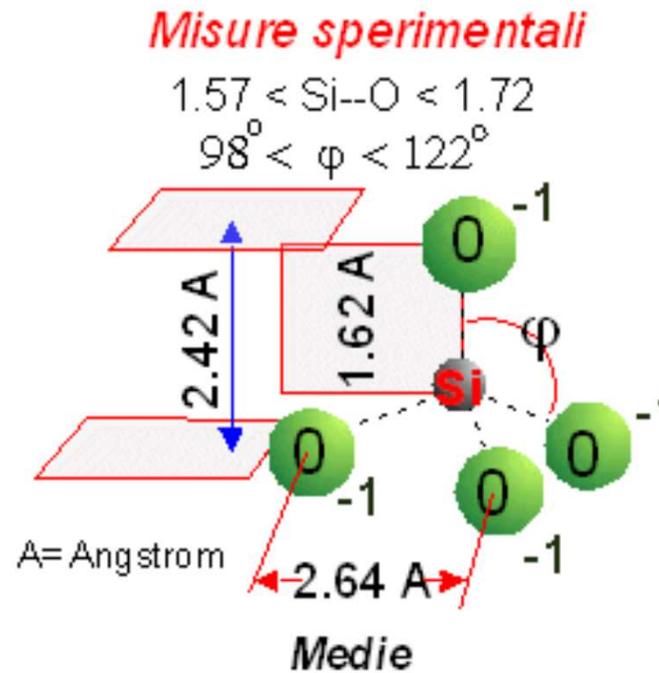
I tetraedri [SiO<sub>4</sub>] non sono mai uniti per i lati o le facce



Possono contenere anche: B, ioni Al, Fe, Ti, ioni di metalli alcalini e alcalino terrosi

Il gruppo  $[\text{SiO}_4]$  quando si trova libero non legato covalentemente con altri atomi di Si dà luogo allo ione  $\text{SiO}_4^{4-}$ .

L'angolo di legame è variabile nei vari silicati e dipende dal tipo e dalla grandezza dei vari atomi legati al gruppo  $[\text{SiO}_4]$



Il Silicio è **simile al Carbonio**

Si trova nello stesso gruppo della tavola periodica

La forza del legame Si-Si (222 kJ/mol) è minore di quella del legame C-C (346 kJ/mol).

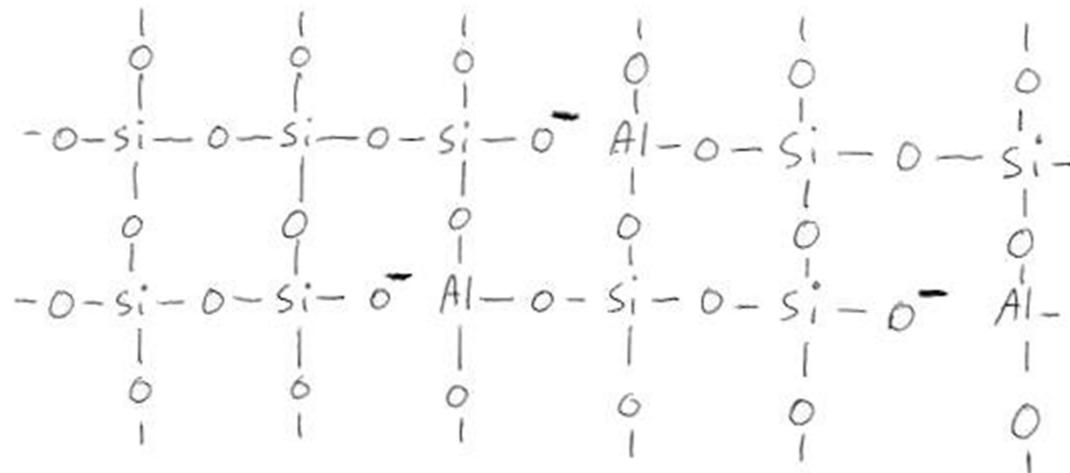
Il Si non può formare legami multipli.

Il legame Si-O (452 kJ/mol) è più forte del legame C-O (358 kJ/mol)

## ALLUMINOSILICATI

L'alluminio si può trovare al centro dei 4 ossigeni disposti tetraedricamente e può dunque sostituire in parte il silicio nella struttura dei silicati che prendono il nome di alluminosilicati.

Più raramente si possono trovare nei silicati anche Be o B.



# Classificazione

I silicati costituiscono oltre il 90% della crosta terrestre e presentano genesi magmatica metamorfica e sedimentaria.

## gruppi discreti

- 1) **nesosilicati** (0D), ortosilicati. Contengono tetraedri  $\text{SiO}_4^{4-}$  isolati
- 2) **sorosilicati** (0D), contengono unità dimeriche  $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$
- 3) **ciclosilicati** (0D), presentano strutture ad anelli  $(\text{SiO}_3)_n^{2n-}$

## gruppo con sviluppo indefinito in una dimensione

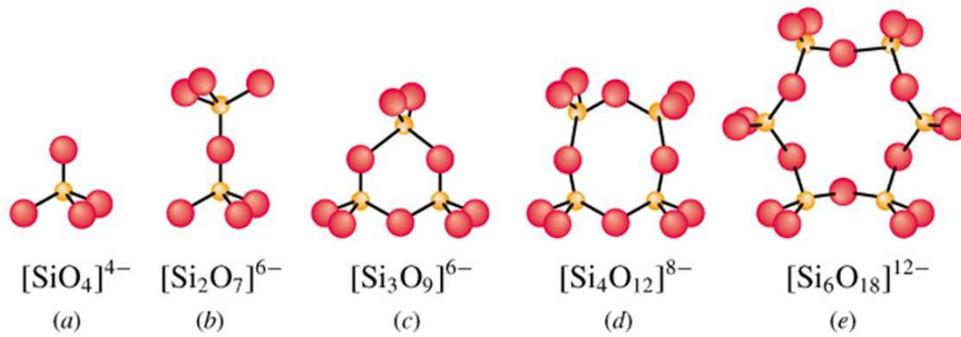
- 4) **inosilicati** (1D), silicati a catene infinite  $(\text{SiO}_3)_n^{2n-}$  (pirosseni e anfiboli)

## gruppo con sviluppo bidimensionale indefinito

- 5) **fillosilicati** (2D), silicati a strati (argille e miche)

## gruppo con sviluppo tridimensionale

- 6) **tectosilicati** (3D), silicati a network (feldspati e zeoliti)

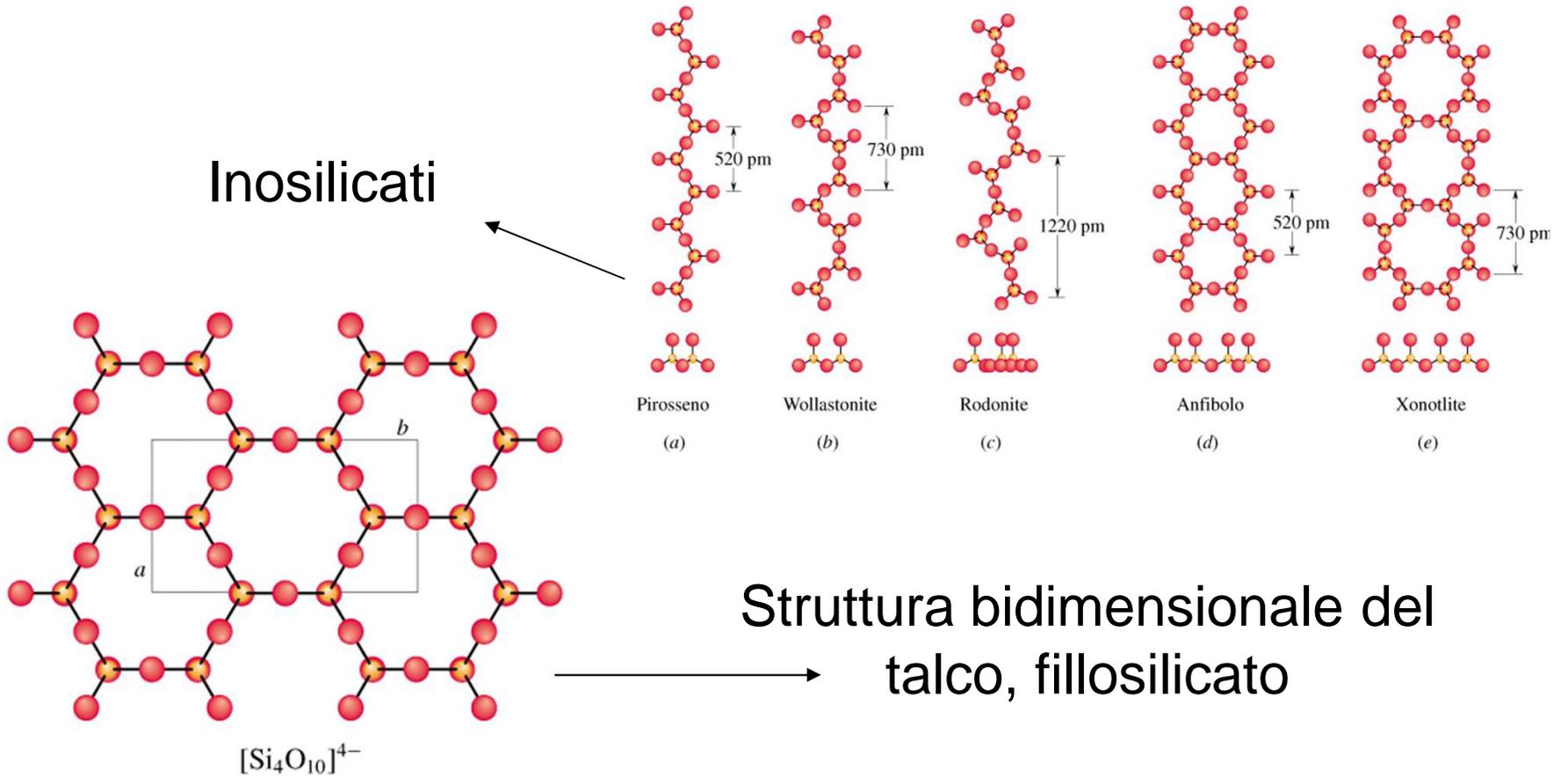


a) Nesosilicati

b) Sorosilicati

c, d, e) Ciclosilicati

Inosilicati



## Classi principali di **TECTOSILICATI (tridimensionali)**:

**Feldspati** sono i minerali più abbondanti sulla crosta terrestre

**Zeoliti** formano networks con cavità poliedriche connesse da **ampie finestre** che permettono anche la diffusione di **ioni o molecole**. Le zeoliti possono essere sia naturali che sintetiche. Usi: adsorbenti per gas e liquidi, essiccanti, addolcenti delle acque, catalizzatori industriali

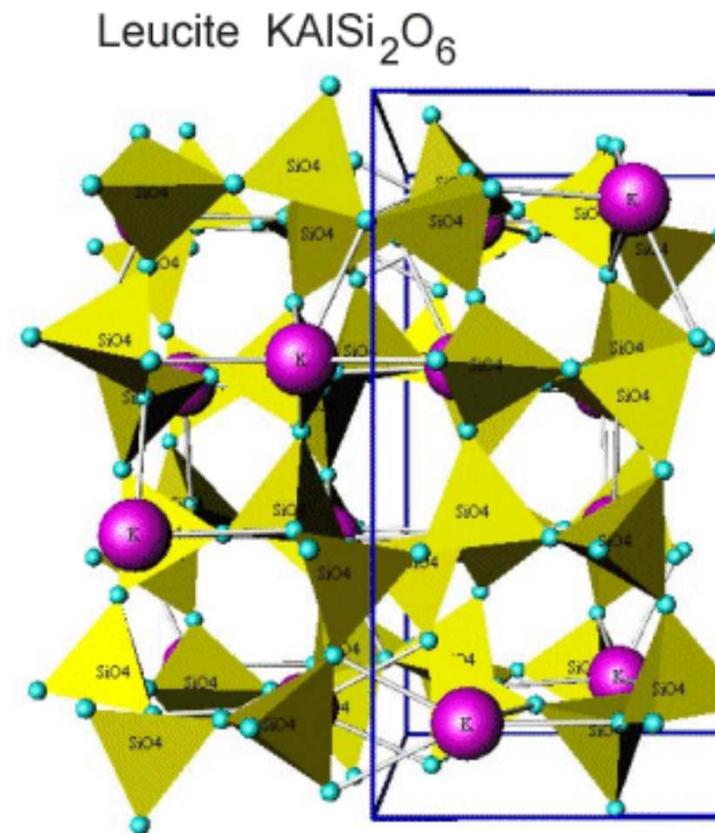
# FELDSPATI

Sono **alluminosilicati idrati**. Presentano strutture tridimensionali

Negli alluminosilicati si ha sostituzione parziale degli ioni Si(IV) nelle unità tetraedriche con ioni Al(III)

La sostituzione Al/Si può essere anche del 50%. Il bilancio di carica si ottiene con la **presenza di cationi** nelle posizioni interstiziali.

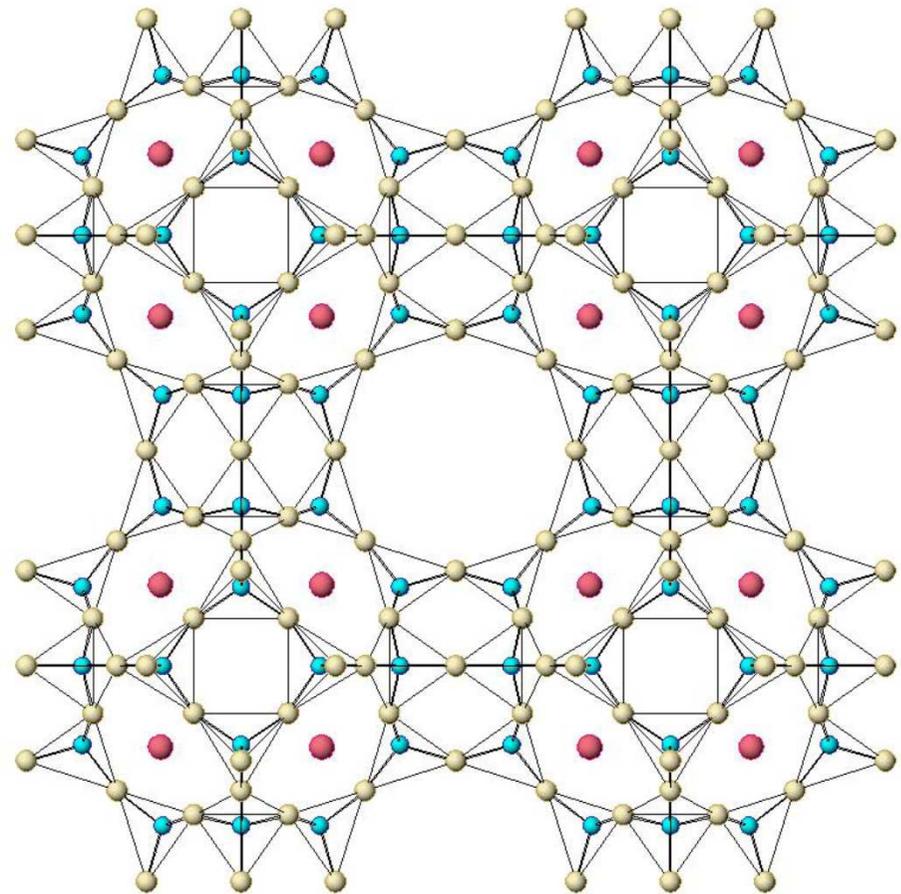
Esempi sono l'albite,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , l'anortite,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , e l'ortoclasio,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$



# ZEOLITI

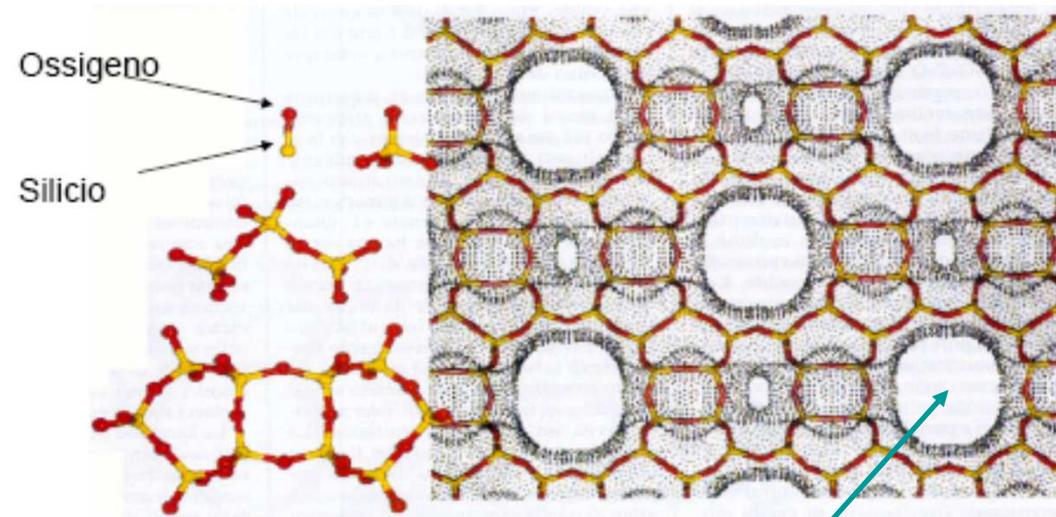
Alluminosilicati idrati cristallizzati con impalcatura tridimensionale tetraedrica

Secondo il tipo di struttura contengono canali regolari o pori interconnessi. I pori contengono acqua e cationi necessari a bilanciare l'eccesso di carica dell'impalcatura. I cationi sono mobili e possono essere scambiati con altri cationi



L'unione dei tetraedri origina fori di diverse dimensioni

## Mordenite



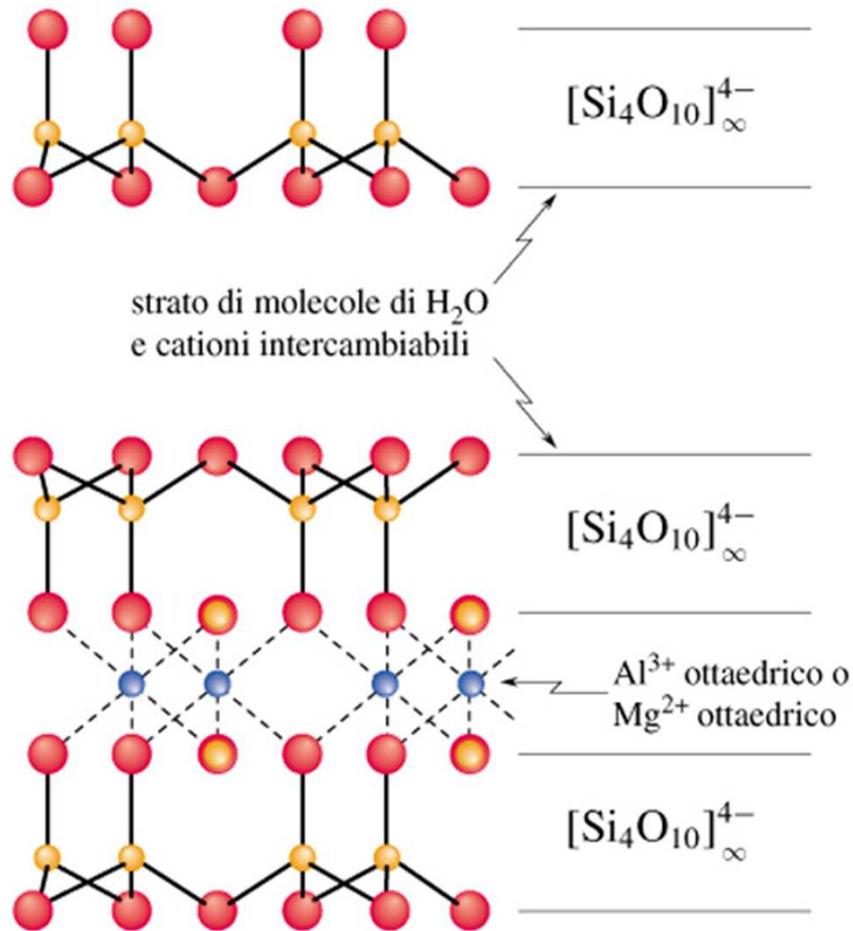
**Zone accessibili ad una molecola d'acqua**

## FILLOSILICATI (2D) → ARGILLE

**Silicati idrati di alluminio e/o magnesio** con **struttura lamellare** caratterizzati da dimensioni dell'ordine di **qualche micron** e contenenti altri **elementi allo stato ionico** negli spazi interlamellari

Le unità tetraedriche  $[\text{SiO}_4^{4-}]$  si legano esclusivamente a formare **geometrie planari**. Inoltre sono presenti unità strutturali poliedriche **a coordinazione ottaedrica di Al, Mg, Fe** disposte su geometrie planari

Dalla sovrapposizione di strati ottaedrici e tetraedrici che si legano condividendo gli ioni di ossigeno si ottengono i motivi strutturali fondamentali delle **ARGILLE**



## Montmorillonite

# Legami interlamellari

Van der Waals

Legame idrogeno

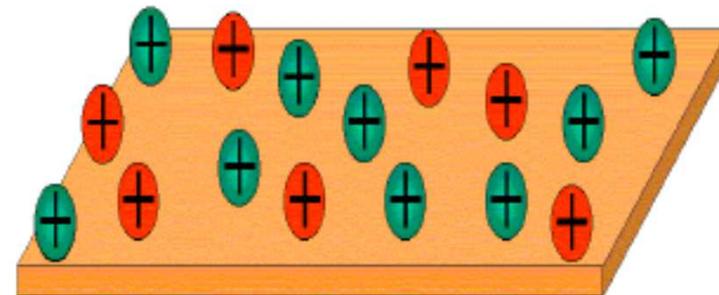
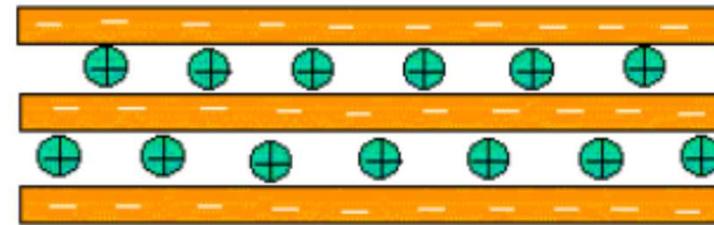
Dipolo-dipolo

Interazioni tra ioni

## L'intercalazione di cationi e acqua nelle argille

Tra gli strati cristallini delle argille possono essere assorbiti cationi di metalli alcalini e alcalino terrosi e acqua.

I cationi hanno la capacità di circondarsi di molecole d'acqua in misura dipendente dalla carica e dalla natura del catione stesso



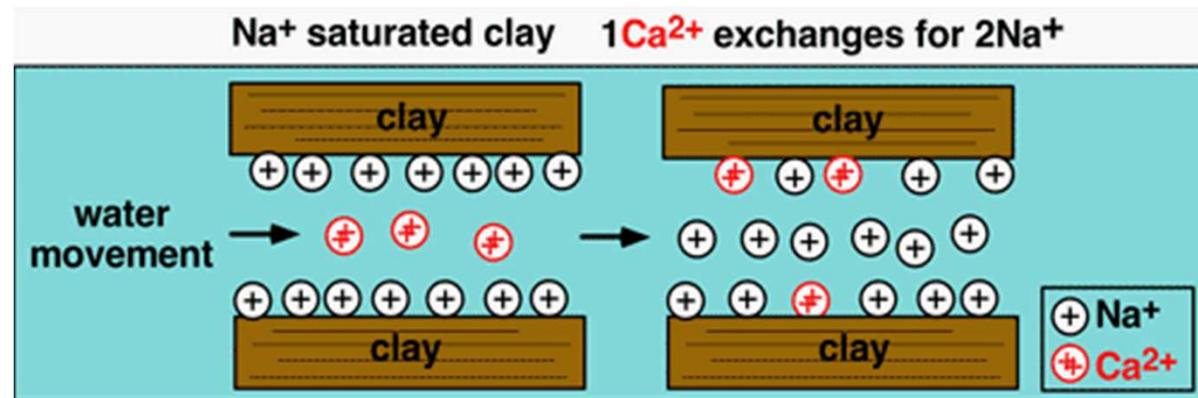
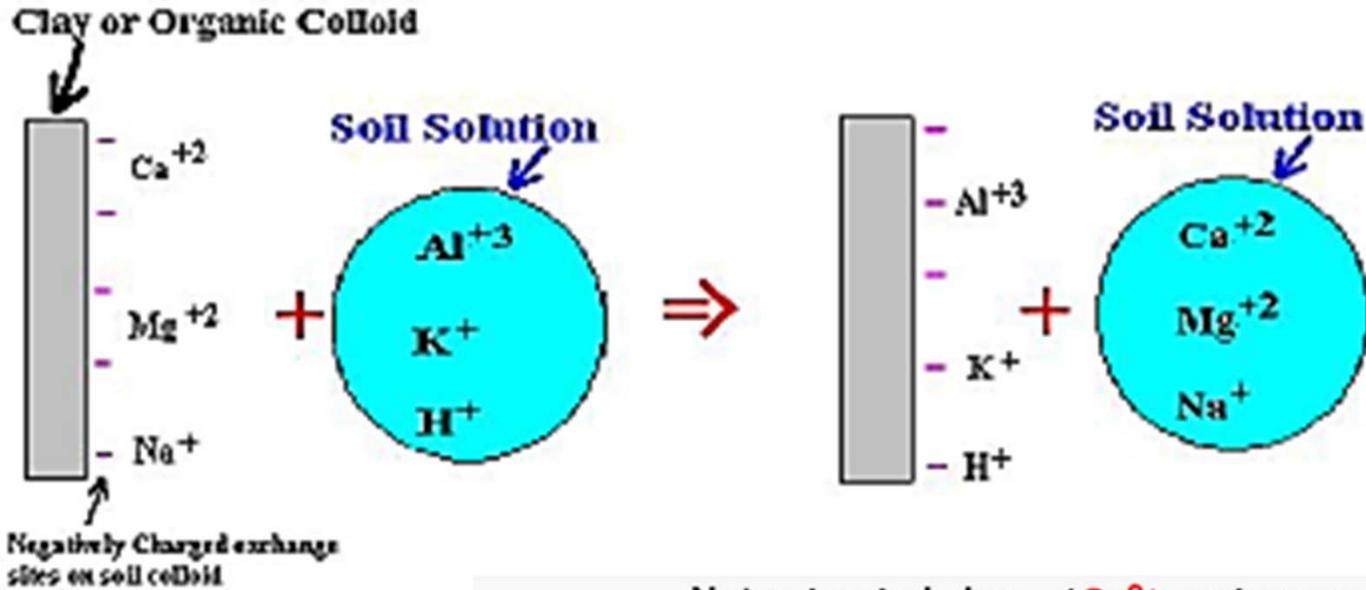
La presenza di acqua determina la **proprietà di plasticità** delle argille

L'acqua agisce come un **lubrificante** consentendo lo scorrimento dei microcristalli di argilla l'uno sugli altri

Per disidratazione e perdita dei cationi lo spessore delle argille si riduce anche del 50%

# Argille nello scambio ionico

## Cation Exchange Illustrated



# TALCO

Argilla con strati elettricamente neutri e forze attrattive interstrato deboli → i cristalli sono teneri e facilmente sfaldabili

L'uso del talco in polvere come lubrificante è dovuto a questa proprietà

Origine: alterazione idrotermale di rocce ultrabasiche e per metamorfismo termico di dolomie

Si presenta in lamine di colore verde untuose al tatto

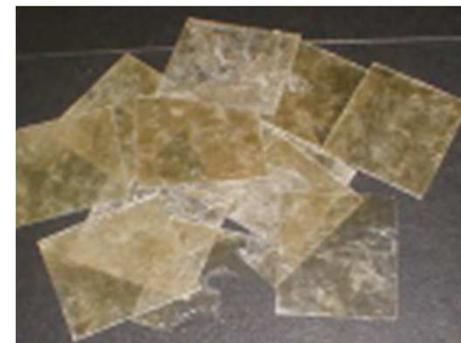


## MICHE

Sono silicati con **strati carichi elettricamente**, tenuti assieme da cationi intercalati non idratati

Gli strati in questo caso non possono scorrere come nel talco. I cristalli si possono tuttavia tagliare a **lamine sottili**. Origine: prodotto di metamorfismo regionale e termico su calcari magnesiaci e dolomie

Questi **fogli** (dai cm ai m) vengono usati industrialmente per la loro trasparenza, proprietà elettriche isolanti e resistenza chimica e termica



## CAOLINO

Formato da **caolinite** di formula  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

E' un'argilla con **strati elettricamente neutri** perciò il legame tra strato e strato è debole e dovuto a legami di tipo van der Waals

La caolinite non assorbe acqua e non si espande quando entra a contatto con essa

Viene usato come riempitivo



# AMIANTO

Gran parte dell'amianto usato industrialmente deriva dal **crisotilo o serpentino** fibroso naturale



Amianto o asbesto è un materiale in fibre incombustibili (resiste fino ad oltre 500°C), resistente ad agenti chimici e biologici, suscettibile a tessitura, stabile meccanicamente.

Si lega facilmente a materiali da costruzione (*calce, gesso, cemento*) e con alcuni polimeri (*gomma, PVC*).

Per il suo basso costo e la versatilità l'amianto è stato utilizzato fino agli anni '80 per produrre la miscela **cemento-amianto** (il cui nome commerciale era **Eternit**) per coibentazione di edifici, tetti, navi, treni; come materiale per l'edilizia (tegole, pavimenti, tubazioni, vernici, canne fumarie) e in molti altri settori

Le fibre di amianto possono causare il cancro ai polmoni

**In Italia è fuorilegge dal 1992 (L. 257/92)**



Le lastre in eternit possono rilasciare fibre di amianto se abrase, segate, perforate o spazzolate, oppure se deteriorate. Il problema dell'amianto è quindi legato al rilascio delle fibre; infatti, soltanto fibre con certe dimensioni possono provocare il tumore ai polmoni

## USI DELLE ARGILLE

- ✓ nell'industria della ceramica per la loro plasticità, resistenza a secco e bassa contrazione all'aria e in forno
- ✓ nell'industria dei refrattari per il rivestimento degli altiforni, contenitori per metalli fusi e stampi per fonderia
- ✓ materiale da riempimento nell'industria della carta
- ✓ inerte e diluente nelle vernici
- ✓ portatore inerte di sostanze insetticide e fungicide
- ✓ materiali adsorbenti usati per la rimozione o adsorbimento di sostanze coloranti dagli oli, dai grassi e dalle paraffine
- ✓ nell'industria del cemento e degli aggregati leggeri

# MATERIALI CERAMICI



# Materiali Ceramici

=

composti da sostanze essenzialmente **non organiche, non metalliche, non molecolari** ottenuti a freddo e consolidati in seguito ad un trattamento termico

Provvisti di **prestazioni strutturali o funzionali**

Ceramica = dal greco “Keramos” terra bruciata

- ~ **10.000 AC** inizio dell'utilizzo di argilla lavorata e indurita tramite processi termici
- ~ **5.500 AC** Testimonianze certe sull'utilizzo di prodotti ceramici
- ~ **4.500 AC** A Banpo (Cina) produzione di ceramica dipinta
- ~ **4.000 AC** Mohenjo-Daro (India) Utilizzo di mattoni in argilla cotta
- ~ 1600 AC descrizione della tecnica per utilizzare smalti a base di Pb e Sn
- ~1500 AC I cinesi introducono l'utilizzo di polveri fini e bianche al posto dell'argilla
- ~1000 AC Utilizzo di materiali feldspatici negli smalti
- 751** La tecnica ceramica cinese viene diffusa in Occidente grazie agli scambi con la civiltà Araba
- 1730 Produzione di porcellana a Meissen (Germania)
- 1769 Brevetto Cookworthy (UK) per la produzione di porcellana da ossa calcinate

# Ceramica tradizionale

**Prodotti strutturali da argilla** (Mattoni, grondaie, condotti per fognature, tegole, canne fumarie, piastrelle)

**Porcellane** (Stoviglie, piastrelle, sanitari, porcellana elettrica, porcellana decorativa, protesi dentali)

**Refrattari** (Mattoni e prodotti monolitici e prodotti colabili nell'industria dell'acciaio, dei metalli non ferrosi, vetro, cemento, conversione energetica, trasformazione del petrolio e industria chimica)

**Vetri** (Vetro piano, contenitori bottiglie, vetro soffiato e stampato, fibre di vetro, fibre ottiche)

**Abrasivi Naturali** (granati, diamanti ...) e **sintetici** (allumina, SiC)

**Cementi** (costruzione di edifici, ponti, strade, dighe, ecc)



## Le principali classi di **ceramici** avanzati (strutturali e funzionali)

### Ossidi monocomponente

Allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) → supporto per microcircuiti integrati

Zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ) → proprietà meccaniche avanzate

Titania ( $\text{TiO}_2$ )

Ossido di magnesio ( $\text{MgO}$ )

### Ossidi misti

Mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )

Spinello ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )

### Carburi

Carburo di silicio ( $\text{SiC}$ ) → applicazioni ad elevate temperature

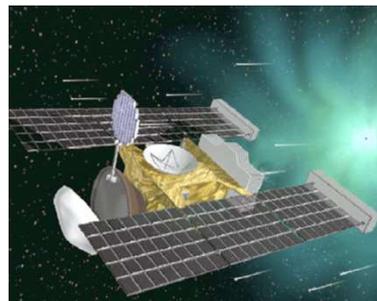
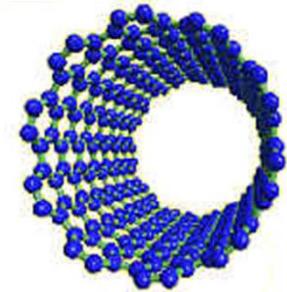
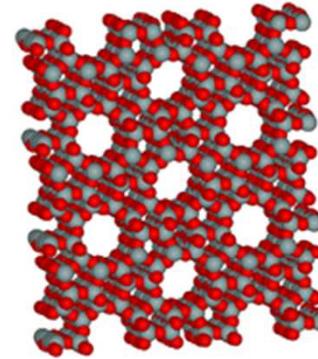
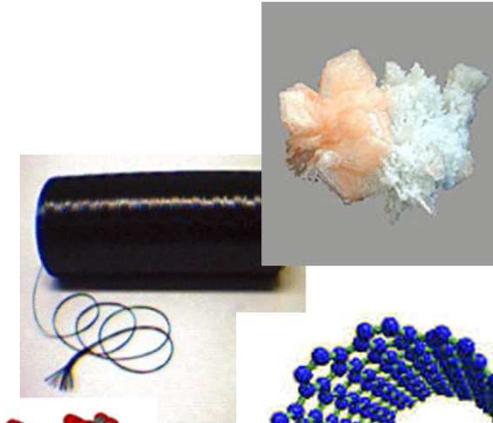
Carburo di boro ( $\text{B}_4\text{C}$ )

Carburo di titanio ( $\text{TiC}$ )

### Nitruri

Nitruro di boro ( $\text{BN}$ )

Nitruro di silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )



## Caratteristiche di alcuni **ceramici** avanzati

### Superconduttività

Perdita di qualsiasi resistenza elettrica. Si verifica in alcune sostanze (metalliche e ceramiche) raffreddandole sotto una temperatura di soglia

Sono necessari elio (o azoto) liquido per mantenere la superconduttività

Finora la temperatura più elevata è quella di alcuni ceramiche (130 K)

Servono per la costruzione di magneti per vari campi di applicazione:

- Sistemi per energia elettrica
- Magnet per la ricerca (acceleratori di particelle, fusione nucleare, NMR)
- Applicazioni biomediche (NMR)
- Mezzi di trasporto (treni a levitazione magnetica)



## Proprietà fisiche

Rigidezza, durezza, non sono combustibili, non sono ossidabili, resistenti all'azione dell'acqua

Fragilità e facile fratturabilità



## Proprietà termiche

Elevati punti di fusione

Resistenza alla corrosione anche alle alte temperature e stabilità in ambienti ossidanti

Temperature di fusione di alcuni carburi.

Composto ceramico	Carburo	Temperatura di fusione (°C)
Carburo di Afnio	HfC	4150
Carburo di Silicio	SiC	2500
Carburo di Titanio	TiC	3120
Carburo di Boro	B <sub>4</sub> C	2450
Carburo di Tungsteno	WC	2850

Conducibilità termica elevata in materiali con legami forti, alta densità, alta cristallinità; conducibilità diminuisce in presenza di difetti reticolari, micropori o microprecipitati

## Proprietà elettriche

A seconda della struttura possono essere **isolanti** (porcellane, quarzo, allumina, vetri silicei, ossido di berillio, nitruro di silicio), **semiconduttori** (carburo di silicio) o **conduttori** (zirconia, ossidi misti)

## Produzione e lavorazione dei ceramici

Polveri contenenti minuscole particelle vengono compattate secondo la forma desiderata e riscaldate ad elevata temperatura

- Preparazione del materiale
- Formatura
- Trattamento termico
- Cottura e sinterizzazione

## Preparazione

Materiale viene macinato finemente e impastato con un legante (es. acqua) per ottenere impasto omogeneo e plastico

## Formatura

La polvere viene modellata a caldo o a freddo, in forma liquida o a secco attraverso pressatura, estrusione o colatura

## Essiccamento

Eliminazione del solvente dall'impasto per permettere la cottura ad alta temperatura

Solvente acquoso: essiccamento sotto i 100°C in corrente d'aria

Solvente organico: essiccamento a 200-300°C o con microonde o raggi IR

# Sinterizzazione

Compattazione delle polveri con riempimento dei vuoti tra le particelle condotta a temperature inferiori a quella di fusione

Permette la redistribuzione dei legami chimici che portano ad una struttura tridimensionale

## Sinterizzazione viscosa o vetrificazione

Temperatura alla quale il 20% del materiale è in forma liquida e scorre tra le particelle solide. Raffreddamento con vetrificazione. Per ottenere la porcellana e il gres

## Sinterizzazione allo stato solido

Riscaldamento al di sotto della temperatura di fusione  
→ formazione di un solido più denso per diffusione delle particelle tra loro

Atomi migrano al di fuori dei cristalliti di appartenenza e si pongono a contatto con atomi di altri cristalli

Possono avvenire anche reazioni chimiche → sinterizzazione in fase reattiva

## Sinterizzazione con fase liquida

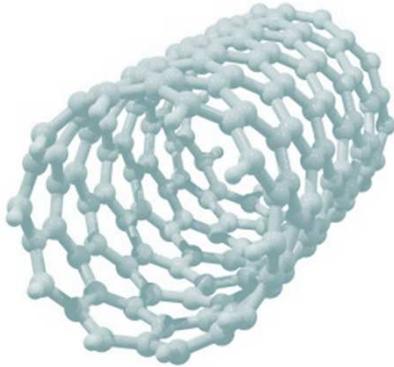
Si forma fase liquida in piccola quantità e a bassa temperatura; si lasciano ingrossare i cristalliti come nella sinterizzazione in fase solida

Per materiali in cui la sinterizzazione in fase solida avviene ad elevatissime temperature

## Nanomateriali - Nanoparticelle

Sono materiali che hanno componenti strutturali con almeno una dimensione nell'intervallo 1-100 nm.

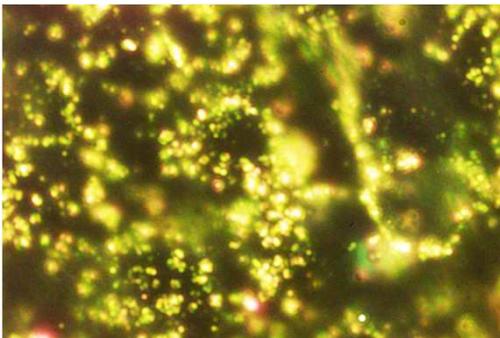
*Nanotubi di carbonio*



*Fullerene*  
*C<sub>60</sub>*

I nanotubi di carbonio sono strutture basate sui fullereni. Furono scoperti nel 1991 da S. Iijima per caso, durante la sintesi di fullereni.

*Au Nanoparticelle*



Applicazioni: **Nanocircuiti** centinaia di volte più piccoli di quelli attuali; sonde chimiche; **muscoli artificiali** più forti di quelli umani; **nanopinzette** per afferrare le molecole; **nanobilance** per pesare gli atomi; **celle a combustibile** per immagazzinare idrogeno

# Aree di utilizzo di nanomateriali

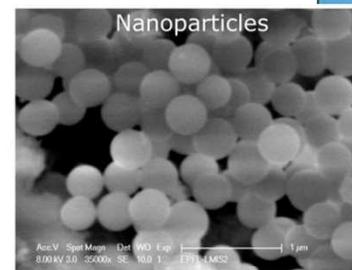
## Edilizia:

- vetri e ceramiche (vetri funzionalizzati, autopulenti, con proprietà ottiche o elettriche, rivestimenti)
- vernici (antismog e isolanti termici)
- cementi rinforzati ad alte prestazioni



## Elettronica:

- materiali ottici ed elettrici



## Medicina:

- organi artificiali
- farmaci e mezzi di contrasto
- materiali magnetici



## Industria:

- catalizzatori
- sensori

