SMART MATERIALS

Uno «***smart material***» è un materiale che ha la capacità di cambiare reversibilmente una o più proprietà chimico-fisiche in risposta a stimoli esterni di natura chimica e/o fisica.

Il cambiamento deve essere, immediato, reversibile e di ampia intensità

Natura degli smart materials

- Organica
- Inorganica
- Composita (*organica-inorganica*)

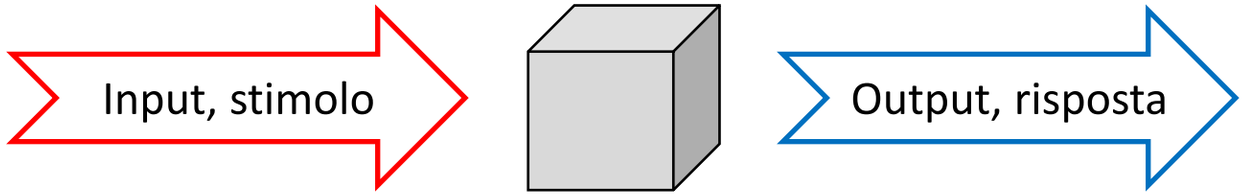
Stimoli

- Stress meccanico
- Temperatura
- Pressione
- Ph
- Specie chimiche
- Umidità/acqua
- Campi elettromagnetici
- Campi elettrici
- Campi magnetici

Attori della risposta allo stimolo

- Singole molecole
- Aggregati di molecole (*sistemi supramolecolari*)
- Macromolecole (*polimeri*)
- Leghe metalliche (*reticolo*)

STIMOLO/RISPOSTA



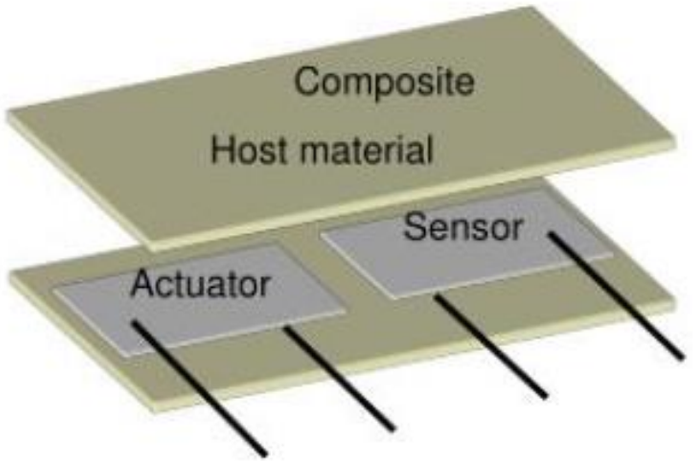
STIMOLO

Energia elettromagnetica
(Radiazione UV, visibile, I.R. …)

Energia chimica
(pH, umidità, acqua, ioni…)

Energia termica
(Calore)

Energia meccanica
(Pressione, rottura, torsione…)



RISPOSTA

Variazione della conduttività elettrica
(potenziale elettrico)

Variazione della solubilità
(solubile-insolubile, solubile-gel)

Variazione cromatica
(colore, trasparenza, opacità)

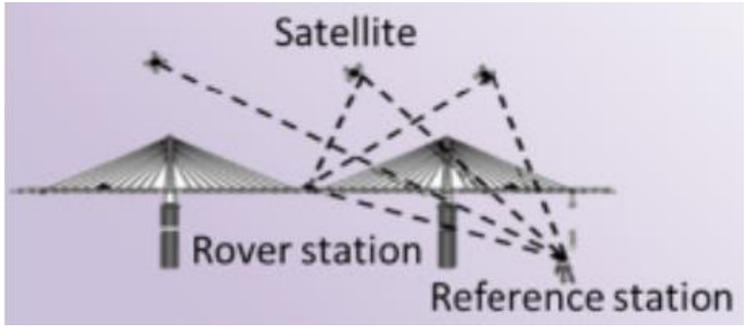
Variazione della forma
(rigonfiamento, contrazione)

Variazione di stato
(transizioni di fase, cristallinità)

LIVELLI DI COMPLESSITA’

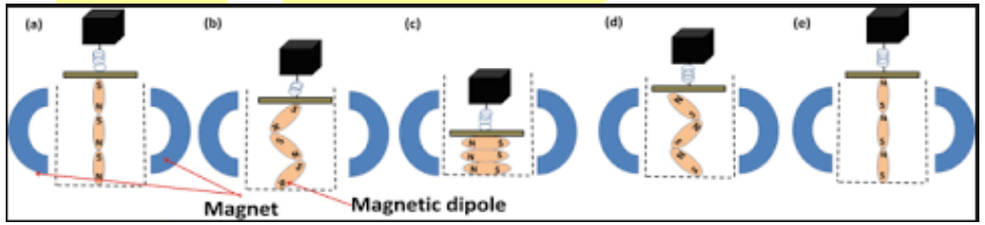
Strutture intelligenti

Sistemi intelligenti



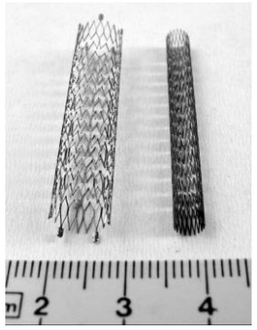
Dispositivi intelligenti

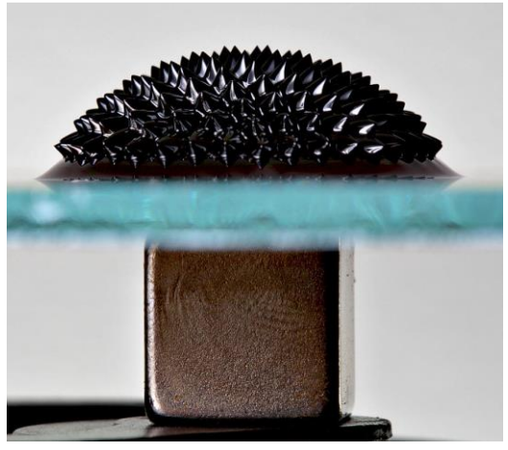
Materiali intelligenti

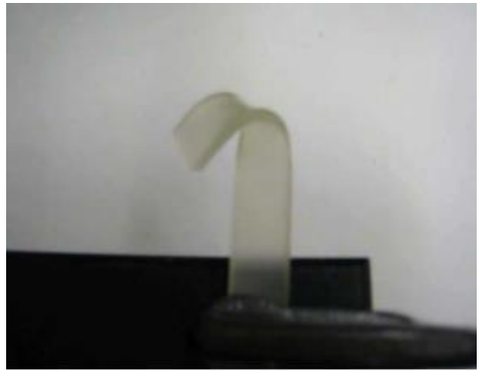


SMART MATERIALS

Alcuni esempi







- Leghe metalliche e **polimeri a memoria di**
- Leghe a memoria di forma magnetiche
- Fluidi elettroreologici
- Fluidi magnetoreologici
- Materiali piezoelettrici
- Magnetostrittivi
- **Polimeri termo e pH sensibili**
- **Materiali cromogenici**
- Fotomeccanici
- Materiali auto-riparanti
- Termoelettrici
- Elastomeri elettrici
- **Smart gel**

SMA

SICUREZZA

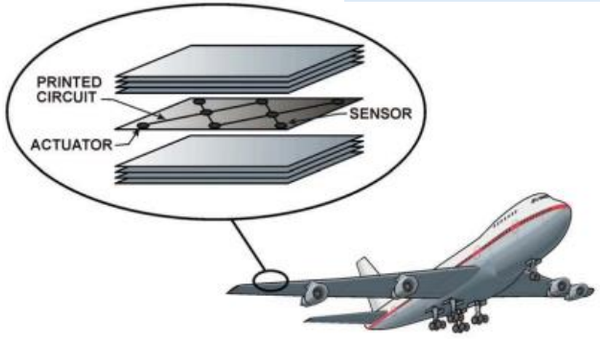
- Rivelatori di incendi
- Surriscaldamento freni
- Perdite di prodotti criogenici
- Regolatori termici per atmosfere pericolose

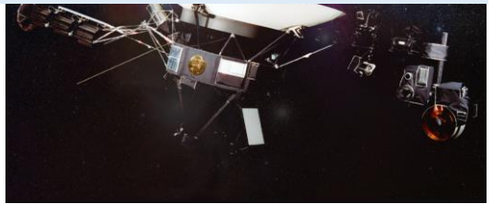
SETTORE AEREOSPAZIALE

- Regolatori vibrazionali
- Sensori
- Sistemi di apertura d'antenna

APPLICAZIONI BIOMEDICHE

- Stent vascolari
- Filtri anti emboli
- Cateteri polmonari
- Graffette per lesioni ossee
- Fili per archi ortodontici
- Strumenti chirurgici flessibili





MATERIALI CROMOGENICI

Sono materiali che subiscono una rapida variazione cromatica reversibile a seguito di uno stimolo esterno di natura chimica, elettrica, termica e/o ottica.

MATERIALI TERMOCROMICI

- Cambiano di colore a seguito di una variazione termica dell'ambiente

MATERIALI ELETTROCROMICI

- Cambiano il loro colore o la loro opacità (trasparenza) in seguito all'applicazione di un potenziale elettrico (voltaggio)

MATERIALI FOTOCROMICI

- Cambiano di colore in risposta all'assorbimento di una radiazione luminosa di opportuna lunghezza d'onda

MATERIALI CHEMOCROMICI

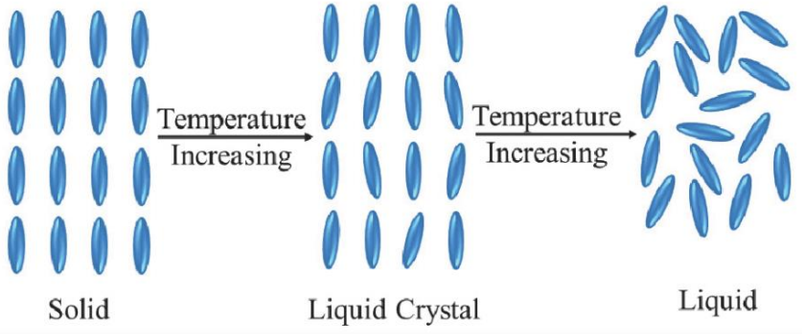
- Cambiano di colore in risposta alla variazione della natura e concentrazione di specie chimiche

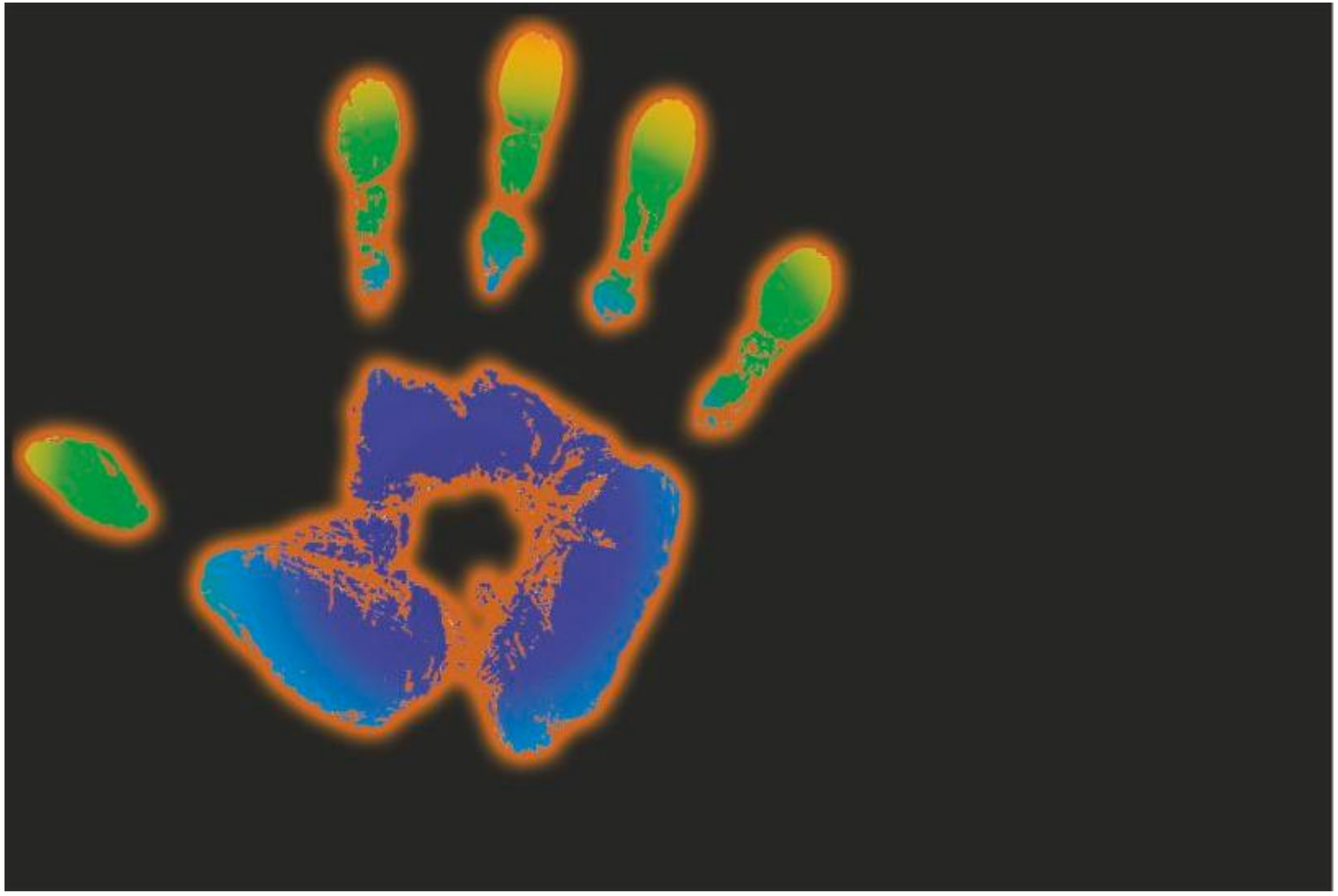
MATERIALI TERMOCROMICI

Con il termine termocromia si intende un cambiamento reversibile del colore in funzione della temperatura. I sistemi termocromici possono essere di natura organica e inorganica. Il fenomeno si può osservare sia in fase solida che in soluzioni che in matrici gel o vetrose.

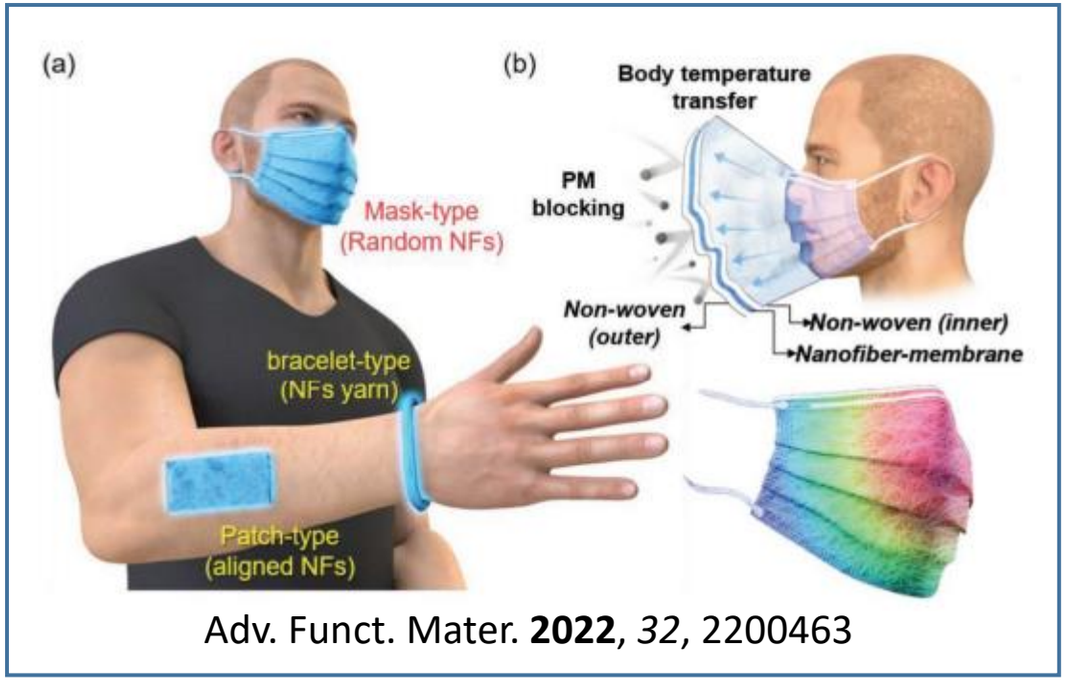
Film termocromici

sono a base di cristalli liquidi che cambiano la loro orientazione in base alla temperatura, determinando una variazione di colore.





MATERIALI TERMOCROMICI



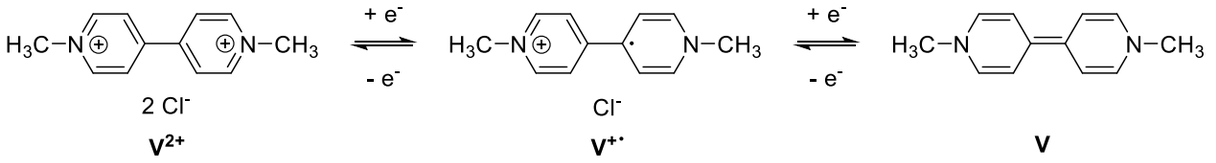
Adv. Funct. Mater. **2022**, *32*, 2200463

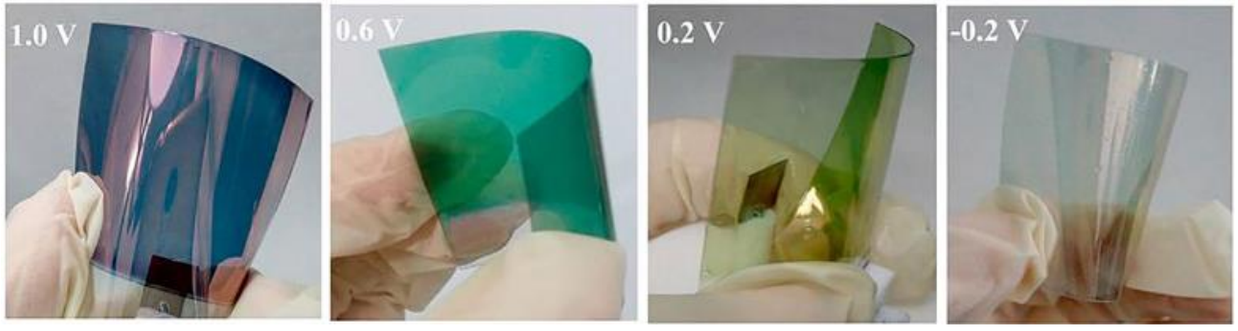
MATERIALI ELETTROCROMICI

Il cambiamento di colore o di trasparenza è collegato ad una reazione di ossido-riduzione indotta dal passaggio di corrente (basso voltaggio).

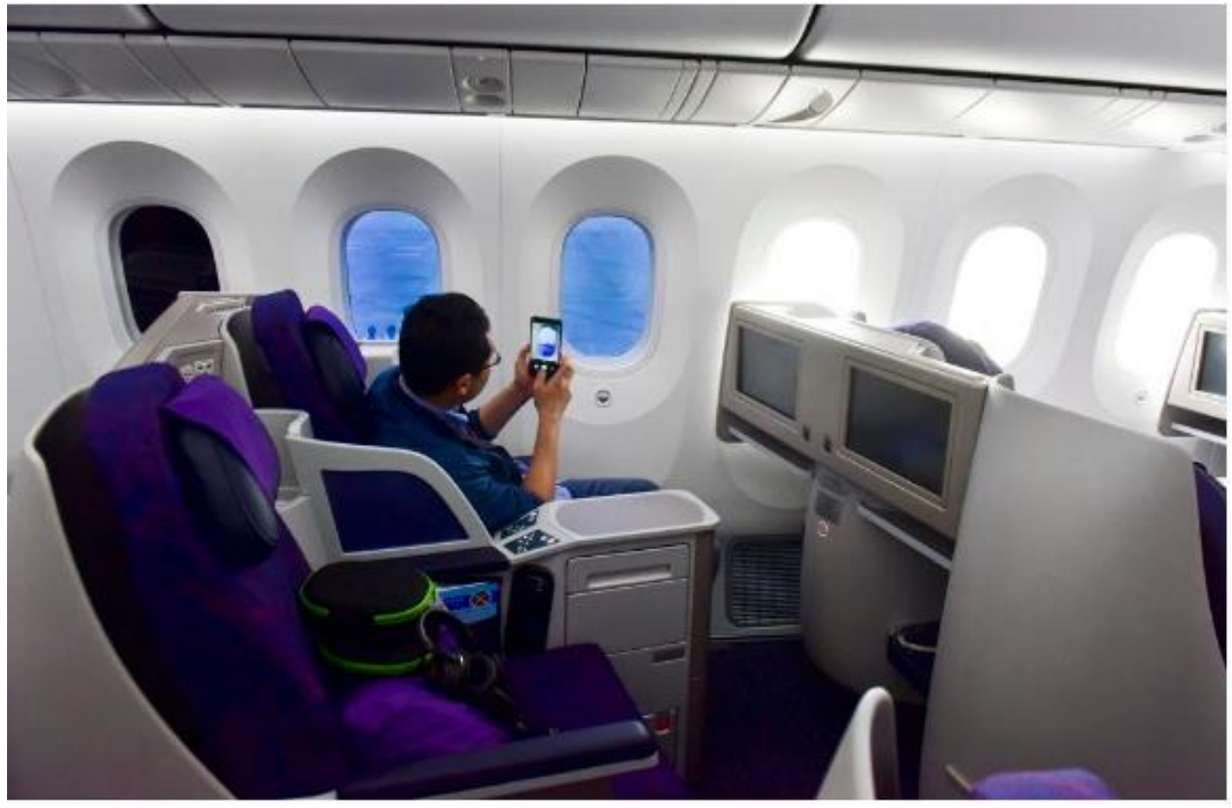
La reazione può avvenire su materiali inorganici, organici, polimerici, matrici gel, liquidi ionici.

methyl-Viologen





Elettrodo a film di polianilina flessibile (PANI) nel suo stato colorato ai diversi potenziali.



Finestre elettrocromiche del Boeing 787-9 Dreamliner

MATERIALI ELETTROCROMICI

Museum of Science, Boston, Massachusetts, USA

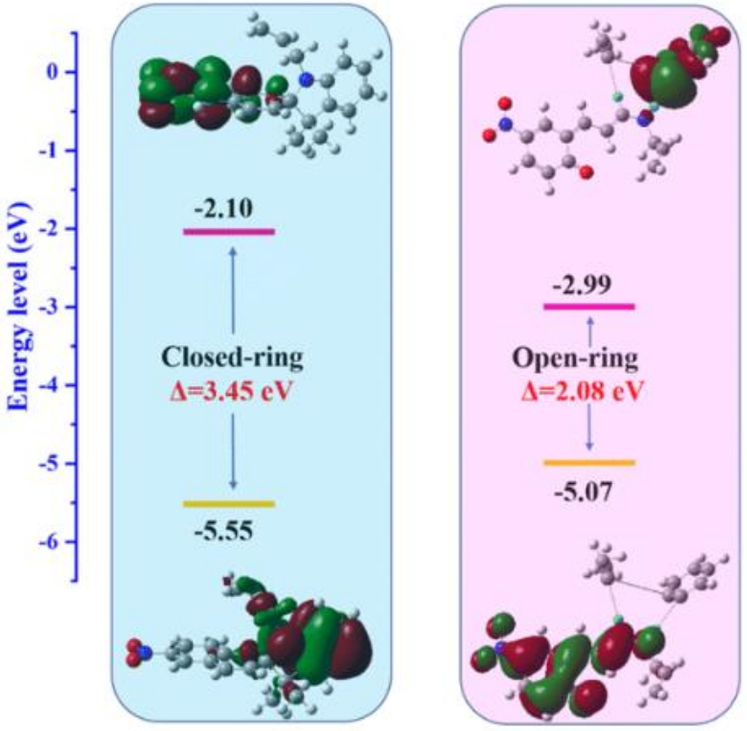
Bowie State University, Bowie, Maryland, USA

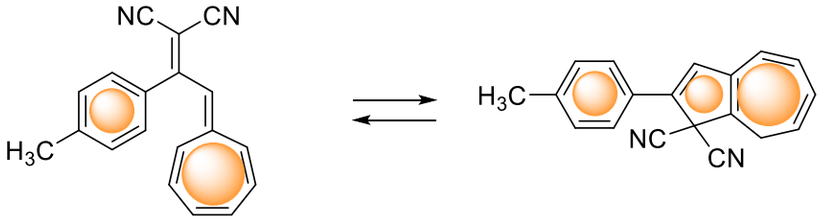
MATERIALI FOTOCROMICI

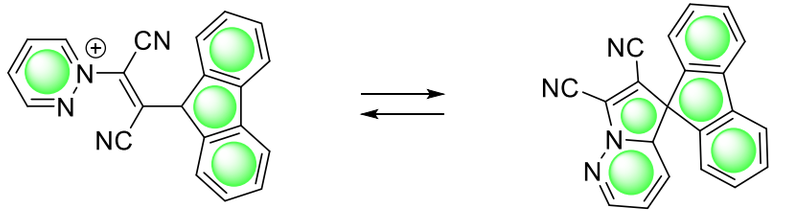
Sono materiali che cambiano reversibilmente colore quando esposti a radiazioni luminose.

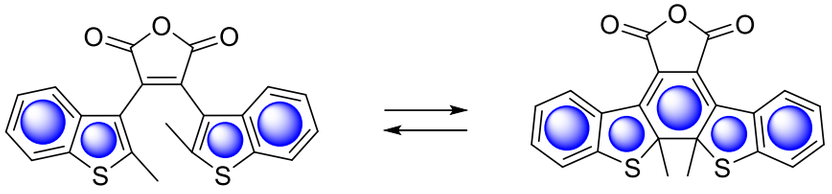
Il **fotocromismo** è una trasformazione reversibile di una specie chimica tra due forme che hanno differenti spettri di assorbimento, quindi differente colore.

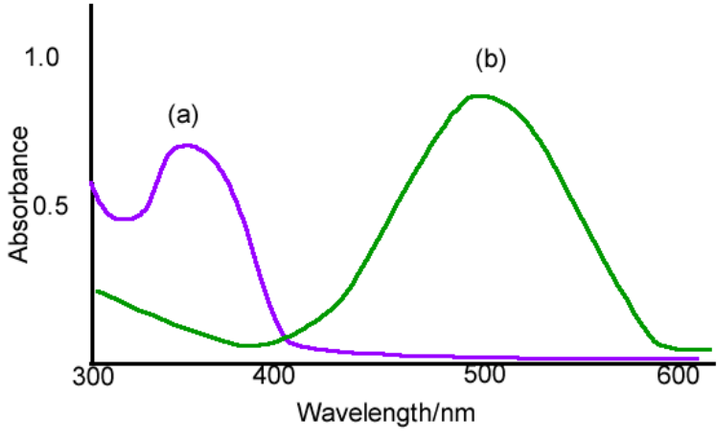
Il fenomeno è associato ad una reazione fotochimica

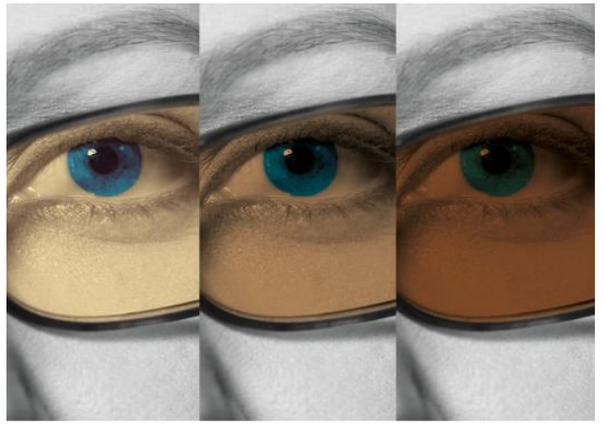












UV

Vis.

MATERIALI CHEMOCROMICI

Sono materiali che variano di colore in seguito ad un cambiamento chimico dell'ambiente

Halocromici

risentono delle variazioni di pH dell'ambiente

Ionocromici

variazione cromatica associata alla reazione con specie ioniche presenti nel mezzo

Igro-idrocromici

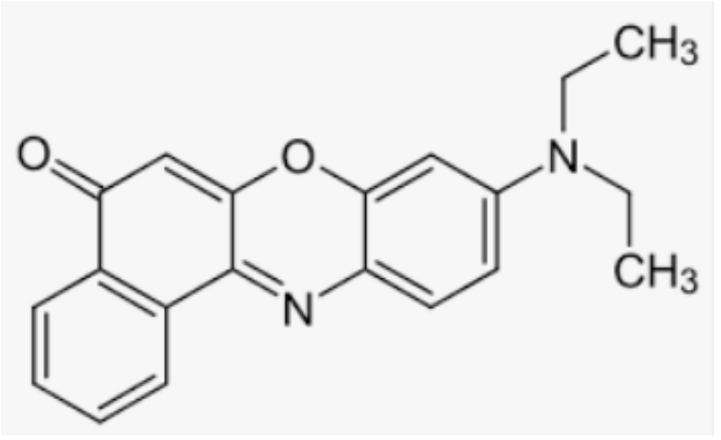
variazione cromatica associata al tasso di umidità o al contenuto d'acqua

Solvatocromici

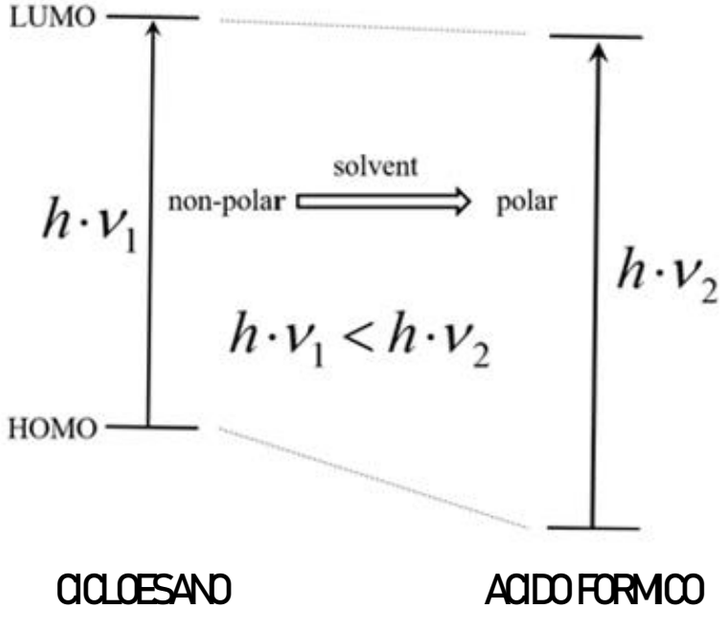
variazione cromatica associata alla natura del solvente, la variazione di colore è causata dalle interazioni tra le molecole (soluto-solvente)

MATERIALI CHEMOCROMICI

SOLVATOCROMICI



Nile-red



il solvatocromismo è causato dalla solvatazione differenziale dello stato fondamentale o del primo stato eccitato della molecola che assorbe la luce. Se, all'aumentare della polarità del solvente, la molecola allo stato fondamentale è meglio stabilizzata dalla solvatazione rispetto alla molecola allo stato eccitato, risulterà un solvatocromismo negativo (e un corrispondente spostamento *ipsocromico* blue-shift) e viceversa.

Applicazioni

Sensori di polarità

Sensori di metalli di transizione

Memorizzazione ottica dei dati

fotografia

terapia foto-dinamica

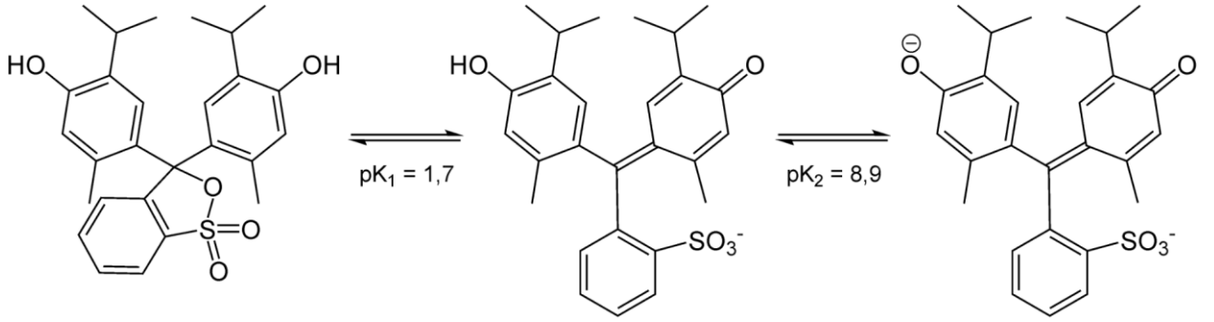
MATERIALI CHEMOCROMICI

HALOCROMICI

Sono materiali che cambiano reversibilmente colore in base all'acidità o basicità dell'ambiente in cui si trovano.

pH = 5.8 7.0 7.6

Thymol blue



Applicazioni

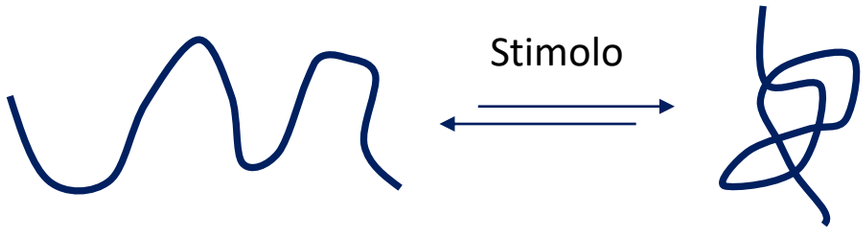
Produzione di vernici.

Stampe copiative.

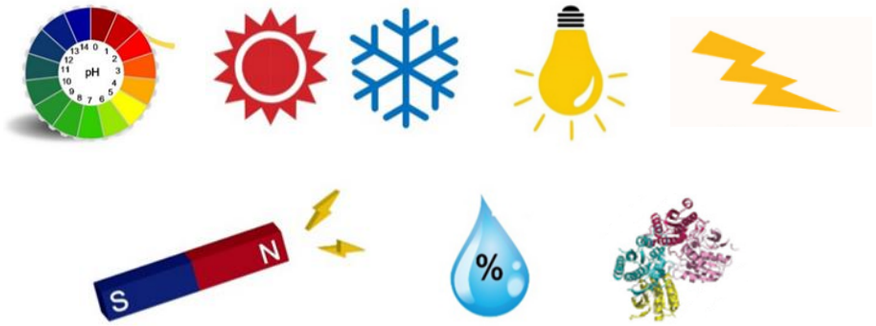
Materiali tessili pH sensibili.

Monitoraggio freschezza cibi.

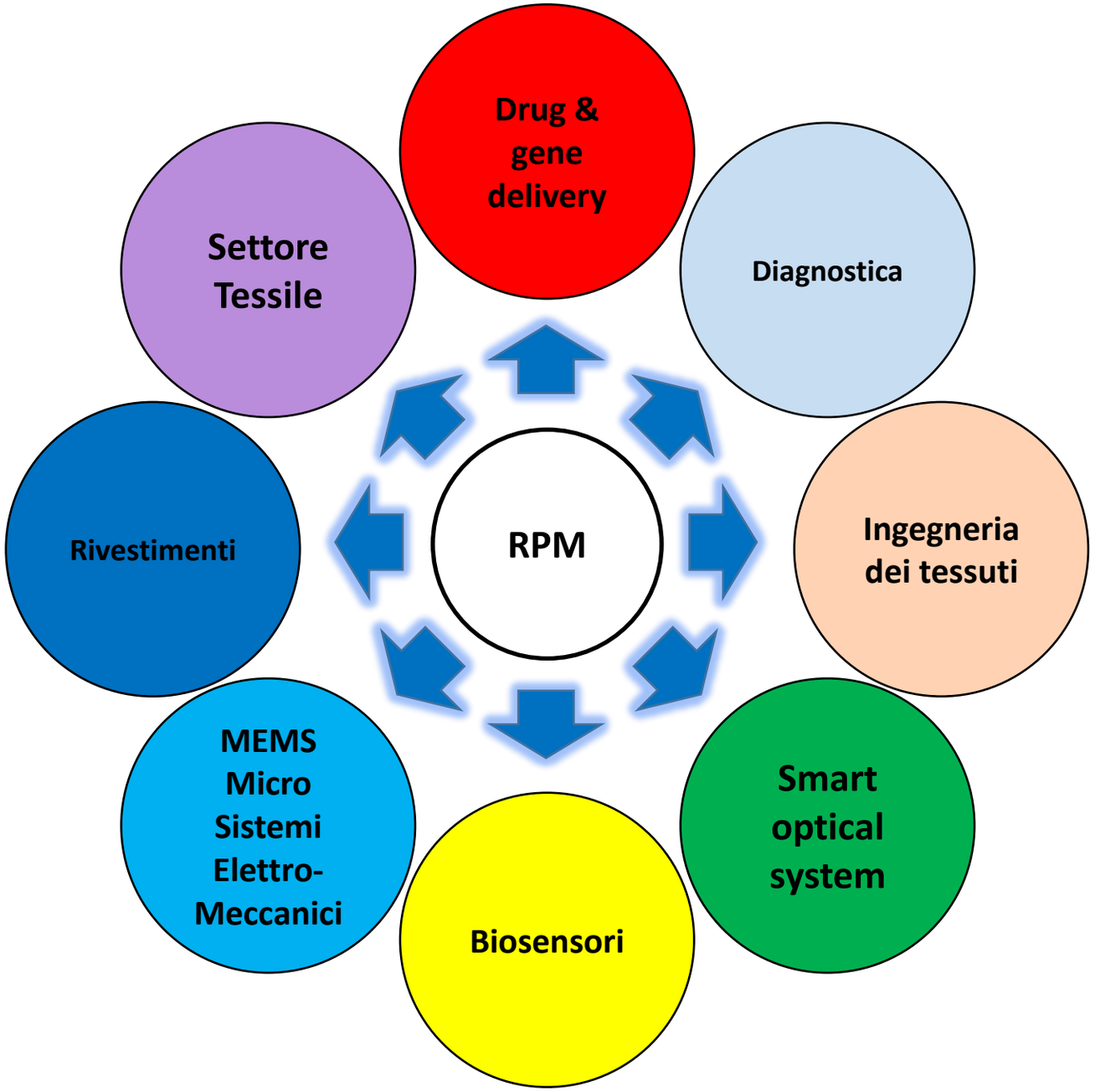
MATERIALI POLIMERICI «*RESPONSIVE*»



Stimolo



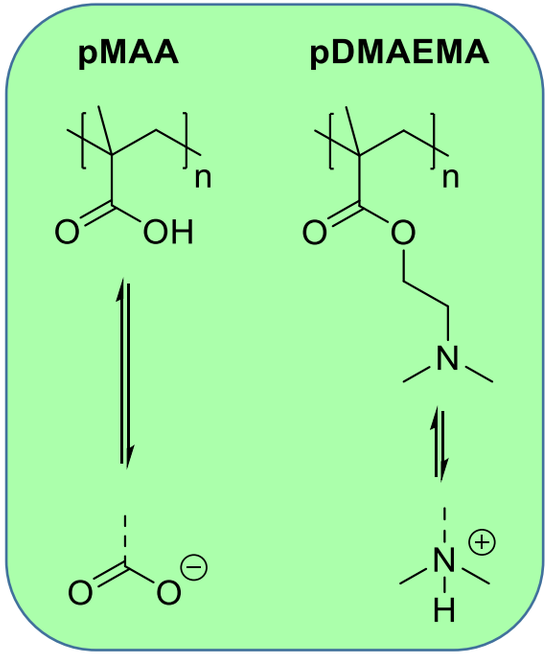
RPM
Sintetici
Naturali
Semi-sintetici

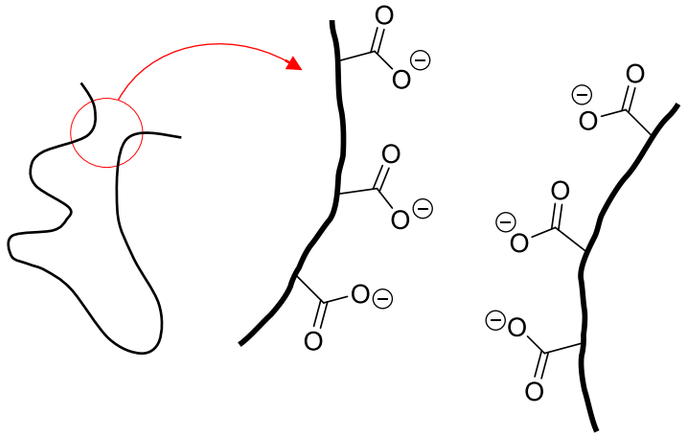


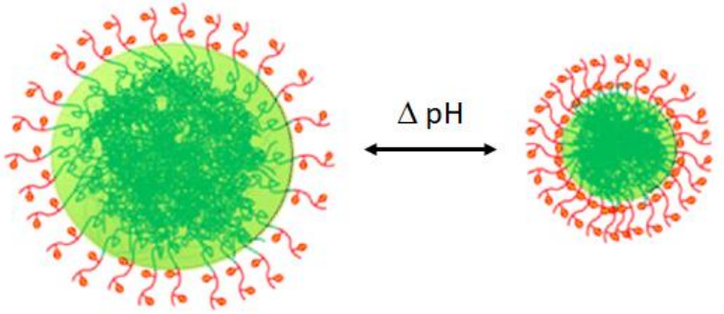
POLIMERI pH DIPENDENTI

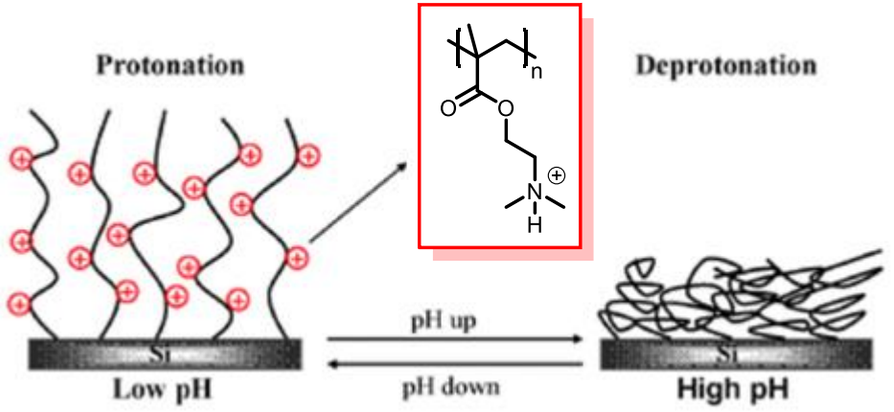
I polimeri pH sensibili sono materiali che rispondono a cambiamenti di pH del liquido in cui sono immersi, variando le proprie dimensioni.

Tale comportamento è determinato dalla presenza di particolari gruppi funzionali nella catena polimerica. Sono gruppi ionizzabili (gruppi acidi –COOH, $-SO_3H$; gruppi basici $–NH_2$) che in base al pH possono cambiare carica (+/-).



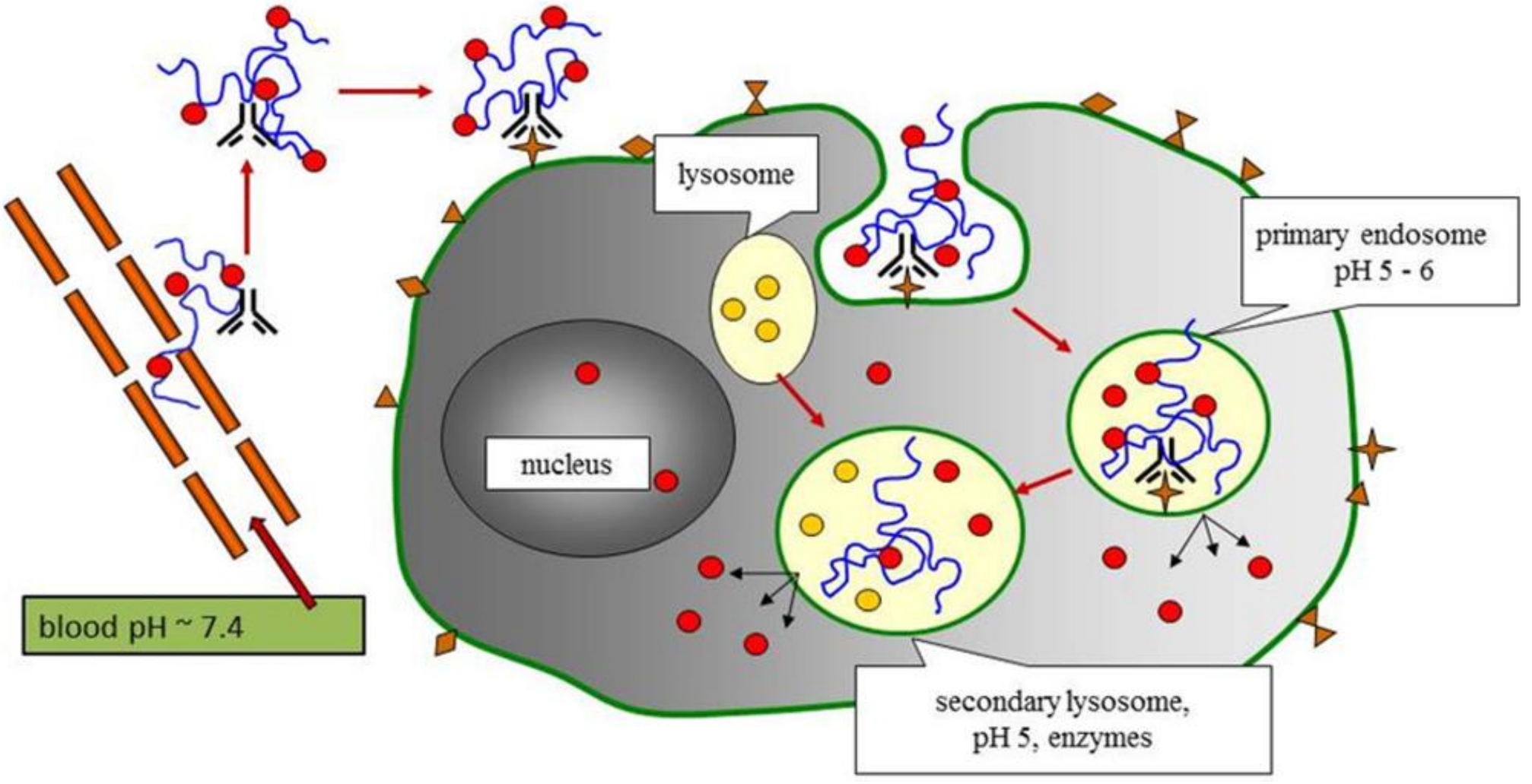






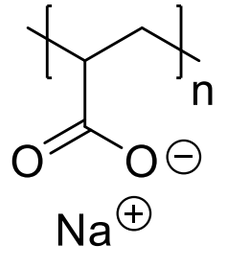
POLIMERI pH DIPENDENTI

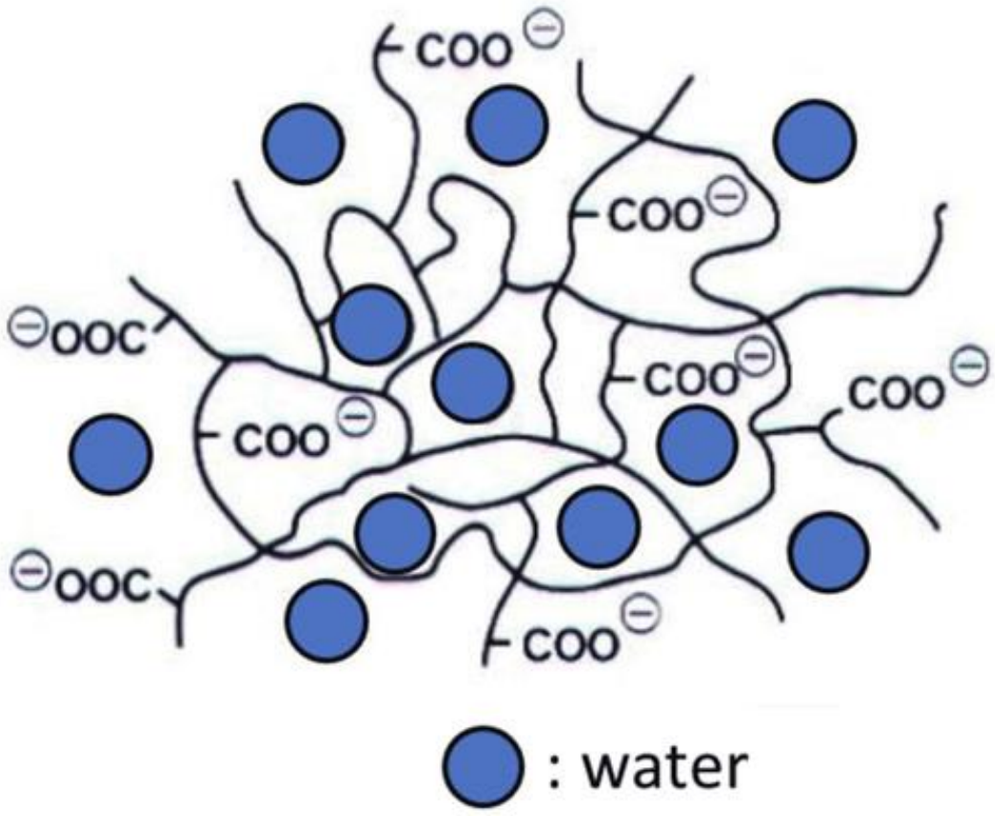
Sistemi per il trasporto e il rilascio controllato di farmaci o biomolecole.

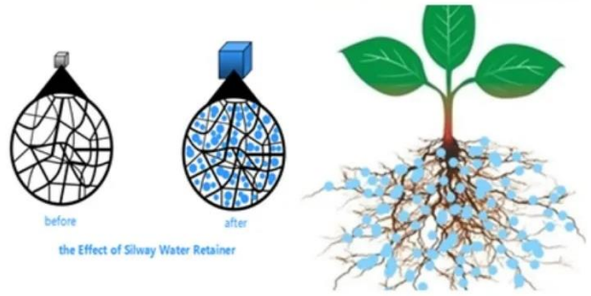


POLIMERI : POLIELETTROLITI

Sodio Poliacrilato







Assorbe acqua 300 volte il suo volume.
Materiale superassorbente

POLIMERI TERMO-SENSIBILI

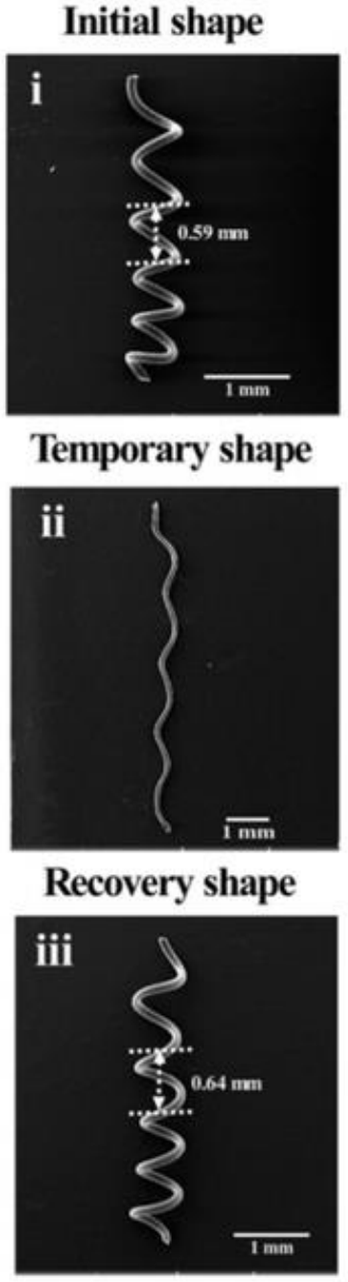
Copolimero

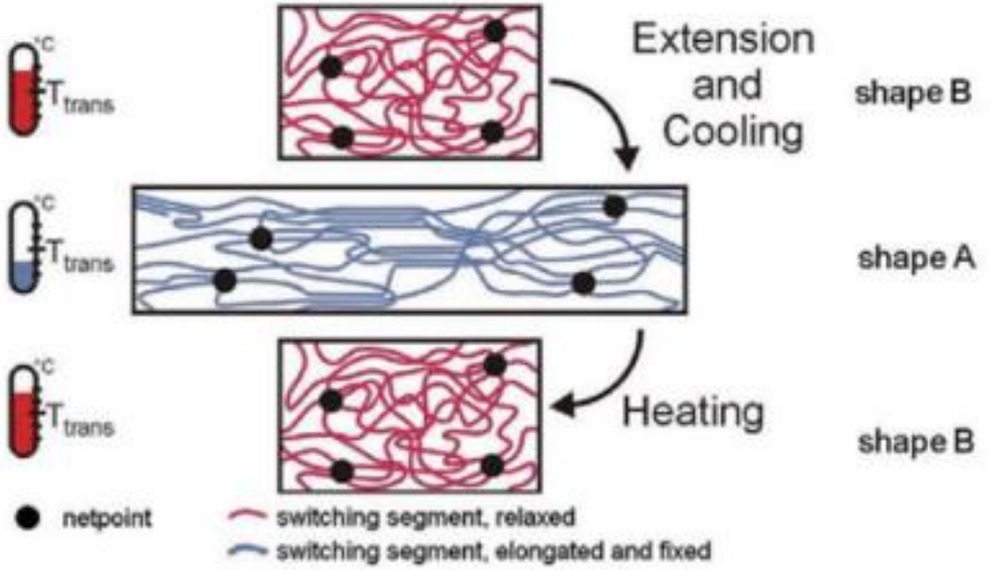
Acido acrilico/*n*-stearil acrilato

gel polimerico

Hydrophilic

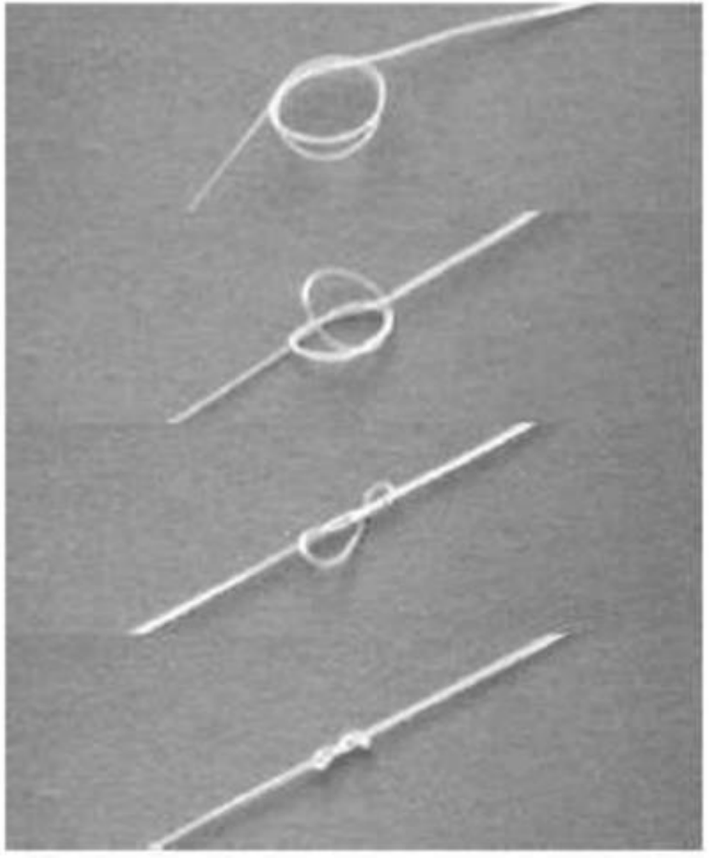
Hydrophobic

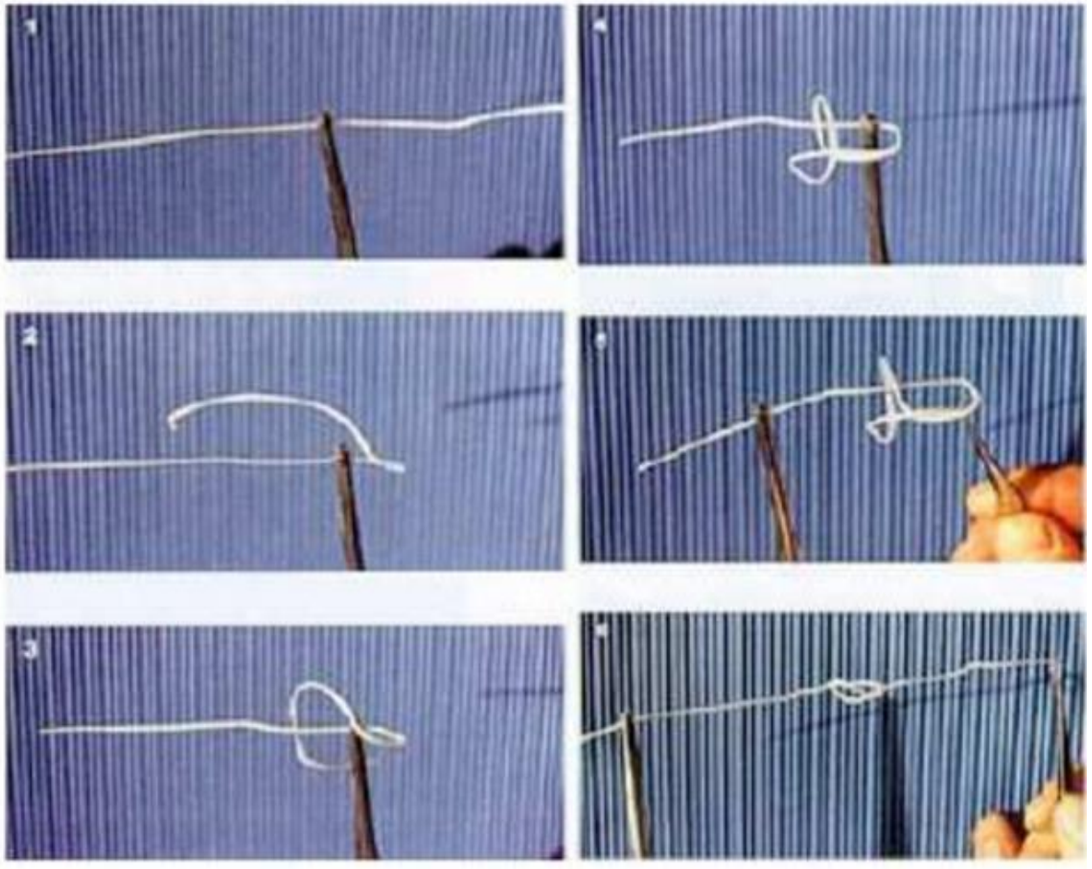




POLIMERI TERMO-SENSIBILI

Fili per sutura biodegradabili

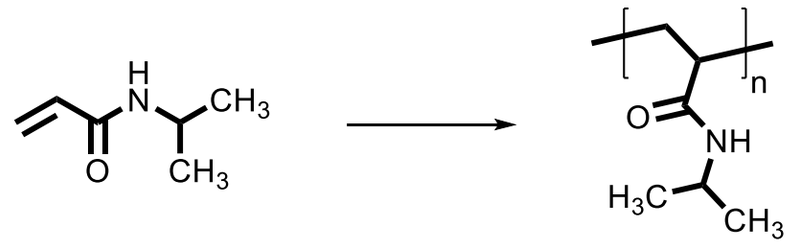


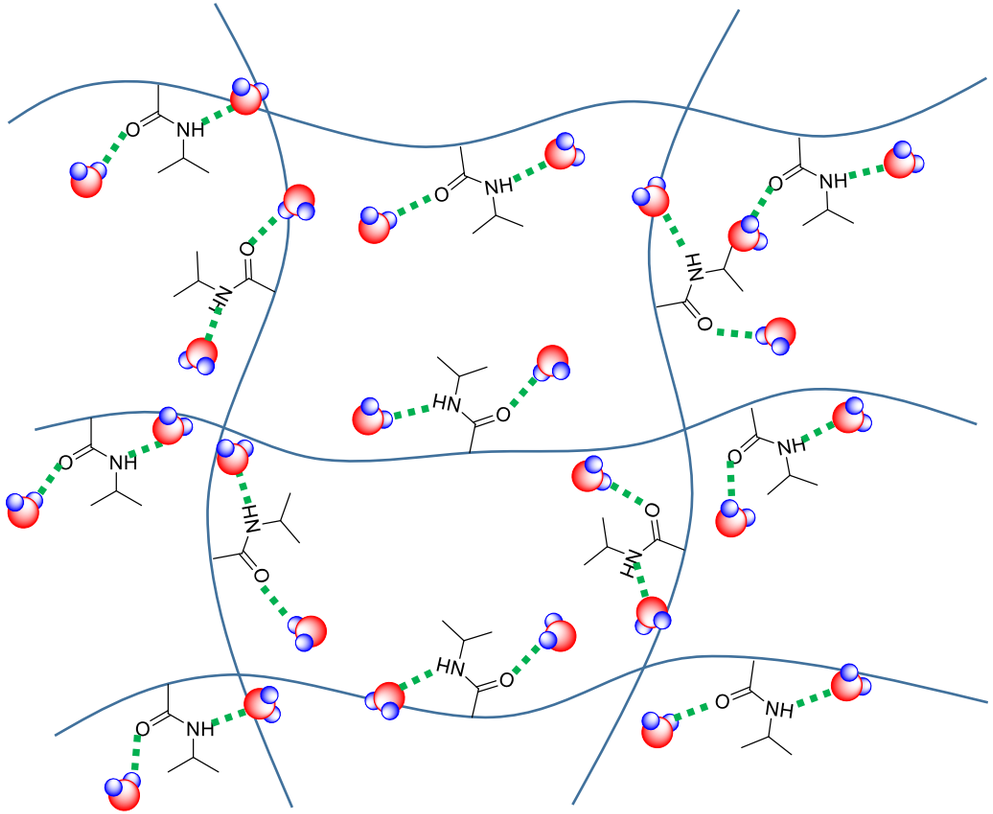


20 °C **37 °C** **41 °C**

POLIMERI TERMO-SENSIBILI

Poli (*N*-isopropilacrilammide) = pNIPAA

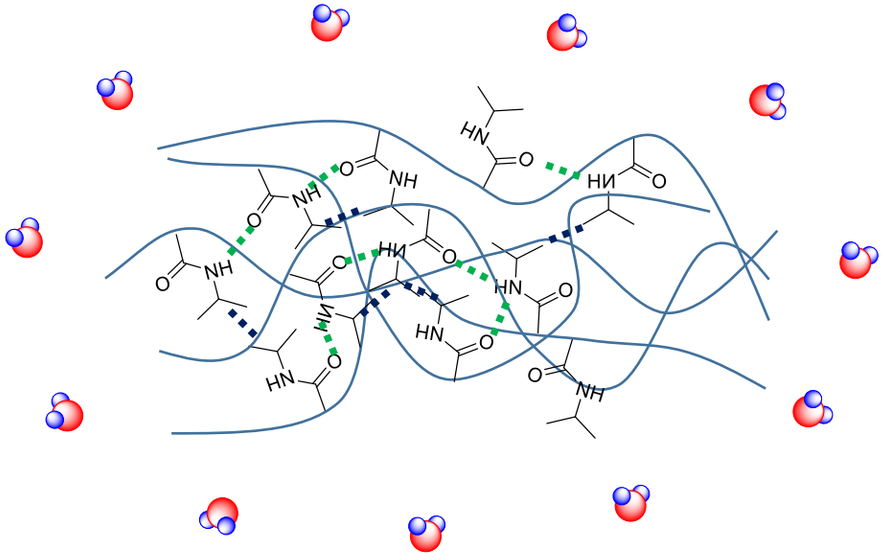




LCST

> 32 °C

< 32 °C



Drug delivery

Ingegneria dei tessuti e degli organi

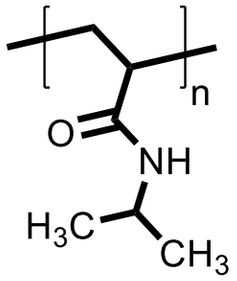
Biosensori

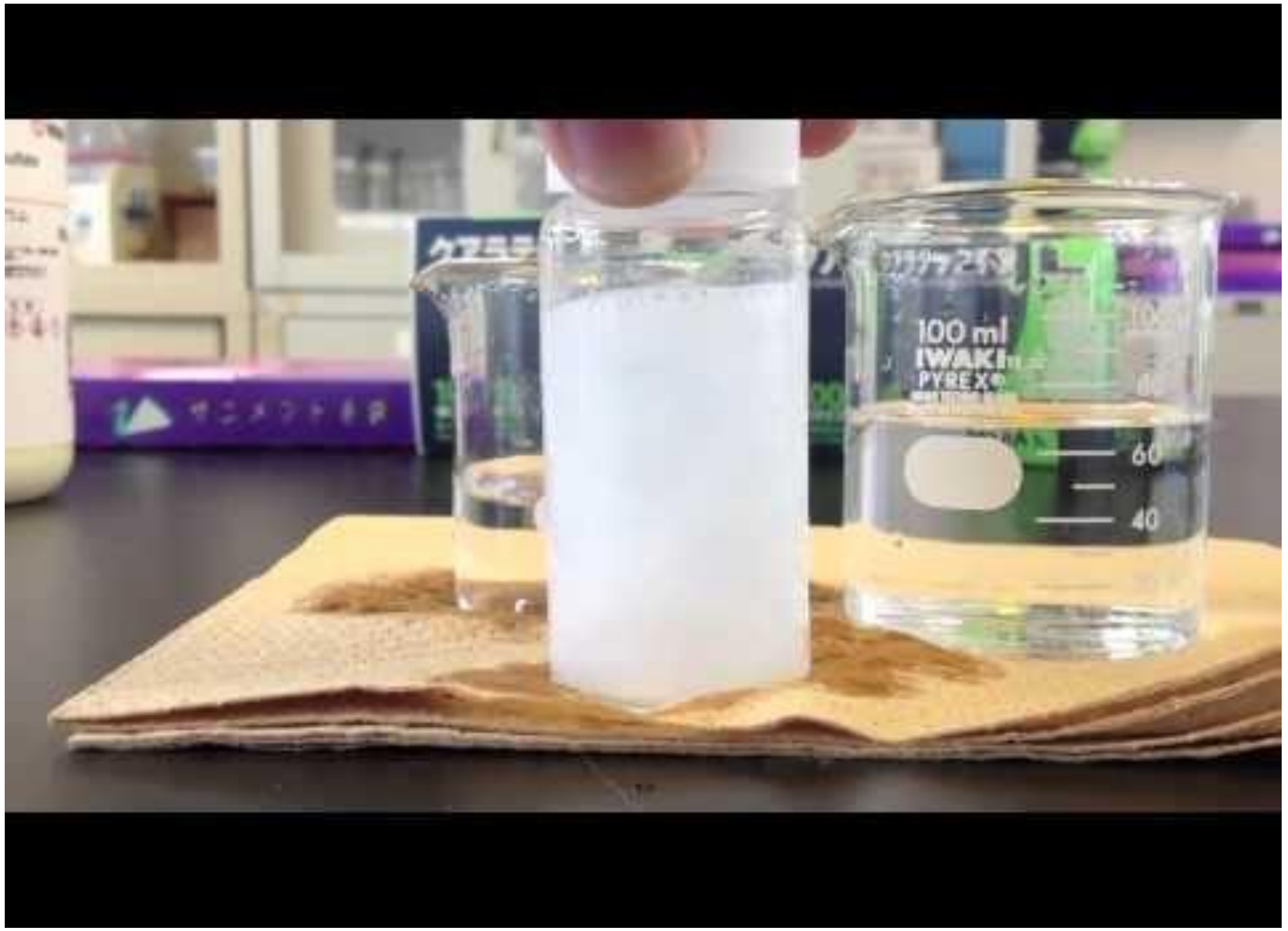
Enhanced oil recovery

Microfluidica

POLIMERI TERMOSENSIBILI

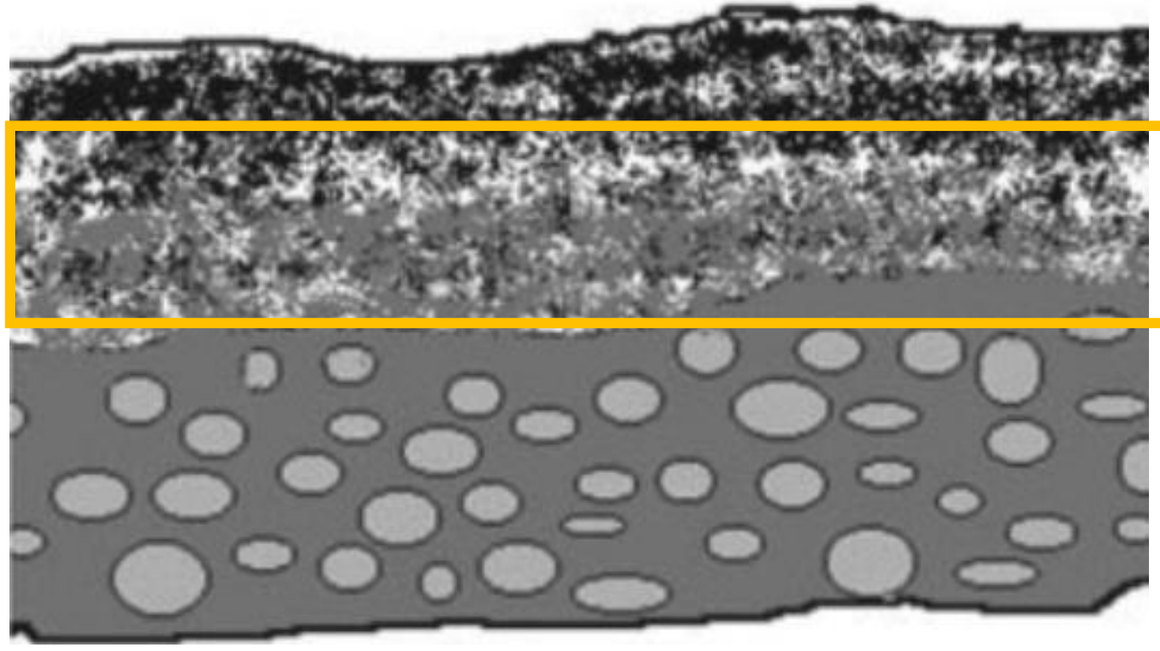
Poli (*N*-isopropilacrilammide) = pNIPAA





POLIMERI TERMOSENSIBILI

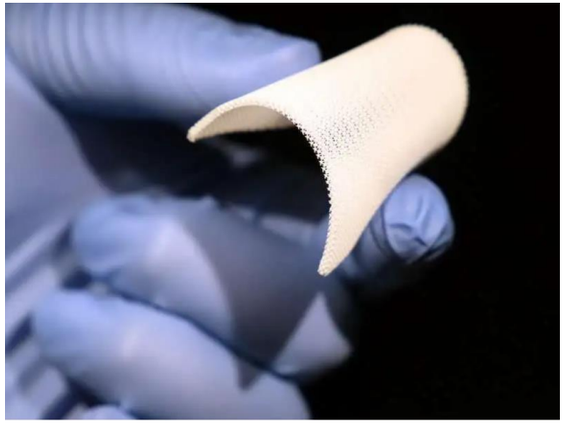
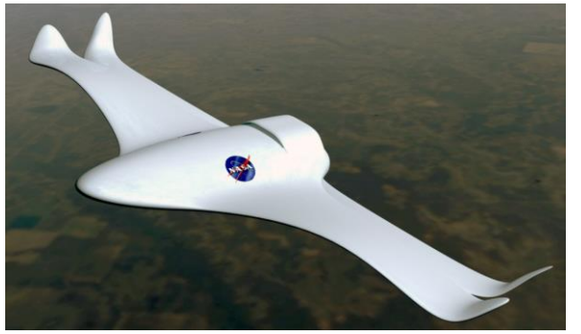
Medicazione delle ustioni



Strato di tessuto non tessuto di polipropilene

Strato di PNIPAAm

Strato spugnoso composto da gelatina, acido ialuronico e condroitina-6-solfato

Sviluppi futuri

- Materiali che arrestano la propagazione delle fratture tramite la auto-generazione di forze compressive intorno al danno. (DAMAGE ARREST)
- Materiali capaci di discriminare la tipologia di carico (statico o repentino) e auto-generare forze compensative. (SHOCK ABSORBERS)
- Materiali con proprietà auto-riparanti che possono riparare il danno durante il loro tempo di vita. (SELF HEALING MATERIALS)
- Materiali utilizzati in condizioni di UHT in cui cambiano la loro composizioni. (APPLICAZIONI SPAZIALI e NUCLEARI)