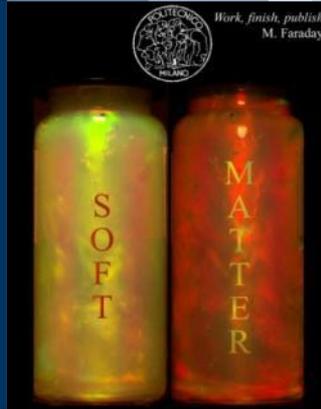




Roma incontra la scienza
6 giugno 2012

 POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di
Chimica, Materiali e
Ingegneria Chimica
"Giulio Natta"



SOFT MATTER

La materia dei sogni

Roberto Piazza



Premessa: che c'entrano i sogni?

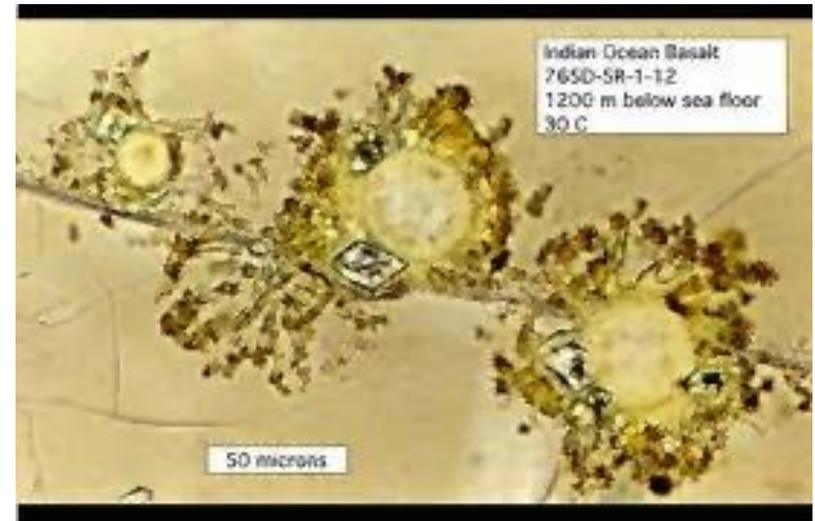
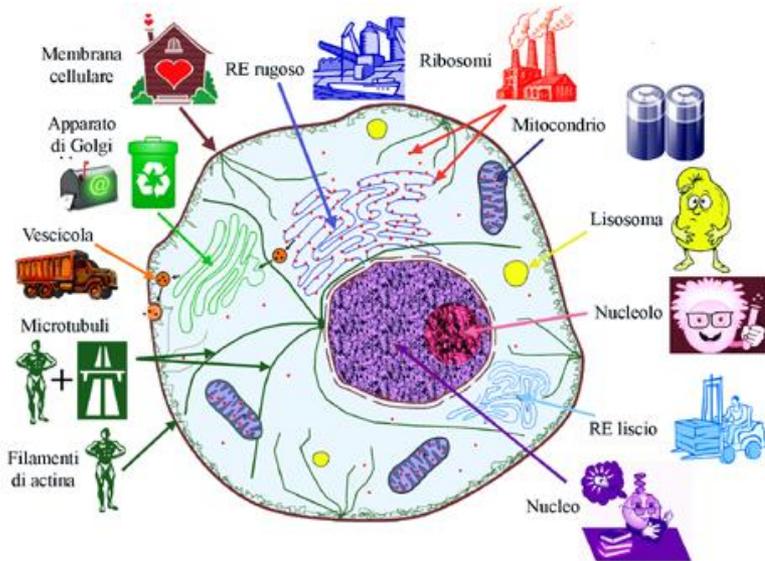


W. Shakespeare, La Tempesta

*Noi siamo fatti della stessa materia dei sogni
e da un sogno è coronata la nostra breve vita*

Prospero, atto IV, scena I

MA DI CHE COSA SIAMO FATTI, IN REALTÀ?





SETTORI APPLICATIVI

PRIMARI

- Agricolo
- Estrattivo e petrolifero
- Chimico
- Costruzioni
- Energia
- “CONSUMI”
- Alimentari
- Sanita
- Cosmesi
- Tessile

AMBIENTALI

- Geologico
- Sicurezza
- Utile
- Gestione dei rifiuti

NATURALI

- Restauro

NUOVE TECNOLOGIE

- Farmaceutico
- Bioteologie
- Fotonica
- Nanotecnologie

UN MERCATO DA MILIONI DI MILIONI DI \$!





Ma che cosa c'è di tanto speciale in questi materiali?

New Orleans (XIX secolo)



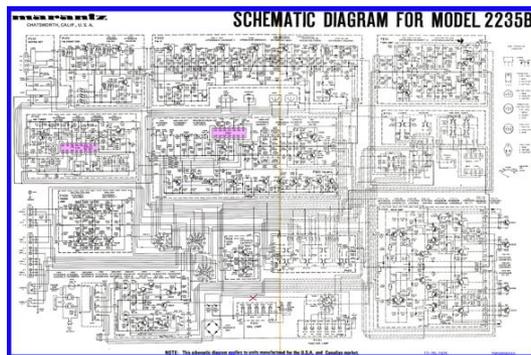
Prefabbricato in legno (oggi)



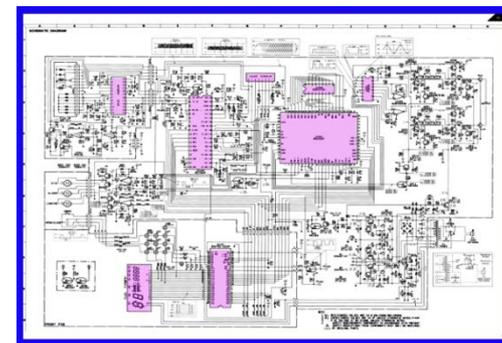
Il segreto:
“prefabbricare”



Amplificatore Marantz (anni '70)



Amplificatore Hi-Fi (oggi)



Ossia:
costruire
“a blocchi”

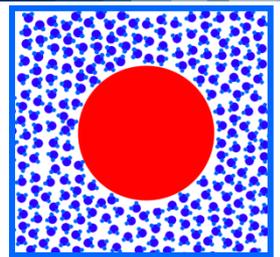


I *nostri* “blocchi” saranno grandi rispetto alle molecole ma ancora così piccoli da essere invisibili ai nostri occhi. Ossia partiamo per:
UN VIAGGIO NELLA “TERRA DI MEZZO” TRA LE MOLECOLE E L’UOMO

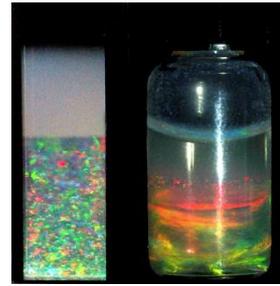
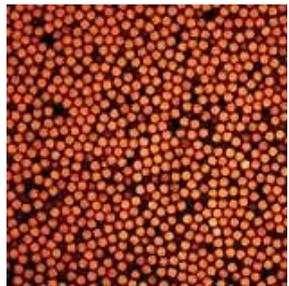


I PERSONAGGI DELLA "TERRA DI MEZZO"

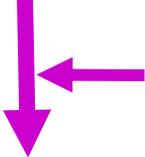
(in ordine di apparizione)



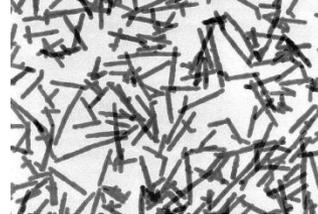
SFERE



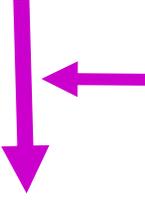
FORMA PIÙ COMPLESSA



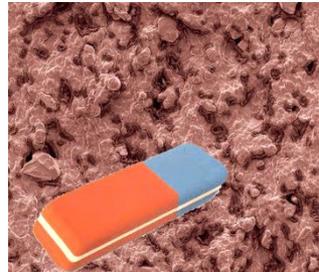
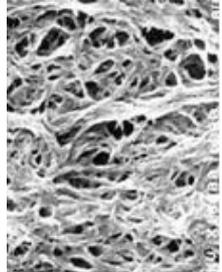
BACCHETTE



FLESSIBILITÀ



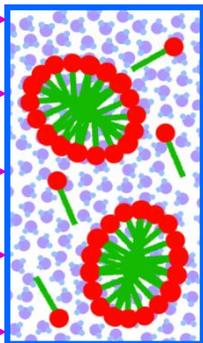
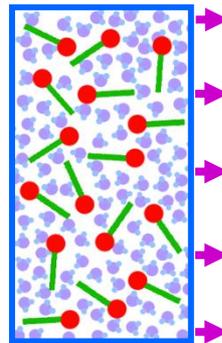
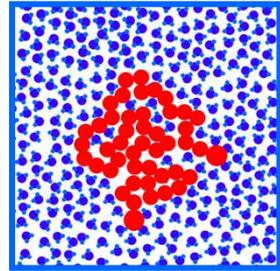
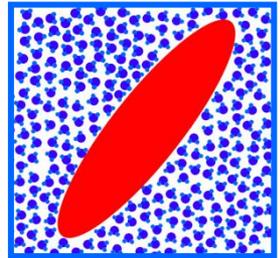
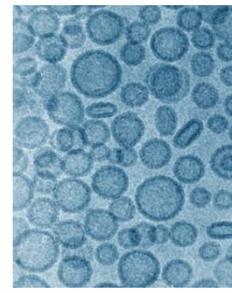
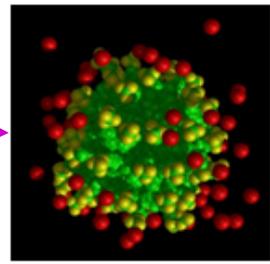
CATENE



"AUTOASSEMBLAGGIO"

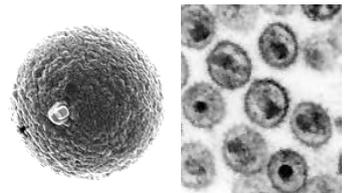


AGGREGATI SPONTANEI

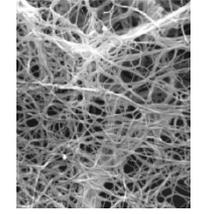
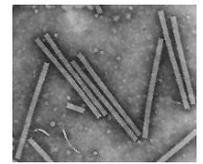


COLLOIDI

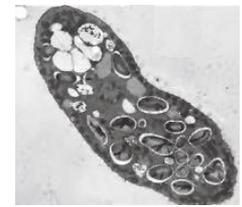
VITA:
IL RAVE PARTY
DELLA
MATERIA SOFFICE



POLIMERI



TENSIOATTIVI





*Il mondo dei fisici teorici,
dove tutte le mucche...*

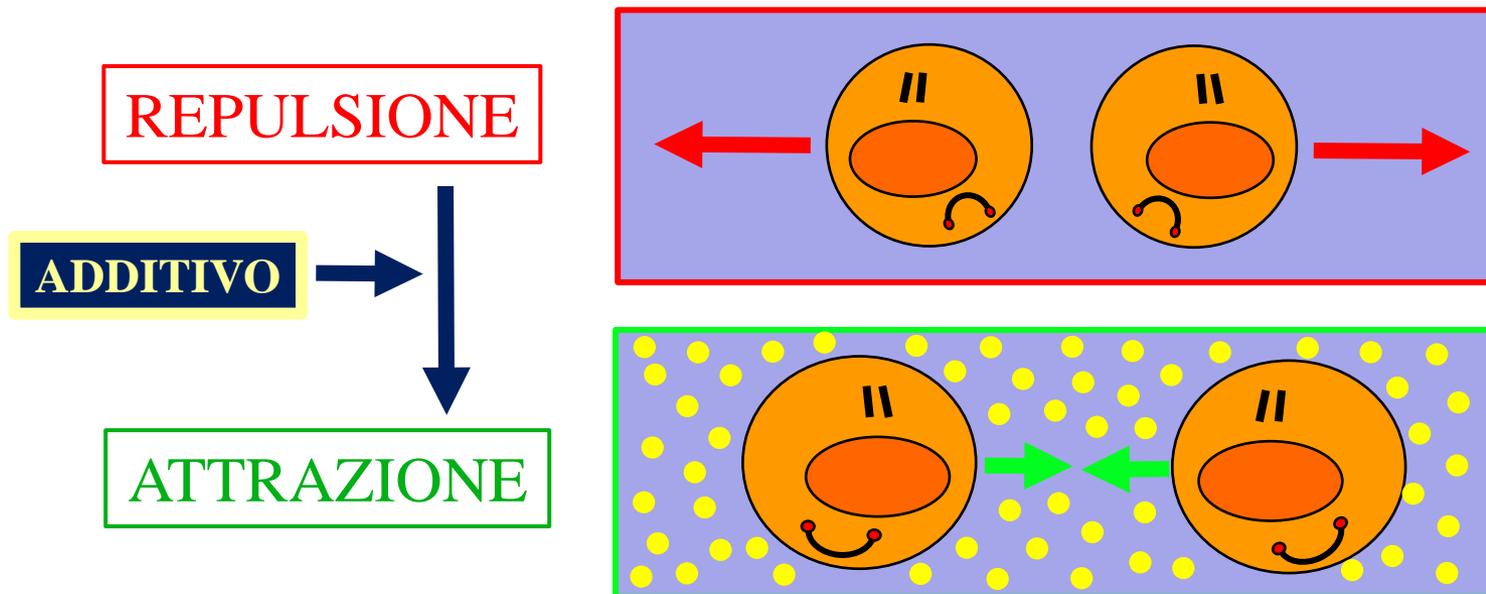


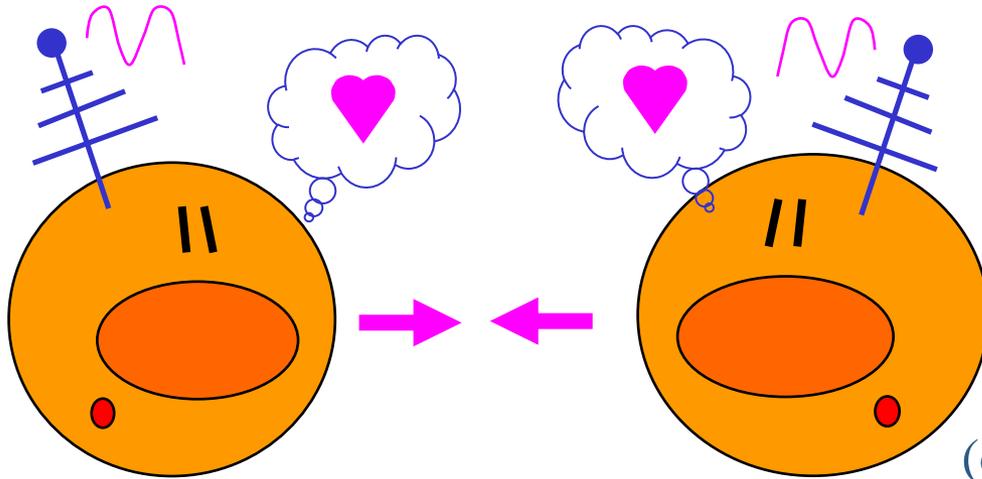
*...sono **SFERICHE!***



MOLTO PIÙ CHE “METTERE INSIEME I PEZZI”!

- Per costruire un materiale a partire da molecole semplici, sfruttiamo le forze che tra esse agiscono. Ma queste forze *sono quelle che sono*, stabilite da sempre e per sempre dalla Natura. Non possiamo far altro che inventarci nuove molecole “inusuali”.
- Con i personaggi della “Terra di Mezzo” siamo *noi* a decidere quali e quanto intense siano le forze che agiscono tra di esse, modificando il solvente in cui sono disperse. Insomma, abbiamo la *chance* di operare come “piccoli demiurghi”.





Origini: in realtà molto profonde e curiosamente legate alle natura del “vuoto quantistico”.
Ma in pratica è come dire...

“Mogli e buoi dei paesi tuoi”

(ossia, una particella può anche amare il solvente, ma preferisce sempre i suoi simili)

SONO ALL'ORIGINE DELLE **FORZE DI ATTRITO**, GRAZIE ALLE QUALI...

...Camminiamo
(se ci sono)



...Scivoliamo
(se *non* ci sono)

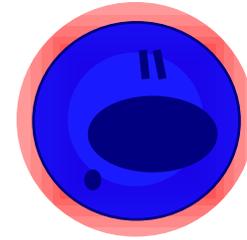
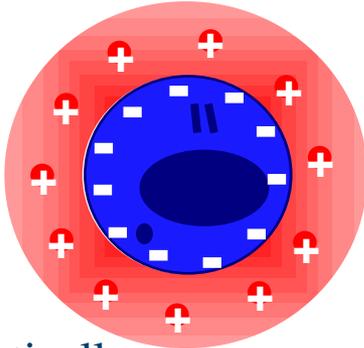


...Costruivamo le piramidi!
(quando non c'era il cemento)



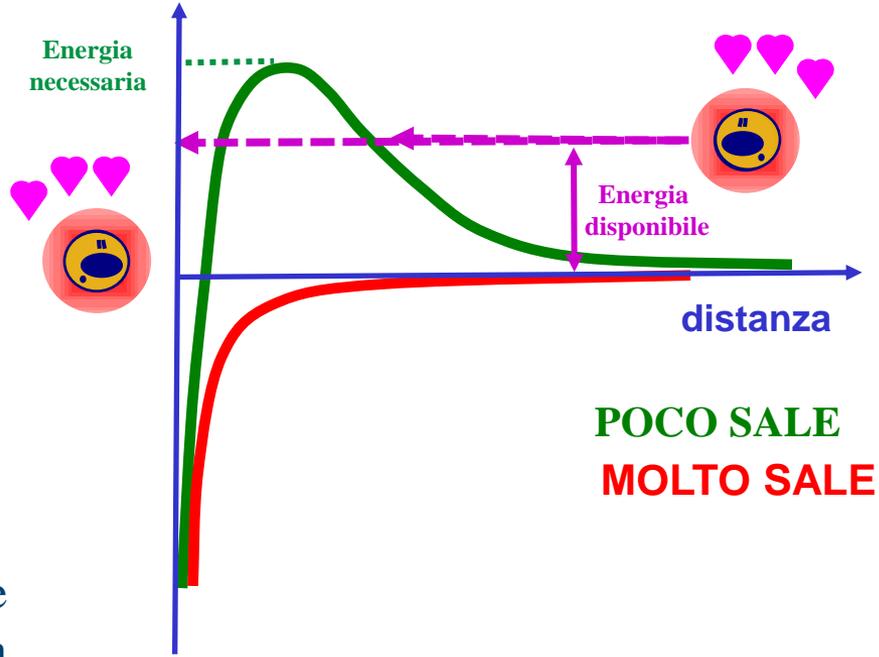
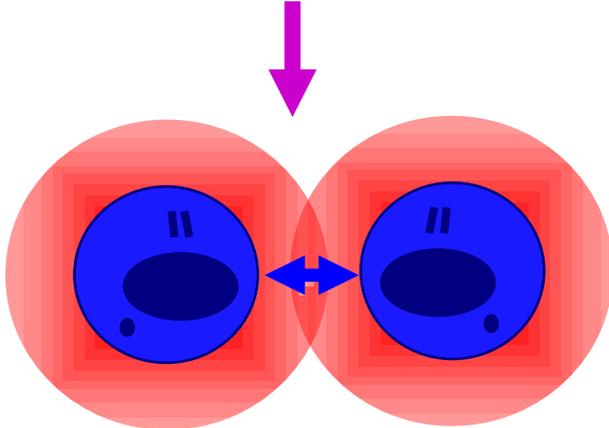


Repulsione provvidenziale: le forze elettrostatiche

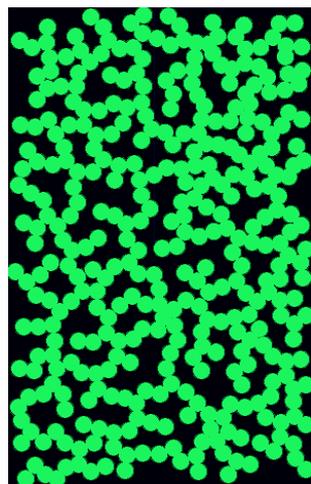
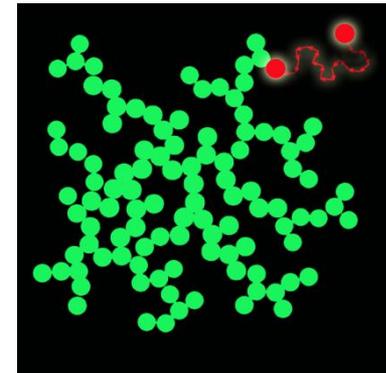
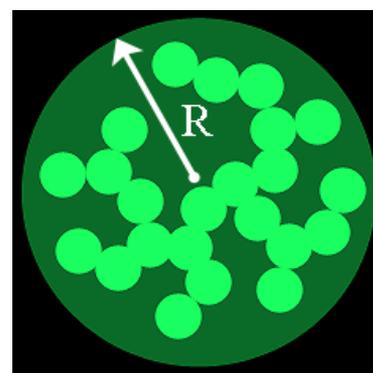
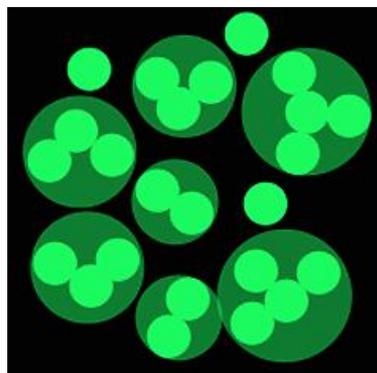
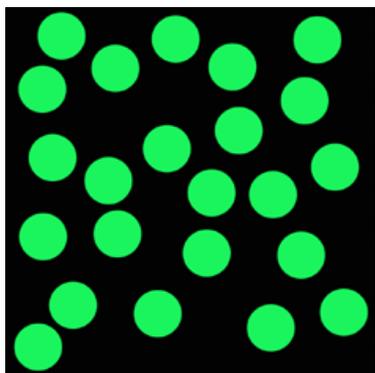


Le particelle sono spesso cariche, e rilasciano piccoli ioni di segno contrario formano attorno ad esse una “nuvoletta”.

Ma se aggiungiamo un sale, la nuvoletta... s’ammoscia!



Quando le particelle si avvicinano abbastanza, le “nuvolette devono sovrapporsi. Ma hanno carica dello stesso segno, quindi devono respingersi.



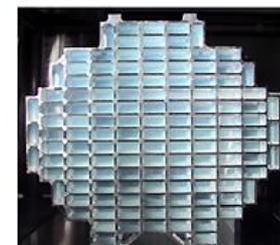
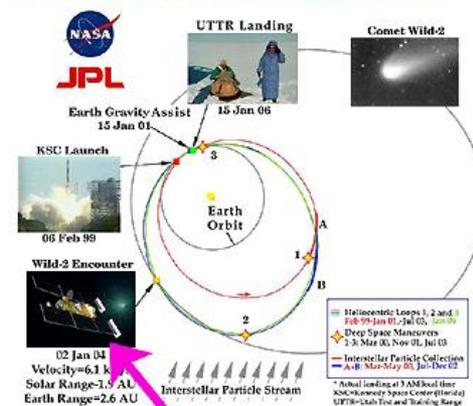
ELIMINANDO
IL SOLVENTE...



AEROGEL



STARDUST MISSION

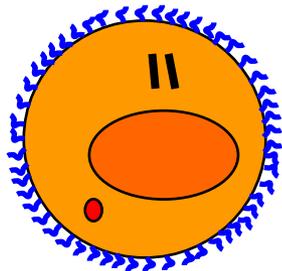


IDROGEL

(fatto quasi tutto di
solvente, ma **solido!**)



“PALLE DA BILIARDO” E “CRISTALLI COLLOIDALI”



Palline di plexiglass con un diametro di circa 0,6 micron, non cariche, ma “protette” contro le forze di van der Waals da uno strato di “peluzzi”

(P. Pusey e W. Van Megen, 1986)



Le sfere occupano il 40% del volume totale



Le sfere occupano il 55% del volume totale

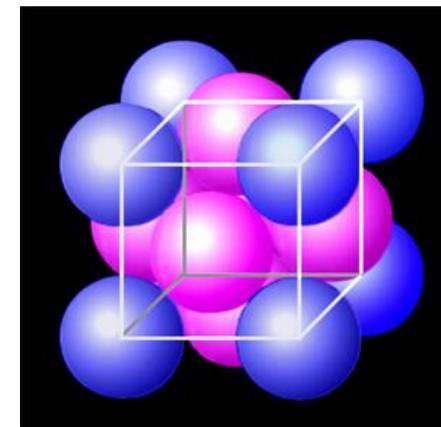
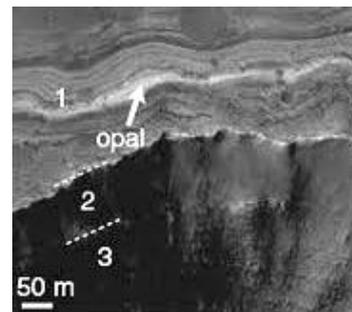
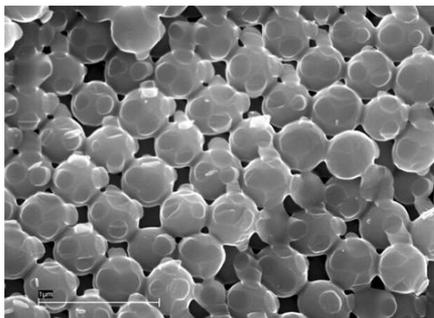
PERCHÉ I COLORI?



Diffrazione di Bragg

cristalli atomici → Raggi X
cristalli colloidali → luce visibile

IN REALTÀ, MAMMA NATURA CI AVEVA GIÀ PENSATO...





I conti con una delle peggiori “parolacce” della fisica

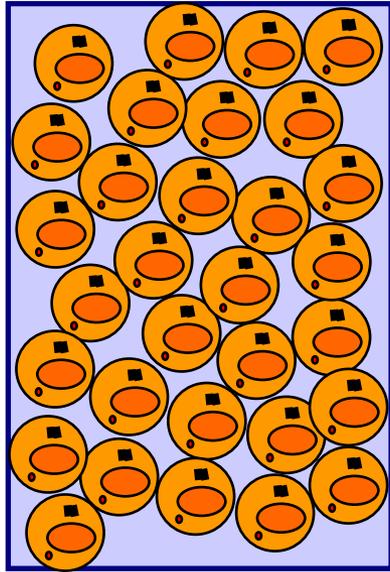
12

- Le particelle si “ordinano” spontaneamente in un cristallo
- A scuola mi hanno insegnato che, quando qualcosa avviene “spontaneamente”, deve crescere una cosa che si chiama “entropia” ...
- ... e che l’entropia è sinonimo di disordine

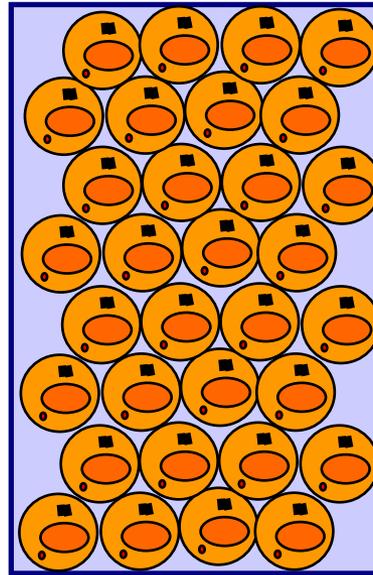
COME LA METTIAMO CON L’ENTROPIA?

CHIEDILO AL TUO ORTOLANO!





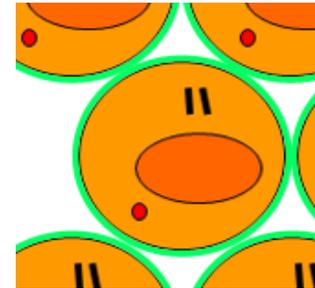
Max impaccamento **disordinato**:
(circa) **64%** del volume



Max impaccamento **ordinato**:
74% del volume

SE ABBIAMO IMPACCATO IL 64% DEL VOLUME IN MODO:

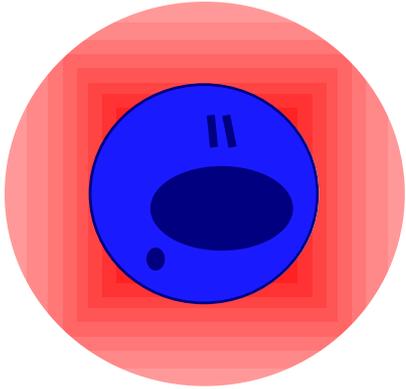
- **DISORDINATO** ciascuna arancia è “bloccata” nella sua posizione;
- **ORDINATO**, un’arancia ha ancora una qualche libertà di movimento (circa il 5% del suo raggio)



~~ENTROPIA “DISORDINE”~~

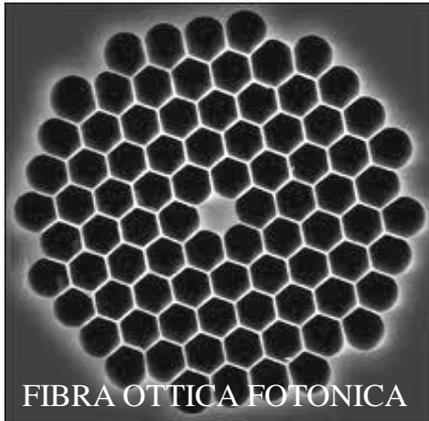
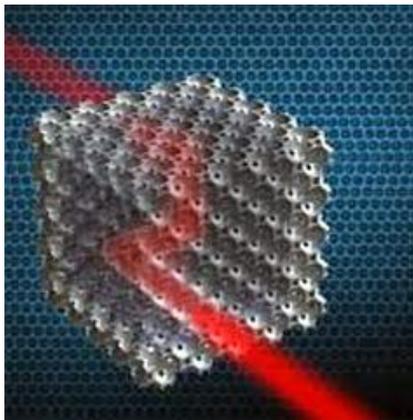
ENTROPIA = “LIBERTÀ” (di movimento)

... TANTO MEGLIO!

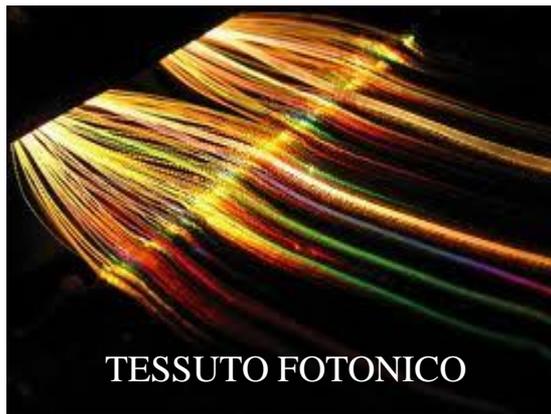


UN FUTURO PER I CRISTALLI COLLOIDALI: I CRISTALLI FOTONICI

Il grande sogno:
controllare
la luce in 3D



FIBRA OTTICA FOTONICA



TESSUTO FOTONICO

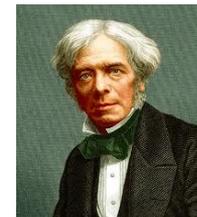


la "scighera"

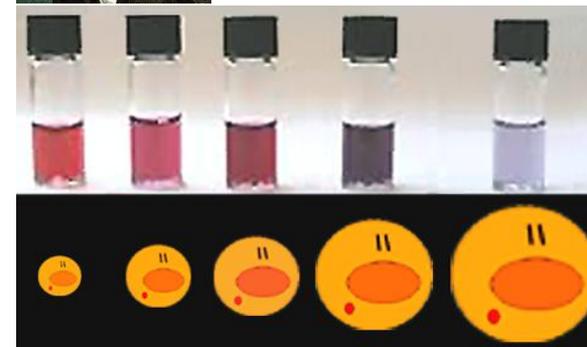


*E tanto le macina, quanto hai
sofferenza di poter macinare,
ché mai non possono essere
troppo; ché quanto più le macini,
più perfetta tinta viene...*

Cennino Cennini,
Libro dell'Arte



Michael Faraday
e i colori dell'oro



arcobaleno



gloria



Manila



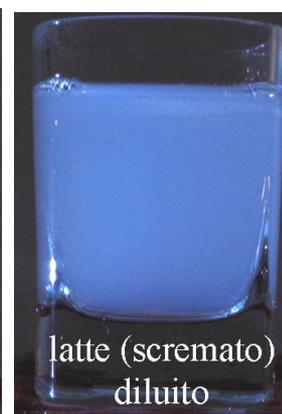
Parigi



*Once in a
blue moon*



scattering
da colloidi



latte (scremato)
diluito



Colloidi
"plasmonici"



"Quantum
Dots"



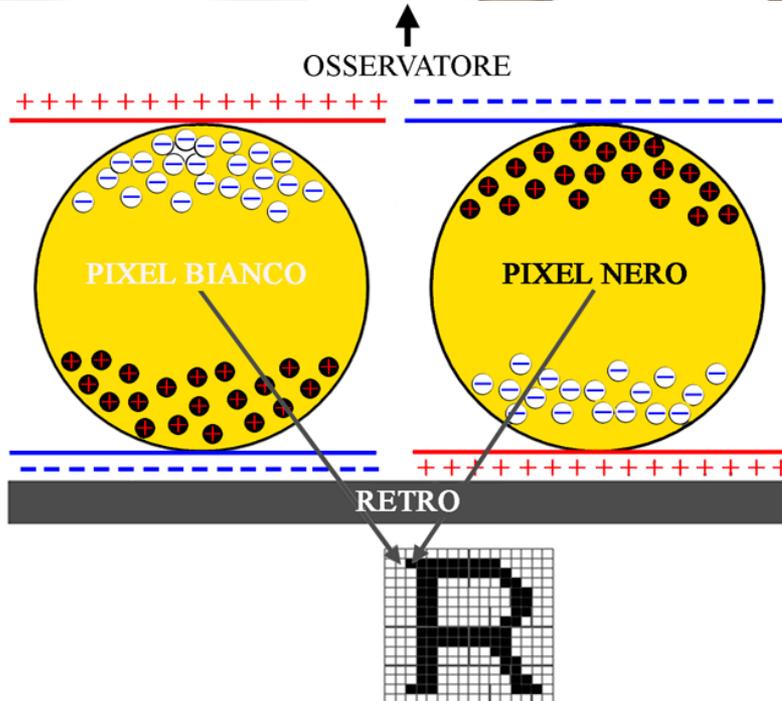
Autonomia 10 h
(dicono)



Autonomia
fino a 1 mese



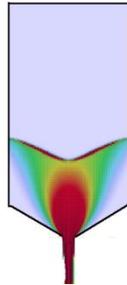
Joseph Jacobson,



Carlo Ratti, MIT
SENSEable City Lab



“FLUIDI GRANULARI”: particelle grosse che non stanno “sospese” perché “pesano. Ma si “impaccano” e “fluiscono” come colloidi



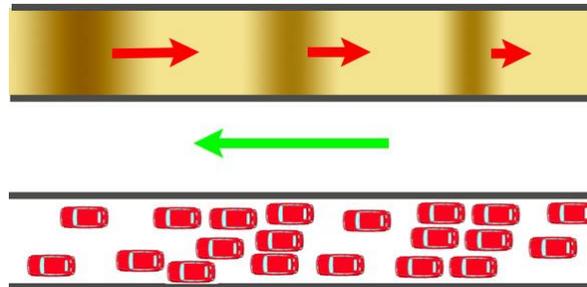
Perché la sabbia è migliore? Come si progetta un silos?

Perché chi fa il grosso viene a galla?

Come uscire dalle sabbie mobili?



Dove vorreste essere sepolti vivi?



Da dove nascono gli ingorghi (non è necessario un imbranato davanti!)



Perché la terra si fa mare?



*Funi e catene
per tutti i gusti*



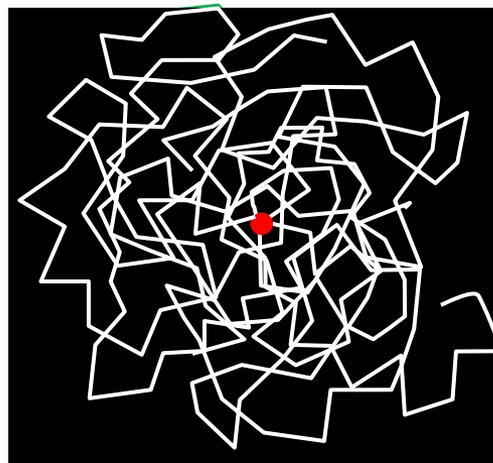
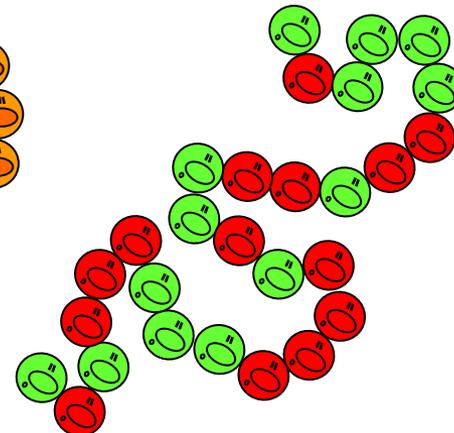
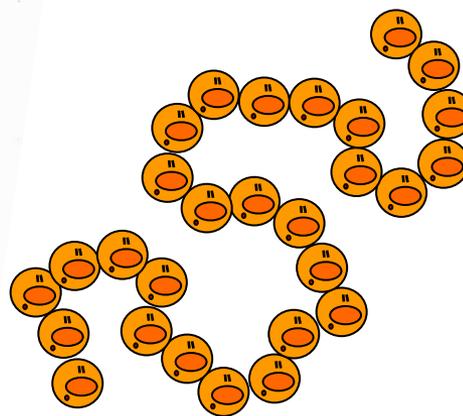
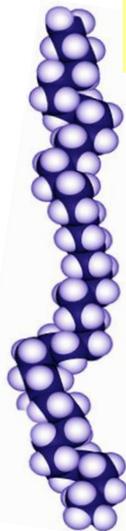


Plastiche

"Gomme" (elastomeri)

Catene di monomeri

Polimeri in soluzione



Robert Brown
1773-1858

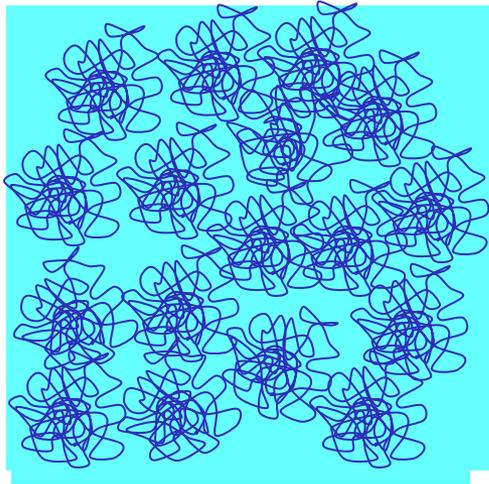
Albert Einstein
1879-1955

Jean Perrin
1870-1942

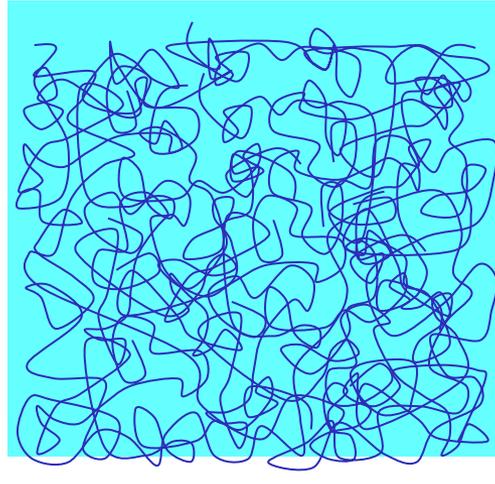
Posizione finale 1° ubriaco

BAR

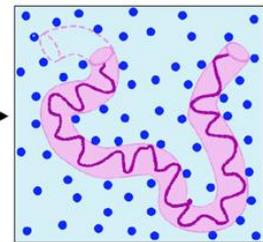
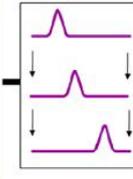
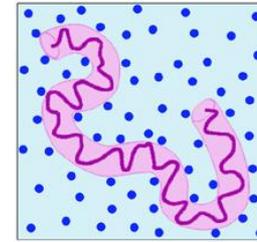
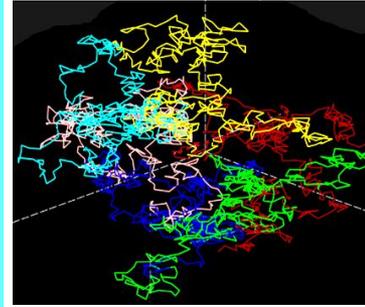
Posizione finale 2° ubriaco



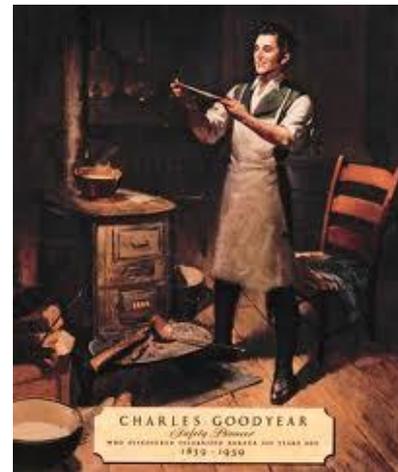
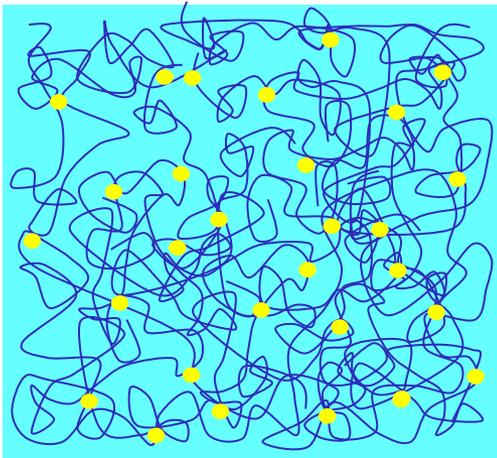
concentrazione di "overlap"



"RETE" POLIMERICA



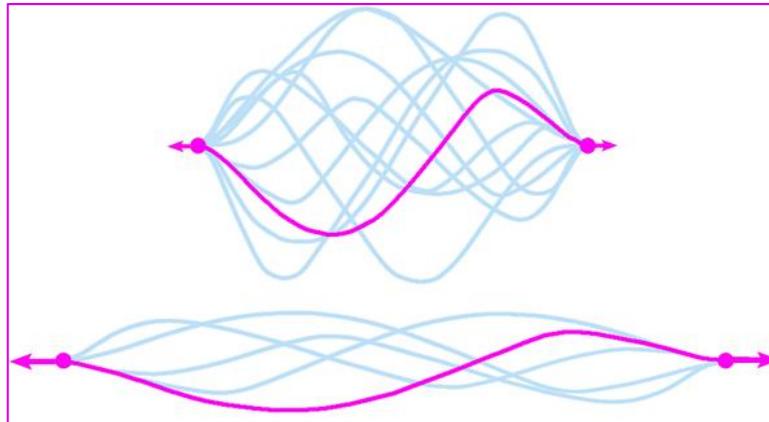
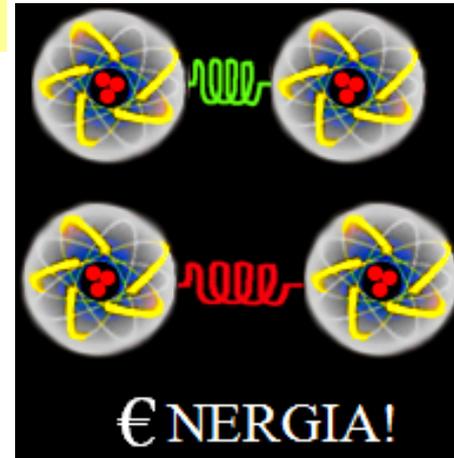
Le "reti polimeriche" sono un liquido, molto viscoso, ma pur sempre un liquido. Se però...



UN NOME
UNA PROMESSA
(ma TANTI debiti)



Metalli (con gli altri materiali va anche peggio!)



Ma la catena estesa
 ha molte meno
 "configurazioni"
 ↓
 meno libertà di
 movimento
 ↓
 MENO ENTROPIA

"Resisto per difendere la mia libertà"



Mille bolle blu

I creativi del mondo microscopico





Una vita superficiale:
I gerridi (“Jesus bugs”)



LA TENSIONE SUPERFICIALE



Creare superficie tra aria ed acqua **COSTA!!**
(e il costo al m² è proprio la tensione superficiale)

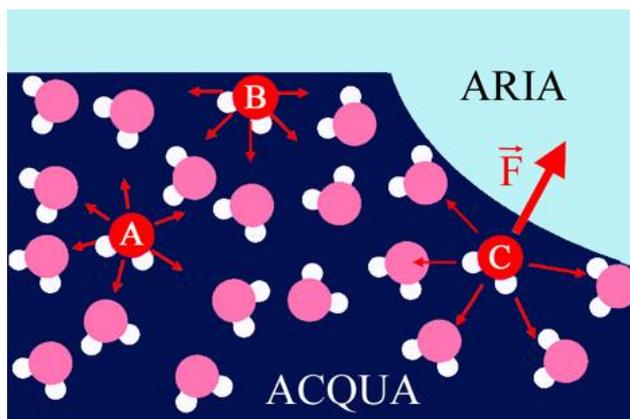


Agnes Pockels

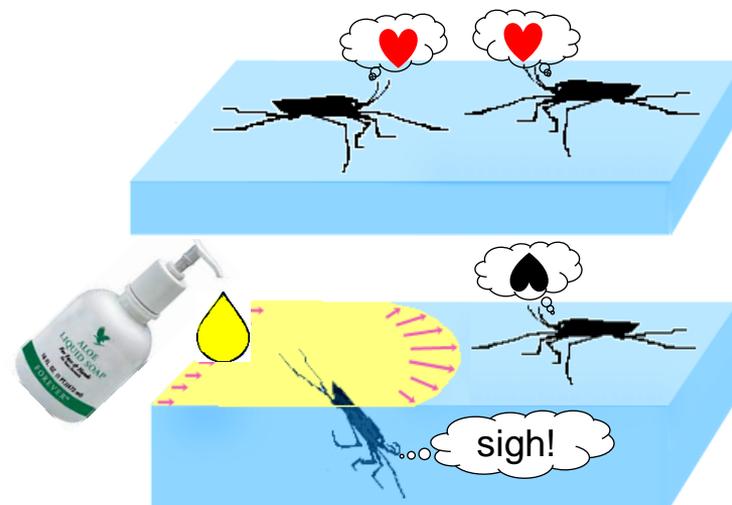
Brunswick, 10 gennaio 1891

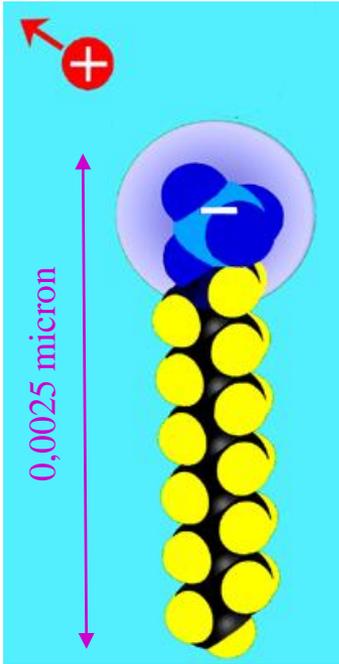
O mio Lord, avrà la gentilezza di scusarmi se mi avventuro in un soggetto scientifico con una lettera in tedesco?

DA DOVE NASCE?



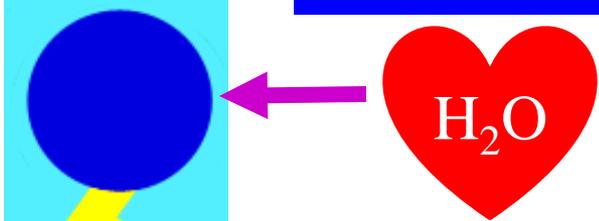
Un brutto tiro ai gerridi...



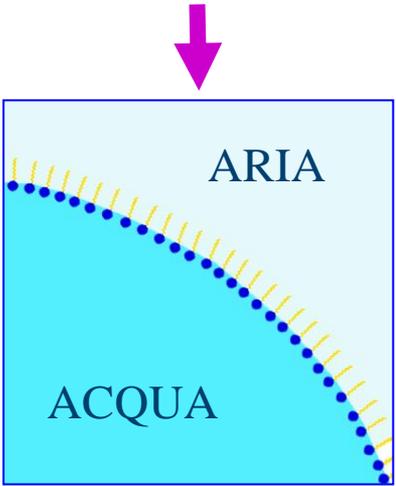
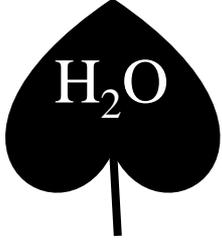


SDS (o SLS)

Semplificando... Testa Idro-FILICA

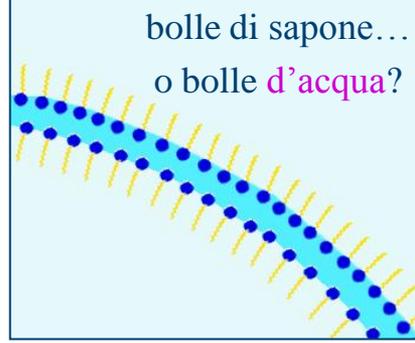


Coda Idro-FOBICA

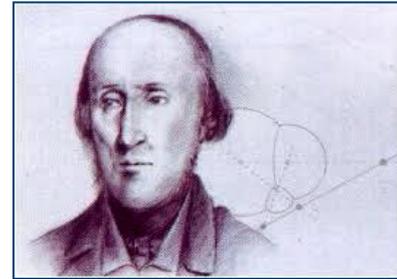


Per soddisfare la sua "ambigua" natura, il tensioattivo si interpone tra aria ed acqua, **riducendo di molto la tensione superficiale** (uno "stato cuscinetto")

I romani, l'olio d'oliva e B. Franklin



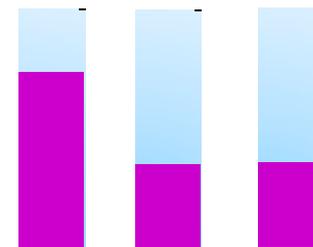
Joseph Plateau (1801-1883)



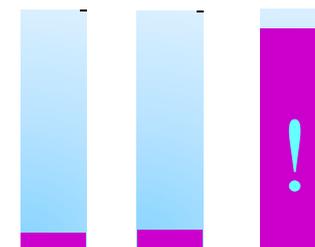


Ma che succede se continuiamo ad aumentare la quantità di tensioattivo?
(non tanto, basta raggiungere qualche parte per mille!)

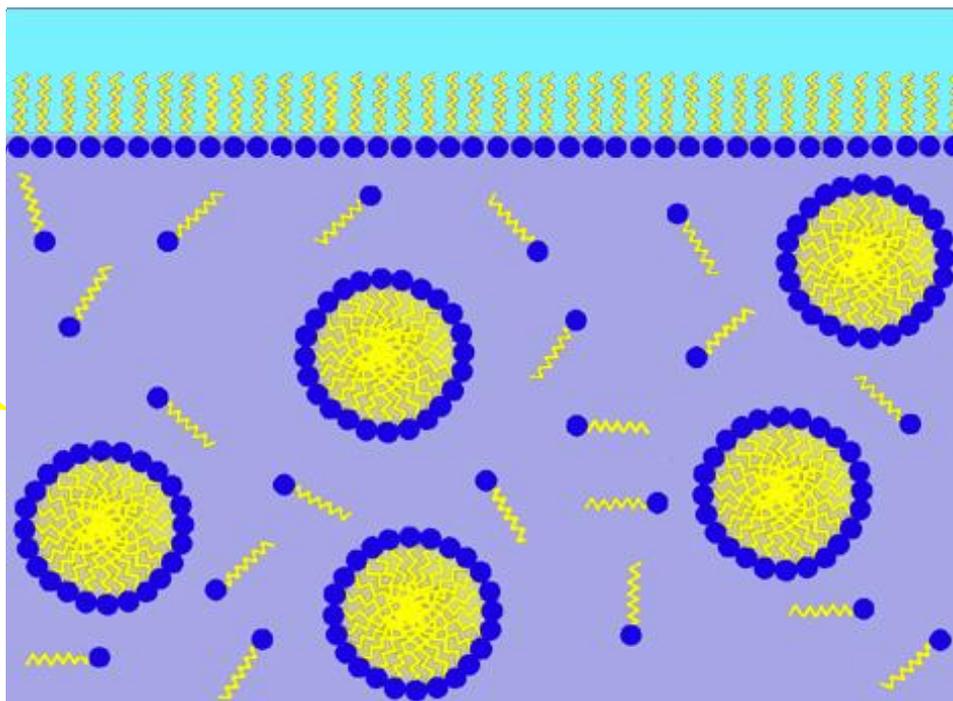
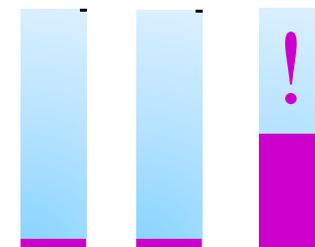
Tensione superficiale



Luce diffusa



Solubilità oli e grassi

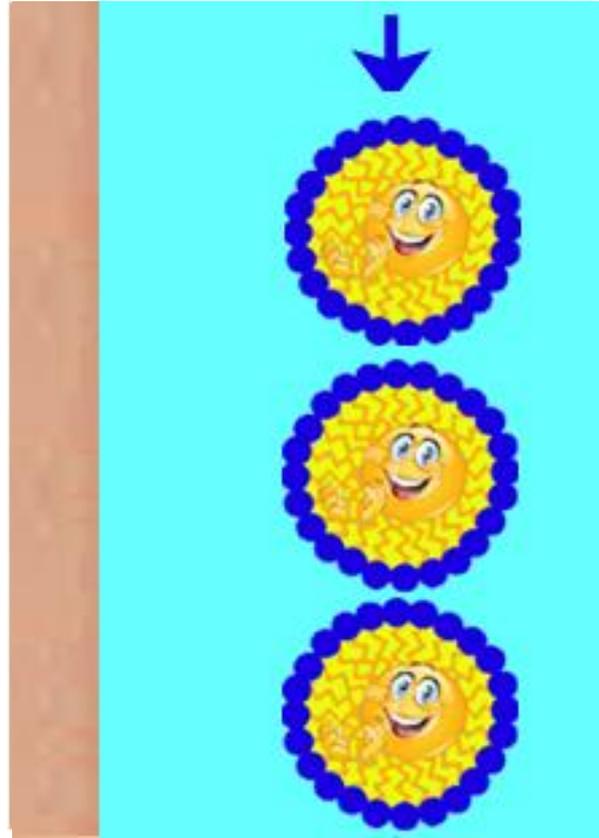
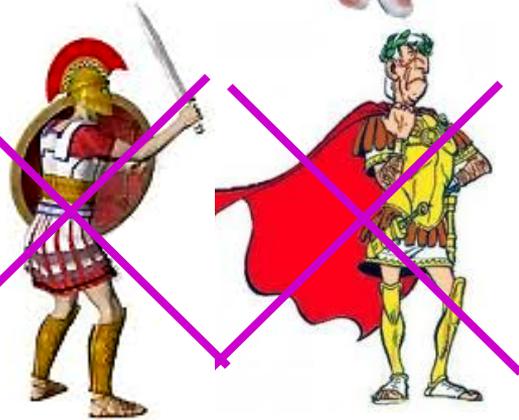


c. m. c.
(concentrazione
critica micellare)

Micelle = Piccole (pochi nanometri)
particelle colloidali auto-assemblate con un
"core" idrofobico ed una superficie idrofilica

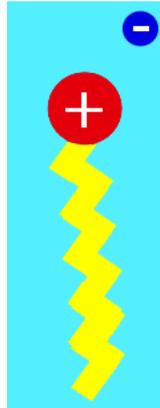
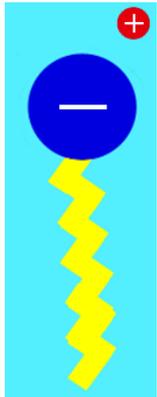


Che cosa succede quando ci laviamo le mani: la detergenza



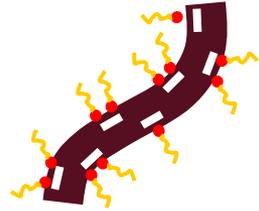
Il "MICELLABUS": sostanze insolubili in acqua, come oli o grassi, vengono trasportate nel "core" idrofobico delle micelle

Applicazioni diverse richiedono tensioattivi chimicamente diversi, ma il principio è sempre lo stesso



- Non “lavano” bene
 - Sono molto più costosi
 - Talora sono poco “salutari”
- PERCHÉ MAI PRODURLI?**

Non formano micelle sferiche,
ma lunghi spaghetti!



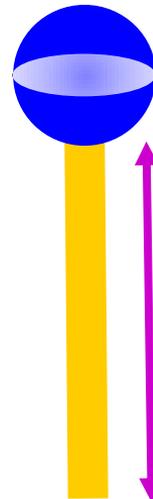
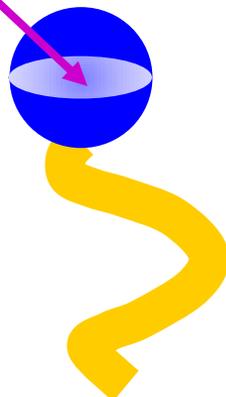
Tensioattivi **anionici** (SDS)
(grande) testa negativa

Tensioattivi **cationici**
(piccola) testa positiva

Perché? un semplice criterio geometrico

A = area testa

V = volume molecola



L = lunghezza
massima coda

Un tensioattivo per cui:

$$\frac{V}{AL} > \frac{1}{3}$$

non può formare micelle
sferiche (lascerebbe un
“buco” al centro)



Un piccolo "zoo" di aggregati"

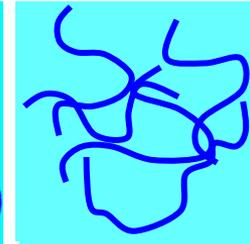
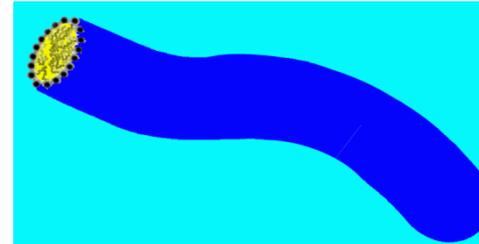
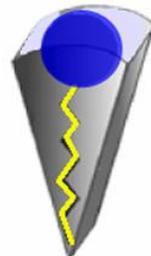
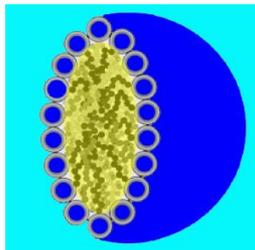
$$\frac{V}{AL} < \frac{1}{3}$$

micelle sferiche

$$\frac{1}{3} < \frac{V}{AL} < \frac{1}{2}$$

micelle cilindriche

polimeri
"viventi"



Ma se le code sono DUE??



$$\frac{1}{2} < \frac{V}{AL} < 1$$

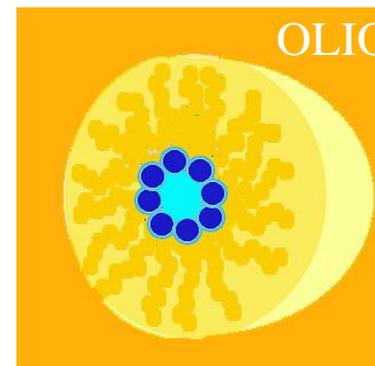
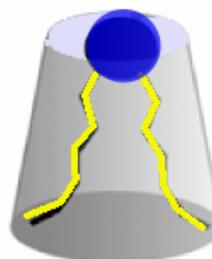
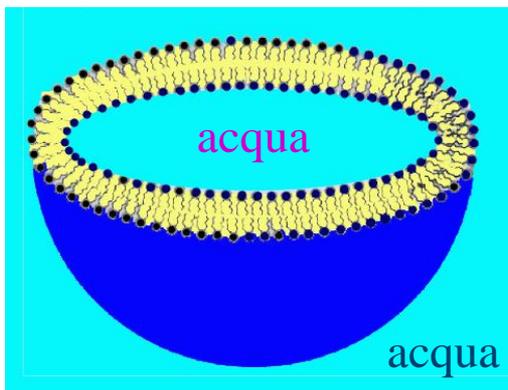
Vescicole

$$\frac{V}{AL} > 1$$

micelle "inverse"

Trasportano
acqua in olio!

LA SCOPERTA DELL'IO!

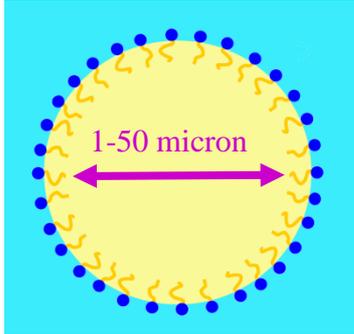


"gasolio bianco"

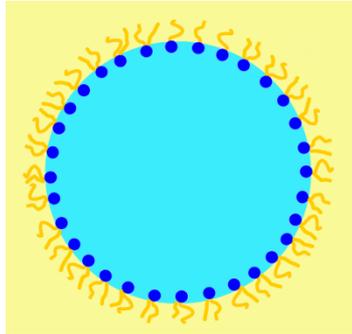


Three is meglio che two: piccole, grandi emulsioni

olio-in-acqua

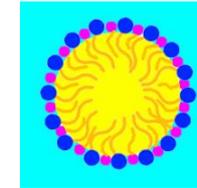


acqua-in-olio



In realtà strutture **instabili** (non è la “curvatura giusta” per il tensioattivo e per produrle bisogna agitare con vigore, ossia **fornire energia**), ma riusciamo a farle “vivere” davvero a lungo (anche per diversi anni!)

Oggi però si può fare di meglio →



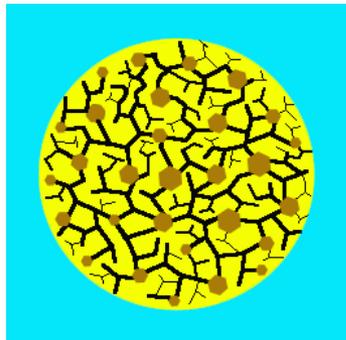
0,01 - 0,1 micron

Micro-emulsioni (ottenute “intercalando” teste più piccole)

- si formano **spontaneamente**
- durano **per sempre**



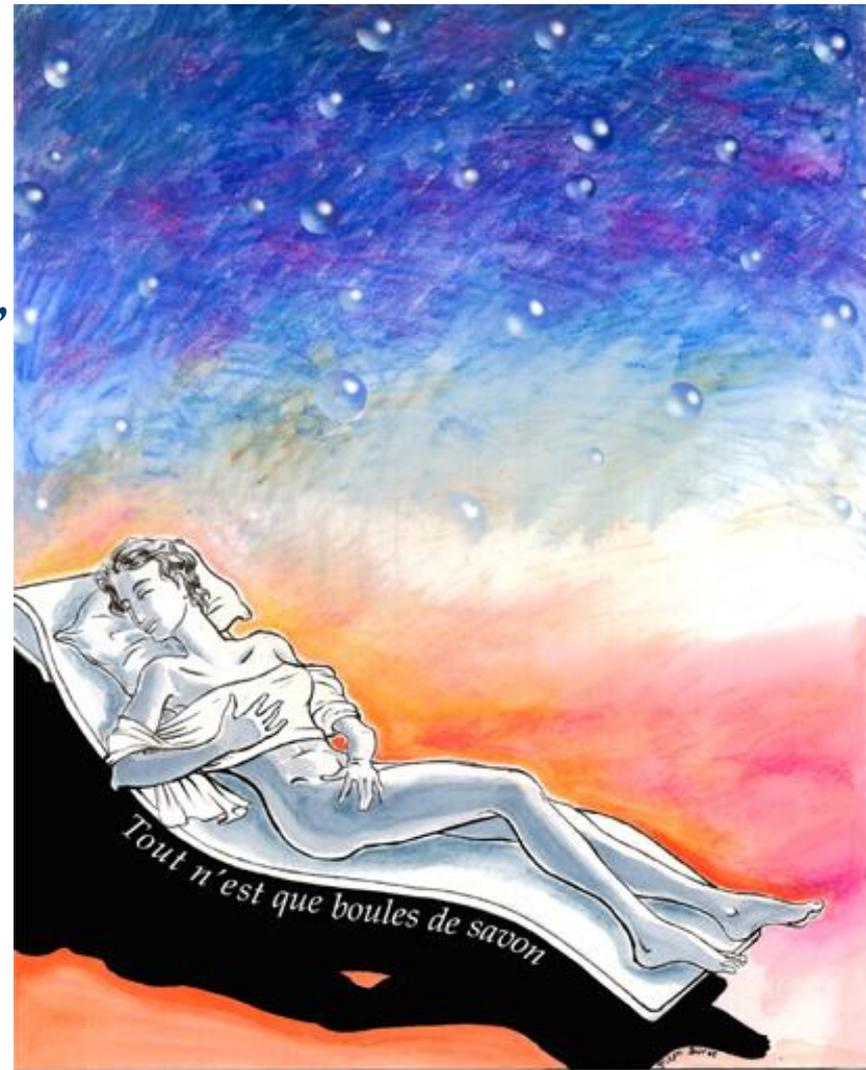
Non solo tensioattivi: le emulsioni “complesse”





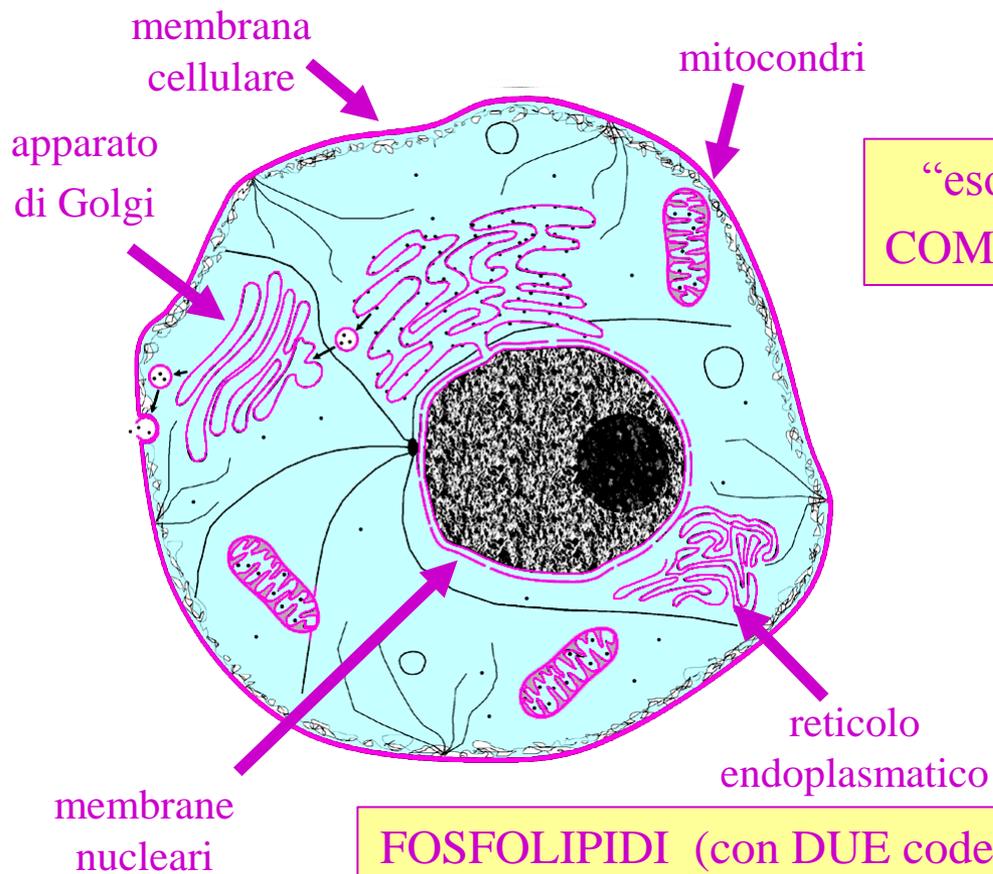
“Tout n’est que boules de savon”

Uno sguardo fugace
alla materia dei sogni

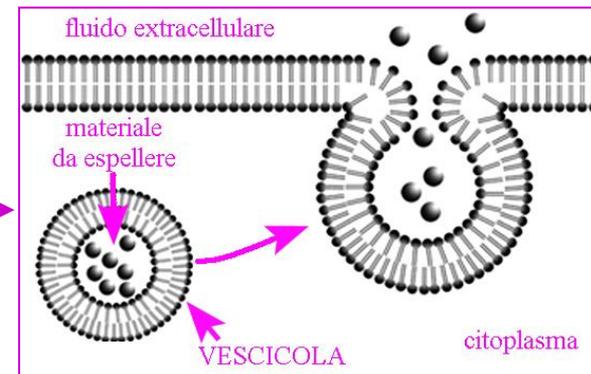




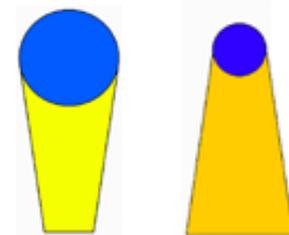
“Concludo, ergo sum”



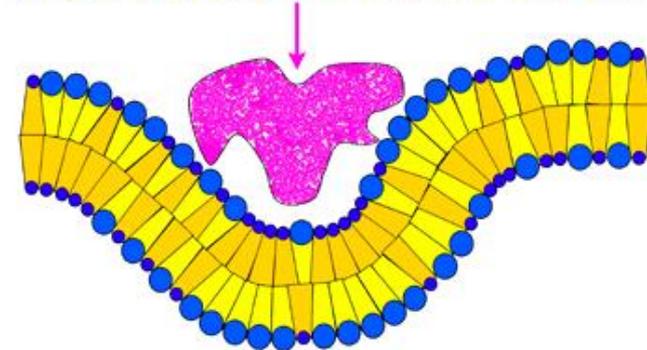
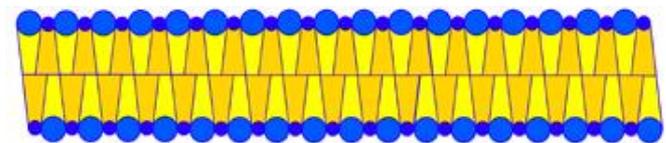
“esocitosi”
COME SI FA?



“CONI”
(lecitina)
 $\frac{V}{AL} < 1$

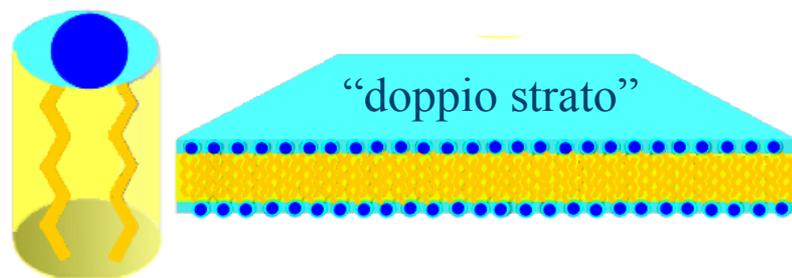


“CUNEI”
(cefalina)
 $\frac{V}{AL} > 1$



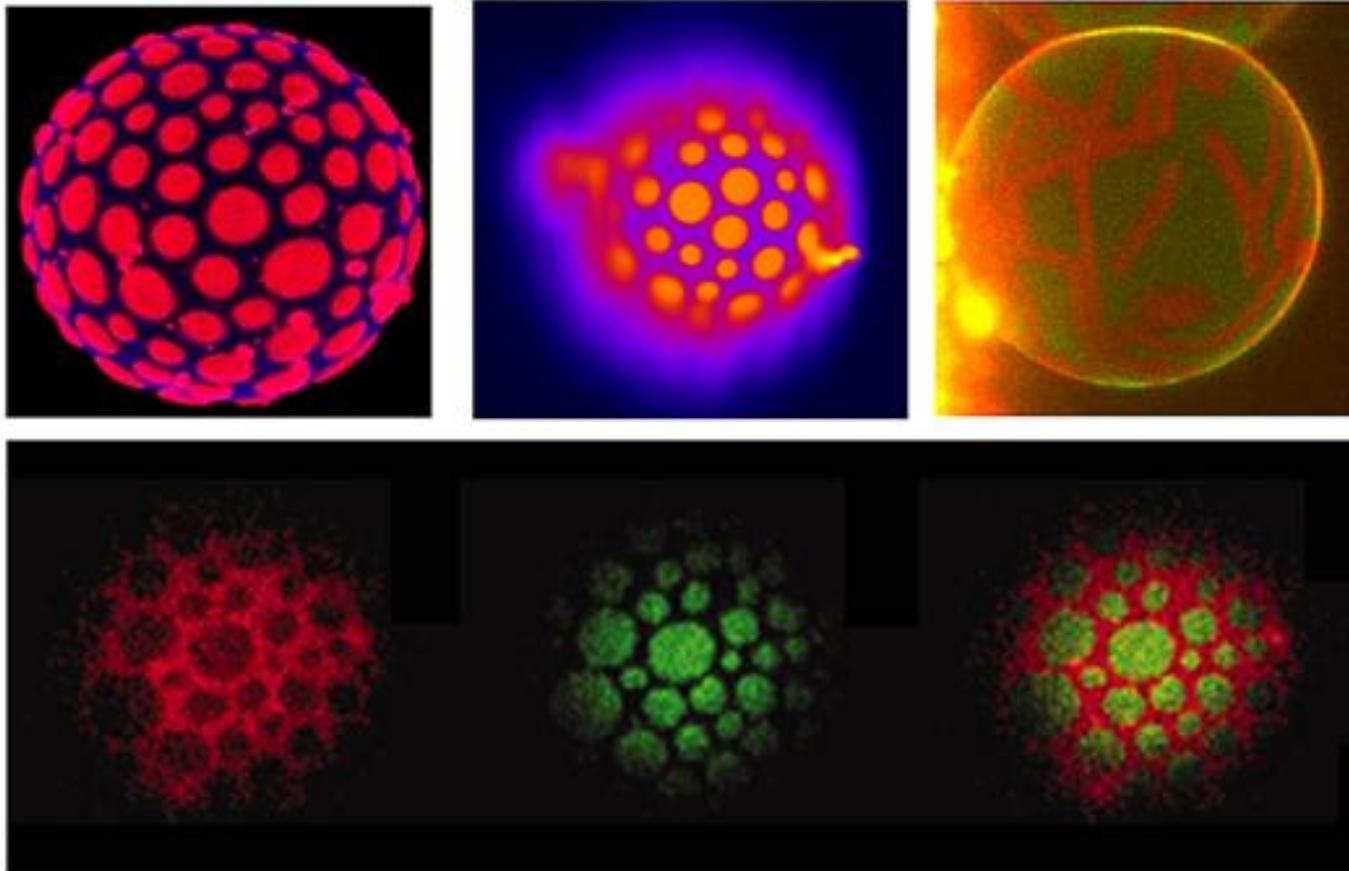
FOSFOLIPIDI (con DUE code)

$$\frac{V}{AL} = 1$$





Che cosa si ottiene producendo artificialmente vescicole con soli **due** tipi di fosfolipidi...

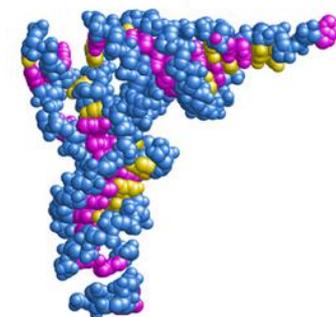
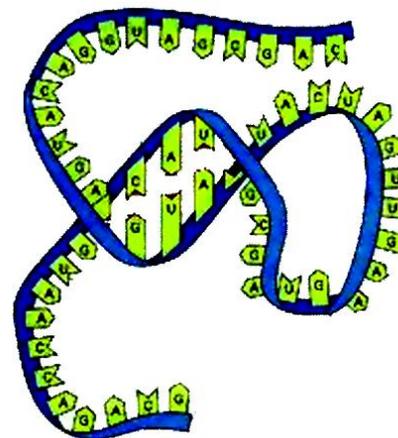
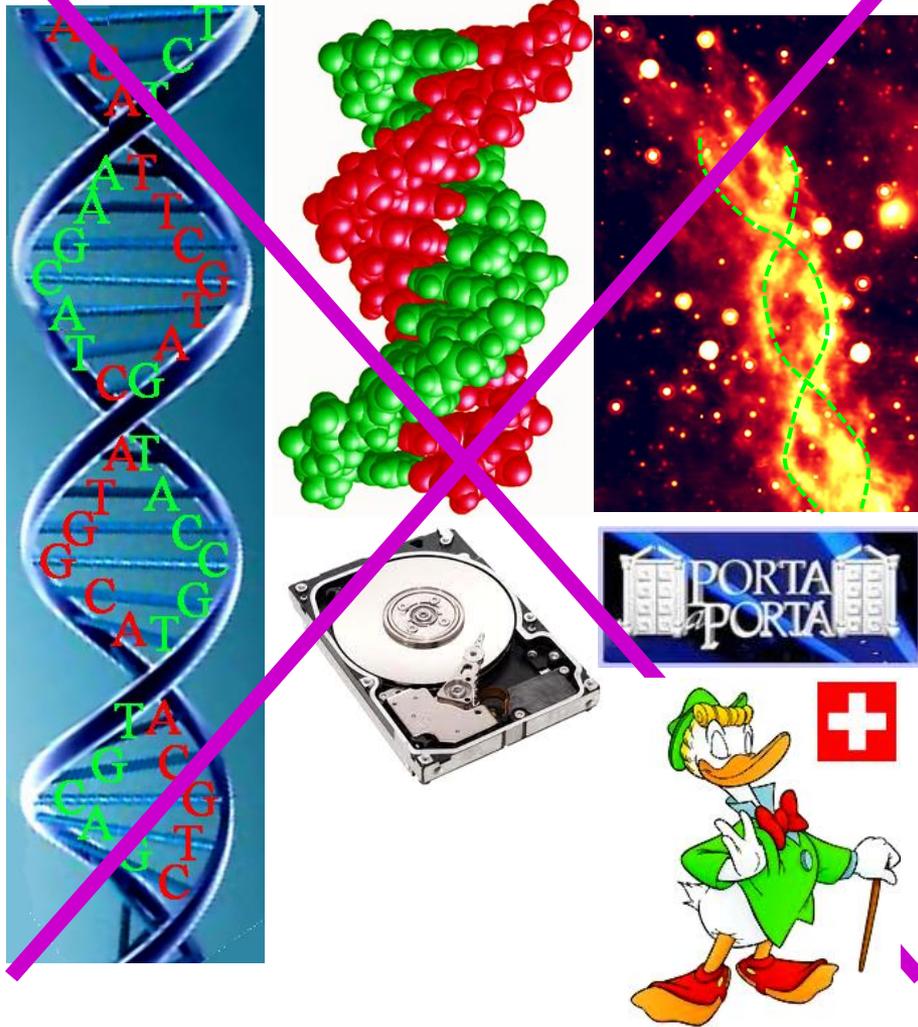


OVVERO, COME NON CONFONDERCI CON GLI ESTRANEI!

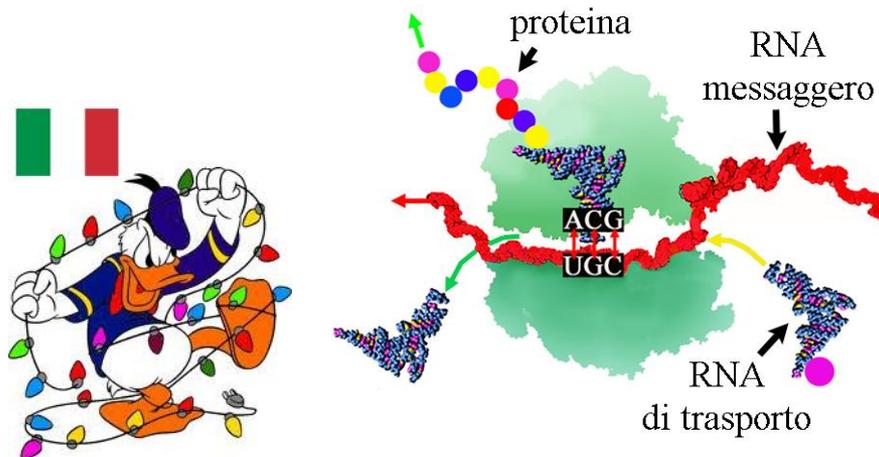


DNA: Un polimero che sa scrivere

RNA: Un polimero che sa leggere e scrivere



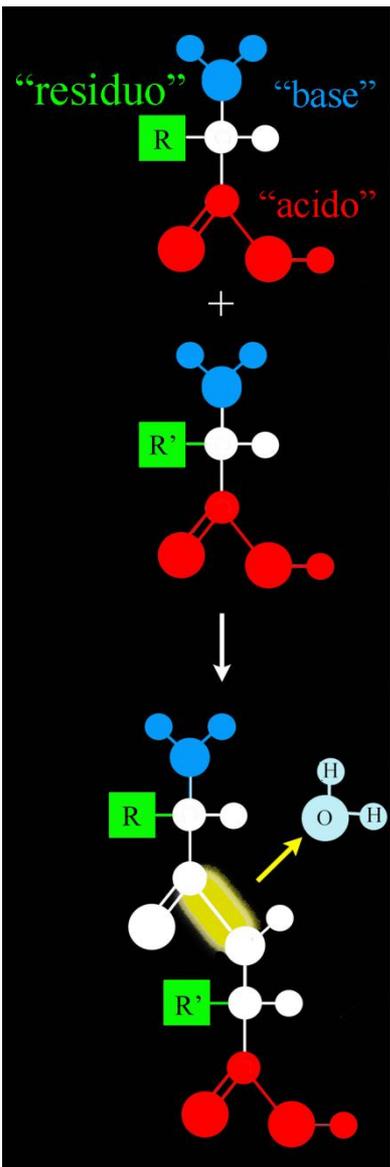
Molto meno ordinato, ma molto più flessibile





A TUTTO!





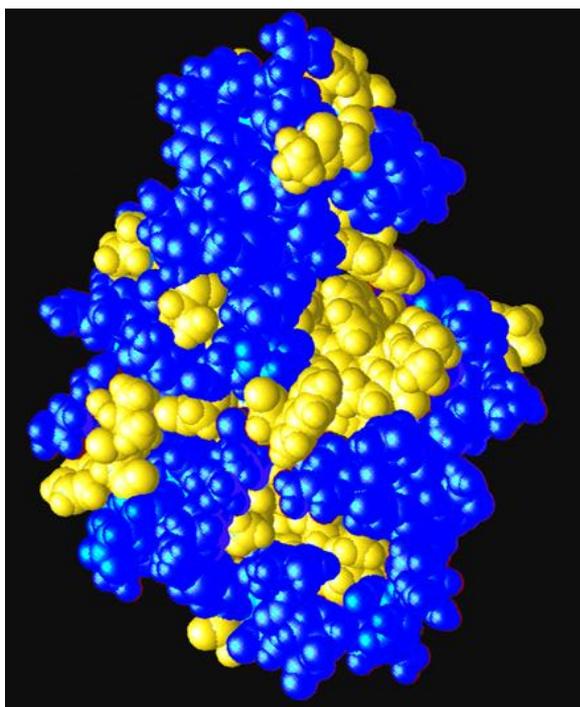
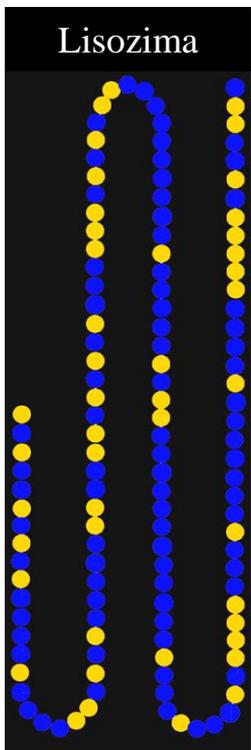
UN SERIO PROBLEMA:

PROTEINE: In fondo in fondo polimeri (carichi) ma fatti da **20** diversi “mattoncini”
GLI AMINOACIDI...

... Parte dei quali sono però **idrofilici** e parte **idrofobici**

Più che con una doppia personalità, molecole necessariamente “autoreferenziali”

UNA SOLUZIONE NIENTE MALE...

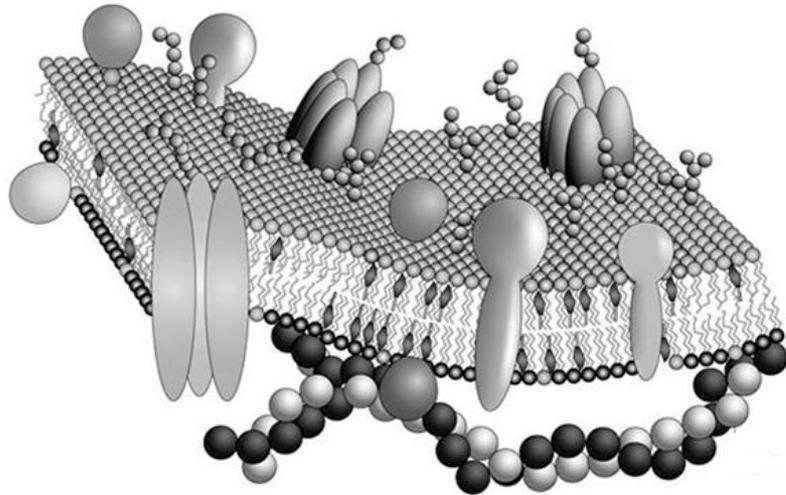


Ma soprattutto **UNICA!**

Per una data “sequenza di aminoacidi, esiste **una o poche** soluzioni ottimali (tra le infinite consentite ad un polimero comune), e le proteine si “ripiegano” fino a trovare proprio quelle!

(come facciamo a farlo così in fretta è ancora un mistero)





Un semplice esempio:
L'impianto idrico della
cellula: le acquaporine



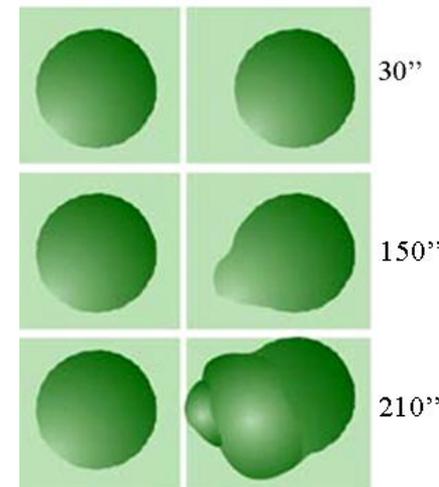
Peter Agre

Brutti scherzi
alle rane



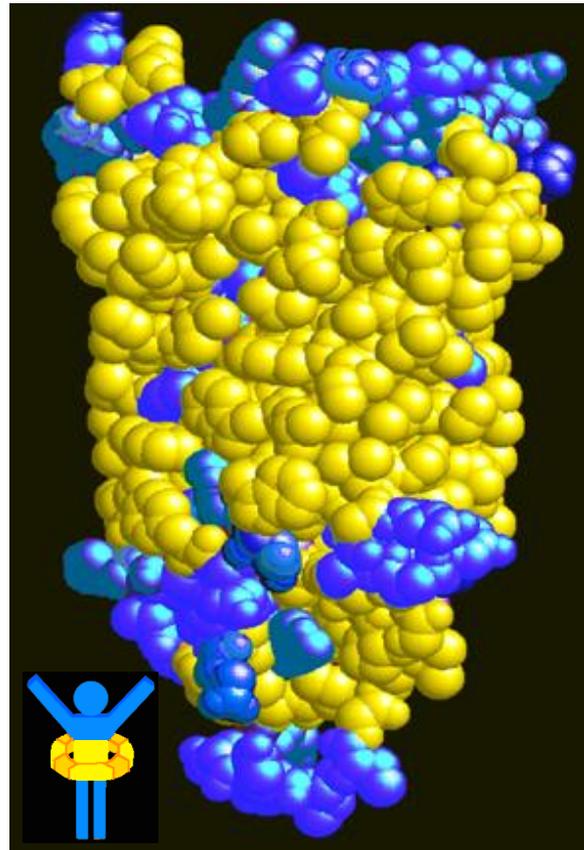
Cellula senza
acquaporina

Cellula con
acquaporina



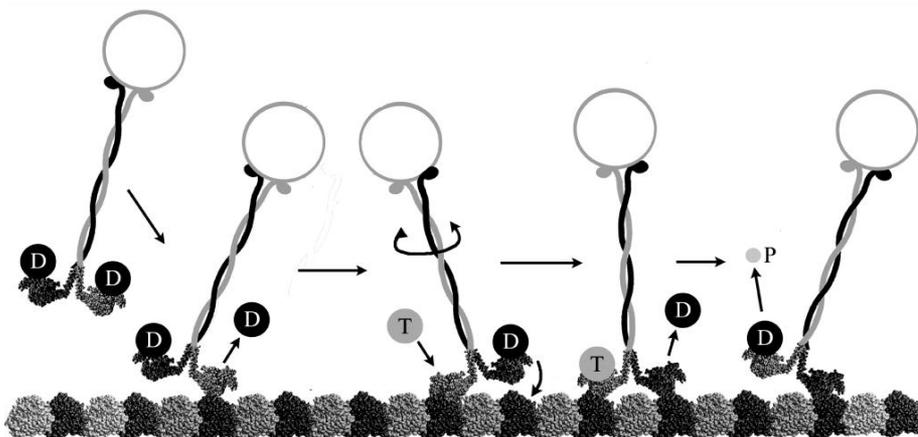
LA MEMBRANA CELLULARE:
un fantastico mondo a due dimensioni
popolato da innumerevoli proteine

Ma l'interno del doppio strato è
IDROFOBICO!
Come si fa ad intrufolarsi?



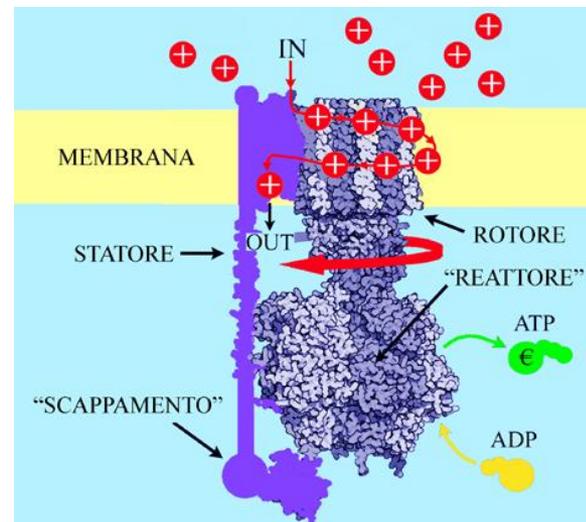


UN MARATONETA INSUPERABILE



Kinesine, micro-Baldini infaticabili

UN MOTORE "STELLARE"



ATP-sintasi, la banca della vita



La

di

Grazie e...

♪ ♪ *ARRIVEDERE CI ROMA* ♪ ♪

i blu

