

Smart Materials

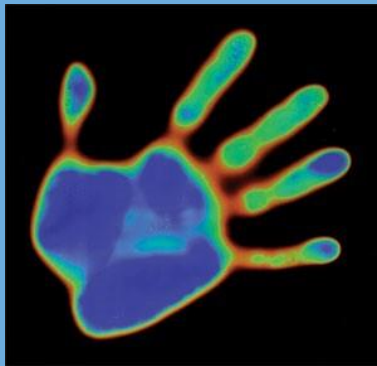
Un'introduzione (2)

Prof. Francesca Nanni
Dipartimento Ingegneria dell'Impresa
Università Roma "Tor Vergata"

Materiali che rispondono a stimoli o modifiche dell'ambiente esterno attivando proprie funzionalità

Stimoli:

- **Temperatura**
- **pH**
- **corrente elettrica**
- **campo magnetico**
- **stimoli luminosi**
- **stimoli meccanici**



Variano le proprie proprietà ottiche in seguito dell'applicazione di un campo elettrico, di un trasferimento di carica elettrica, dell'esposizione a luce, ambiente o calore.

- A seconda che sfruttino stimoli esterni o meno si dividono in

ATTIVI

Elettrocromici:

modificano la trasparenza o il colore in funzione della tensione applicata attraverso una reazione redox

LCD:

modificano la trasparenza o il colore in funzione della tensione applicata attraverso allineamento di cristalli liquidi

SPD:

modificano la trasparenza o il colore in funzione della tensione applicata attraverso allineamento di cristalli liquidi

PASSIVI

Fotocromici:

modificano il colore se esposti alla luce (radiazione UV genera transizione reversibile di opacità); possono essere plastiche o ceramiche

Termocromici:

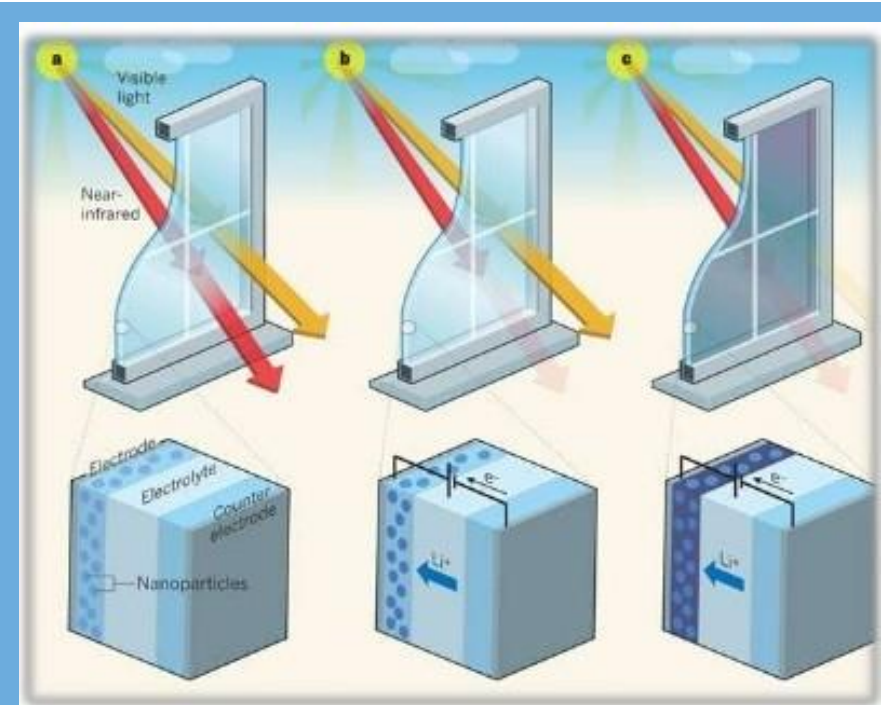
modificano il colore in funzione della temperatura

Halocromici:

modificano il colore in funzione del pH

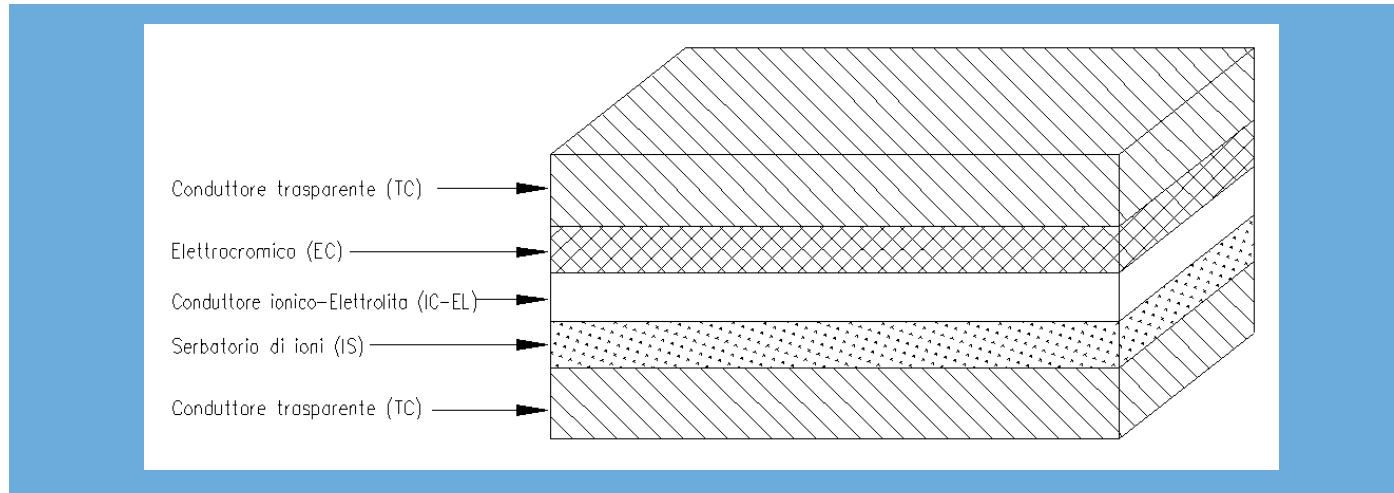
Mater. cromogenici attivi: elettrocromici

- Consistono in celle elettrochimiche i cui elettrodi chimicamente attivi (materiali elettrocromici) sono depositati sotto forma di film sottili su vetro o plastica.
- Il processo elettrocromico consiste nel cambiamento di stato di questi materiali (colore), a seguito di un piccolo trasferimento di carica elettrica sotto l'applicazione di un campo elettrico a tensione relativamente bassa (1-5 V).



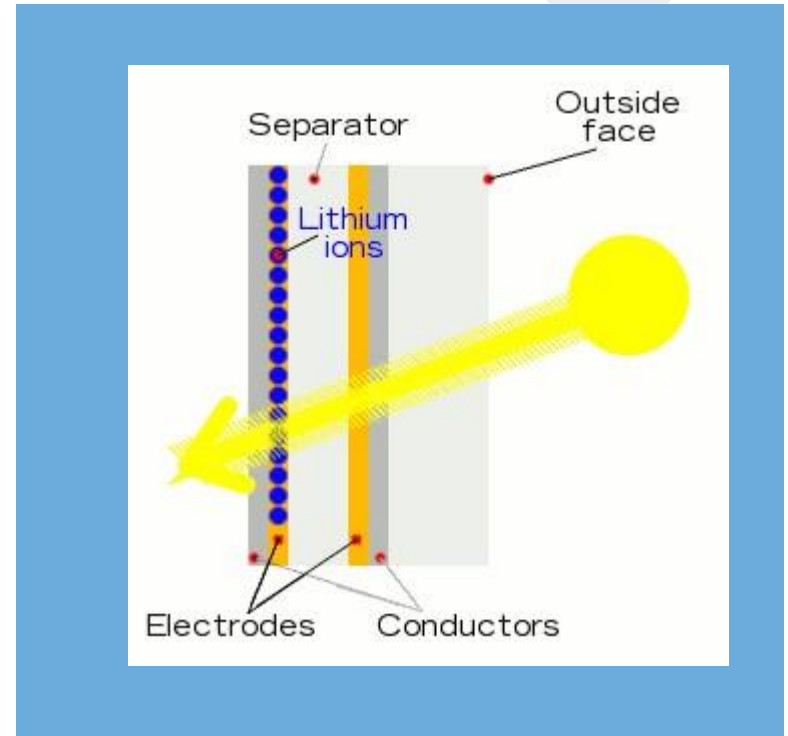
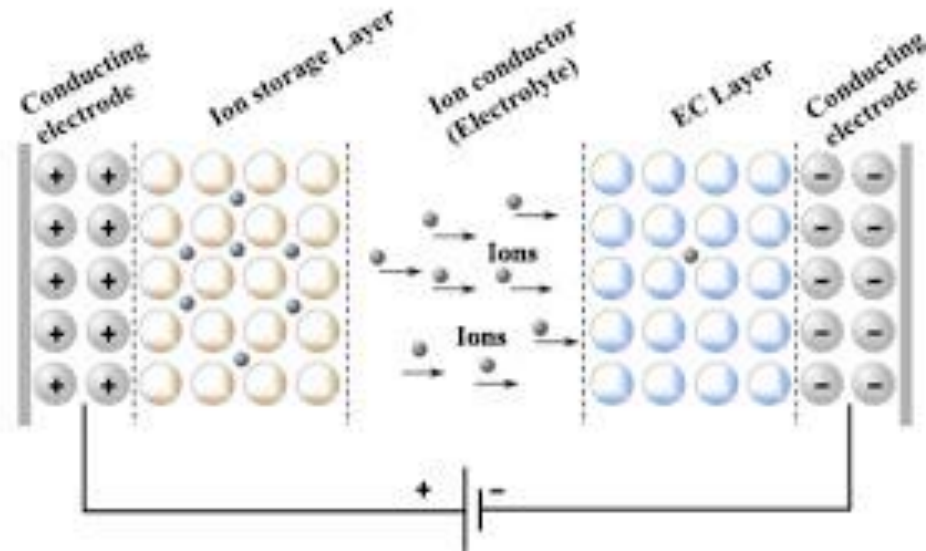
- Uno dei maggiori vantaggi dei dispositivi elettrocromici è quello di essere particolarmente adatti ad applicazioni che richiedono grandi superfici.

Materiali cromogenici attivi: elettrocromici



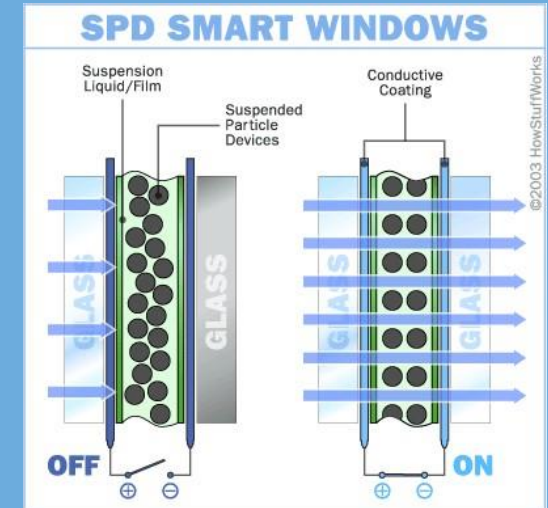
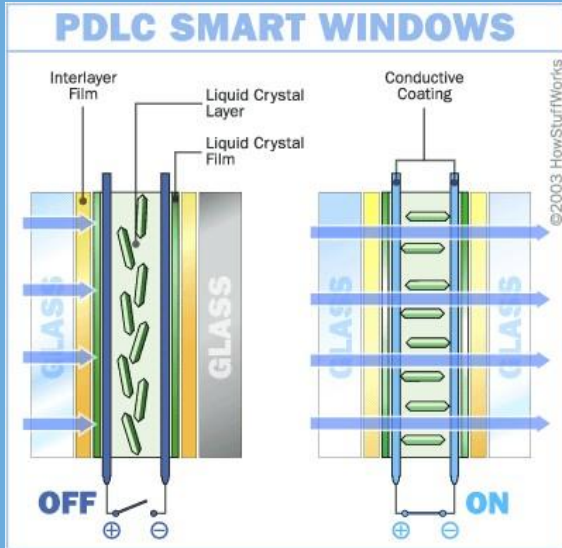
- **I strato:** un conduttore di elettroni, trasparente, depositato su vetro o plastica, la cui funzione è quella di assicurare un campo elettrico distribuito uniformemente su tutta la superficie del dispositivo.
- **II strato:** è lo strato di mat. elettrocromico (in grado di condurre ioni ed elettroni insieme).
- **III strato:** conduttore di ioni (non elettroni) o un materiale elettrolitico, la cui funzione è di fornire (o ricevere) ioni da inserire nel (o da estrarre dal) materiale elettrocromico.
- **IV strato:** è il controlettrodo, in grado di condurre elettroni e ioni insieme e con la funzione di cedere o di immagazzinare per il conduttore ionico/elettrolita gli ioni necessari al funzionamento del dispositivo.

Materiali cromogenici attivi: elettrocromici



- Nello stato di trasparenza gli ioni di Litio si trovano nello strato più interno generalmente formato da un ossido (ad esempio LiCoO_2).
- Quando si applica un voltaggio leggero agli elettrodi, gli ioni litio migrano attraverso il conduttore ionico verso l'elettrodo più esterno, normalmente realizzato in ossido policristallino diverso dal precedente (ad esempio WO_3) e la variazione introdotta rende lo strato di ossido cristallino riflettente la radiazione luminosa.

Materiali cromogenici attivi: LCD e SPD

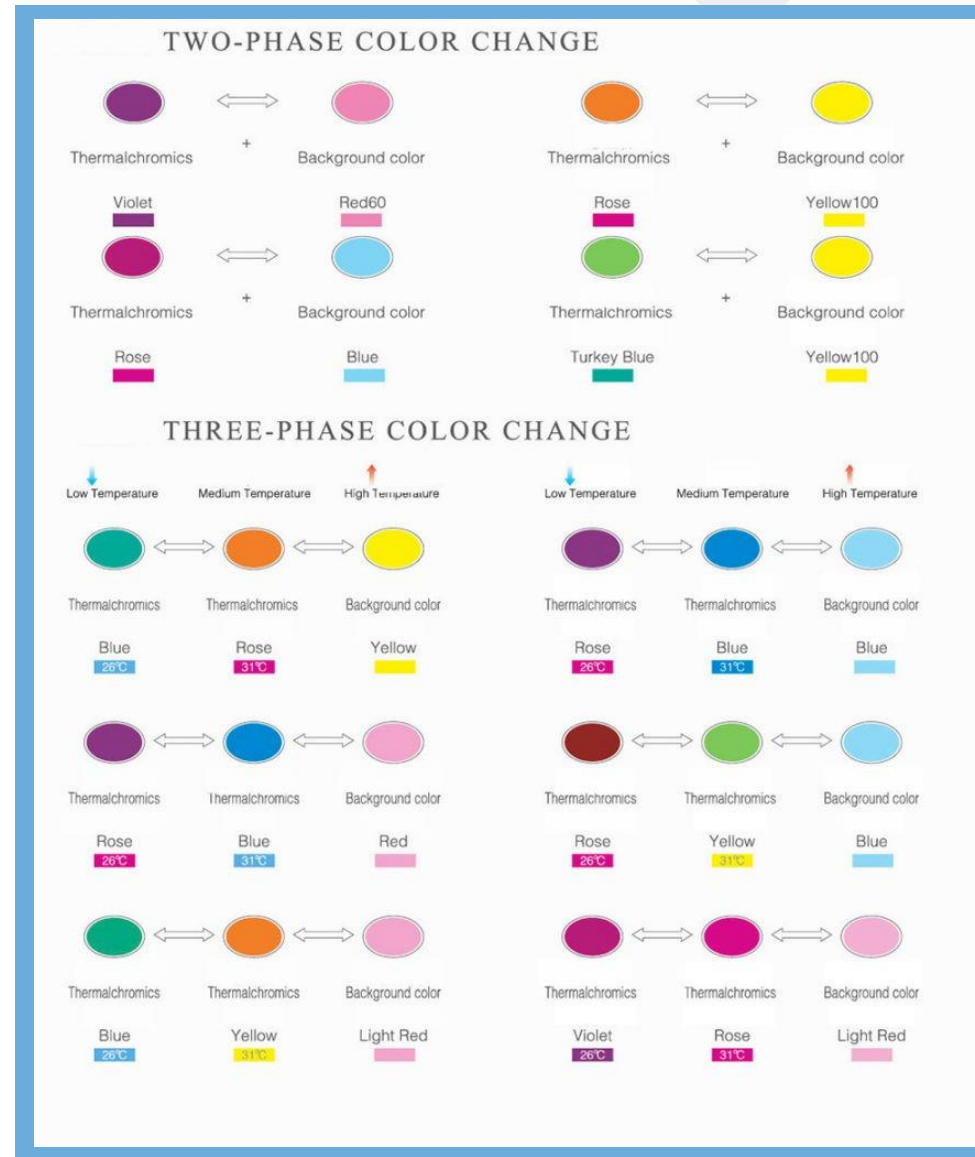


Simile funzione è
esplicitata dai sistemi SPD
(suspended particle
devices)

- PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal): consistono in una matrice polimerica di cristalli liquidi racchiusa tra due strati di PET ricoperti di ITO.
- Nello stato spontaneo le molecole di cristalli liquidi si dispongono randomicamente, rendendo opaco il dispositivo; quando si applica un campo elettrico, le molecole si allineano lungo la direzione del campo consentendo il passaggio della luce nel dispositivo.
- Tutto il sistema è in genere incapsulato tra due lastre di vetro ed assemblato in condizioni di alta pressione.

Materiali cromogenici passivi: termocromici

- Modificano il colore in funzione della temperatura in maniera reversibile.
- Attualmente esistono pigmenti in polvere (masterbatch) che si possono aggiungere ai polimeri termoplastici e lavorarli per injection moulding . Le Temp di attivazione variano tra -15°C e $+70^{\circ}\text{C}$.
- Vi è un nuovo pigmento fosforescente che è in grado di emettere luce per 10h, interessante per applicazioni di design e di low level lighting systems.



Materiali cromogenici passivi: termocromici

Inchiostri e Vernici Termocromiche

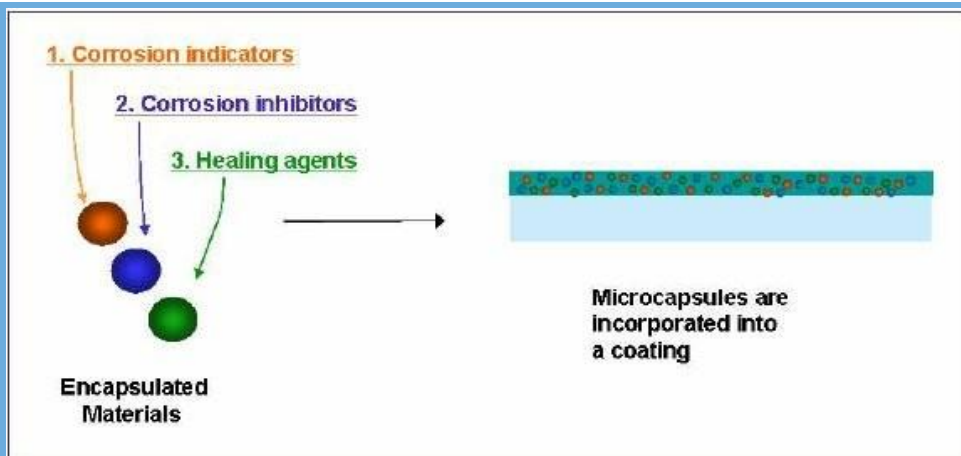
- Perdono la trasparenza a seguito di un cambiamento di temperatura (anche sfregando la parte stampata con un dito). Il fenomeno è reversibile al raffreddamento. Possono essere a base acquosa o solvente.
- Possono essere formati da microcapsule e il cambiamento del colore è dovuto al viraggio: si identifica una temperatura di viraggio come la temperatura alla quale la vernice termocromica raggiunge il 95% del suo stato incolore.
- L'intensità del colore è di circa il 10-20% quella dei coloranti classici. Le temperature di viraggio standard sono 6°C e 31°C. La perdita della tonalità originale a seguito di un cambiamento di temperatura può anche essere irreversibile (inchiostri termocromici irreversibili).



Materiali cromogenici: halocromici

- Materiali che modificano il proprio colore in funzione del pH (acidità).
- Si impiegano comunemente per applicazioni diagnostiche e per il controllo dell'acidità di liquidi e soluzioni.
- Molto interessante l'applicazione industriale per il monitoraggio della corrosione: alcune vernici cambiano colore nei punti di attacco della corrosione dove si modifica localmente il pH.
- Esistono anche i sistemi metallocromici, che invece sono in grado di cambiare colore in presenza di specifici ioni metallici.

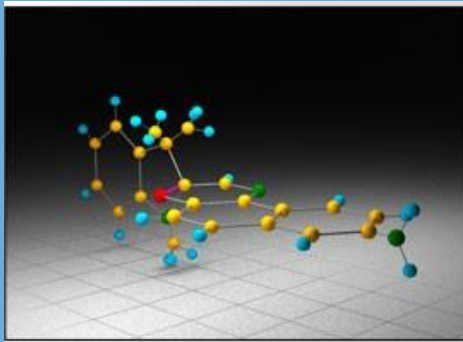
Review of pH and electrochemical responsive materials for corrosion control applications
NACE - International Corrosion Conference Series
Conference: NACE CORROSION At: New Orleans, Louisiana
Volume: CORROSION, NACE-08214



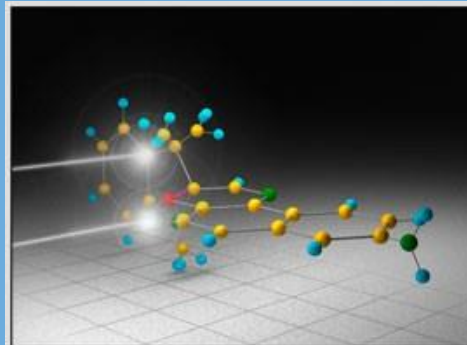
Materiali cromogenici: fotocromici

Materiali che modificano le proprietà ottiche per interazione con la radiazione UV

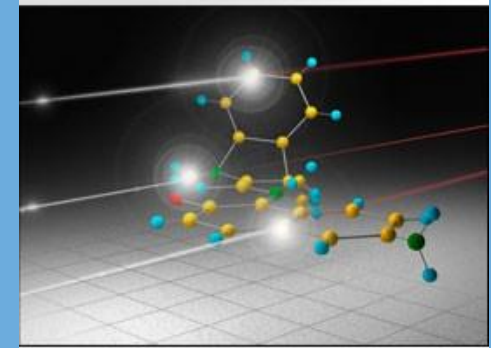
- **Vetri fotocromatici**: sono borosilicati contenenti sali e microcristalli di alogenuro d'argento e/o AgCl.
- **Polimeri fotocromatici**: contengono composti organici come oxazine, daftopirani o miscele più complesse che modificano la struttura se esposti alla radiazione solare.



In condizioni di scarsa illuminazione, come in una giornata di cielo coperto, le molecole fotocromatiche si trovano in uno stato di non attivazione o “quiescenza”. In questo stato la molecola permette a tutta la luce visibile di attraversare la lente.



Quando la molecola fotocromatica viene esposta ad una fonte d'energia (luce solare intensa), avviene una reazione complessa e cambiano i legami chimici e la forma della molecola. Ciò avviene sia per esposizione a UV che per esposizione a luce solare.

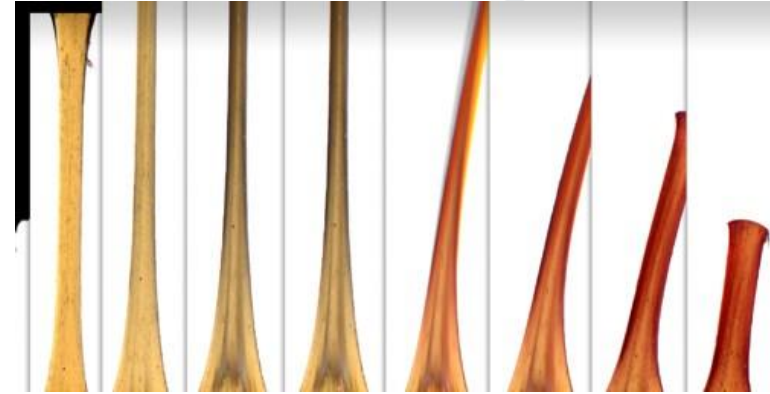


Nello stato di massima esposizione alla luce solare, le molecole fotocromatiche si legano in nuove configurazioni che la luce rende in modo più efficace rispetto allo stato di quiescenza.

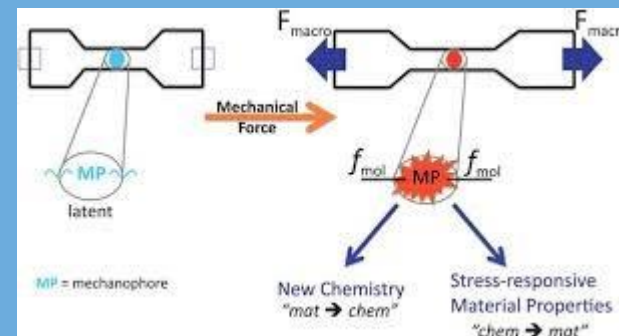
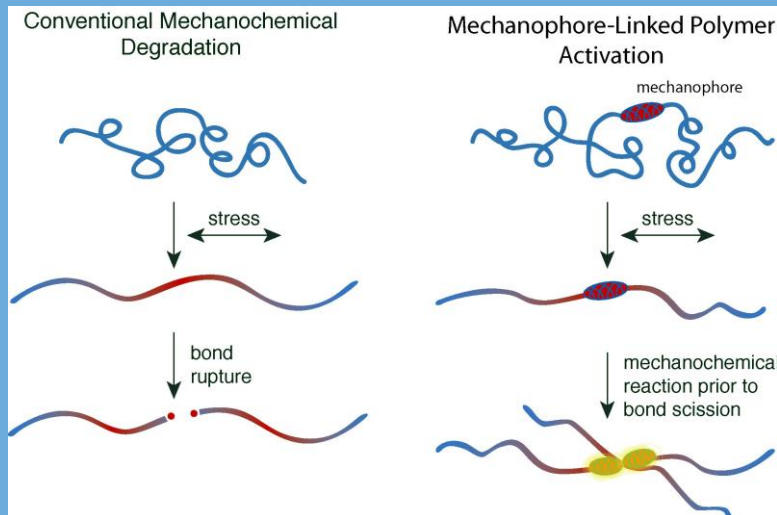
Materiali cromogenici: meccanofori

Modificano la propria colorazione in seguito ad applicazione di stress meccanico

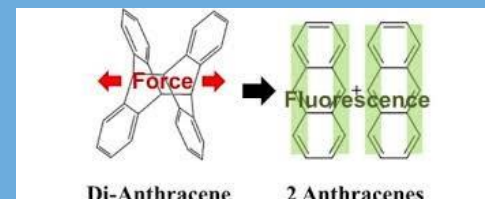
- Contengono, nelle catene polimeriche o fra di esse, molecole che modificano la propria colorazione al variare della conformazione o se danneggiate.
- Il funzionamento si basa sul principio per cui le forze macroscopicamente applicate si esplicano anche a livello microscopico e bisogna preparare il mater. in modo che tali molecole subiscano modificaz. prima della rottura dei legami



<https://news.illinois.edu/view/6367/205940>



J. Mater. Chem.

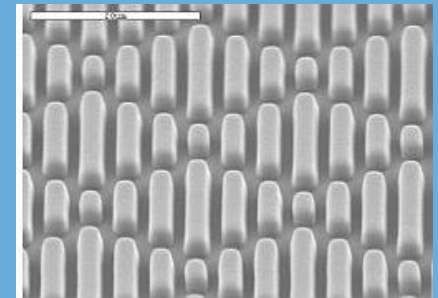
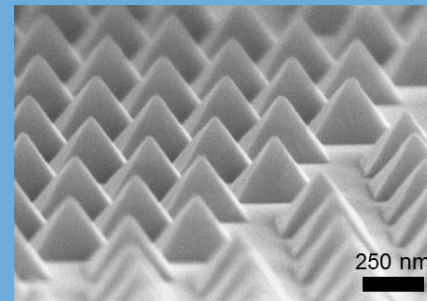


Shark skin

La pelle degli squali è costituita da dentelli dermici. La pelle è un vero e proprio scheletro esterno che fornisce all'animale un ancoraggio per i muscoli preposti alla nuotata e allo stesso tempo riduce lo spreco di energia. La particolare forma e la disposizione delle scaglie placoidi garantiscono un'eccezionale idrodinamicità, oltre che un'efficace protezione dall'azione dei parassiti. L'idrodinamicità è dovuta alla riduzione delle turbolenze nell'acqua, durante il nuoto, procurata dai dentelli. Questi infatti, producono minuscoli vortici che riducono l'attrito tra l'animale e l'acqua. Ciò si traduce in minore sforzo e maggiore silenziosità.



Esempi di laser surface texturing



Tramite il surface texturing si possono ottenere superfici che, con proprietà differenti, non hanno la necessità di effettuare coating superficiali.

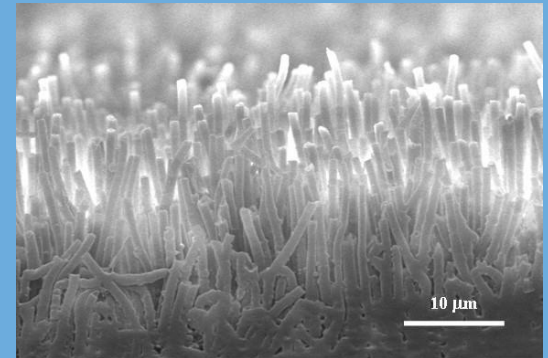
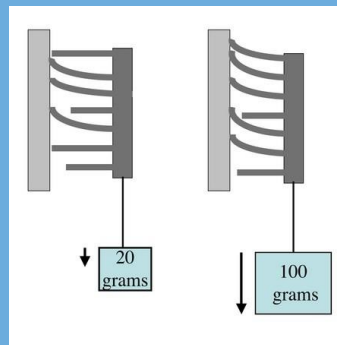
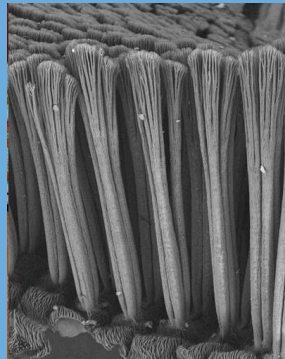
I costumi da nuoto shark-skin inspired, che sono stati banditi nel 2009, sfruttavano questa proprietà.



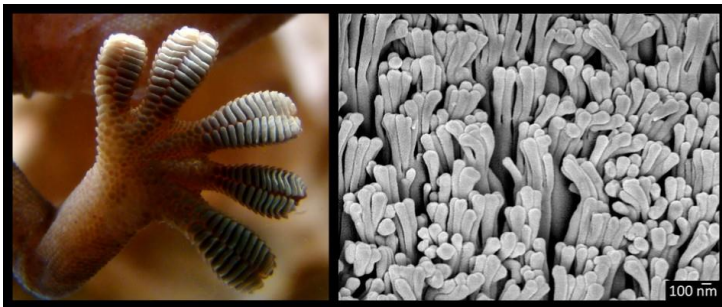
Mater. biomimetici: surface texturing

Geko Effect

Il geko è un animale in grado di avere grande adesione alle superfici verticali, rimanendo attaccato al soffitto. Tale peculiarità deriva da un sistema di adesione delle zampe che non si avvale di nessun mezzo adesivo ma è esclusivamente dovuto alla morfologia nanometrica di esse, che sono formate da 14000 setole per mm^2 . Questa enorme area superficiale gli consente di esplicare localmente numerose e grandi forze di attrazione elettrostatica, in grado di mantenerlo appeso a dispetto della gravità.



<https://people.eecs.berkeley.edu/~ronf/Gecko/interface08.ht>

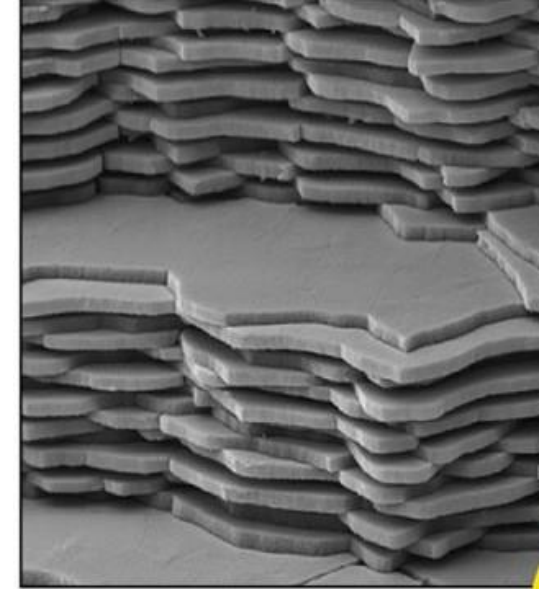


Si realizzano sistemi artificiali di patterning superficiale o di replica delle fibrille, per ottenere grande adesività senza mezzi chimici.

Materiali biomimetici: effetto barriera

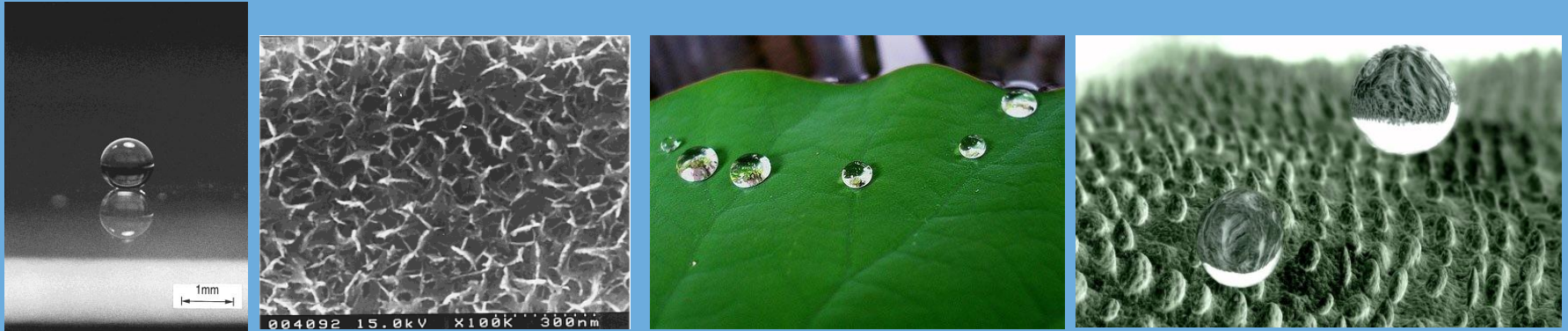
Bio-inspired Ceramic/Polymer Structures

- La struttura dei gusci delle conchiglie è formata da strati di carbonato di calcio tenute insieme da materia proteica. Questo conferisce alla struttura grande tenacità rispetto ad una struttura massiva di carbonato di calcio, di per sé fragile.
- Inoltre questa struttura offre enormi proprietà di barriera a gas ed umidità.
- È un nuovo approccio di pensare i compositi, in cui la matrice si riduce a binder e le platelets ceramiche diventano l'ingrediente principale.



Mater. biomimetici: surface texturing

Allumina: Film in materiale ceramico con ottime proprietà termiche, usura, bagnabilità superficiale.



Super-Water-Repellent Al₂O₃ Coating Films with High Transparency Kiyoharu Tadanaga, Noriko Katata, and Tsutomu Minami*

Effetto loto: le foglie di loto sono rivestite da cristalli di una cera idrofobica di dimensioni nanometriche; l'area di contatto reale tra la goccia d'acqua e la superficie d'appoggio è circa il 3% di quella apparente, le gocce rotolano, mentre su una superficie liscia le gocce slitterebbero.

Effetto loto + effetto chimico → superidrofobicità

La rugosità del coating tra 20 e 50 nm + FAS (Heptadecafluorodecyltrimethoxysilane) garantisce la proprietà superidrofobica.

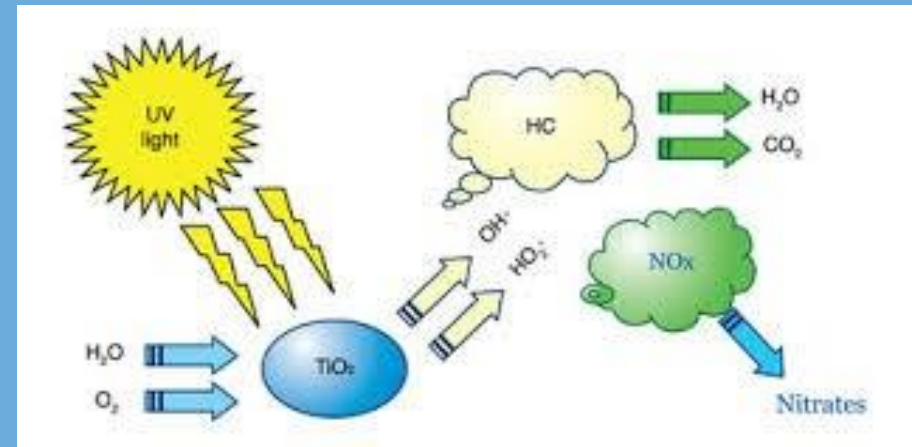
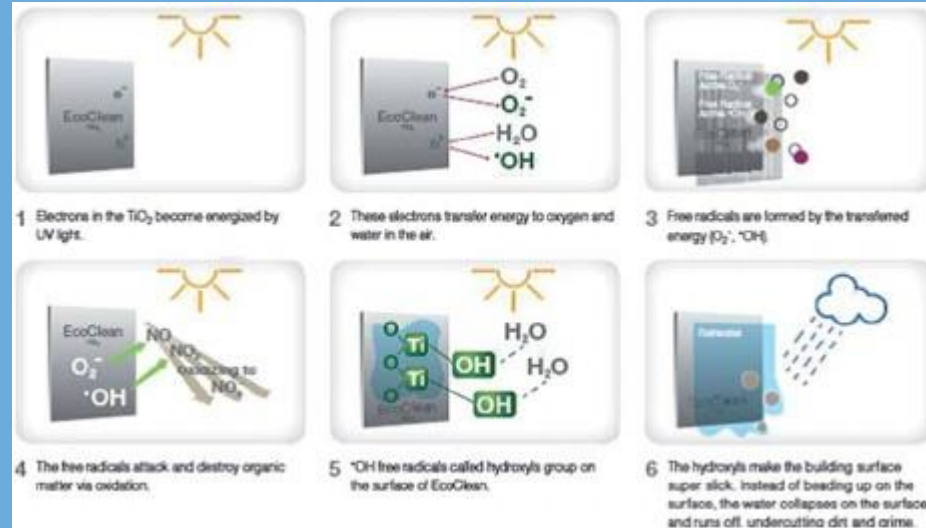
Materiali autopulenti: l'effetto fotocatalitico

•La Fotocatalisi è un forte *processo ossidativo* che porta alla trasformazione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui (gas e sali solubili, nitrati, solfati, carbonati).

•Favorisce una rapida decomposizione delle sostanze inquinanti evitandone l'accumulo. La fotocatalisi contribuisce in modo efficace al miglioramento della qualità dell'aria.

•Il funzionamento si basa sull'azione fotocatalitica del rivestimento che genera i radicali O_2^\bullet e OH^\bullet

presenti nell'umidità



Mater. autopulenti: l'effetto fotocatalitico

- L'applicazione più nota è quella dei cementi autopulenti, impiegati con successo in diversi edifici.

- Sono caratterizzati, oltre all'azione di eliminazione degli inquinanti, anche dalla duratura brillantezza del loro colore bianco.



Expo Milano 2015 – Padiglione Italia



Arch. Richard Meyer – Chiesa di Dio Padre Misericordioso,

Mater. autopulenti: super-idrofilicità e super-idrofobicità

Rivestimenti autopulenti lavorano su due effetti:

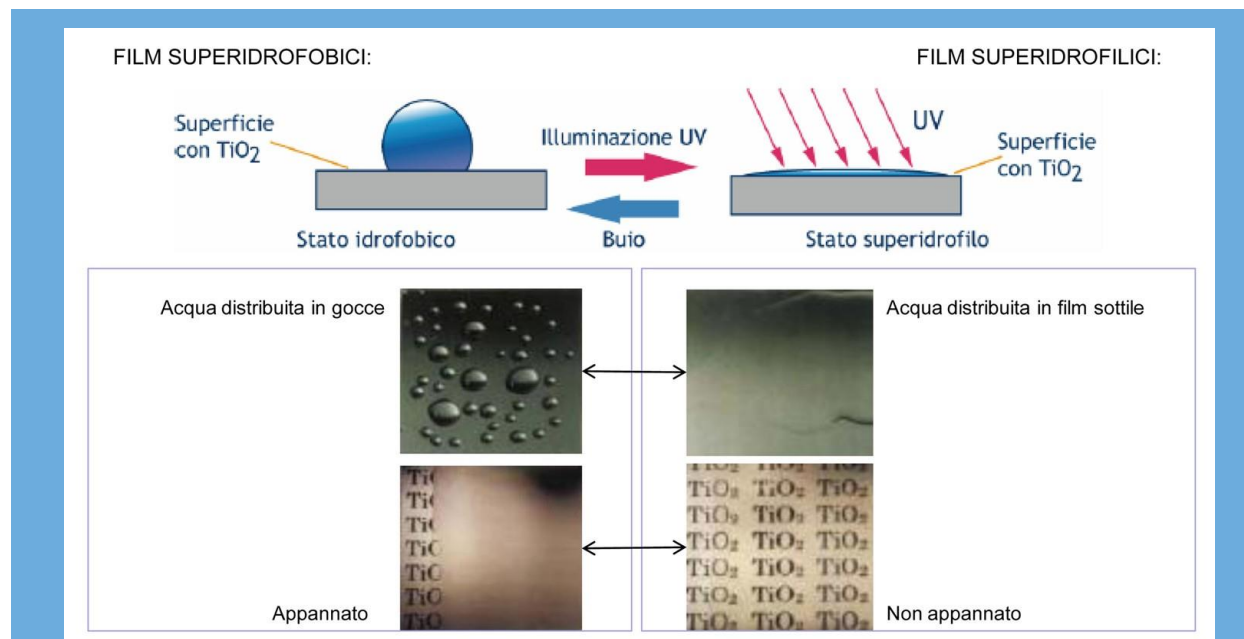
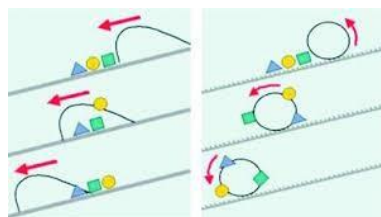
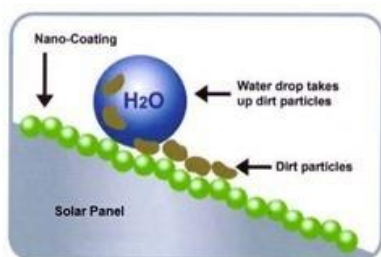
→ fotocatalisi – superfici pulite



→ Superidrofilicità – film di acqua evitano deposito di gocce, di sporco e garantiscono antiappannamento



→ Superidrofobicità – le particelle sferiche di acqua esplicano azione pulente



Grazie per l'attenzione!
