



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"
INGEGNERIA DELLE NANOTECNOLOGIE**

**Produzione mediante e uso di nanoparticelle
per la funzionalizzazione di membrane**

PROF. MARCO STOLLER

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA MATERIALI AMBIENTE

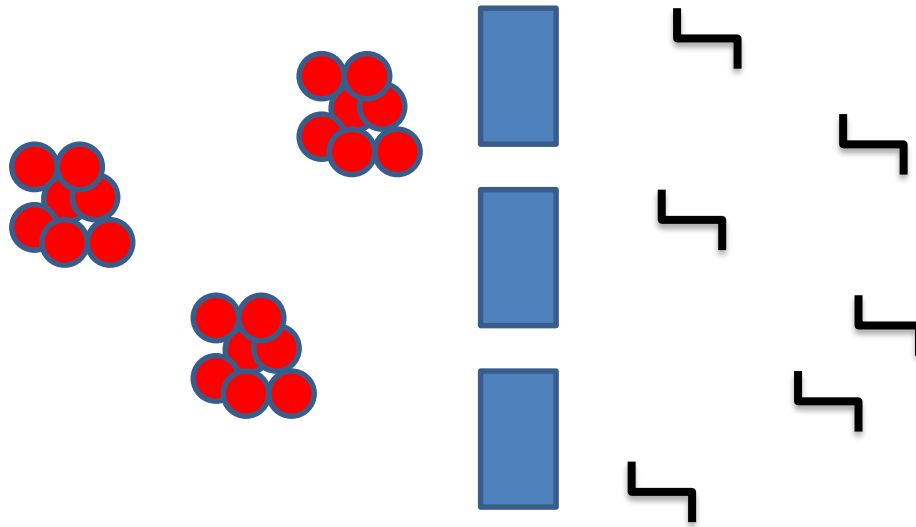
PIANO 2 - UFFICIO 204b

TEL: +390644585580

MARCO.STOLLER@UNIROMA1.IT

PRINCIPIO

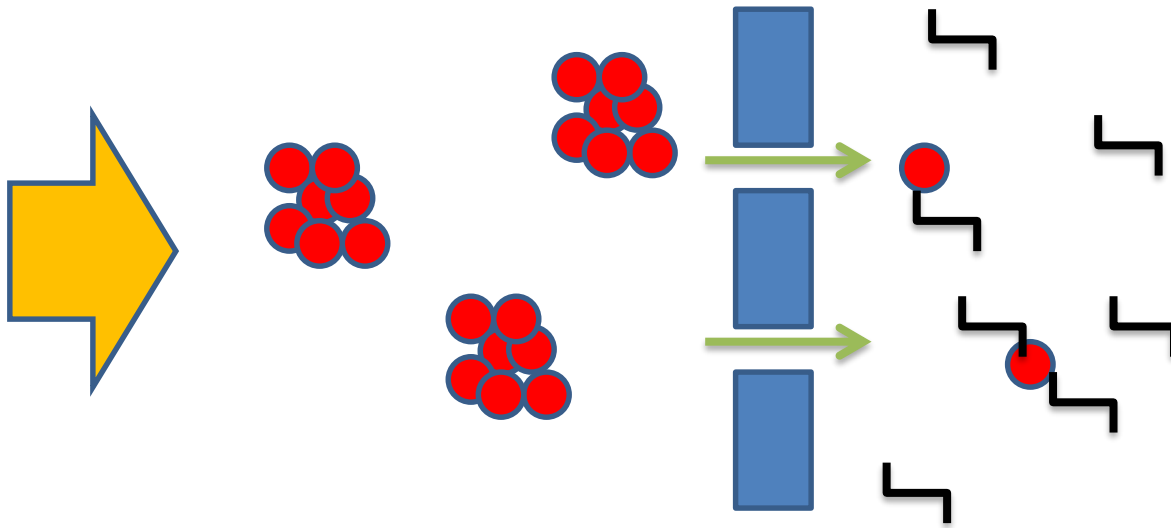
- mediante setacciatura di nanoparticelle esistenti



- *Alimentazione: Agglomerati di NP*
- *Permeato: Sospensione stabile contenente tensioattivi*

PRINCIPIO

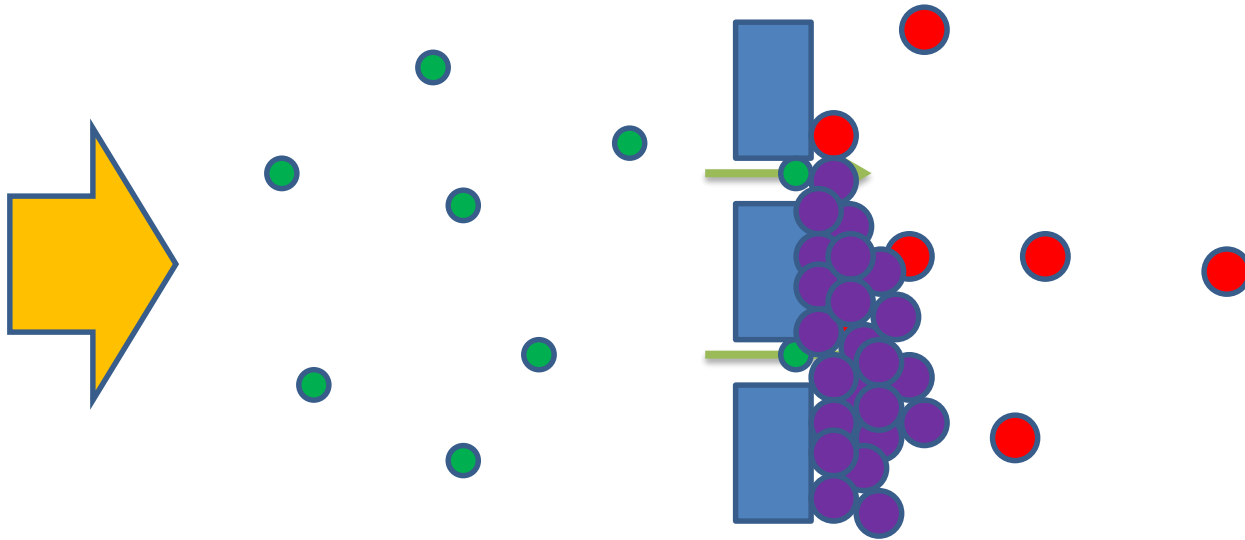
- mediante setacciatura di nanoparticelle esistenti



- *Il lato permeato dovrebbe avere proprietà anti-agglomeranti*
- *La dimensione dei pori dovrebbe essere pari a quella desiderata e più piccola degli agglomerati*

PRINCIPIO

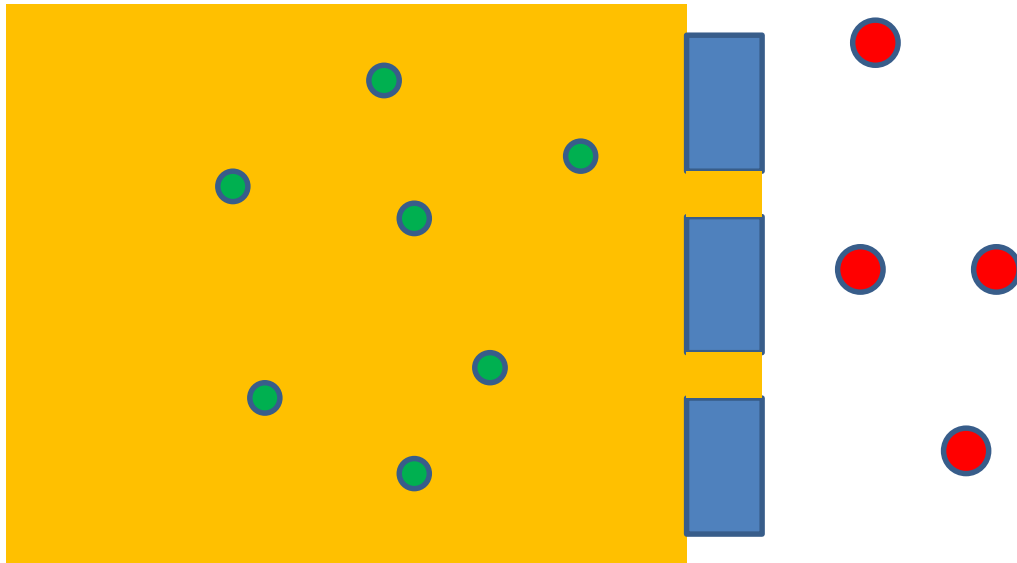
- Alimentazione a micro- o nanoiniettori



- *La membrana con la sua porosità rappresenta un Sistema di iniezione diffuso di tipo micro o nano*
- *Non è possibile operare in questa maniera per via del fouling.*
- *Reazione: reagente ● + reagente ● → NP ●*

PRINCIPIO

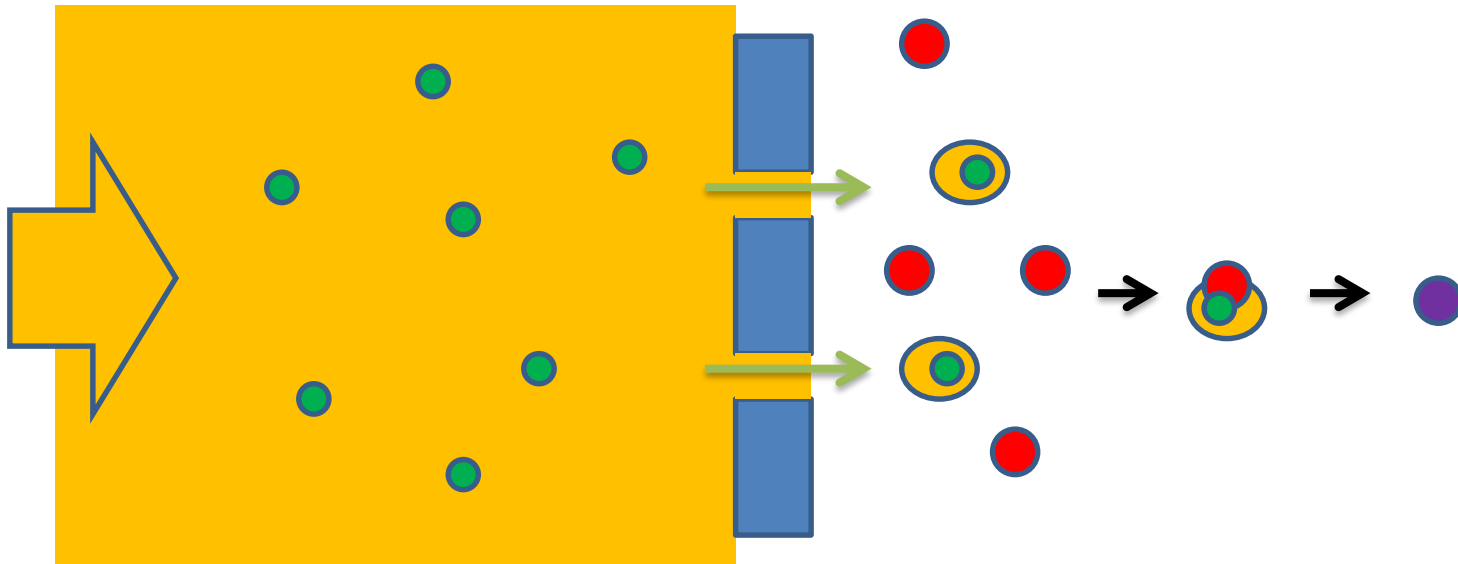
- Alimentazione a micro- o nanoiniettori



- *Alimentazione: reagente in solvente*
- *Permeato: Altro reagente in solvente insolubile*
- *Reazione: reagente ● + reagente ● → NP ●*

PRINCIPLE

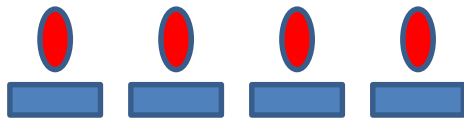
- Alimentazione a micro- o nanoiniettori



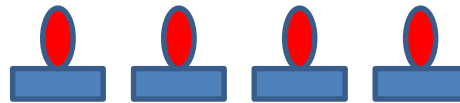
- *Il solvente lato alimentazione incapsula il reagente verde appena passa a lato permeato*
- *Reazione: reagente ● + reagente ● → NP ●*

FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- Si opera per modificazione della superficie:
 - Adsorbimento di NP (a)
 - Legame chimico di NP (b)
 - Rivestimento di NP (c)



(a)



(b)

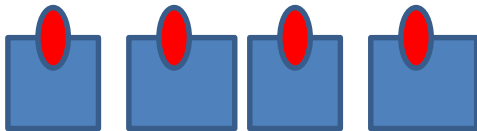


(c)

FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- Le NP possono essere anche inglobate nella matrice della membrana

In maniera superficiale



e/o

completamente nella matrice



FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

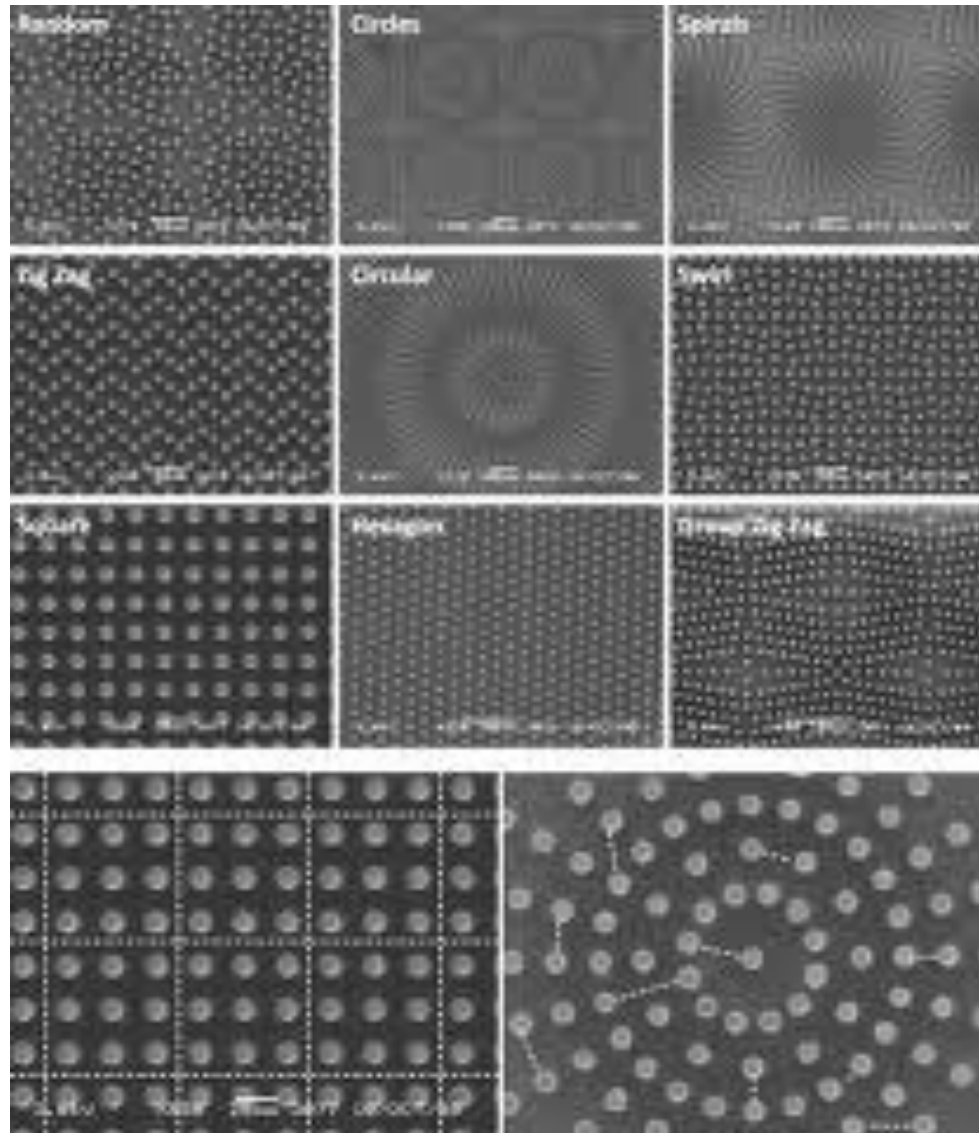
Gli obiettivi sono:

- **Aumento della produttività.**
- **Aumento della selettività.**
- **Riduzione del fouling.**
- **Interazioni di tipo avanzato o “smart”.**
- **Conferire proprietà diverse alle membrane rispetto a quelle standard.**

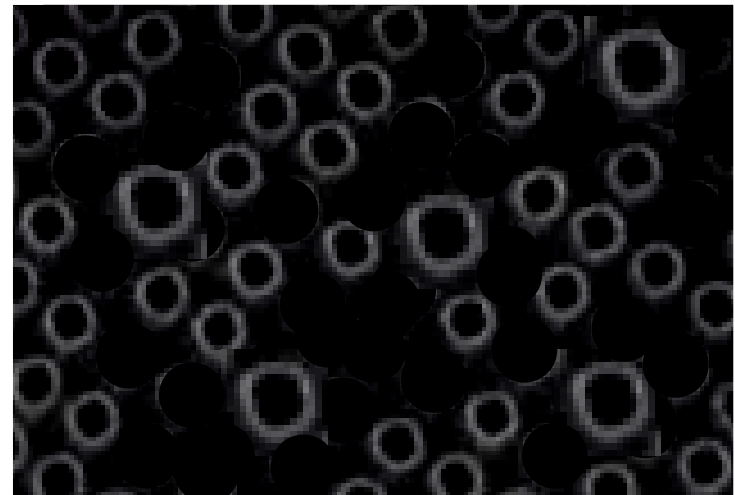
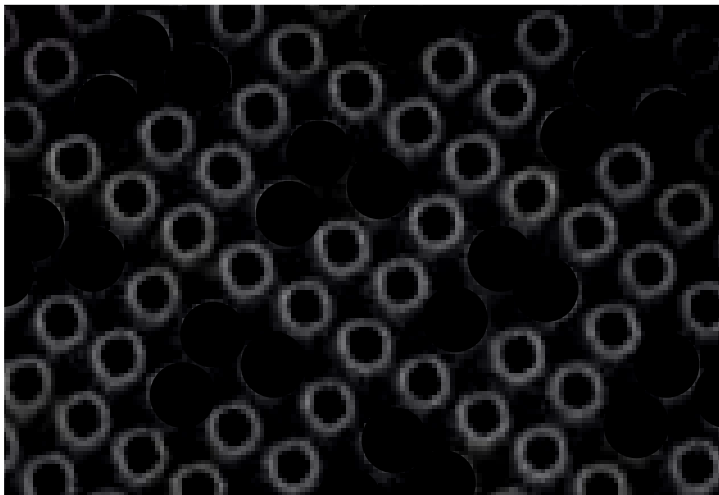
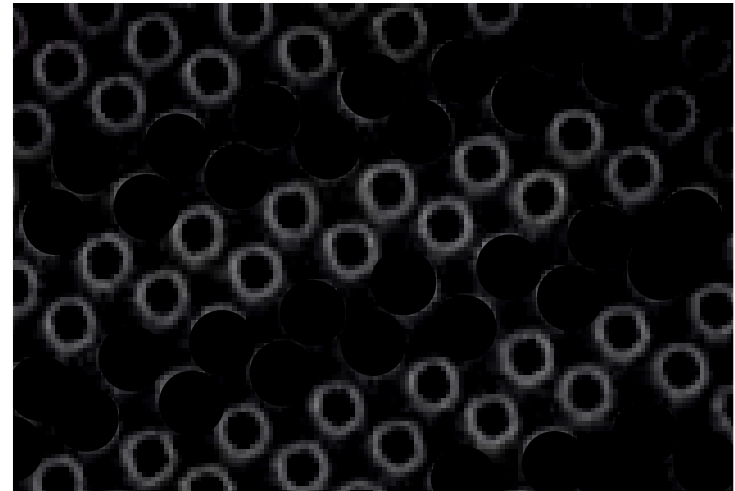
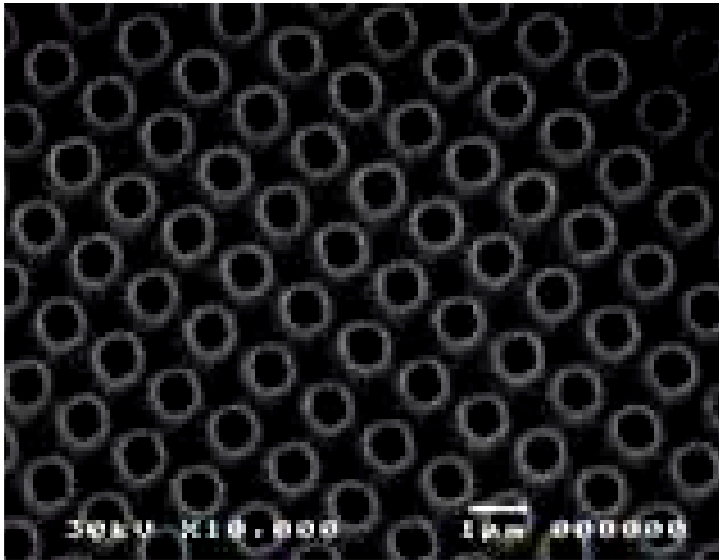
FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- **Aumento di produttività.**
 - Micro-sieves con densità elevate di pori
 - Nano-sieves con densità elevate di pori
 - Design della distribuzione dei pori
 - Membrane idrofile o idrofobe
 - Apertura controllata dei pori

DESIGN DELLA DISTRIBUZIONE DEI PORI



DESIGN DELLA DISTRIBUZIONE DEI PORI



IDROFILO o IDROFOBO

Water on 0.1 μm PVDF



HYDROPHILIC

HYDROPHOBIC

SUPERPHOBIC



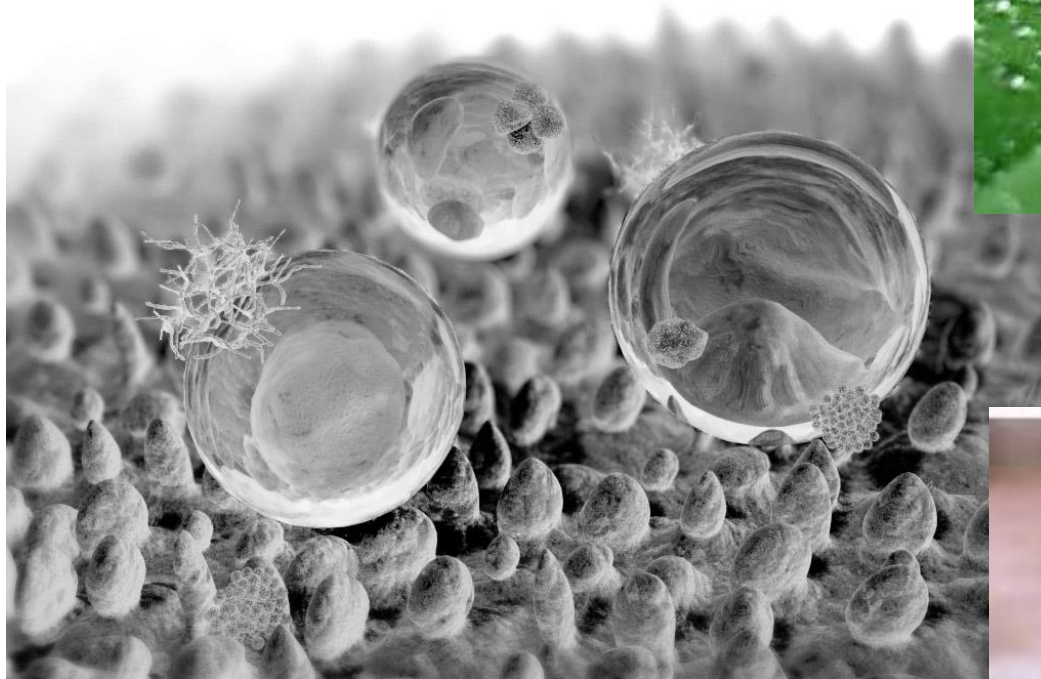
AUMENTO DELLA PERMEABILITA' DELL' ACQUA



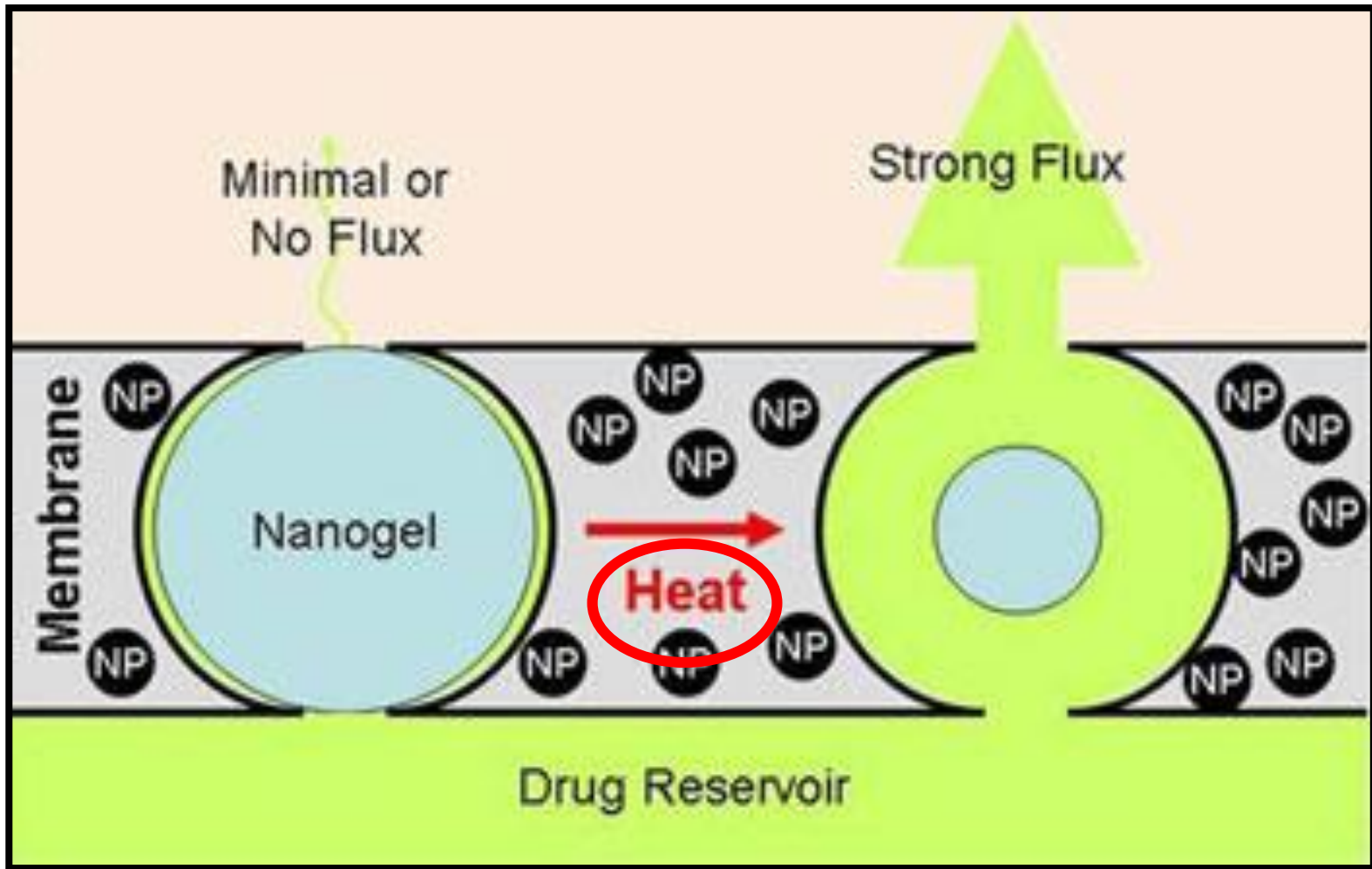
AUMENTO DELLA PERMEABILITA' DI ORGANICI

MEMBRANE SUPERFOBICHE

Strutture complesse conferiscono questa proprietà alla membrana per effetto loto



CONTROLLO DELL'APERTURA DEL PORO MEDIANTE T



FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- **Aumento della selettività.**

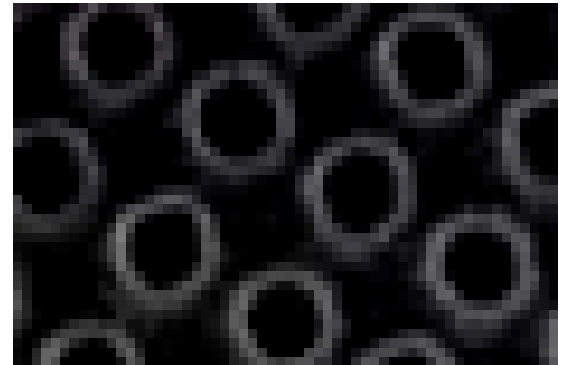
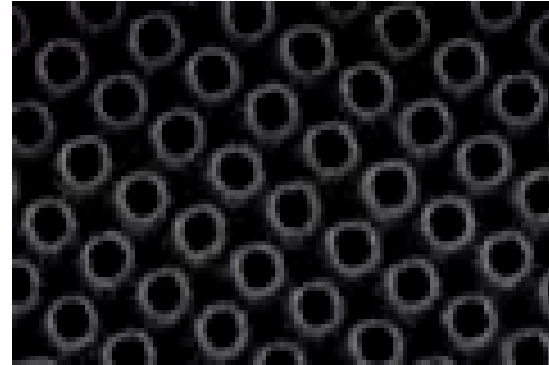
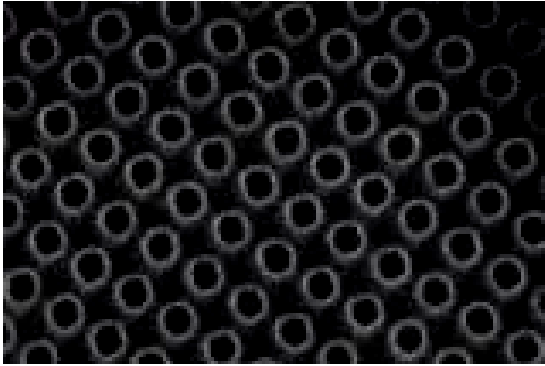
→ Micro- and nano-sieves mediante dimensioni dei pori ben definiti.

→ Effetto Donnan per aumentare la selettività di ioni.

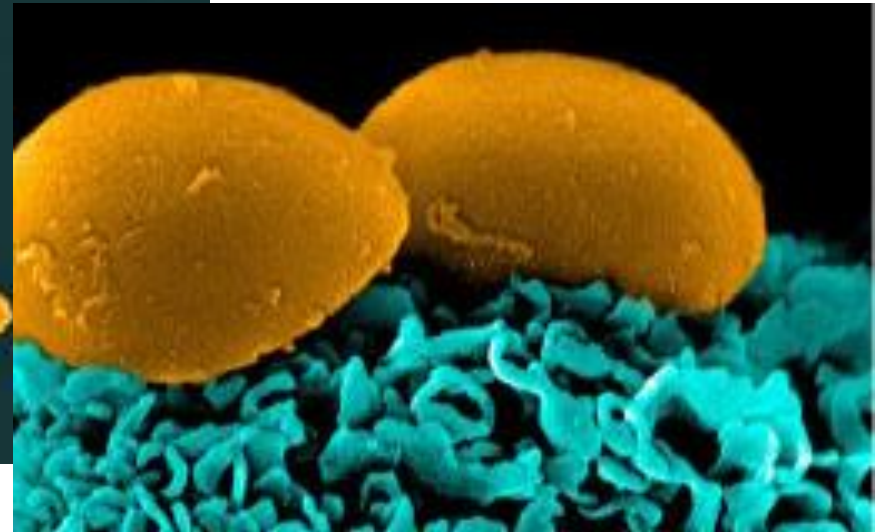
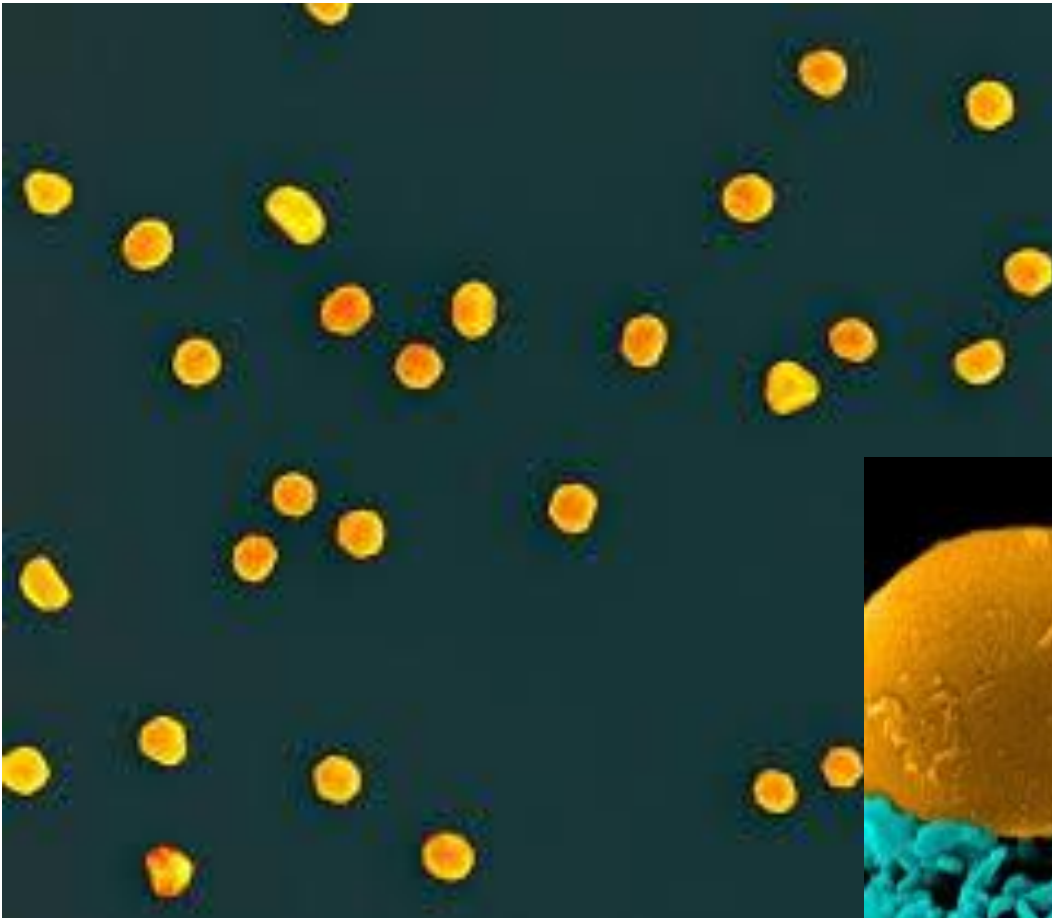
- Inclusione di NP di Au (+)

- Inclusione o rivestimento di Nylon 66 (-)

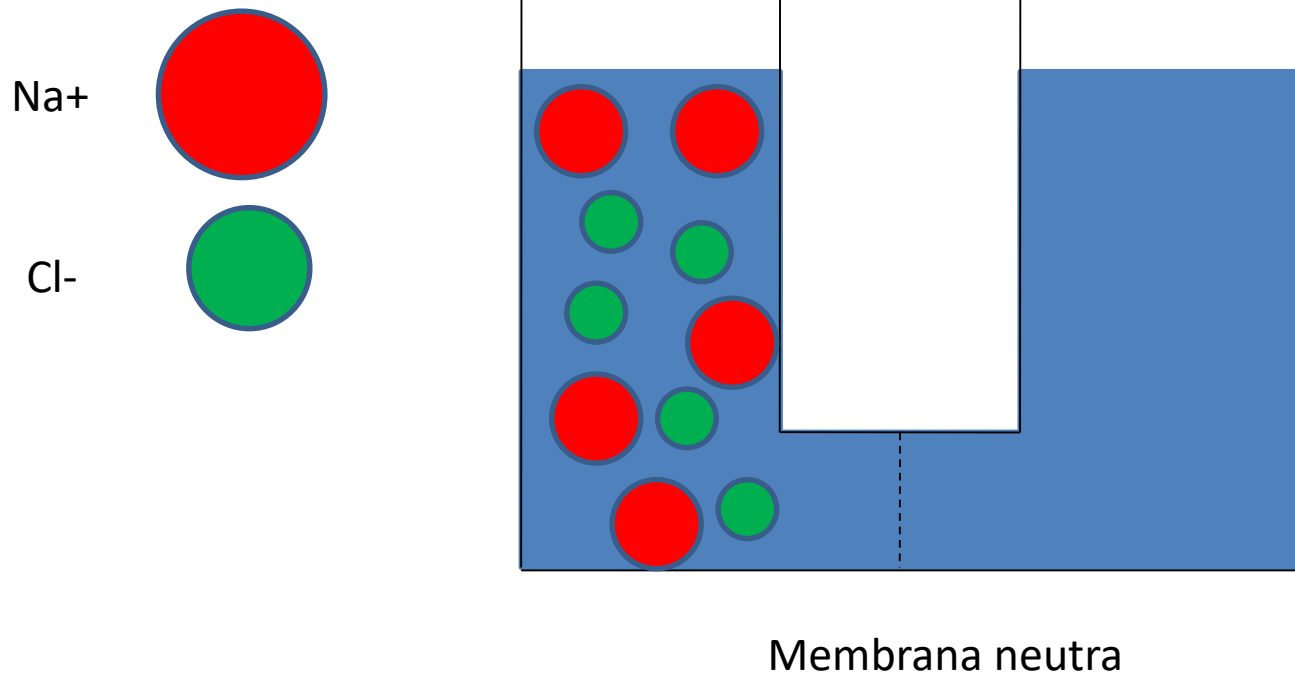
DIMENSIONI DEI PORI DIFFERENTI



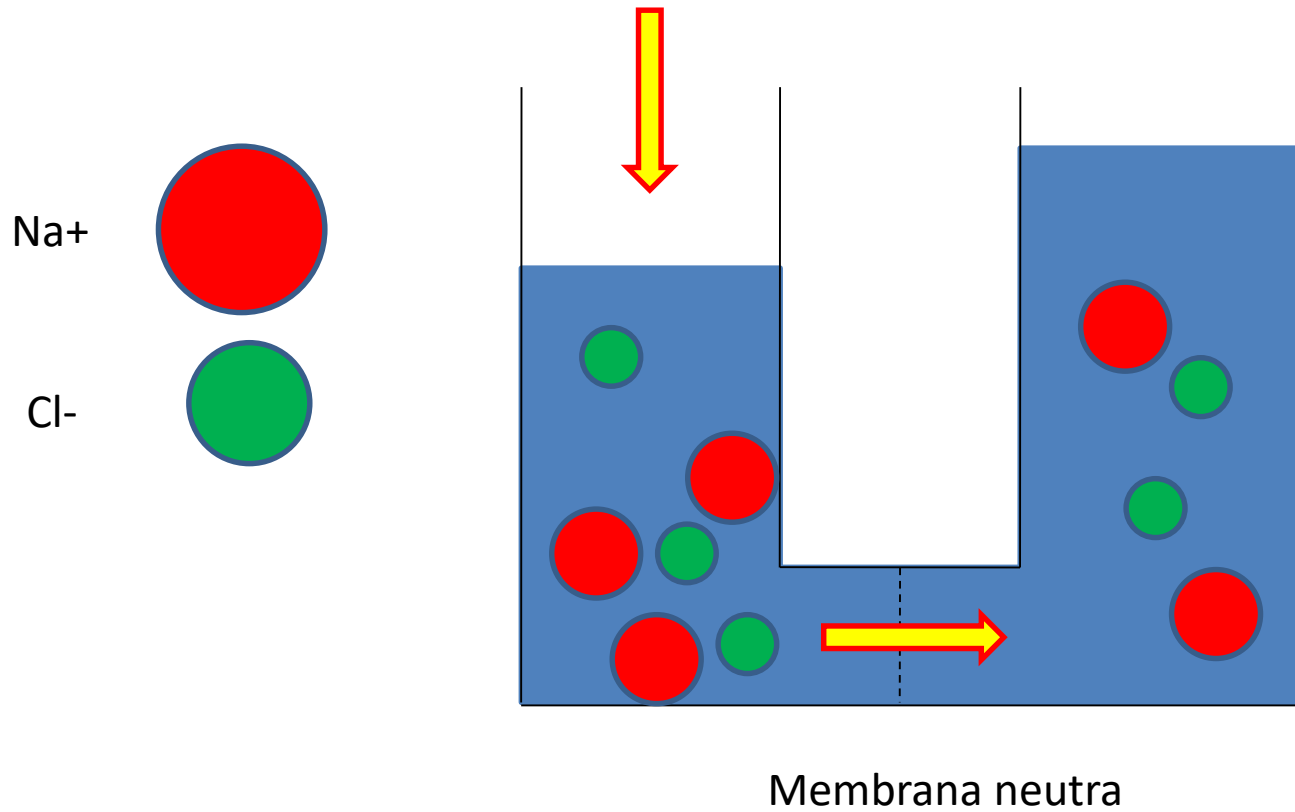
Au NP



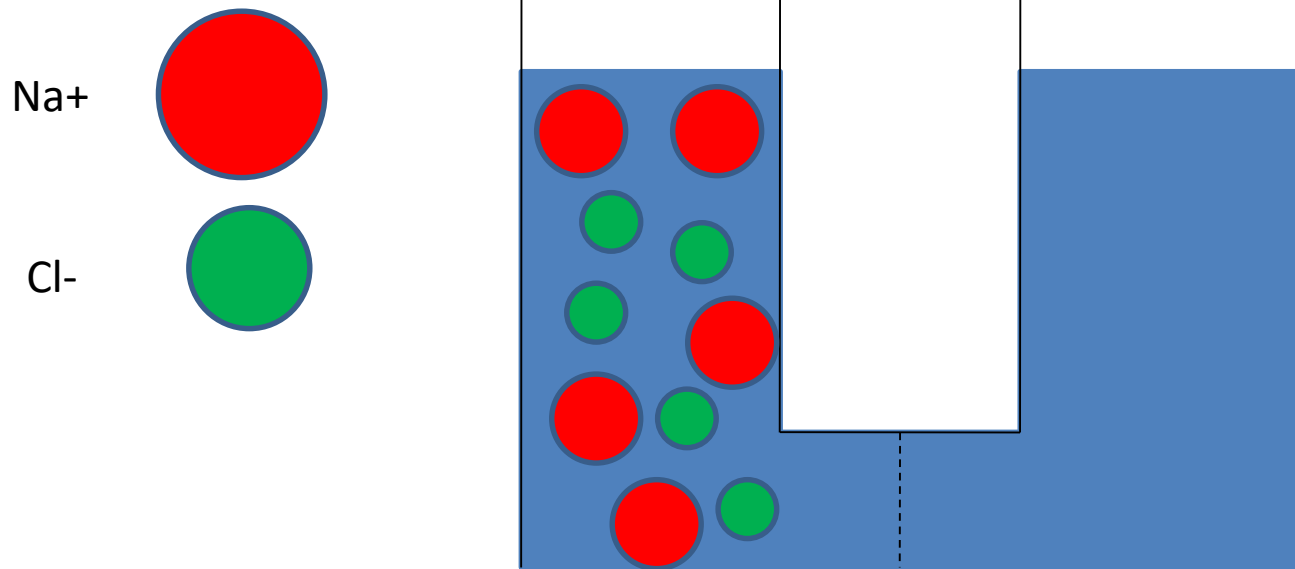
EFFETTO DONNAN



EFFETTO DONNAN

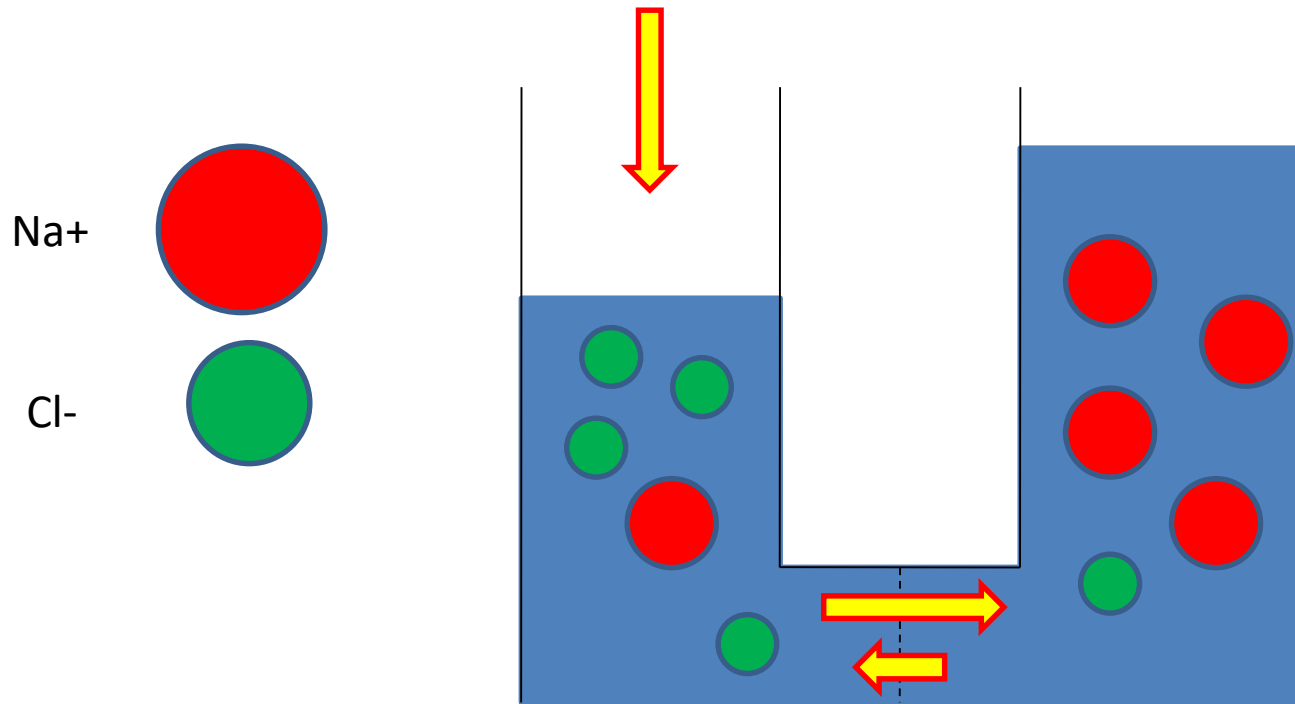


EFFETTO DONNAN



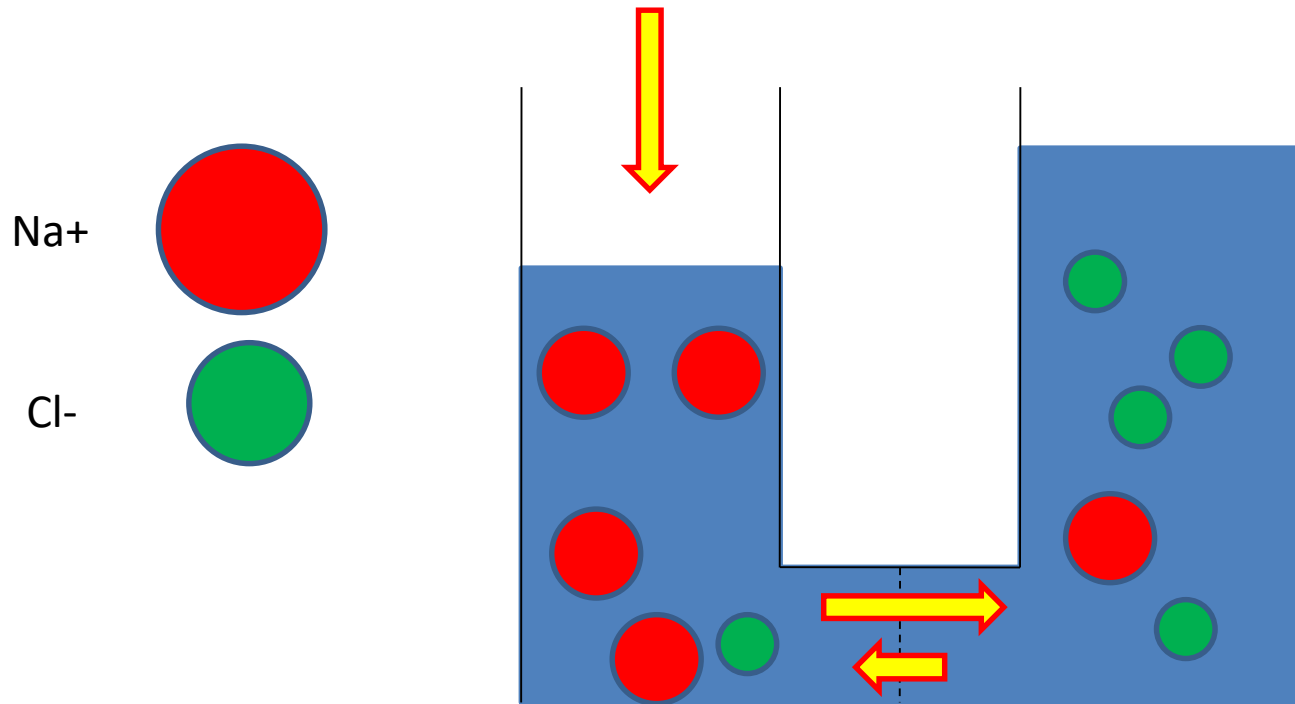
Membrana cationica
caricata
negativamente

EFFETTO DONNAN



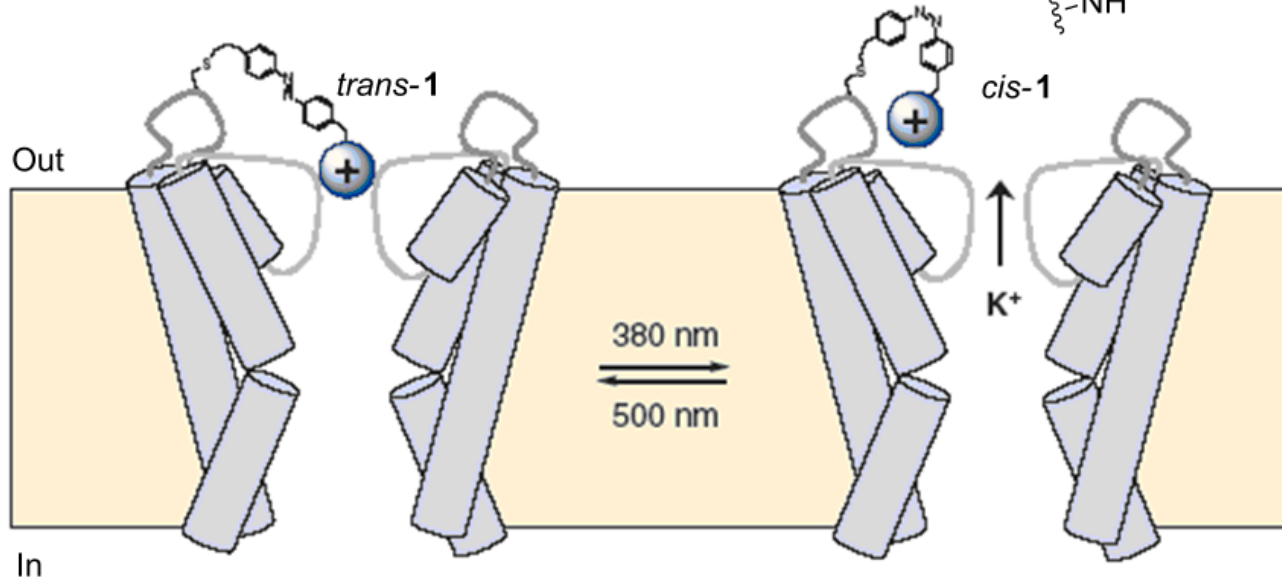
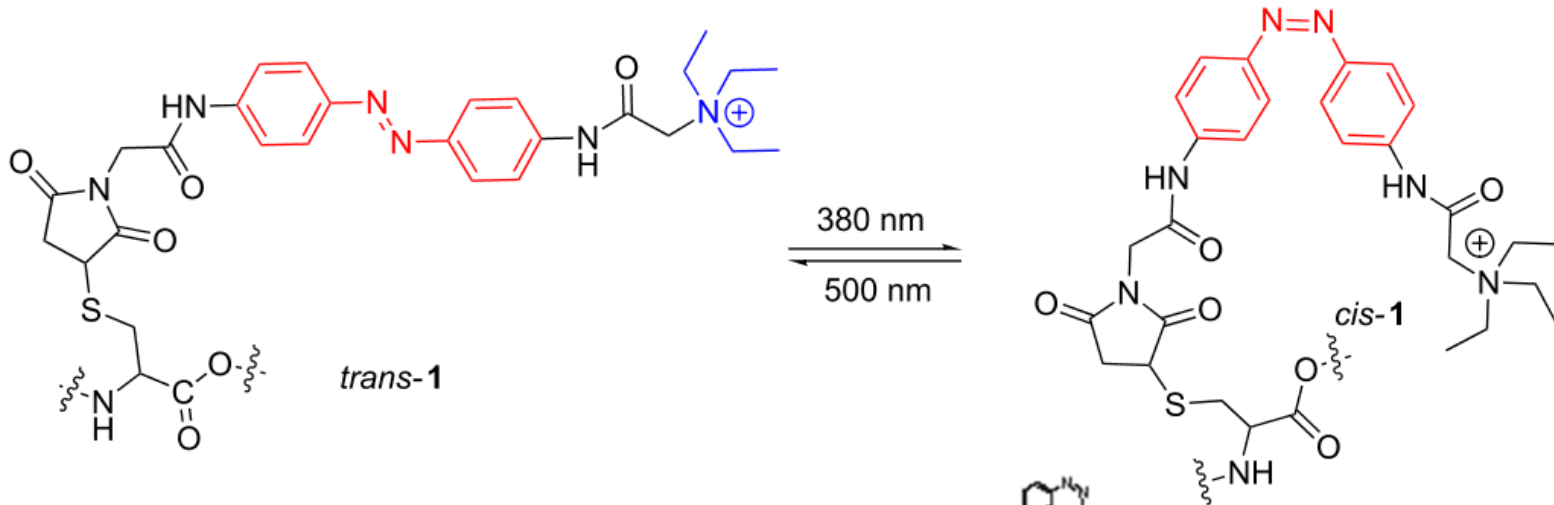
Membrana cationica
caricata
negativamente

EFFETTO DONNAN

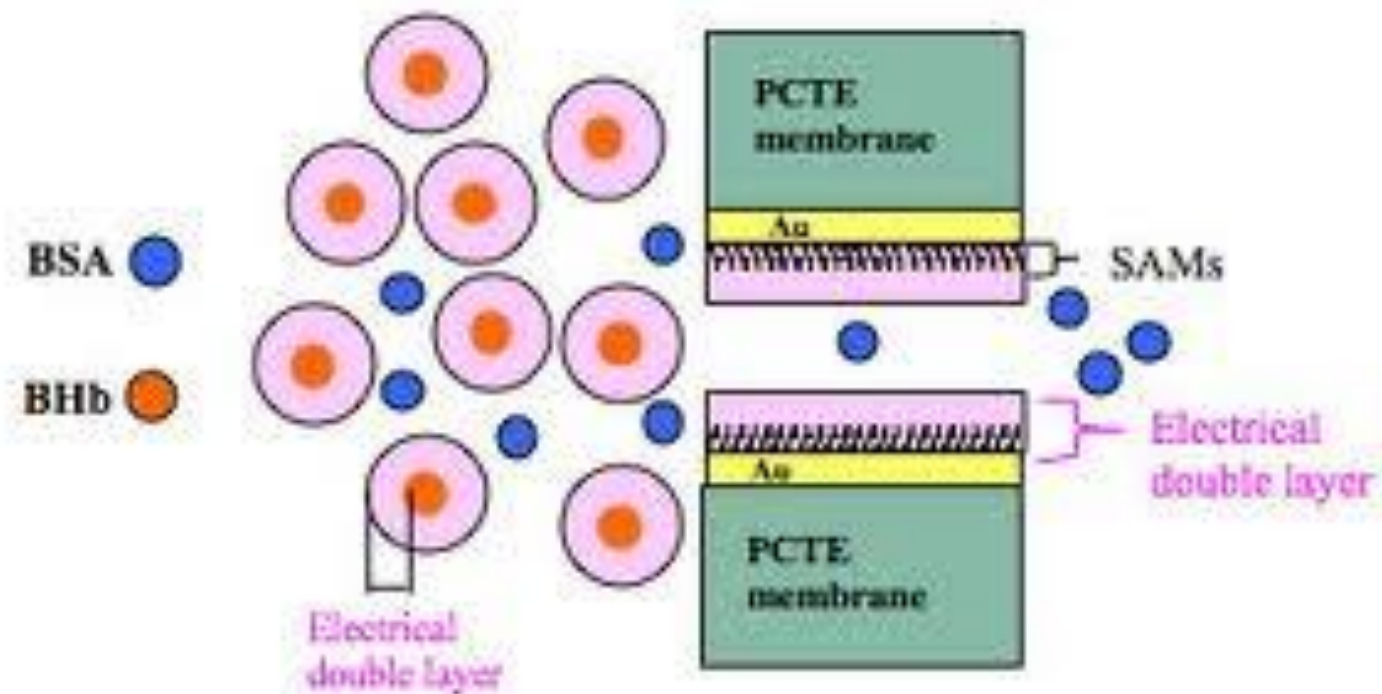


Membrana anionica
caricata positivamente

SELETTIVITA' DI IONI

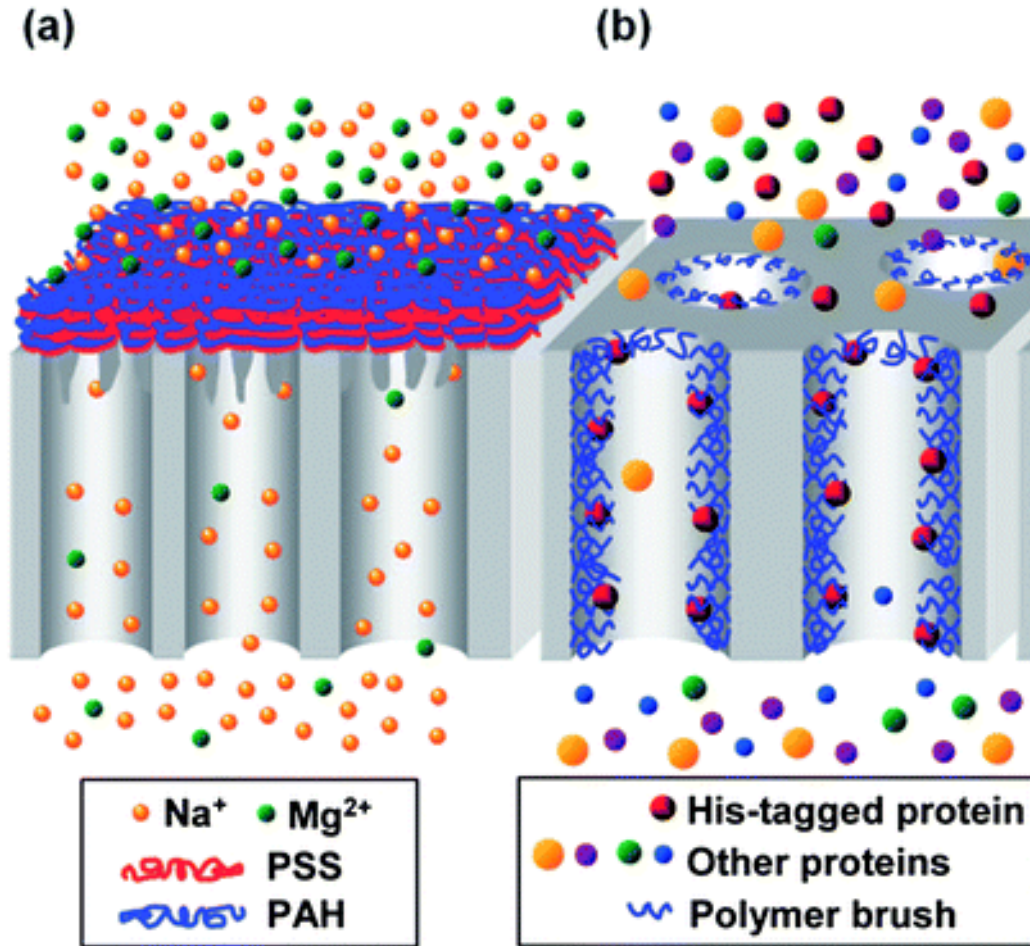


SELETTIVITA' DI SPECIE



Mixture of BHb and BSA at pI of BSA

SELETTIVITA' DI SPECIE (2)



FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- **Riduzione del fouling.**

- **Membrane idrofile o idrofobe**

- PEGMA su PVDF per effetto idrofobo

- Tensioattivi per proprietà idrofile

- **Micro- and nanosieves**

- **Membrane magnetiche**

- Campi magnetici inducono superfici in movimento

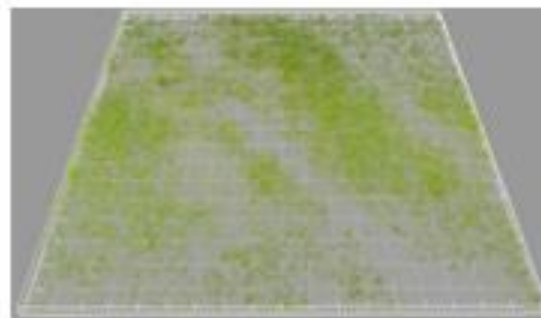
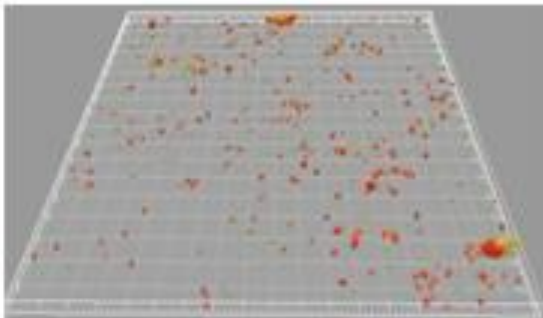
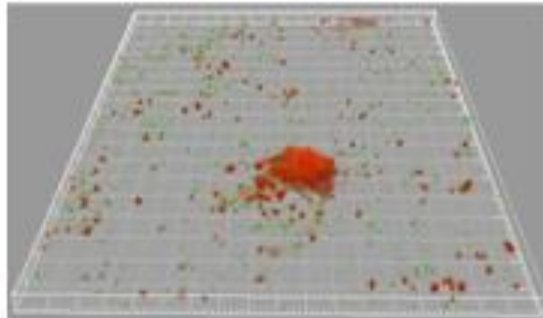
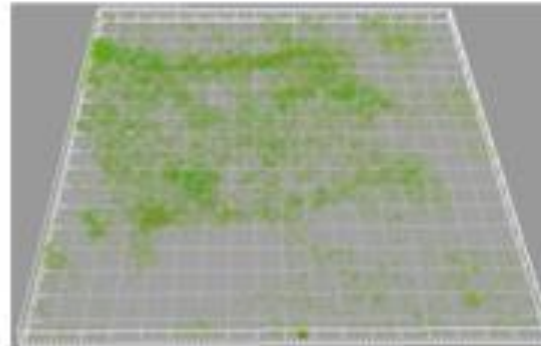
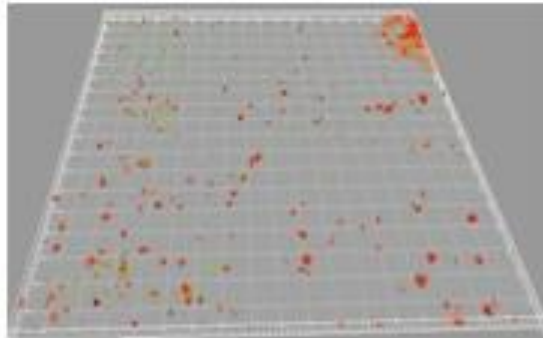
- **Riduzione del biofouling**

- Inclusione di nanochitina, nanochitosano o Ag

FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

With 5% chitin

Without chitin



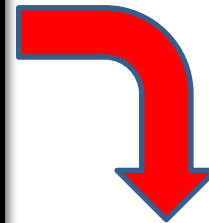
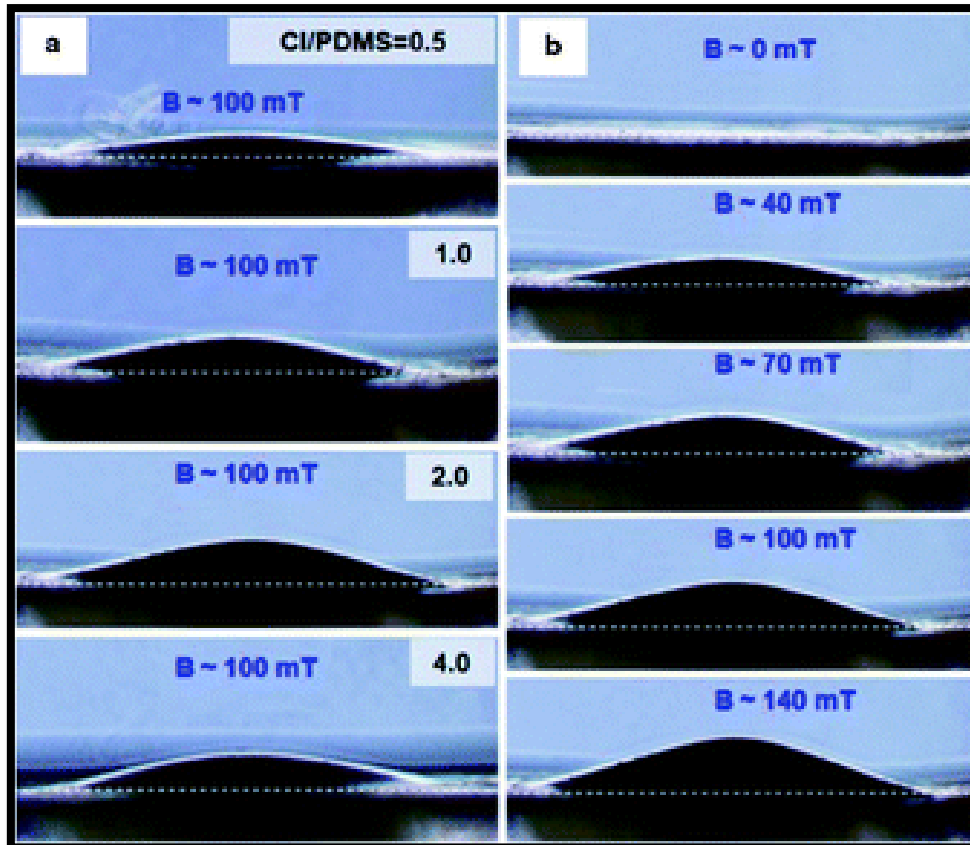
In rosso:
Batteri morti

In verde:
Batteri vivi

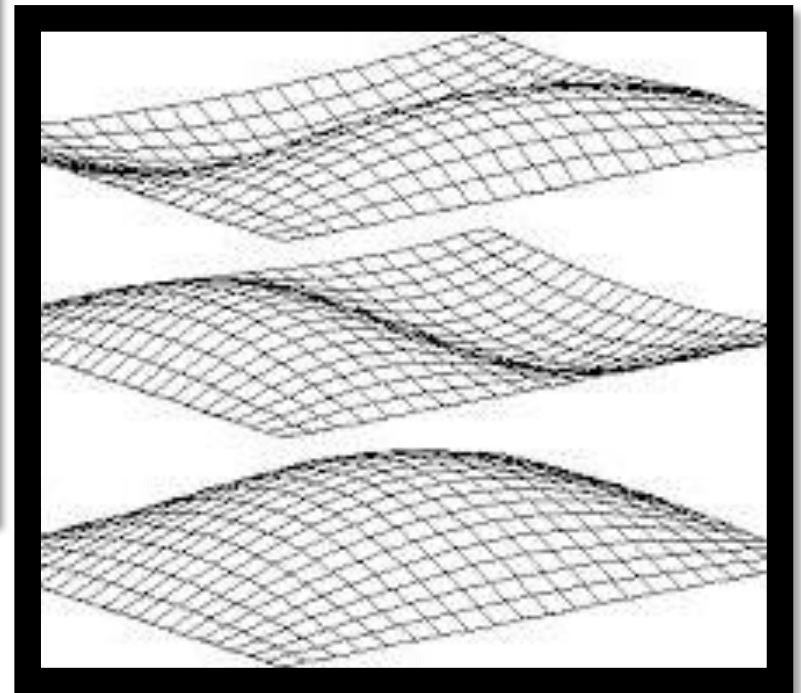
TIME



Membrane magnetiche



Variando il campo magnetico si induce una diversa forma della superficie della membrana



FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

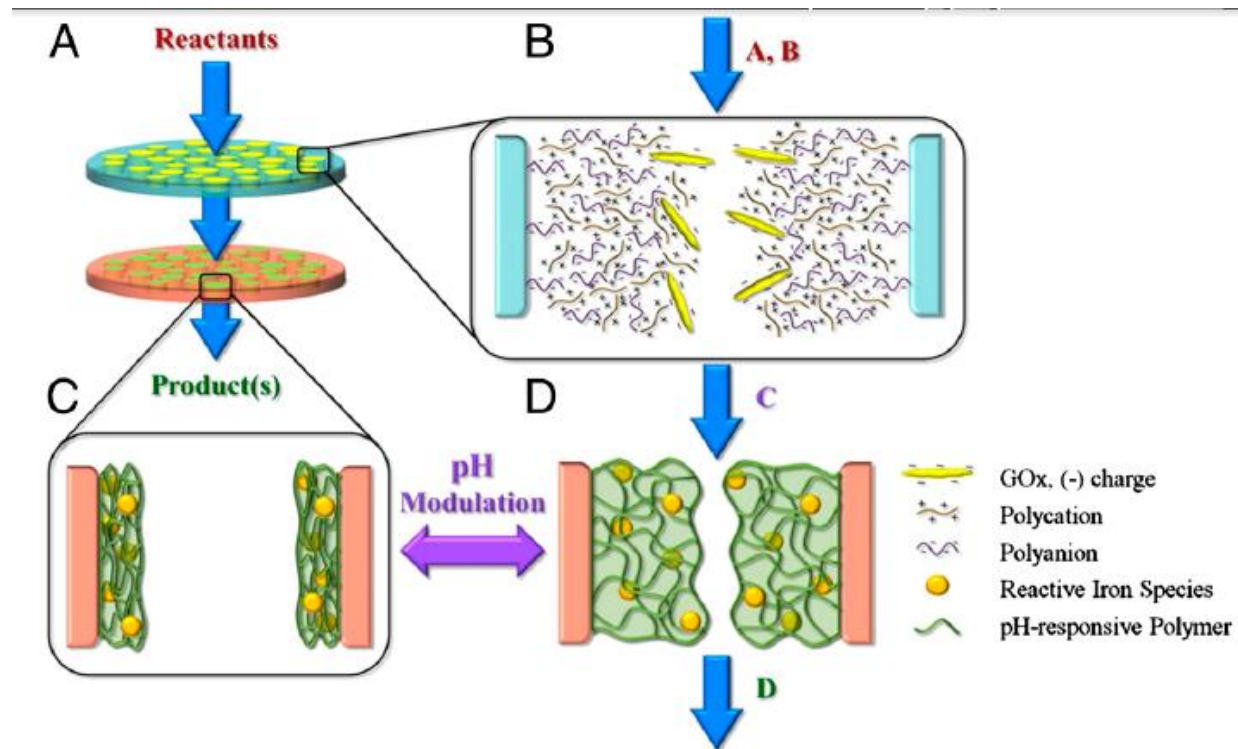
- **Interazione di tipo avanzato.**

→ Membrane reattive (chimiche, enzimatiche, ecc.)

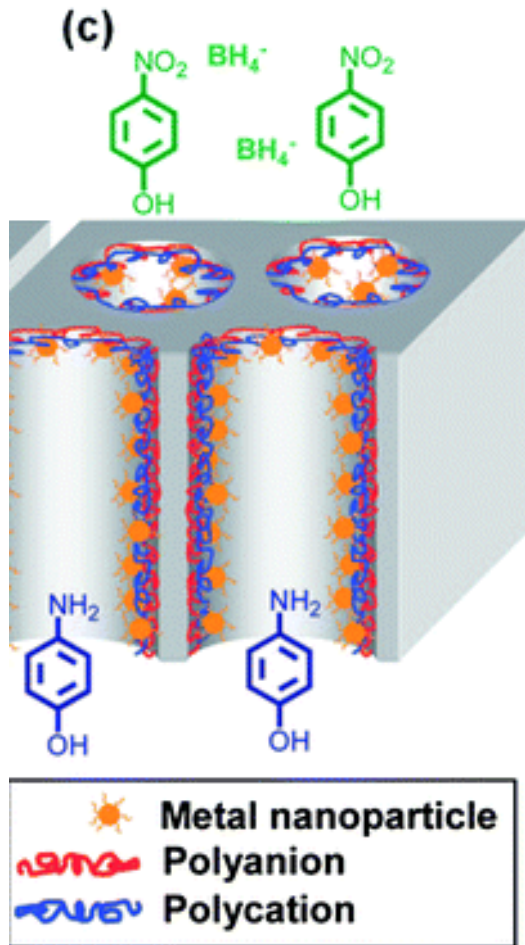
→ Membrane reactors (statico, dinamico)

MEMBRANA REATTIVA

Due reagenti A e B sono sulla prima membrana, dove gli enzimi sono stati immobilizzati e formano un prodotto C. La conversione finale al prodotto D è data da ioni di ferro immobilizzati nella seconda membrana, all'interno di una matrice polimerica. La conversione da C a D dà luogo a un cambiamento di pH, che influenzano l'apertura del poro e garantiscono la completezza della reazione.



MEMBRANA REATTIVA (2)



Au NP nei pori catalizzano la reazione

FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- **Membrane con caratteristiche innovative.**

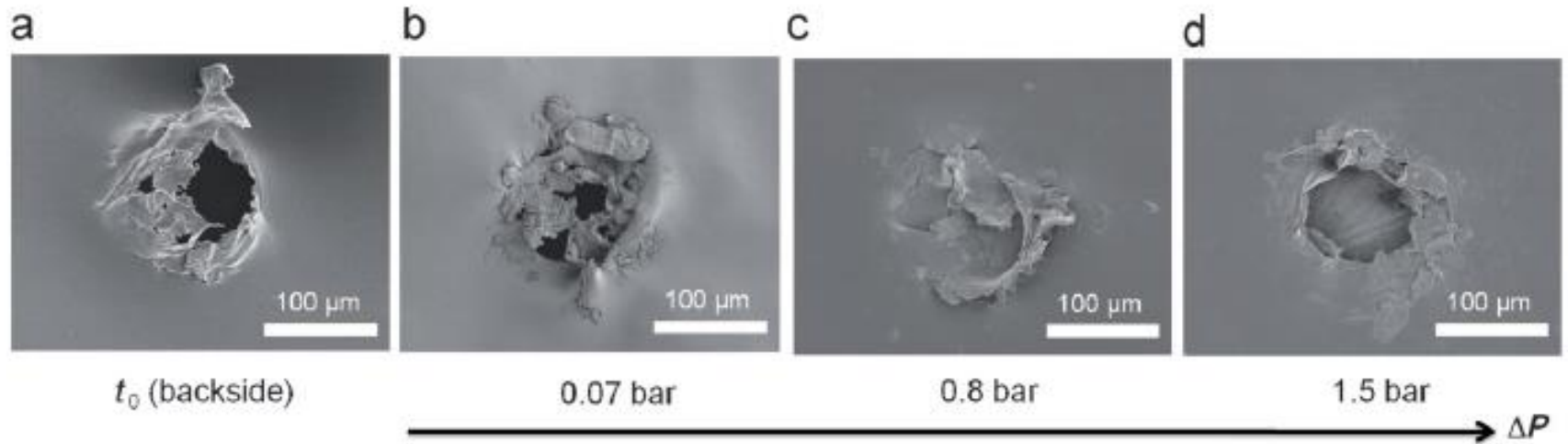
- **Membrane auto curative**

- Le NP inglobate migrano nella matrice al punto di rottura della superficie, chiudendo la ferita.

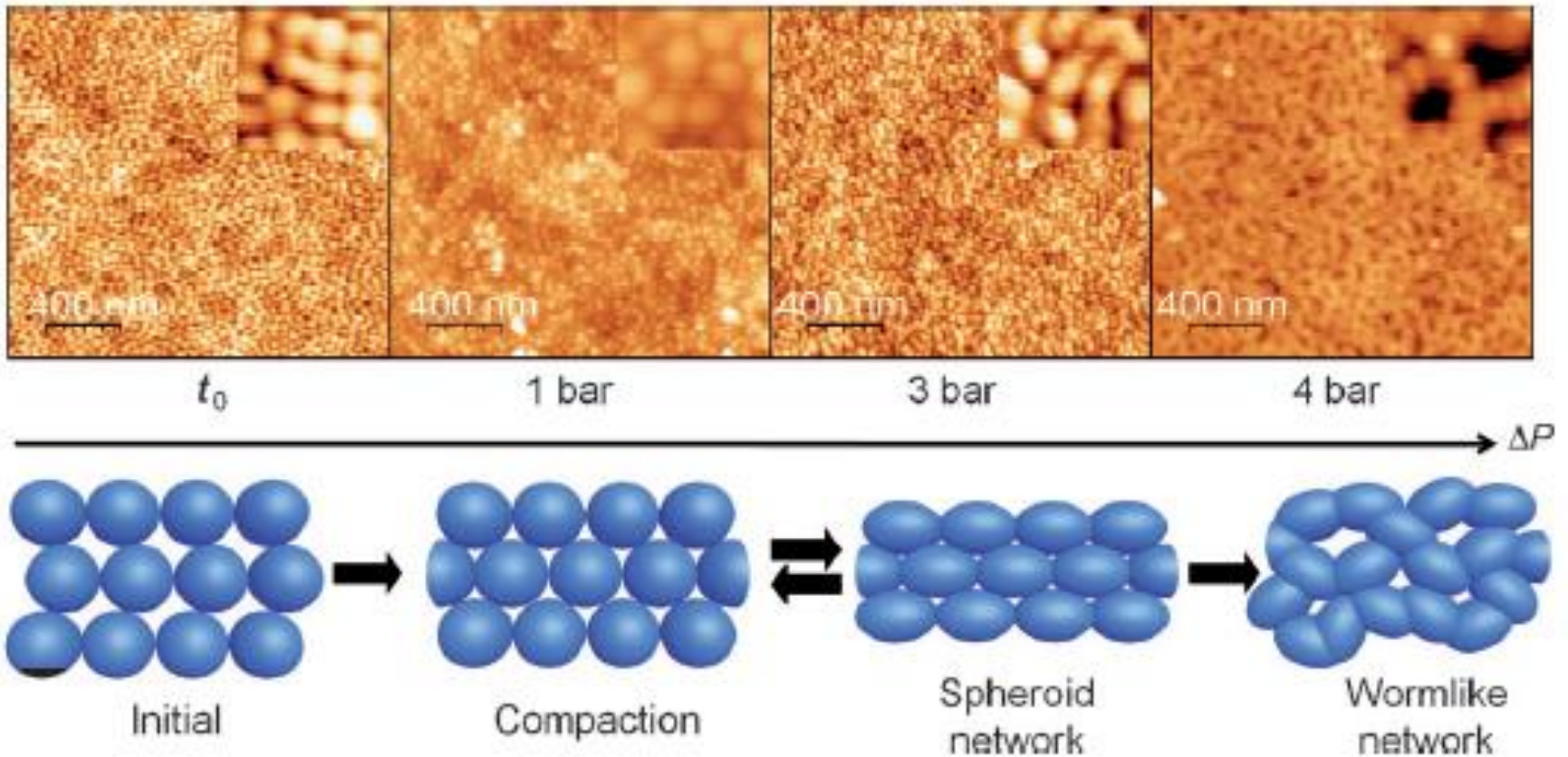
- **Membrane dinamiche**

- Variando la TMP e altre condizioni operative, le NP si distribuiscono diversamente nella matrice, aprendo o chiudendo maggiormente la porosità della membrana.

MEMBRANA AUTO CURATIVA



MEMBRANA DINAMICA



FUNZIONALIZZAZIONE DI MEMBRANE

- **Caratteristiche innovative.**

- **Membrane pelose**

- nanotubi di carbonio movimentano lo strato di polarizzazione.

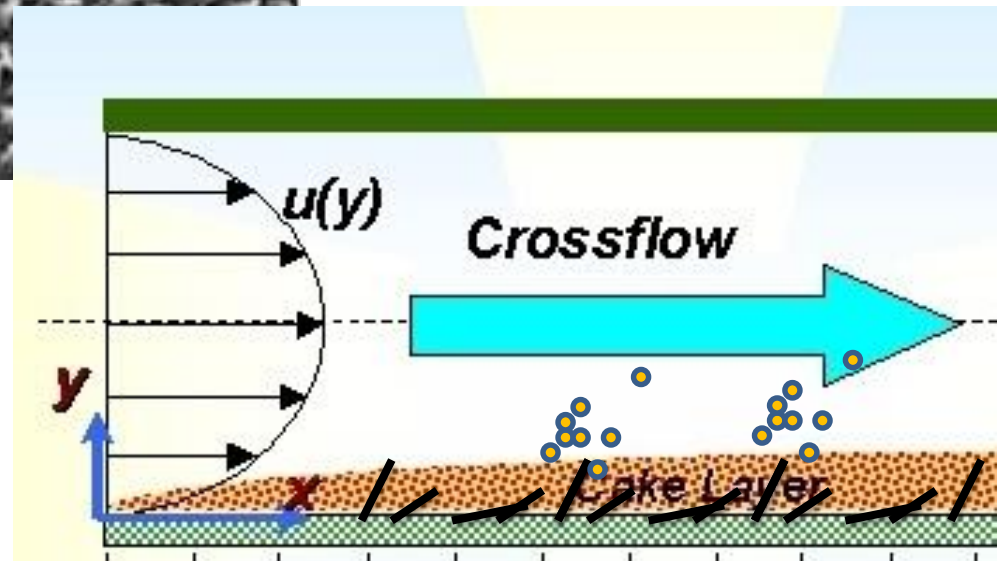
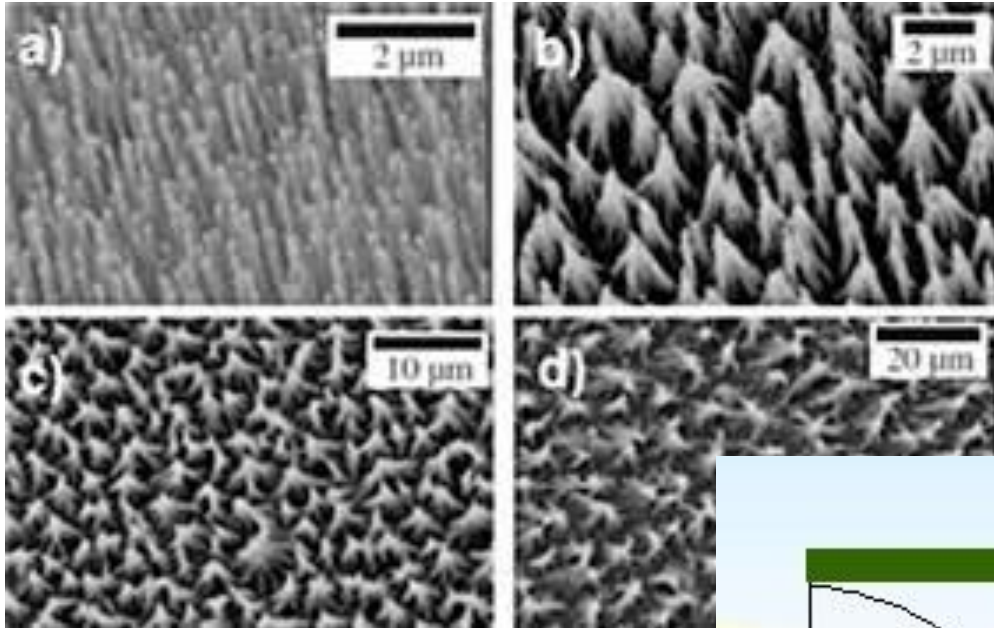
- **Nanofibrile inglobate**

- Adsorbimento enzimatico migliorato

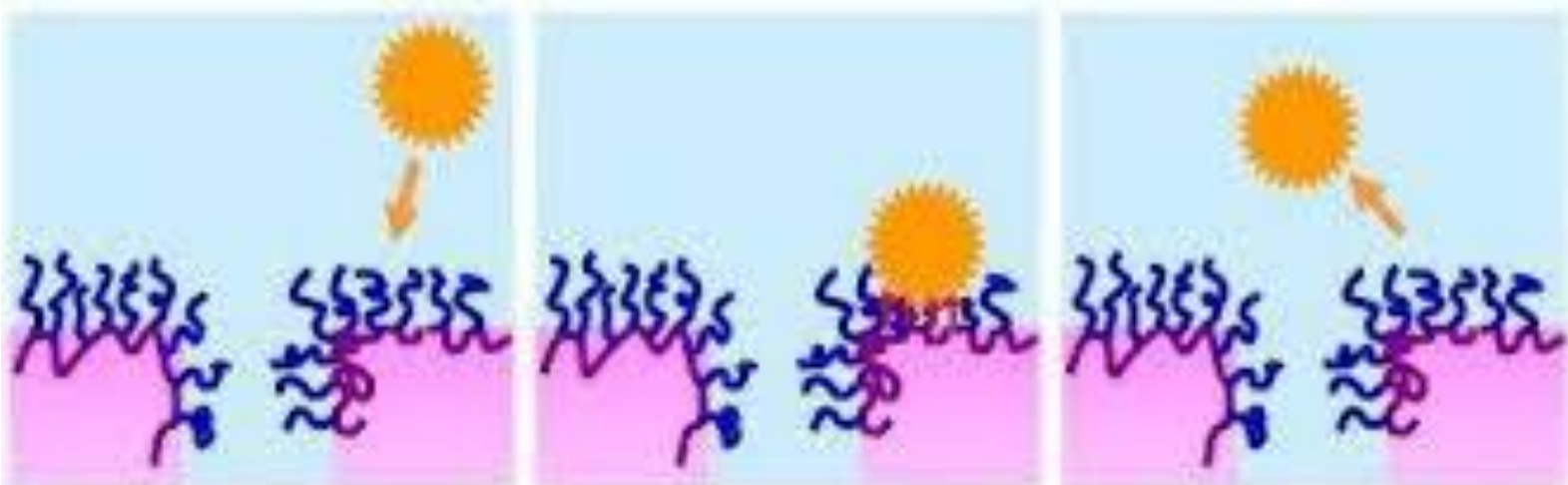
- **Pori 3D**

- Permettono il deposito di solido ai lati del poro

MEMBRANE PELOSE

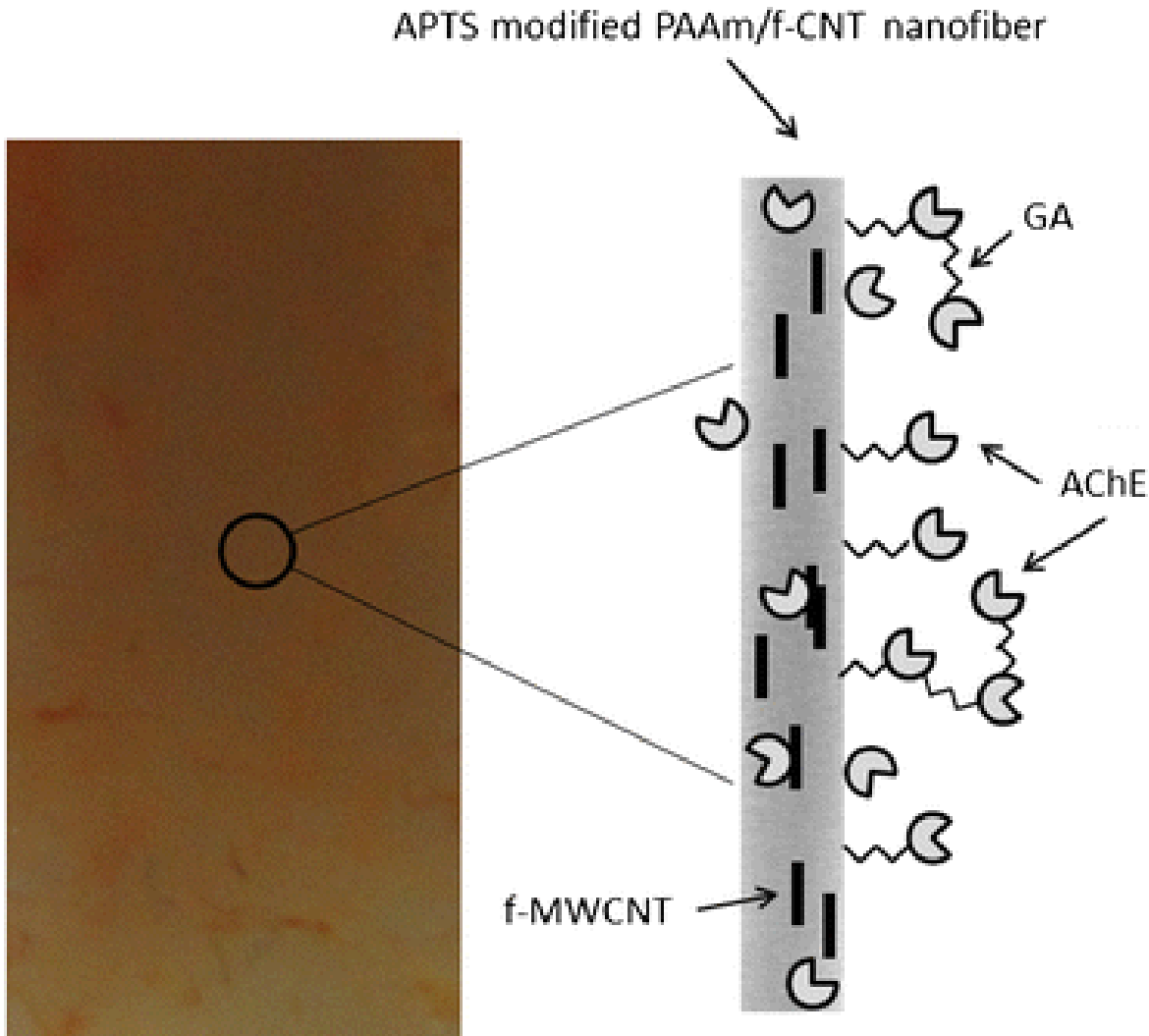


MEMBRANE PELOUSE



When the foulant (orange) approaches the brush-covered membrane surface, it compresses the PEO chains. As the chains spring back, the foulant is pushed away.

ADSORBIMENTO DI ENZIMI



La membrana a fibra cava lascia passare una soluzione acquosa contenente enzimi che sono bloccati dalle nanofibrille di carbonio incorporate nella matrice della membrana. Senza le fibre, gli enzimi passerebbero agevolmente nel flusso permeato.

PORI 3D

