



# Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "G. Ciamician" - Università di Bologna

E-mail: [margherita.venturi@unibo.it](mailto:margherita.venturi@unibo.it)

IX Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re"

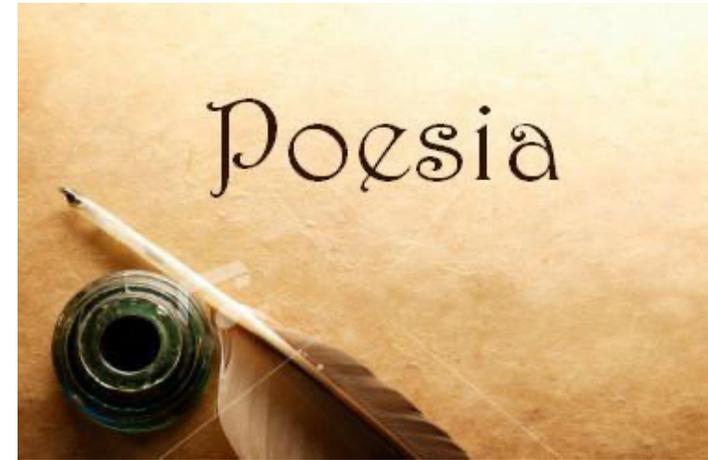
XVI Scuola Nazionale di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre"

I concetti fondanti della Chimica: passato, presente e futuro

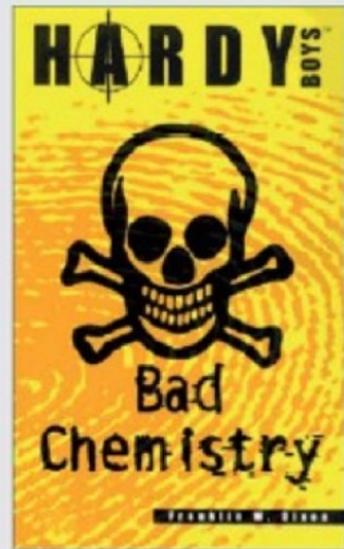
Abano Terme, 10 – 13 novembre 2024

## Chimica e Creatività

# Creatività



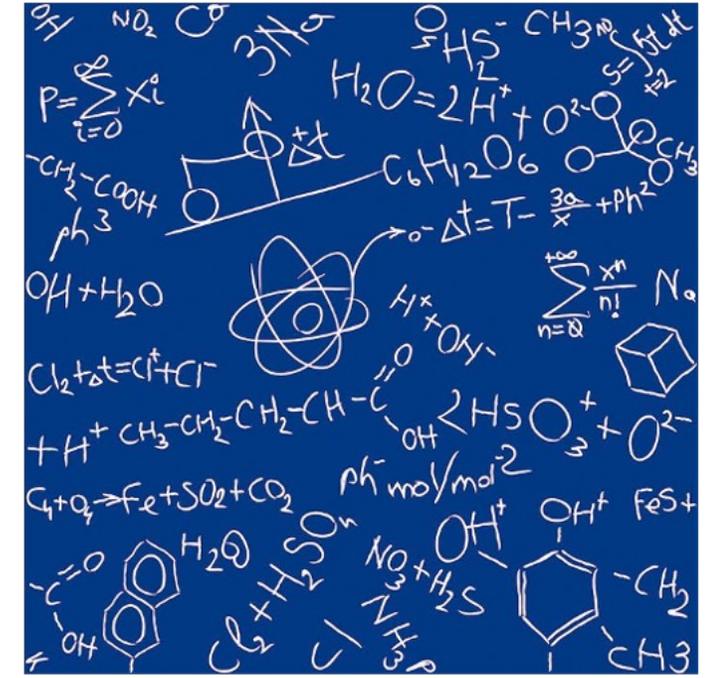
ATTUALITÀ



di Giorgio Nebbia  
rebblia@quipo.it

## CHIMICA È PAROLACCIA?

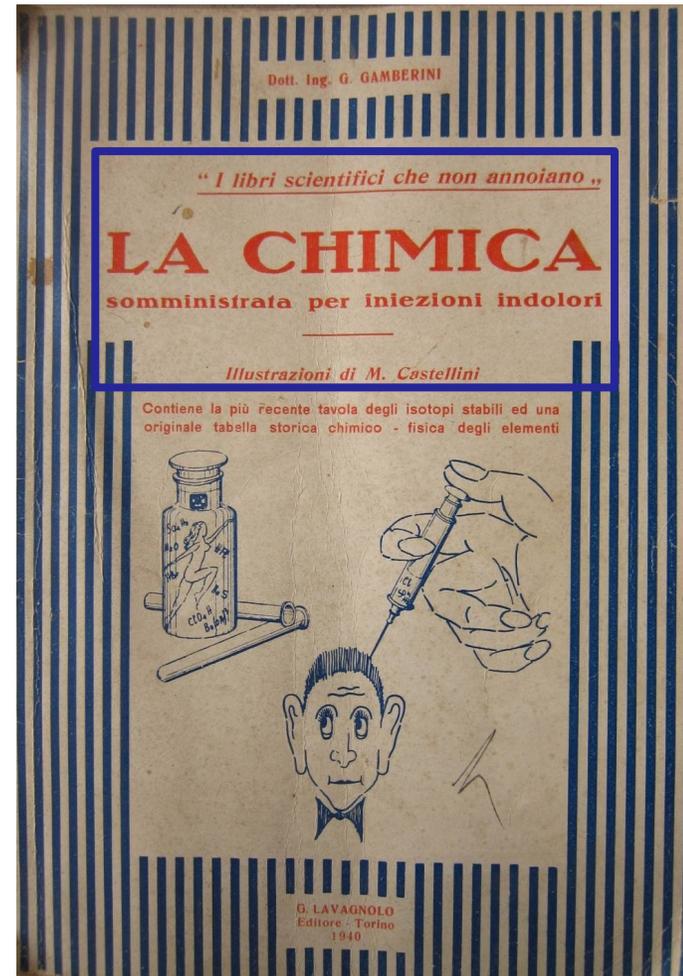
Parlare di chimica è spesso come presentarsi nelle buone società una scurella dal trascorso burrascoso. "Chimica" è parola sgradita per molti orecchi, soprattutto poco informati, per vari motivi apparentemente contrastanti.



La Chimica è considerata dal cittadino la causa di tutti i mali, è snobbata dagli umanisti ed è la disciplina meno amata dagli studenti della scuola superiore

# Un problema che va indietro nel tempo

Già nel 1940 ...



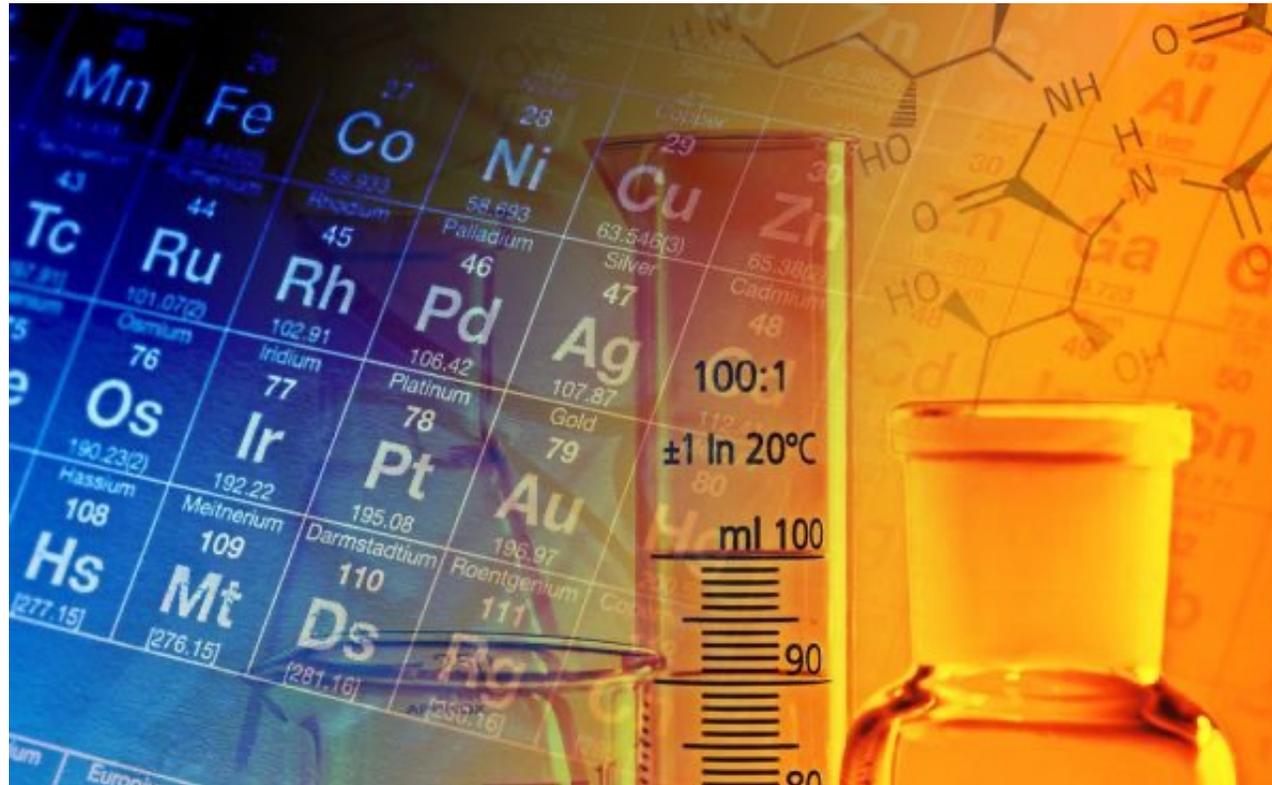
# Creatività in Chimica



Chemistry and creativity is a  
fantastic journey

Come è cambiato nel tempo il lavoro del chimico

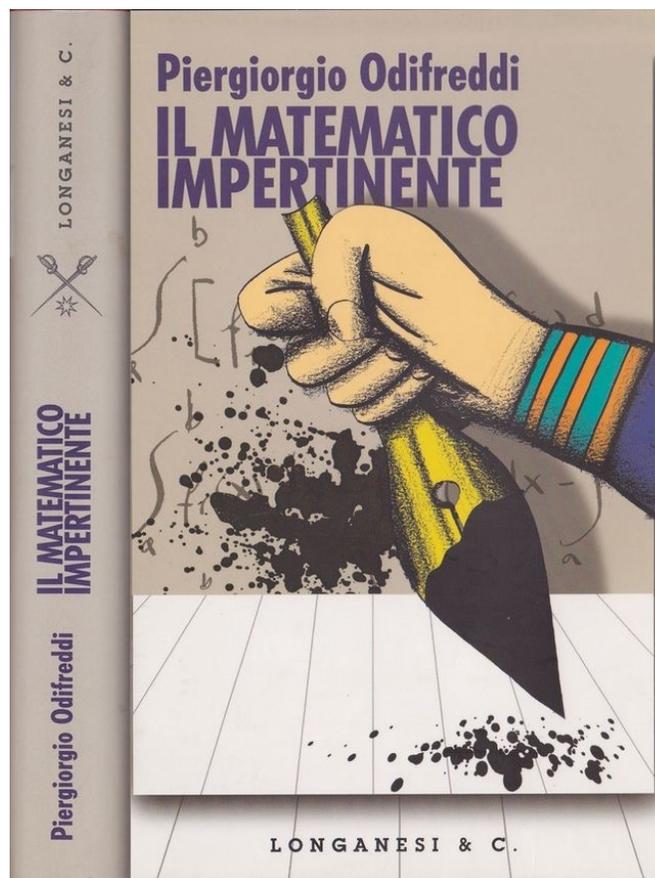
# Definizione di Chimica



# Chimica

Scienza che studia le proprietà, la composizione, l'identificazione, la preparazione, la capacità e il modo di reagire delle sostanze naturali e artificiali del regno inorganico e di quello organico





Piergiorgio Odifreddi

Nel 1926 Schroedinger ha condensato tutta la chimica  
in un'unica equazione di soli sei simboli

# La chimica: una disciplina che lavora a tre livelli

macroscopico  
(i fatti tangibili)



invisibile  
(atomi e molecole)

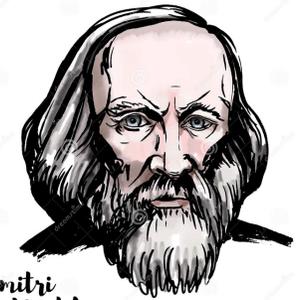
simbolico  
(linguaggio chimico)



# Confronto fra linguaggio e Chimica

LINGUAGGIO	CHIMICA
lettere (a,b,c,...)	atomi (C,H,O,...)
alfabeto	tavola periodica

La Tavola Periodica  
degli elementi



Dmitri  
Mendeleev

Gli atomi sono le lettere della Chimica

LINGUAGGIO	CHIMICA
lettere (a,b,c,...)	atomi (C,H,O,...)
alfabeto	tavola periodica
insieme di lettere (uqaac)	insieme di atomi (HHO)
 <i>logica umana</i> 	 <i>logica naturale</i> 
parole (acqua)	molecole (H <sub>2</sub> O)

Le molecole sono le parole della Chimica

Ogni **parola** ha un ben preciso significato, una specie di "valore aggiunto" che la parola ha rispetto alle singole lettere che la compongono

Ogni **molecola** ha proprietà specifiche e un'identità ben precisa che rappresentano il "valore aggiunto" che la molecola ha rispetto ai singoli atomi componenti

## Parole

parole corte

parole lunghe

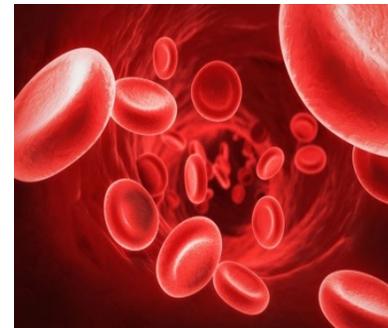
emoglobina (9072 atomi)

$C_{2954}H_{4516}N_{780}O_{806}S_{12}Fe_4$

## Molecole

$O_2, H_2O$

$C_6H_{12}O_6$  (glucosio)



parola italiana più lunga con significato:  
precipitevolissimamente (26 lettere)

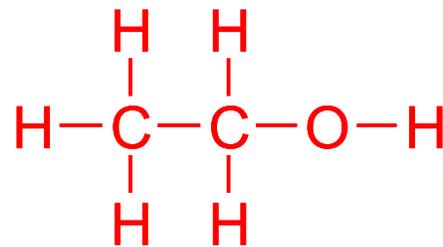
# Parole

Con le stesse lettere si possono costruire più parole

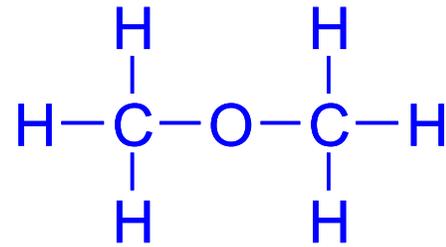
Per esempio con a, s, n, o: sano e naso

# Molecole

Con gli stessi atomi 2C, 6H, O



*Alcool etilico*  
 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$



*Etere dimetilico*  
 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

# Differenza fondamentale

le parole sono entità astratte  
le molecole sono entità reali, anche se molto piccole

L'unità adatta per misurare le dimensioni delle  
molecole è il **nanometro**

cioè la miliardesima parte del metro

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

Lo spessore di un capello è ca. 100.000 nanometri

# Le molecole sono piccole

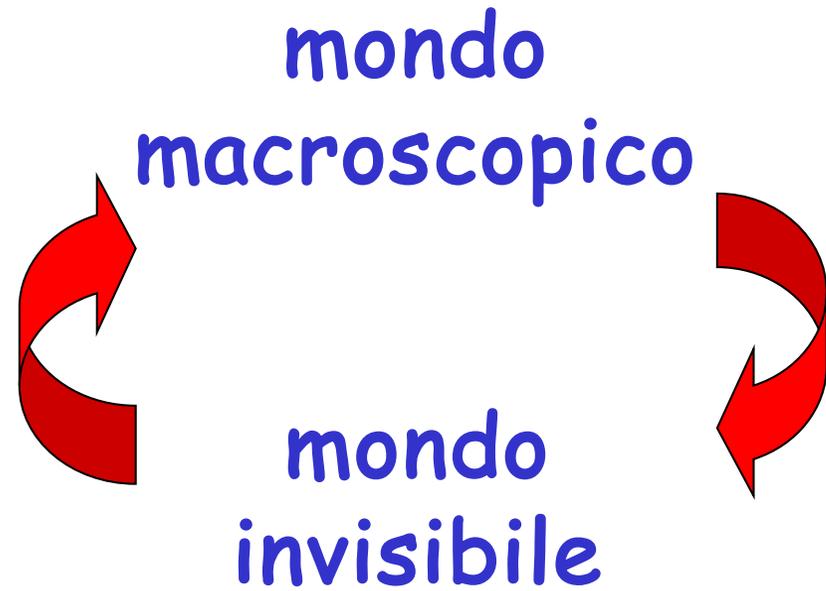
Le molecole d'acqua  
presenti in 18 g di acqua

sono  $6 \times 10^{23}$



molte di più delle stelle  
dell'Universo

Abilità del chimico



Creatività

La creatività consiste nel vedere  
ciò che tutti hanno visto e nel pensare  
ciò a cui nessuno ha mai pensato

Albert Szent-Györgyi  
Premio Nobel per la Medicina 1937

Sfruttando questa capacità il chimico ha cominciato ad esplorare e interpretare a livello molecolare la natura, scoprendo i pezzi invisibili che la compongono: le molecole naturali

Inizia il viaggio fra chimica e creatività

**Il chimico esploratore della natura**

# Il chimico ha identificato decine di milioni di molecole naturali

COGNOME : *Potabile*  
NOME : *Acqua*  
NATA : *nella Notte dei Tempi*  
CITTADINANZA : *Mondiale*  
RESIDENZA : *Crosta Terrestre*  
VIA : *Tutte*  
STATO CIVILE : *Liquido - Solido - Gassoso*  
PROFESSIONE : *Aiutante di Madre Natura*

**Connotati e contrassegni salienti**

STATURA : *3 Atomi*  
CAPELLI : *Bagnati*  
OCCHI : *Profondi*  
SEGNI PARTICOLARI : *Trasparenza - Purezza*  
N° TELEFONO : *H<sub>2</sub>O*

GARANZIA DI QUALITÀ



CARTA DELL'ACQUA  
N° 0000001

DESTINATA AL CONSUMO UMANO

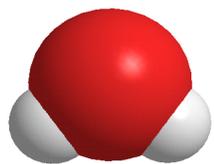
# La carta d'identità delle molecole

Ogni molecola è definita da un nome, è rappresentata attraverso formule ed ha una sua forma

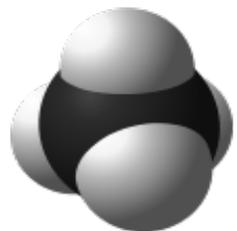
Una visione tridimensionale delle molecole si può avere attraverso modelli, molto ingranditi ma realistici, che si ottengono usando una specie di lego



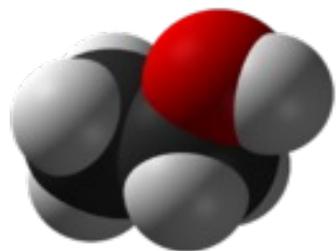
Il lego dei chimici



acqua

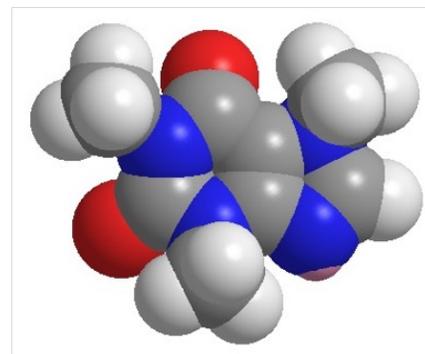
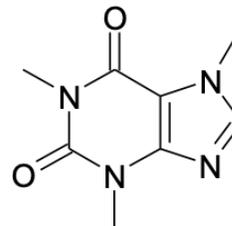


metano

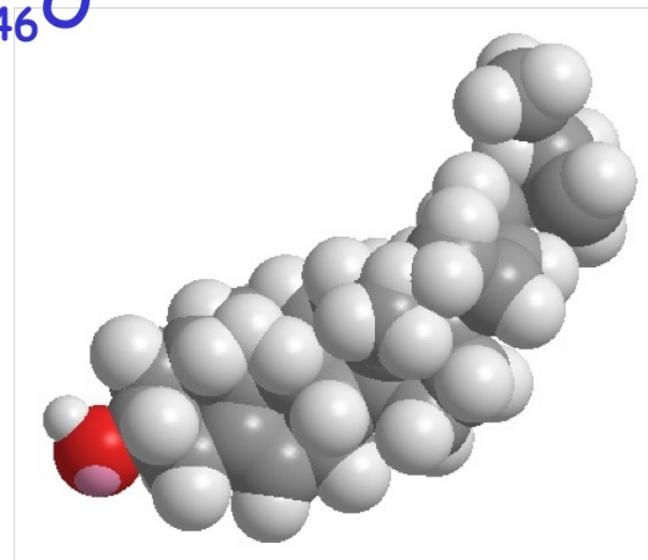
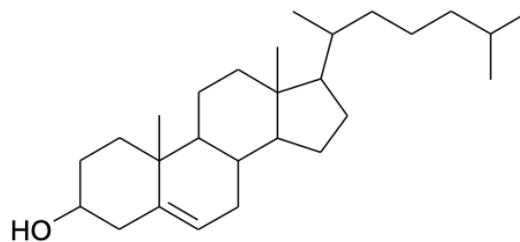


alcool etilico

## Caffeina $C_8H_{10}O_2N_4$

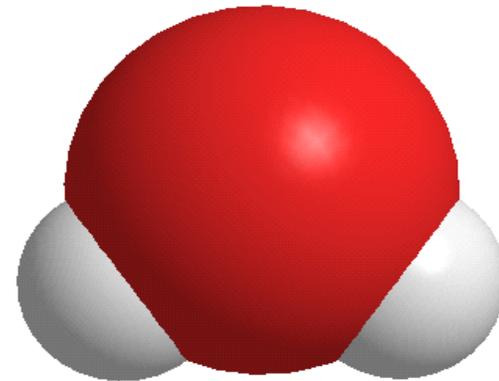


## Colesterolo $C_{27}H_{46}O$

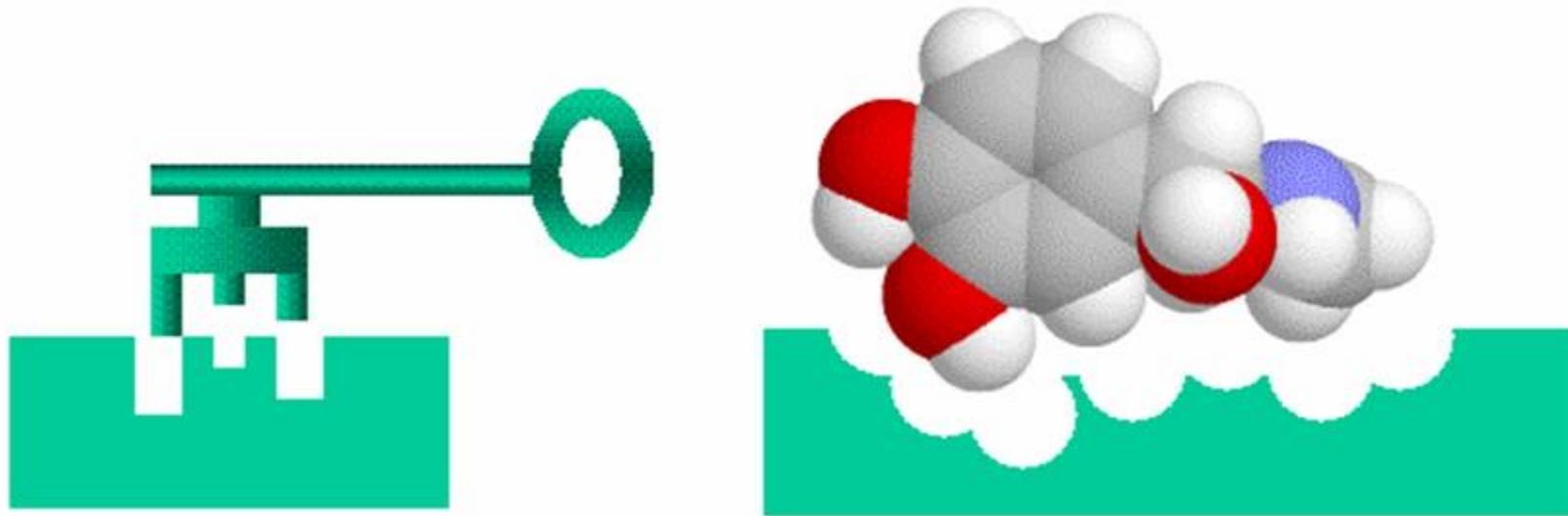


La forma delle molecole è importante perché da essa dipendono molte delle proprietà macroscopiche che le sostanze mostrano

Se, per esempio, la molecola d'acqua, invece di essere piegata, fosse lineare ...



La forma delle molecole è importante per capire come avvengono molti processi biologici

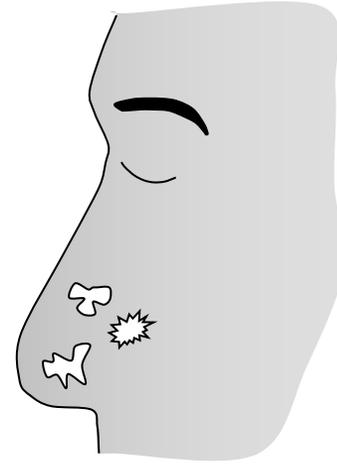




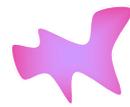
mela



rosa

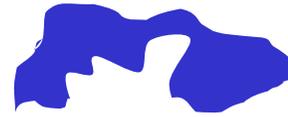


ciclamino



rosa

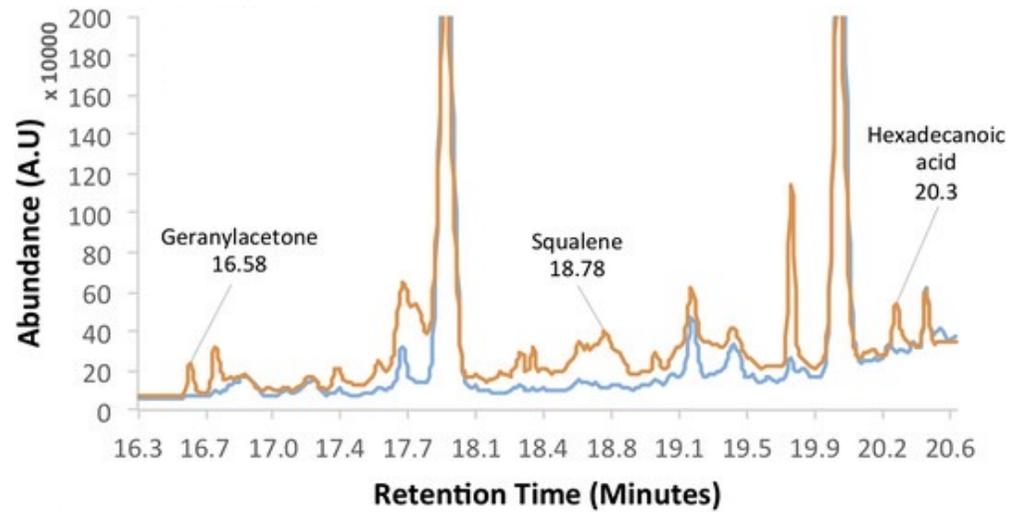
+



recettore

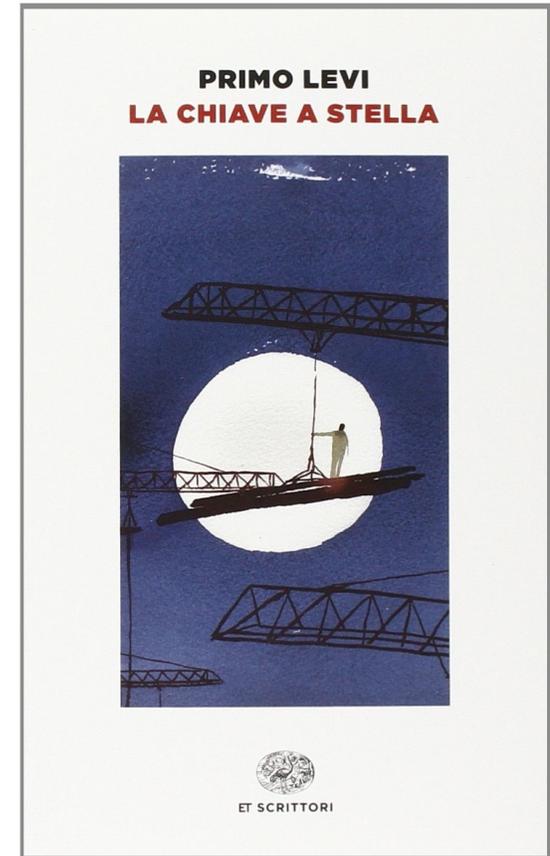


# La chimica della «stretta di mano»



# Il lavoro di indagine viene effettuato "al buio"

"... noi chimici ... siamo come dei ciechi con dita sensibili. Dico come dei ciechi, perché appunto, le cose che noi manipoliamo sono troppo piccole per essere viste, anche coi microscopi più potenti"



Primo Levi  
*La chiave a stella, 1978*

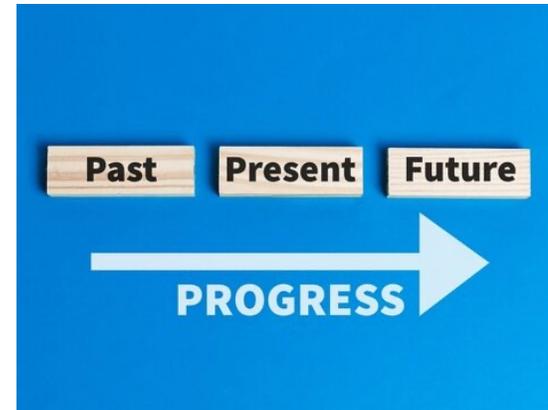
"... e allora abbiamo inventato diversi trucchi intelligenti per riconoscerle senza vederle"

Primo Levi  
*La chiave a stella, 1978*

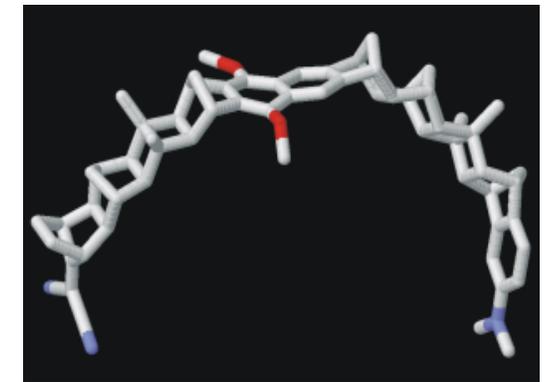
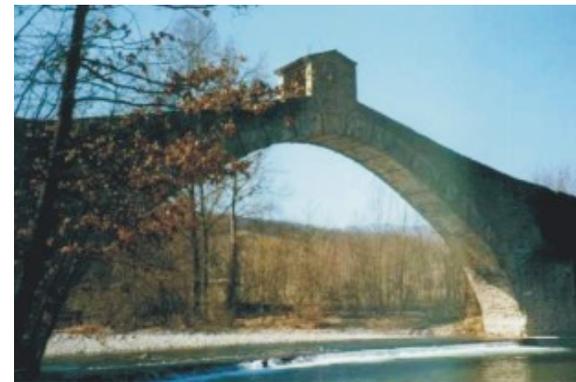
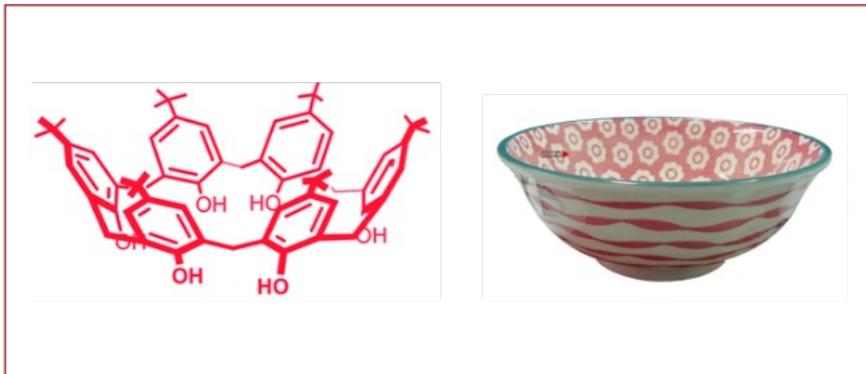
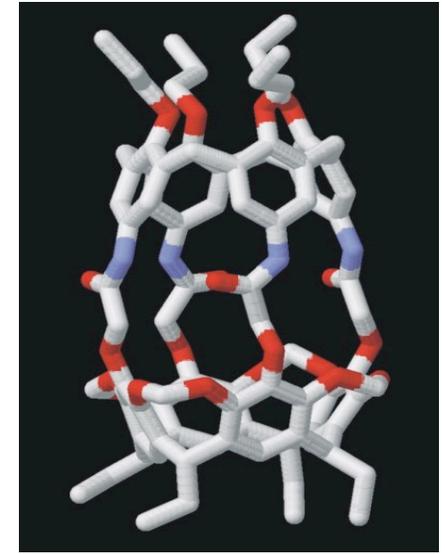
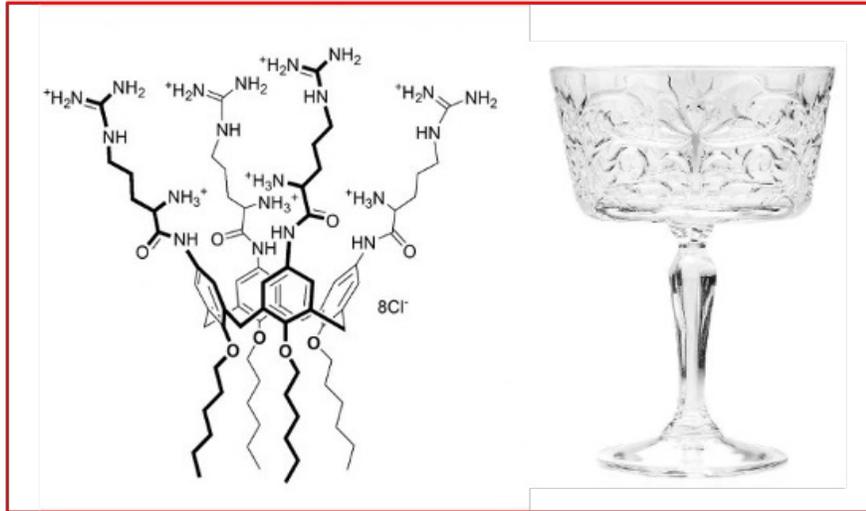
L'abilità del chimico di scoprire l'invisibile osservando le caratteristiche del visibile

# Un nuovo capitolo della nostra storia

Il chimico  
da esploratore della natura diventa  
**inventore di molecole artificiali**



# Molecole artificiali belle





JOC *Article*

## Synthesis of Anthropomorphic Molecules: The NanoPutians

Stephanie H. Chanteau and James M. Tour\*

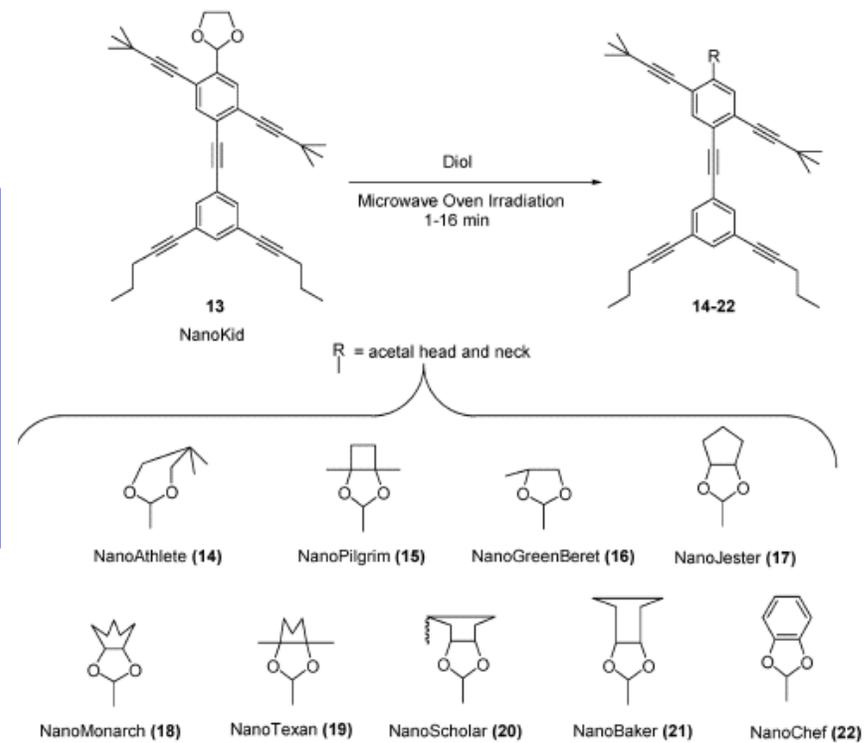
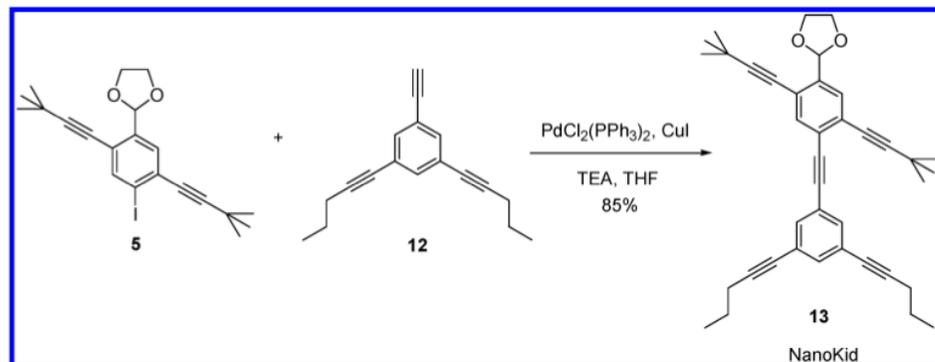
*Department of Chemistry and Center for Nanoscale Science and Technology, MS 222, Rice University,  
Houston, Texas 77005*

*tour@rice.edu*

*Received June 27, 2003*

Described here are the synthetic details en route to an array of 2-nm-tall anthropomorphic molecules in monomeric, dimeric, and polymeric form. These anthropomorphic figures are called, as a class, NanoPutians. Using tools of chemical synthesis, the ultimate in designed miniaturization can be attained while preparing the most widely recognized structures: those that resemble humans.



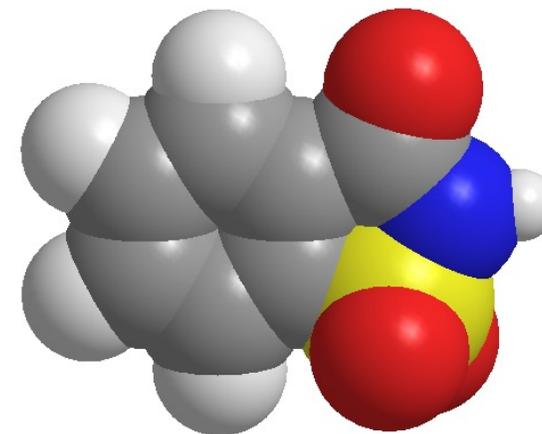
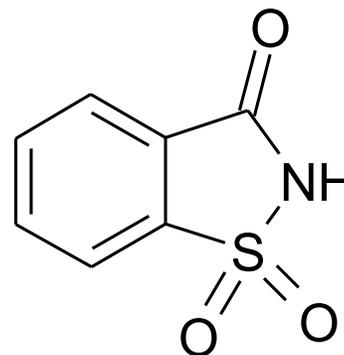




# Molecole artificiali utili: farmaci

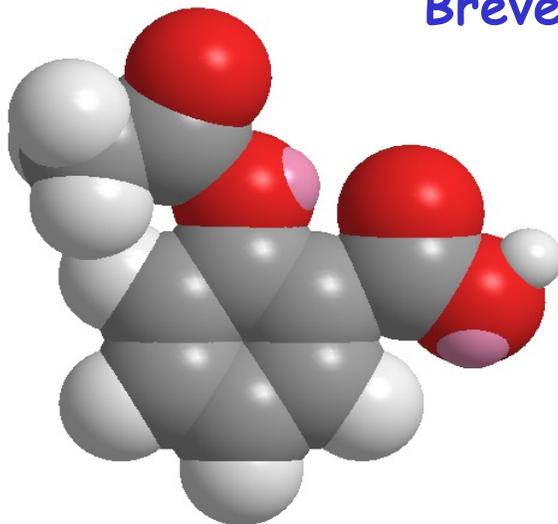
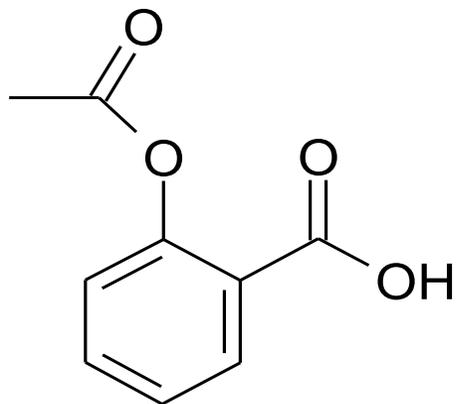
Saccarina  $C_7H_5O_3NS$

Brevetto 1884



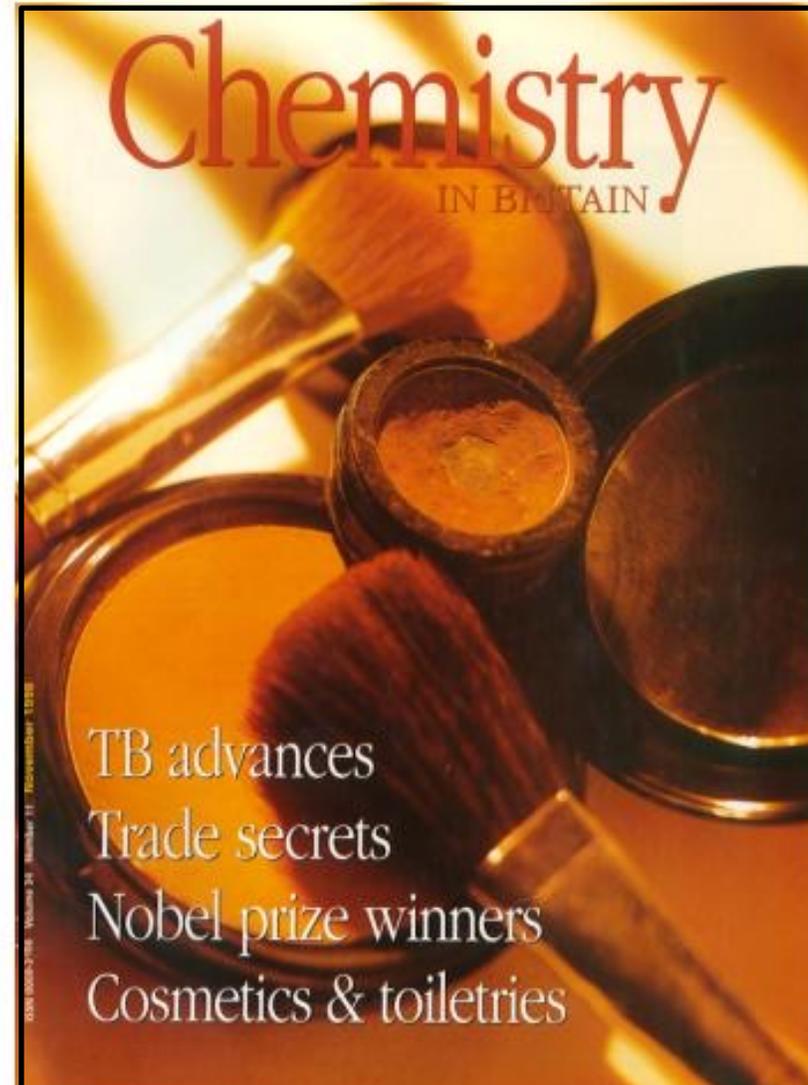
Acido acetilsalicilico (aspirina)  $C_9H_8O_4$

Brevetto 1899

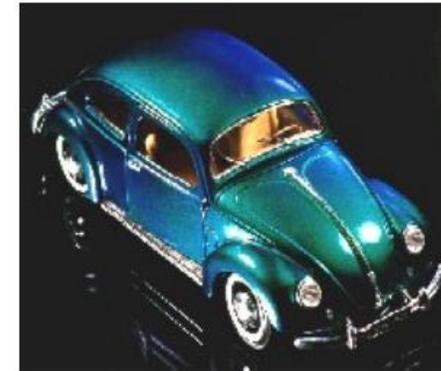
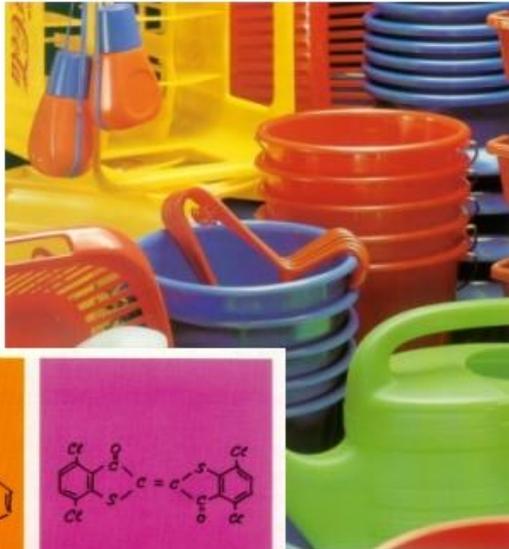


Ancora oggi il farmaco più  
venduto al mondo e l'unico  
farmaco portato dagli astronauti  
nella missione sulla Luna

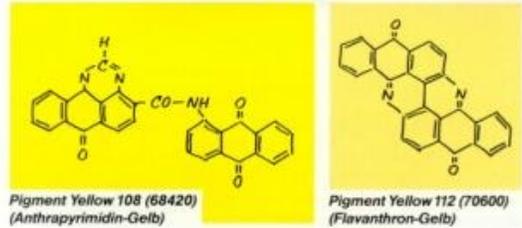
# Prodotti per l'igiene personale e la cosmetica



# Pigmenti e coloranti



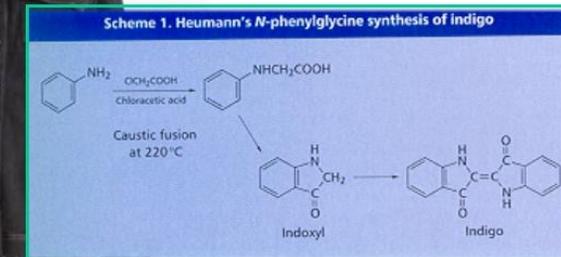
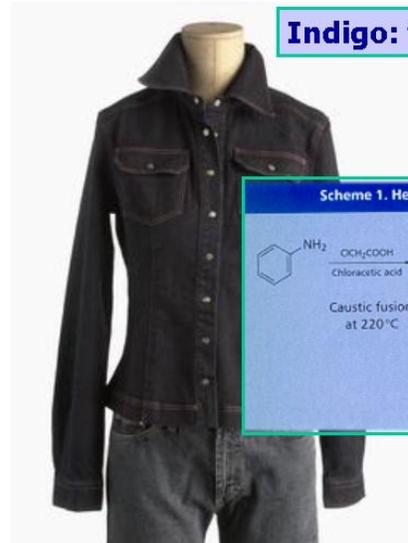
MORE PIGMENTS...



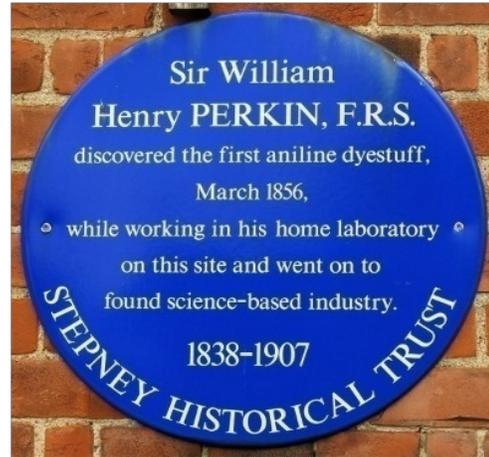
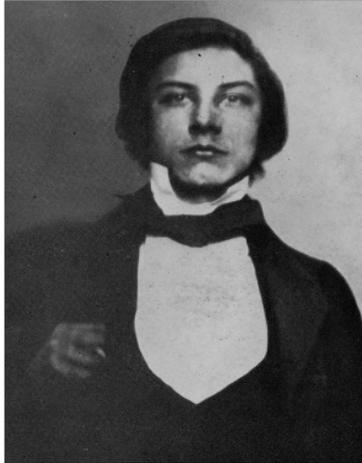
Wol AS-Pigmente	
Novoperm- Rot FSRK	Permanent- Carmin FBB 02
5	4-5
5	5
5	5
5	2



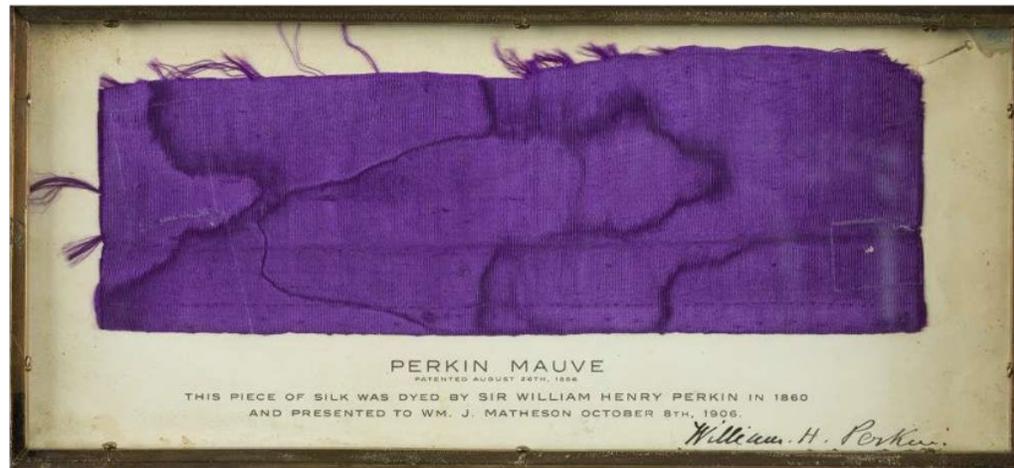
## Indigo: the colour of blue jeans



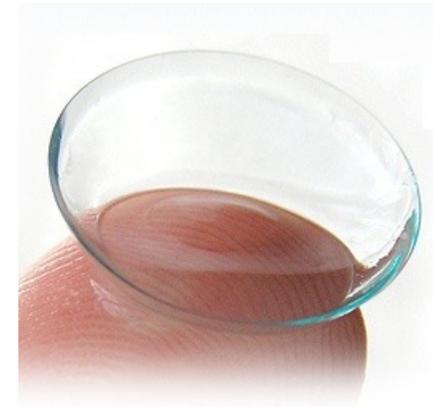
# Nel 1856 nasce il primo colorante artificiale



All'inaugurazione la Regina Vittoria indossa un abito tinto con il malva di Perkin



# Materiali polimerici



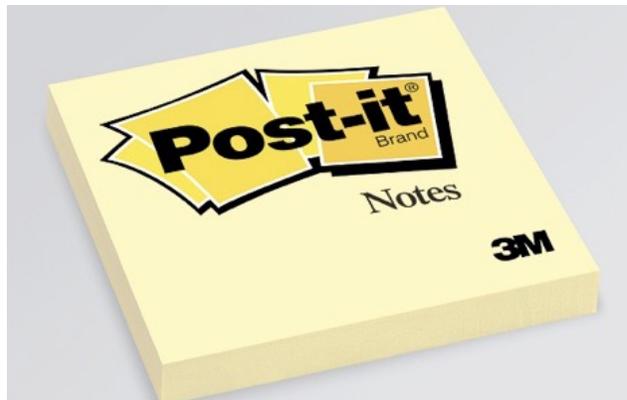
# Giulio Natta: unico italiano insignito del Premio Nobel per la Chimica nel 1963



Motivazione del premio, condiviso con Karl Ziegler: per le scoperte nel campo della chimica e della tecnologia dei polimeri

Sviluppo di catalizzatori per ottenere il polipropilene a struttura ordinata

# Collanti e materiali adesivi



La "colla attacca e stacca",  
inventata da Spencer Silver nel  
1968, trovò applicazione nel 1980

# Processi artificiali



Elettricità



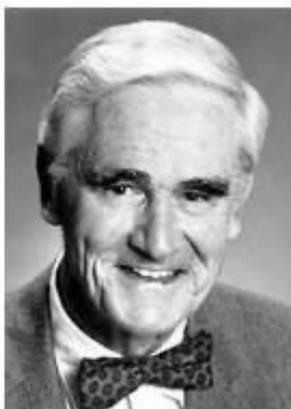
Nelle celle solari l'assorbimento di luce da parte di un materiale semiconduttore origina una corrente elettrica  
Tante celle vengono collegate per formare i pannelli fotovoltaici

# L'ultimo capitolo della nostra storia

La massima espressione della creatività chimica

## La Chimica Supramolecolare

La chimica oltre la molecola che si interessa dei sistemi ottenuti mettendo assieme più molecole (sistemi supramolecolari)



Donald J. Cram  
Prize share: 1/3



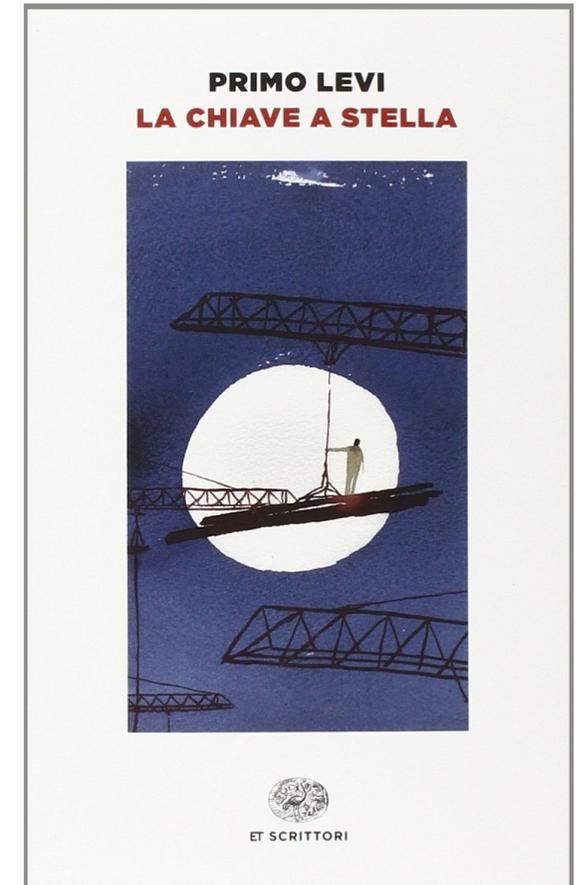
Jean-Marie Lehn  
Prize share: 1/3



Charles J. Pedersen  
Prize share: 1/3

Premio Nobel per la  
Chimica nel 1987

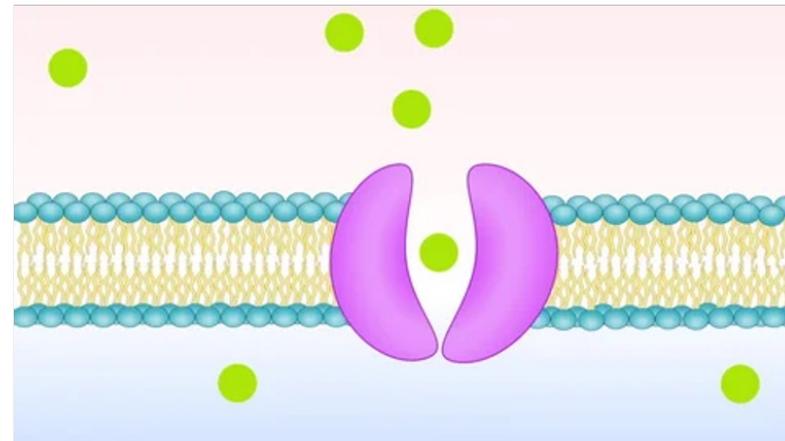
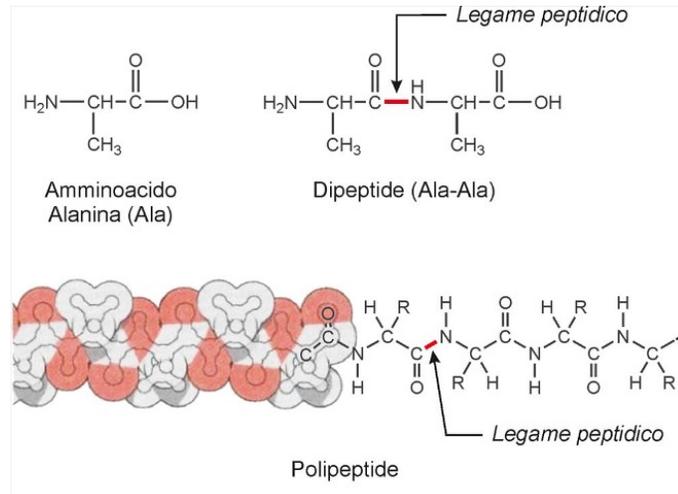
"... è più ragionevole arrivarci a poco per volta, montando prima due pezzi soli, poi il terzo e così via. Non abbiamo quelle pinzette ... che ci permetterebbero di prendere un segmento, di tenerlo ben stretto e diritto, e di incollarlo nel verso giusto sul segmento che è già montato. Se quelle pinzette le avessimo (e non è detto che un giorno non le avremo) saremmo già riusciti a fare delle cose graziose ..."



Primo Levi  
*La chiave a stella, 1978*

# La nascita della Chimica Supramolecolare ha permesso di interpretare in modo nuovo la biologia

La natura usa massicciamente i sistemi supramolecolari

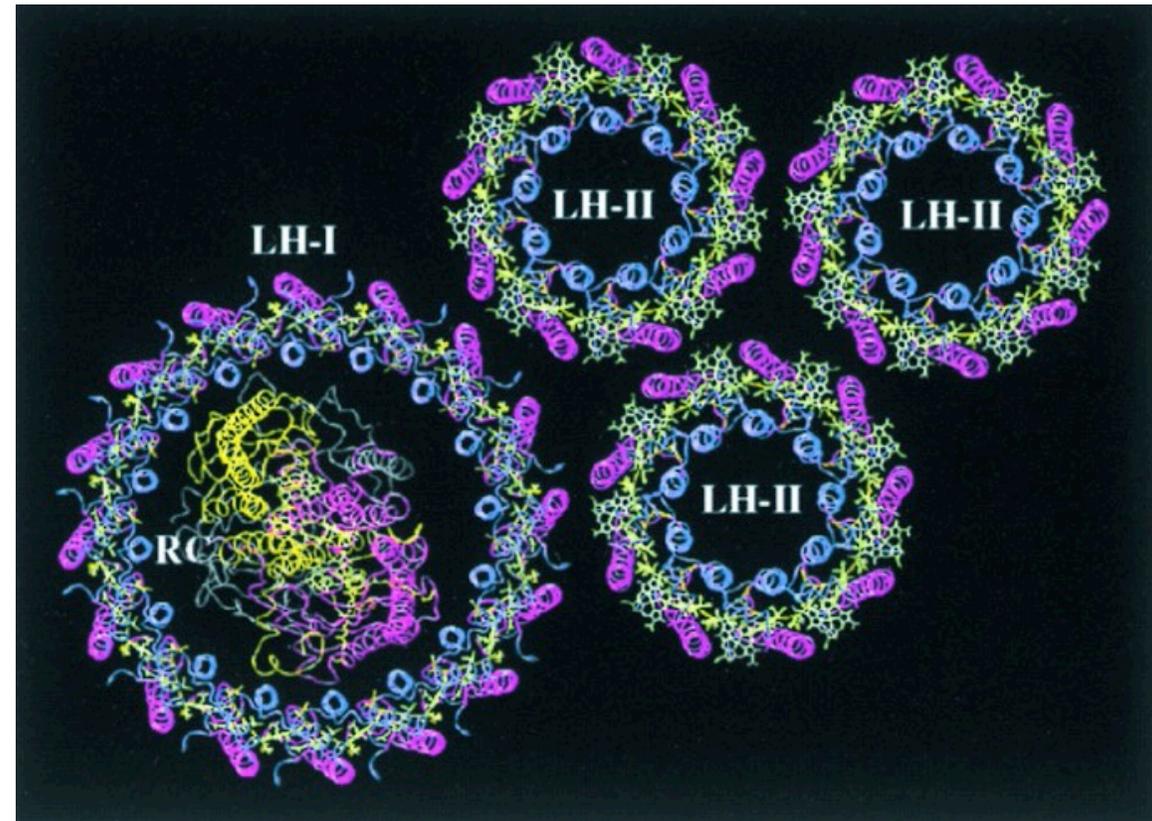
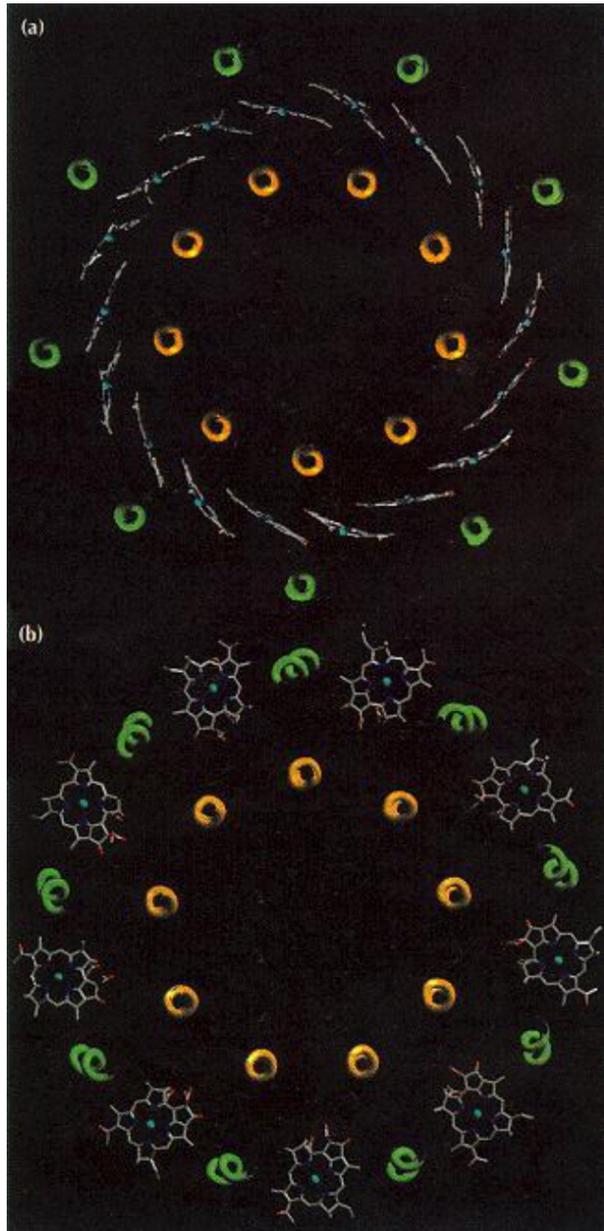


LINGUAGGIO	CHIMICA
<i>Lettere</i> (a, b, c, ...)	<i>Atomi</i> (C, H, O, ...)
<i>Alfabeto</i>	<i>Tavola Periodica</i>
<i>Insieme di lettere</i>	<i>Insieme di atomi</i> (CHHHCNHHOO)
<i>Parole</i> (bicicletta)	<i>Molecole</i> (glicina, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ )
<i>Frase</i> (il bambino va a scuola in bicicletta)	<i>Sistemi supramolecolari</i> (associazioni fra molecole)

**I sistemi supramolecolari sono le frasi della Chimica**

# Congegni molecolari naturali

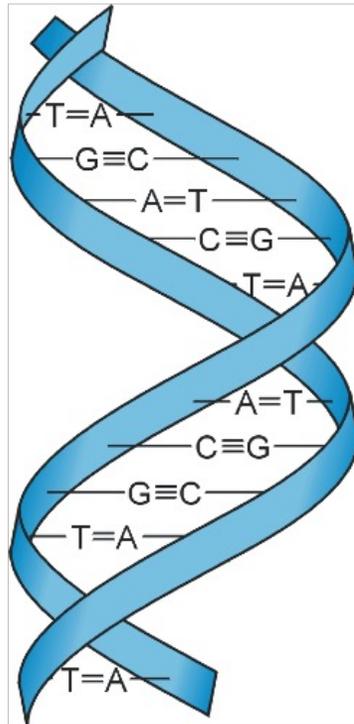
## Sistemi antenna



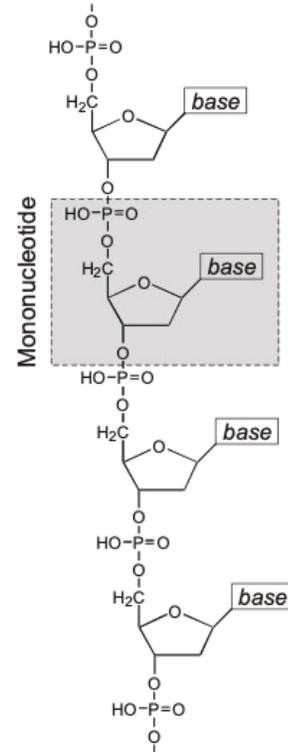
Isaacs et al., *Nature*, 1995

# Congegni molecolari naturali

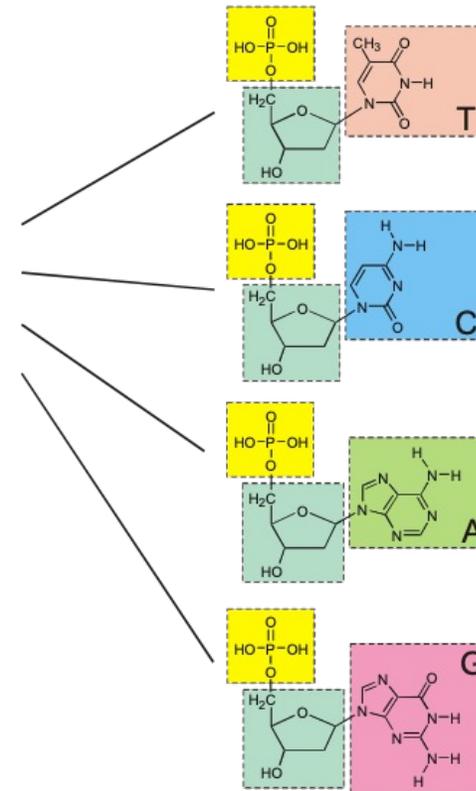
Segmento di doppia elica



Segmento di un filamento

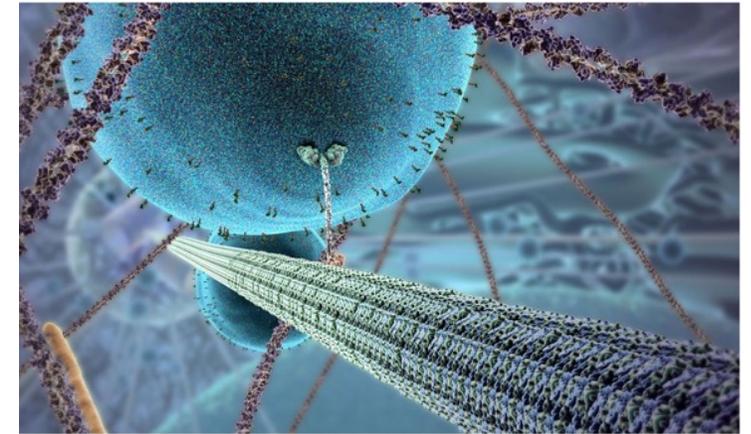
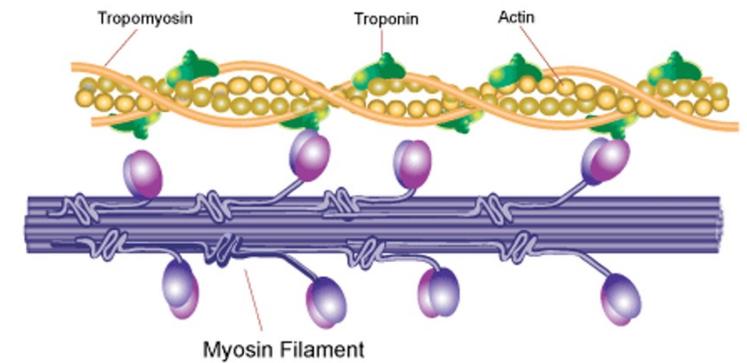
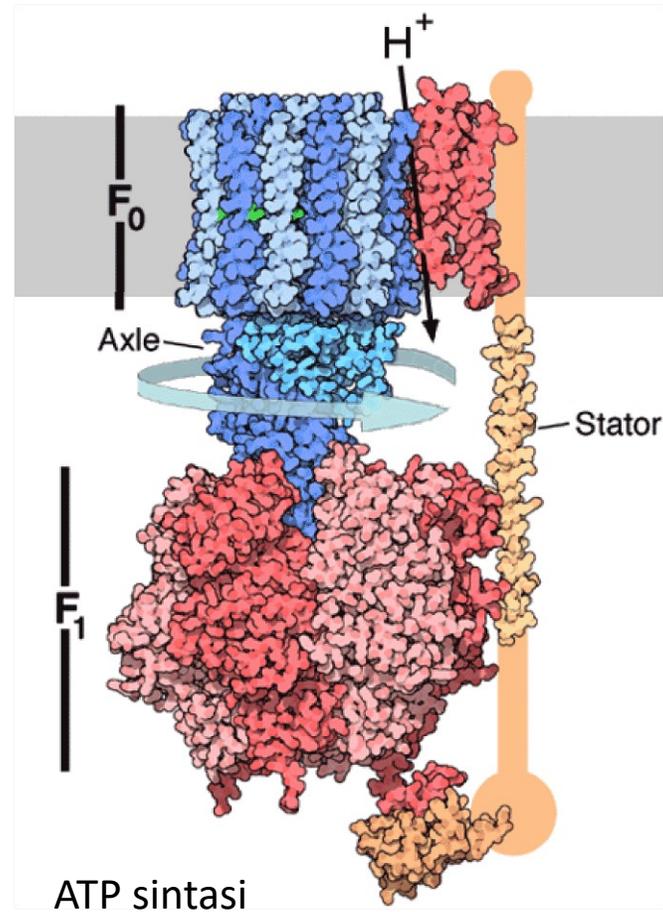
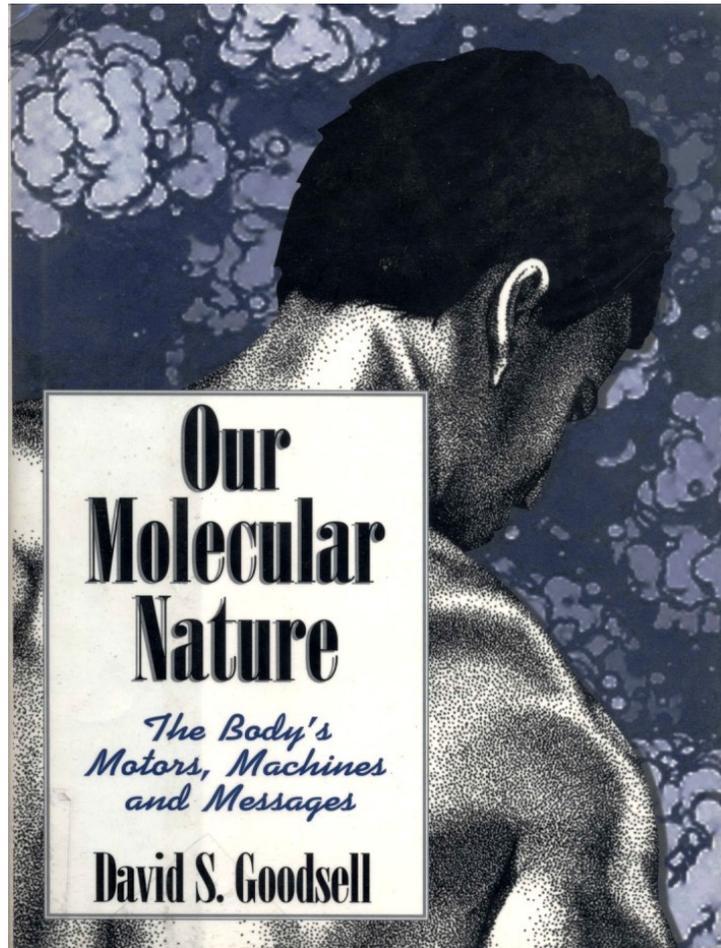


I quattro tipi di mononucleotidi



Il DNA trasmette l'informazione genetica

# Macchine molecolari naturali



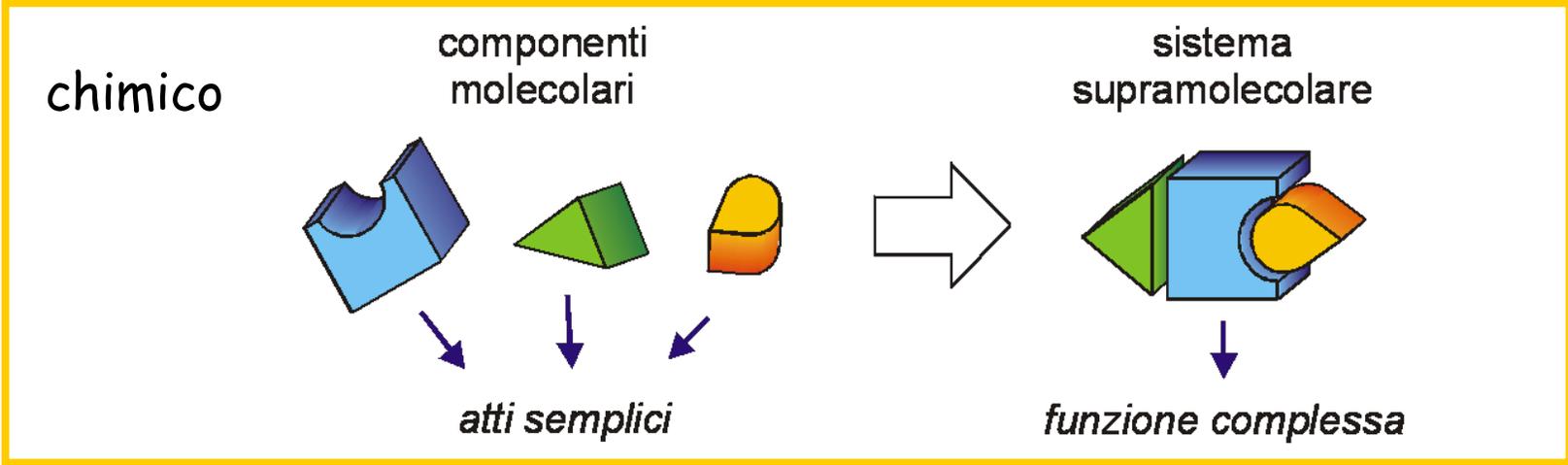
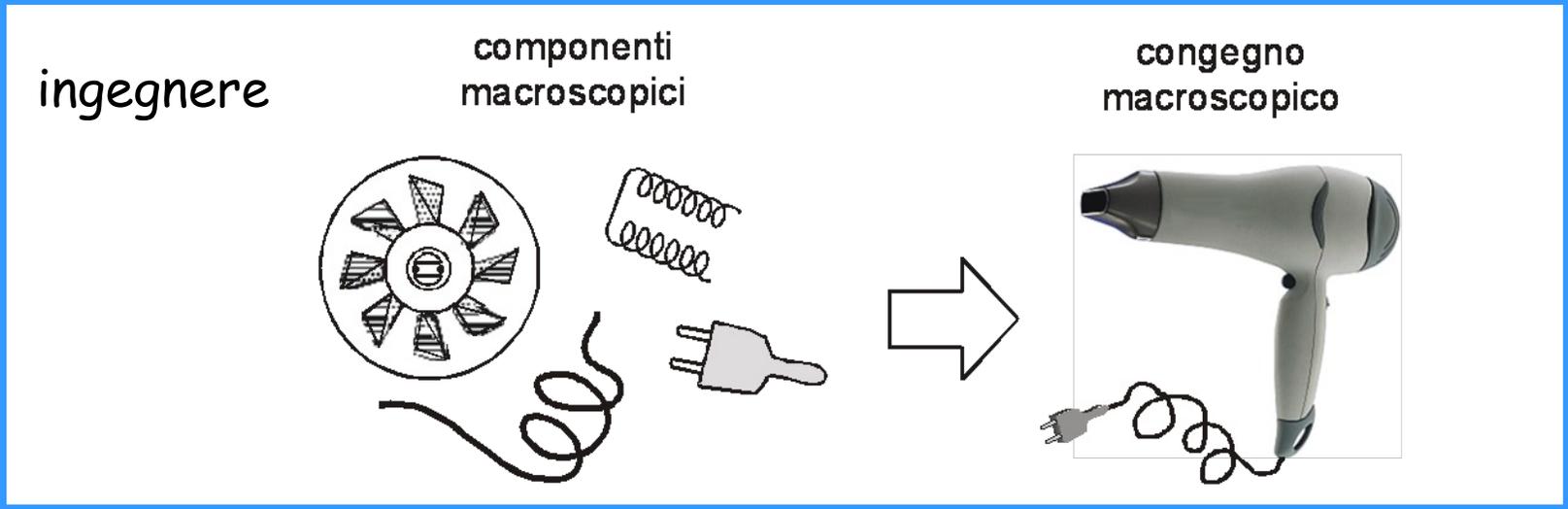
Motori lineari

Si stima che nel nostro corpo siano costantemente al lavoro 10.000 differenti macchine e motori molecolari

Il chimico si è «fatto le ossa» studiando i nanocongegni e le nanomacchine naturali

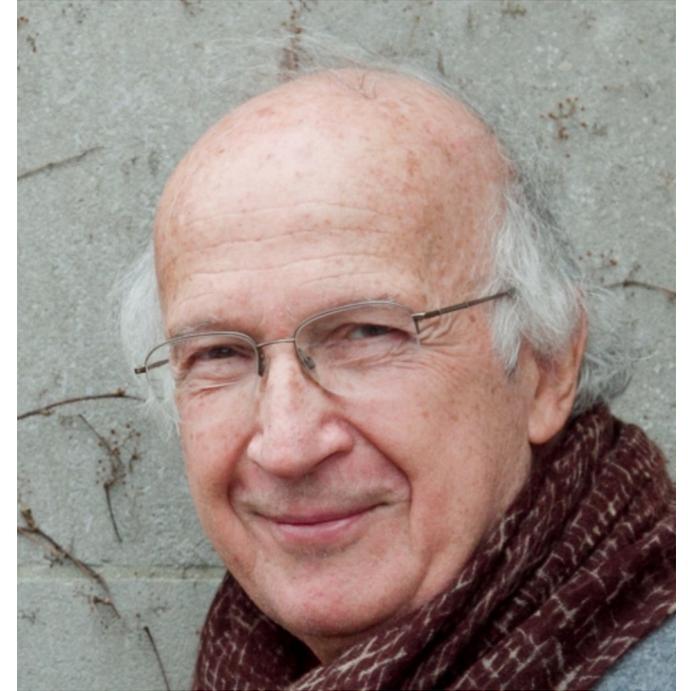
L'ambizioso progetto dei chimici è quello di costruire congegni e macchine che abbiano la dimensione del nanometro sfruttando l'associazione fra molecole e una mentalità di tipo ingegneristico

# Il chimico diventa **ingegnere** a livello molecolare



# La nanotecnologia

La nanotecnologia deriva dal connubio tra il talento sintetico dei chimici ed una mentalità di tipo "ingegneristico"



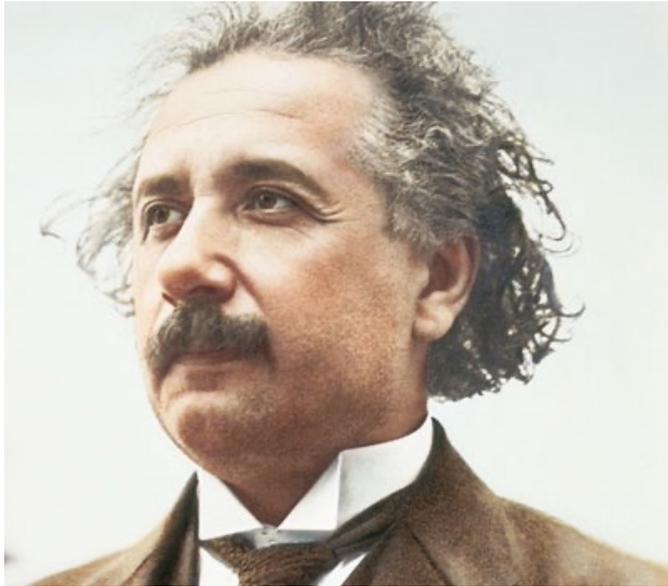
**Roald Hoffmann**  
Nobel per la Chimica nel 1981

Ad oggi il chimico ingegnere molecolare è riuscito a costruire i primi prototipi di congegni e macchine nanometrici. Sono molto semplici, ma sono comunque «cose graziose» per usare le parole di Levi

"... Se quelle pinzette le avessimo (e non è detto che un giorno non le avremo) saremmo già riusciti a fare delle cose graziose ..."



# Alcuni esempi di sistemi sviluppati nel gruppo di Fotochimica dell'Università di Bologna



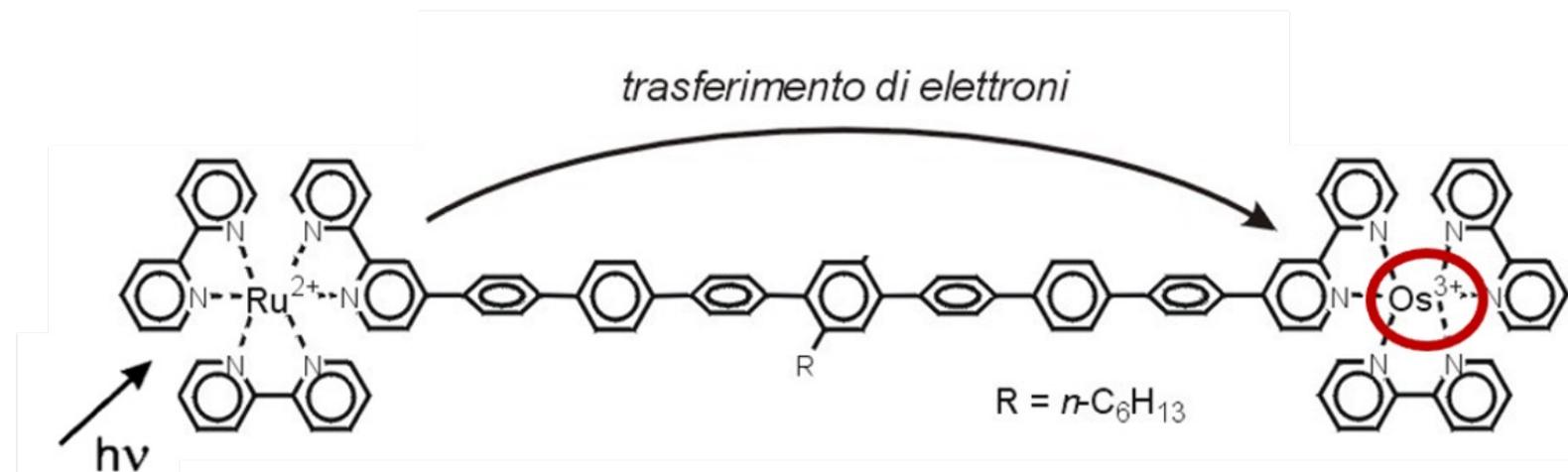
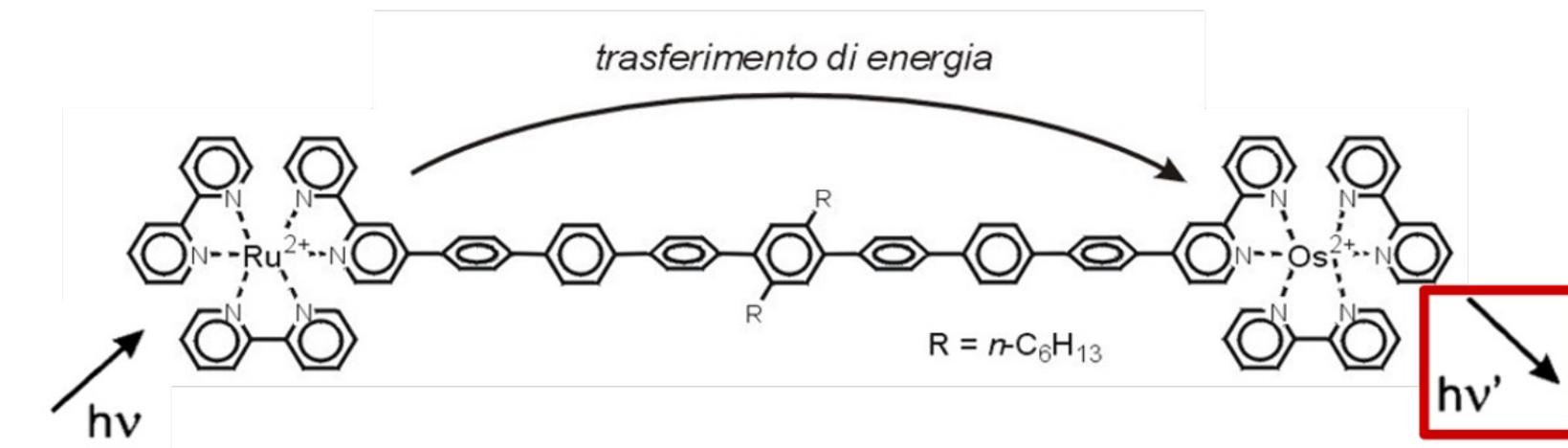
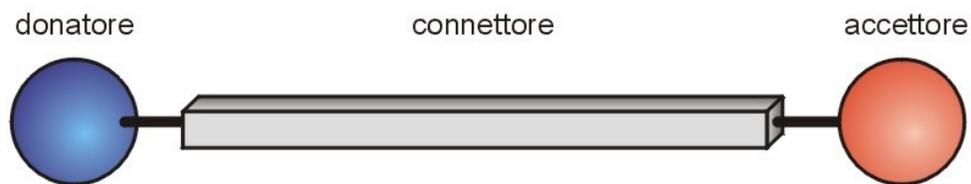
Everything should be made as simple as possible, but not simpler

Albert Einstein

# Congegni molecolari artificiali

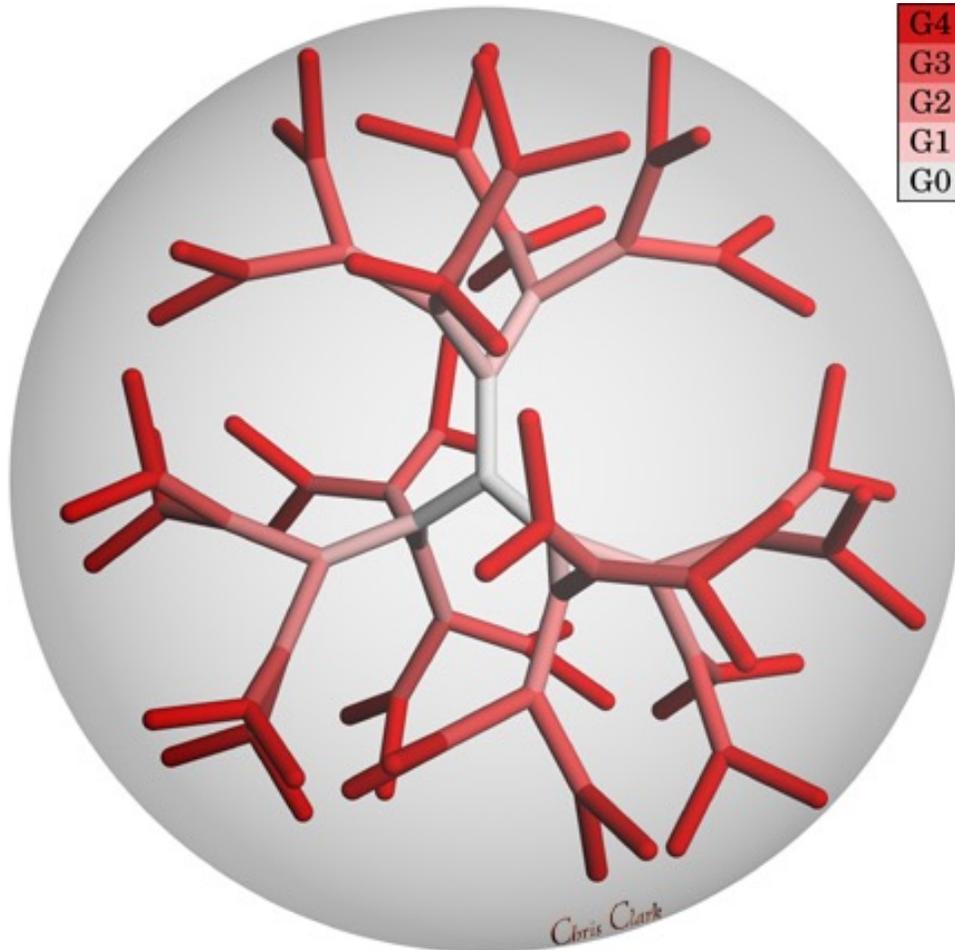
Sistemi supramolecolari capaci di trasferire, raccogliere, immagazzinare ed elaborare segnali

# Fili molecolari

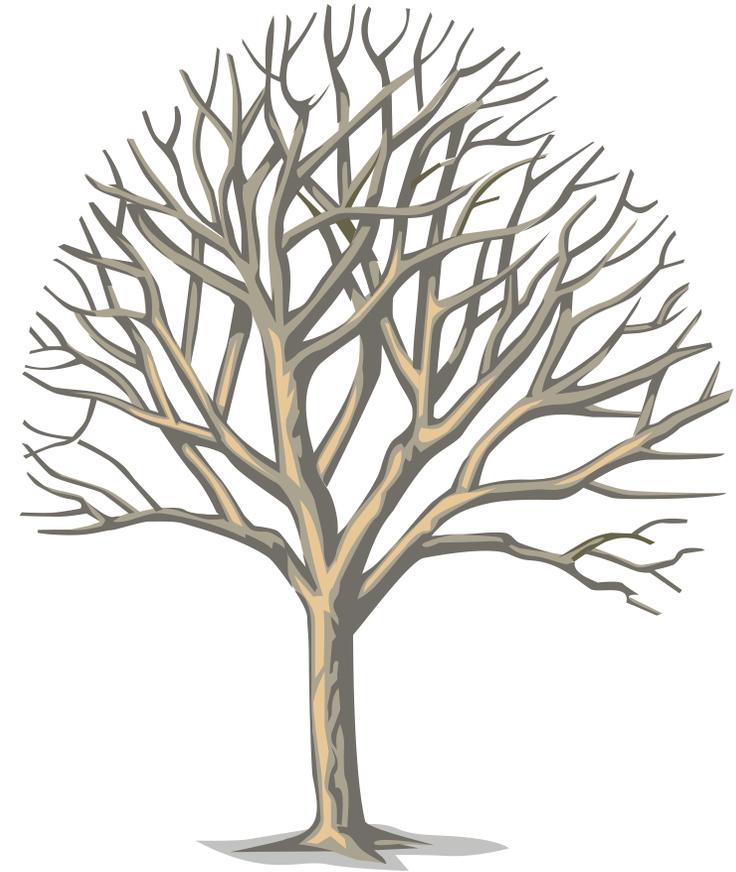


4,2 nm

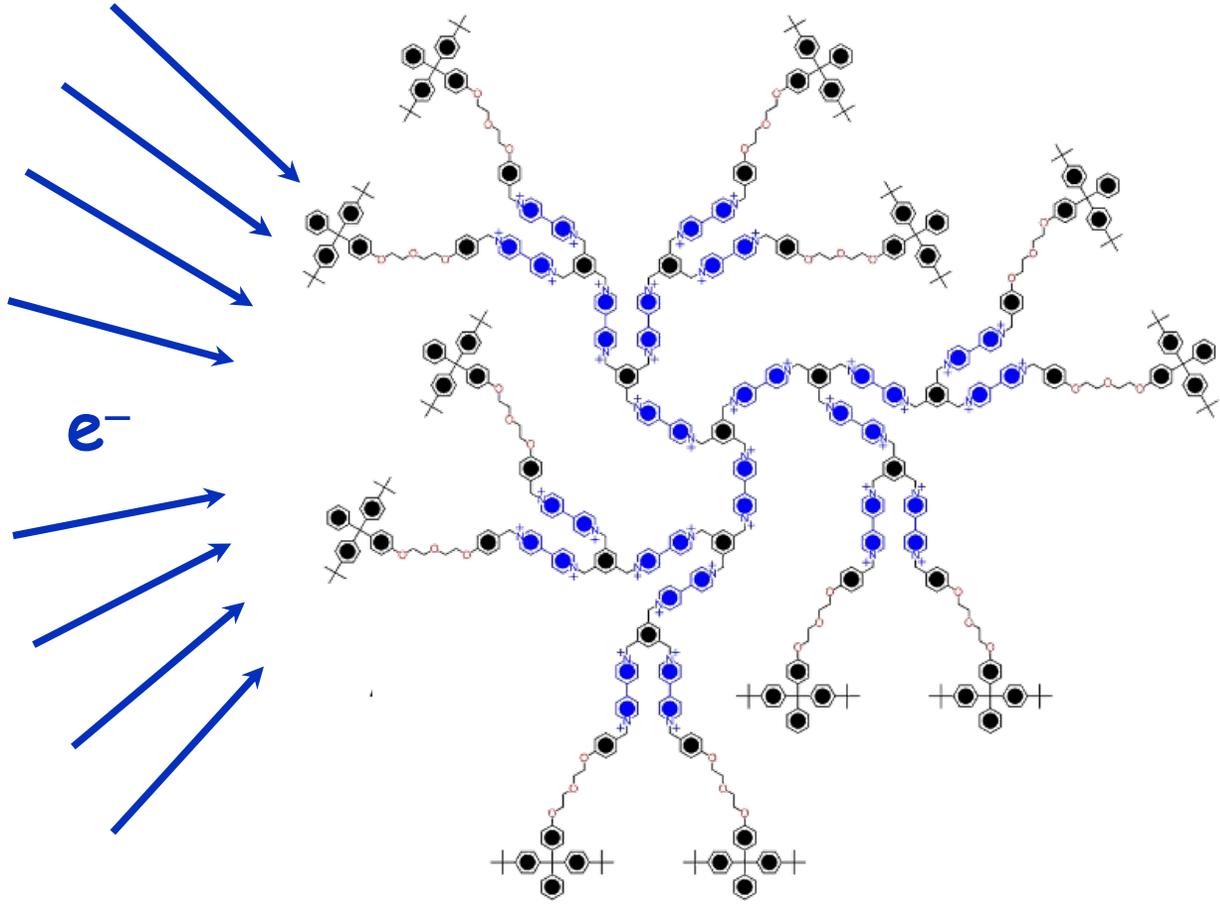
# Dendrimeri → Strutture ad albero



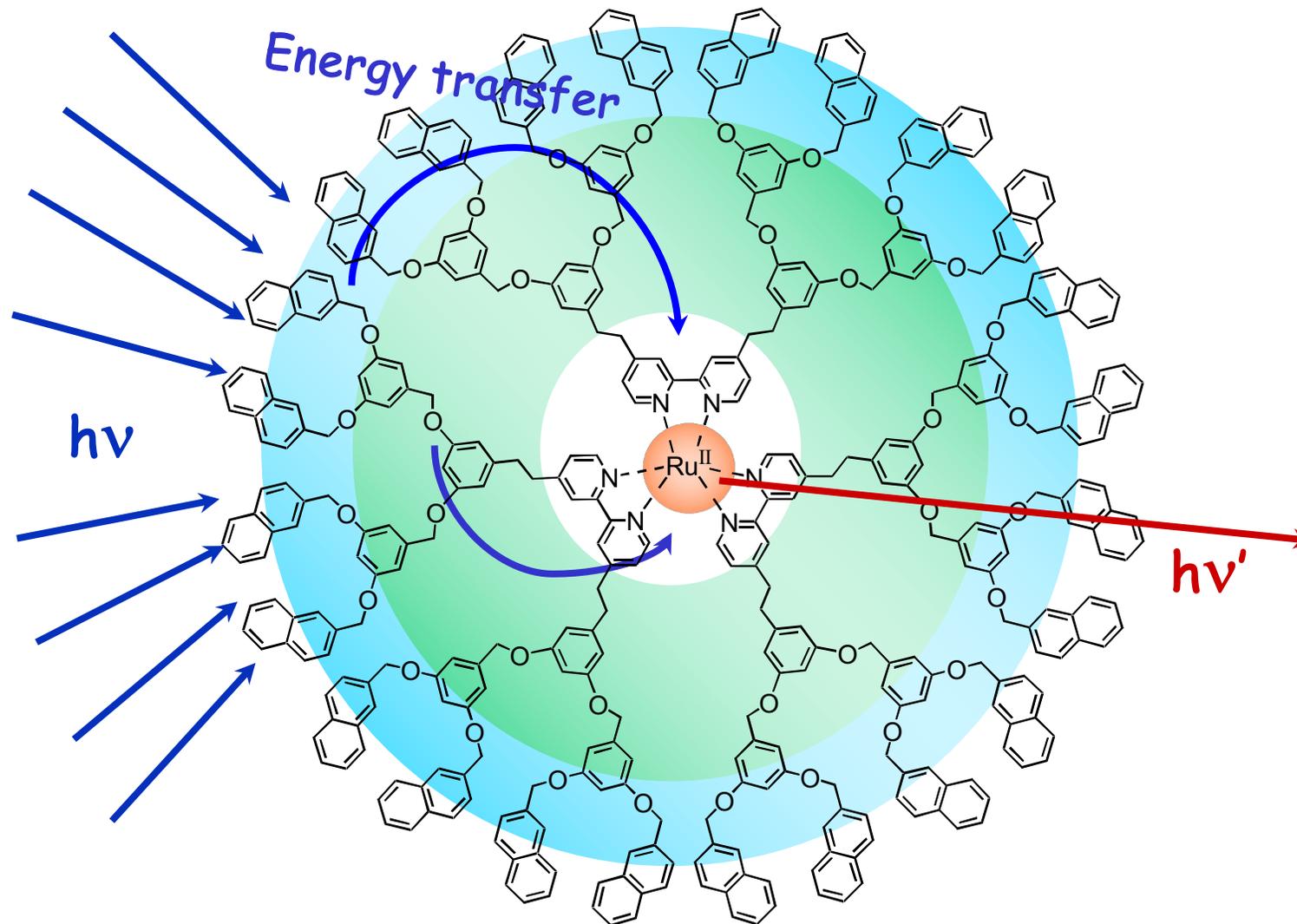
G4  
G3  
G2  
G1  
G0



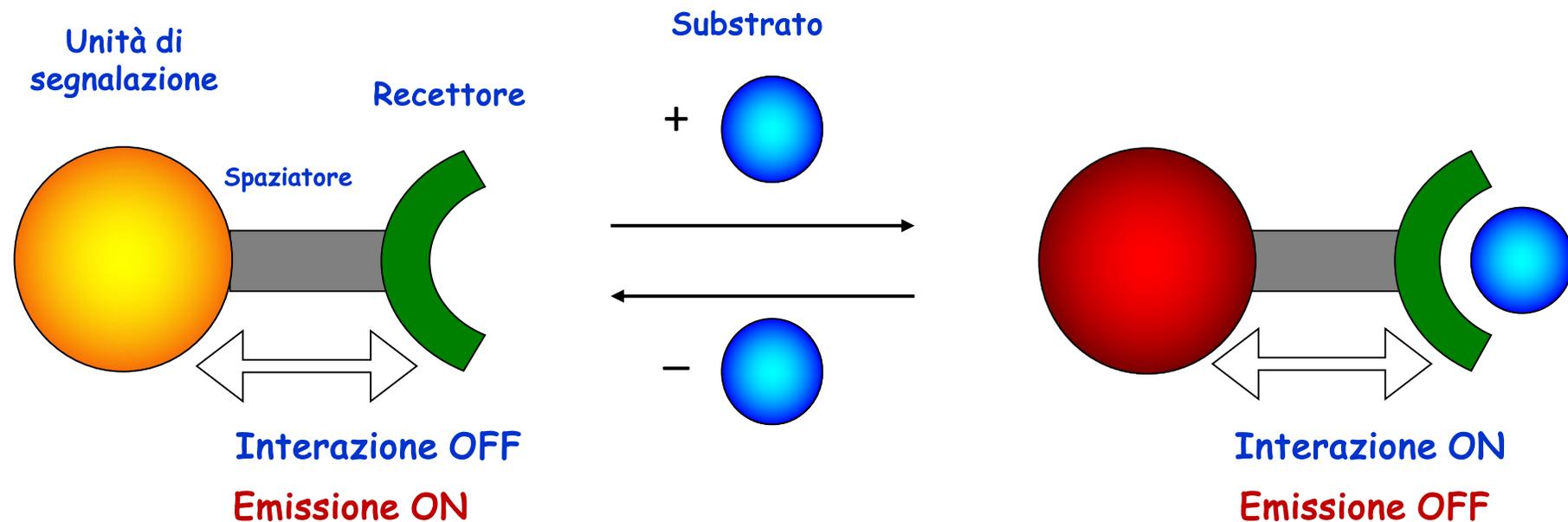
# Dendrimeri come batterie molecolari



# Dendrimeri come antenne molecolari

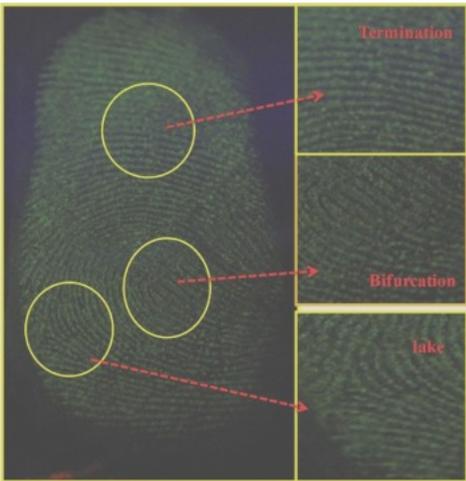


# Sistemi la cui emissione di luce può essere spenta (o accesa) in presenza di una specifica sostanza



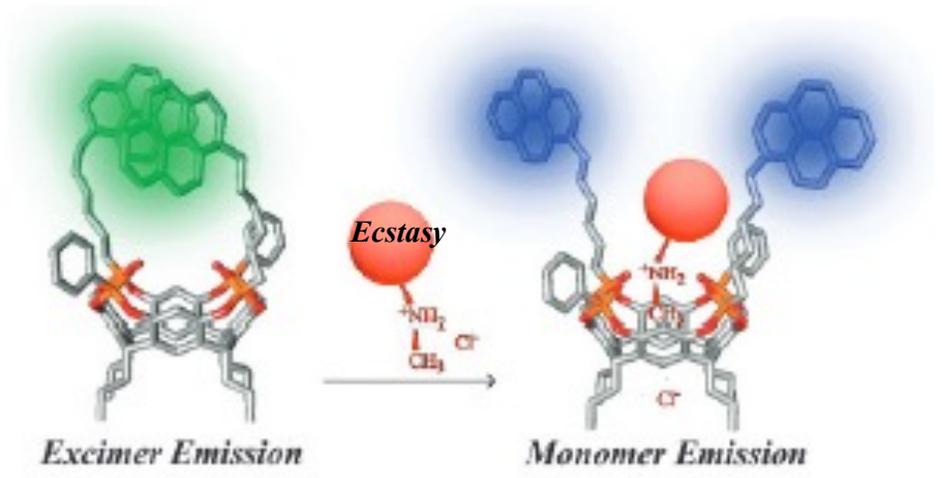
## Sensori luminescenti

# Ambito forense



## Impronte digitali latenti

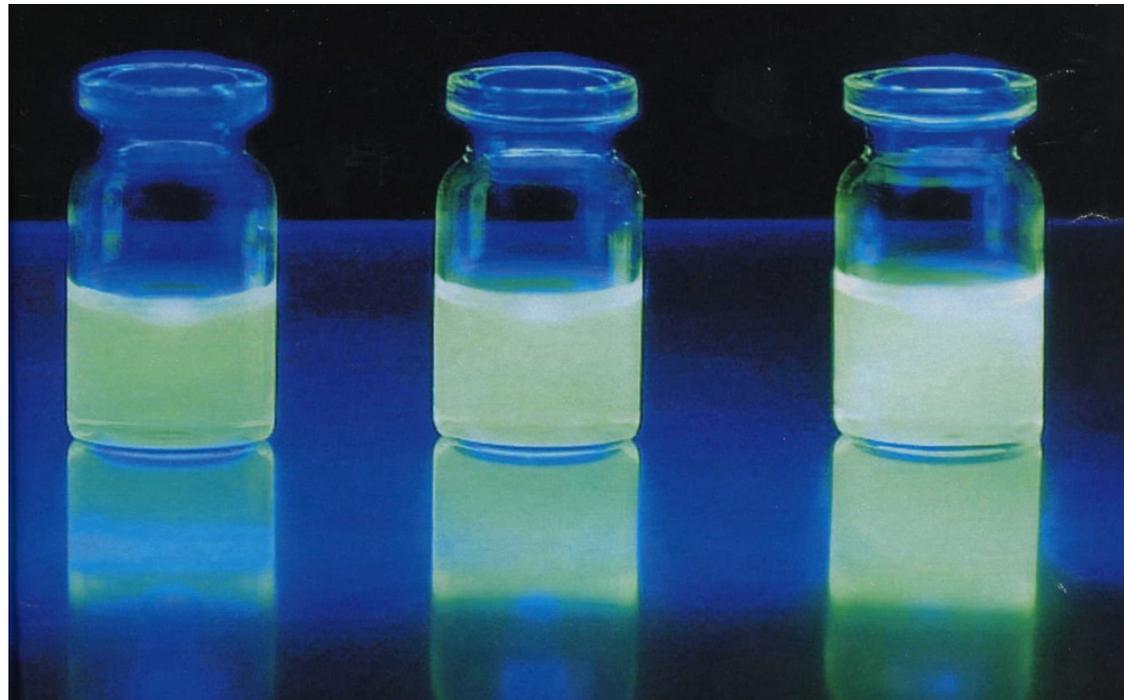
## Droghe nei fluidi biologici



## Tracce di esplosivi

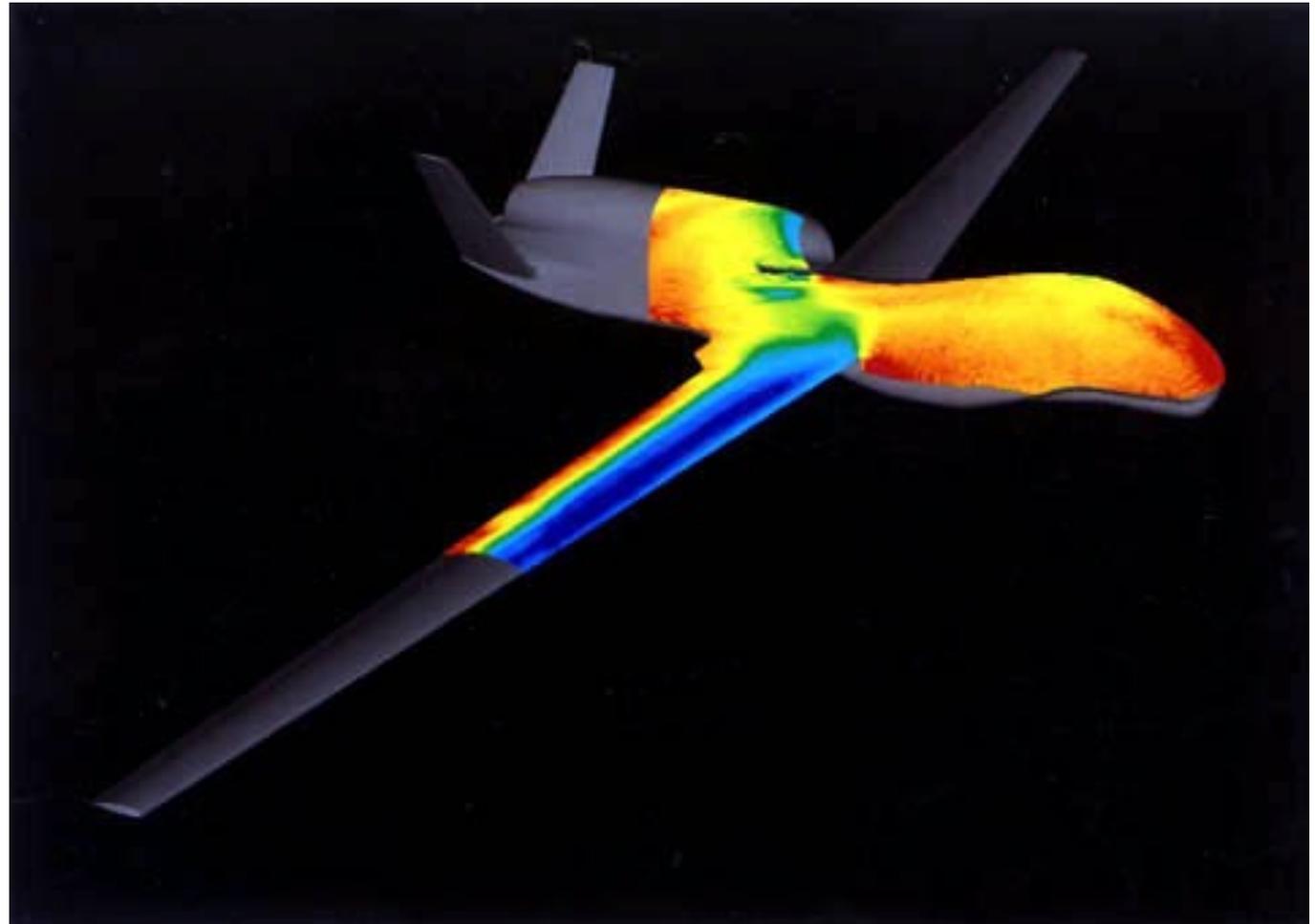
# Settore ambientale

ad es. per la determinazione quali e quantitativa di inquinanti (mercurio nelle acque)

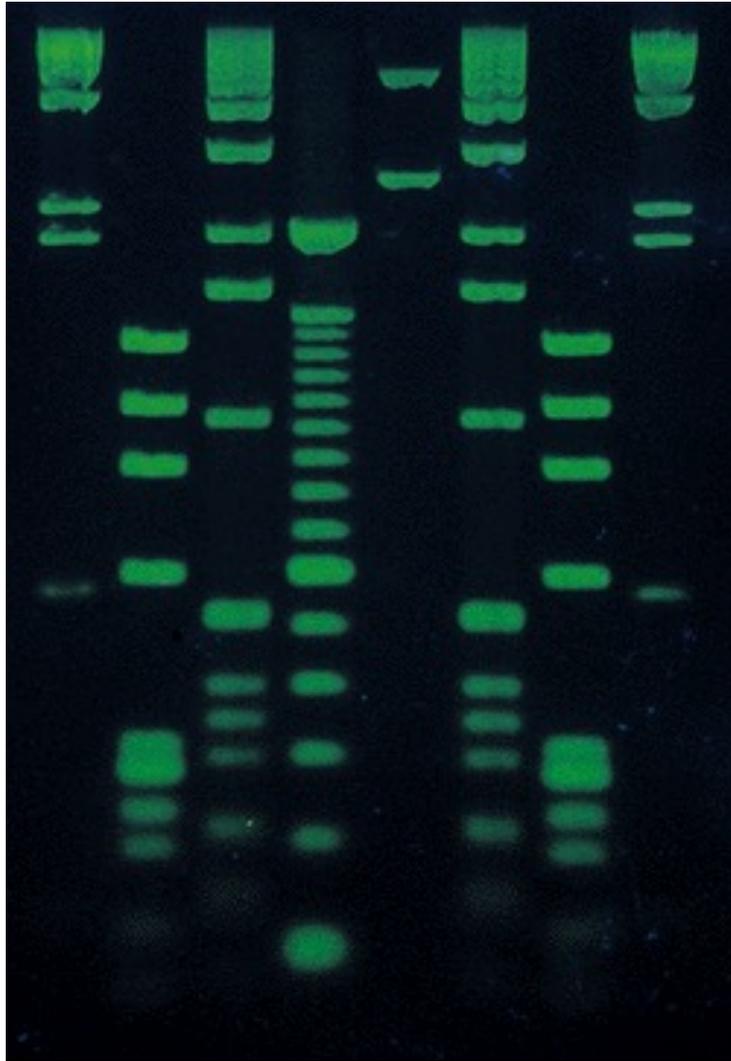


# Ambito tecnologico

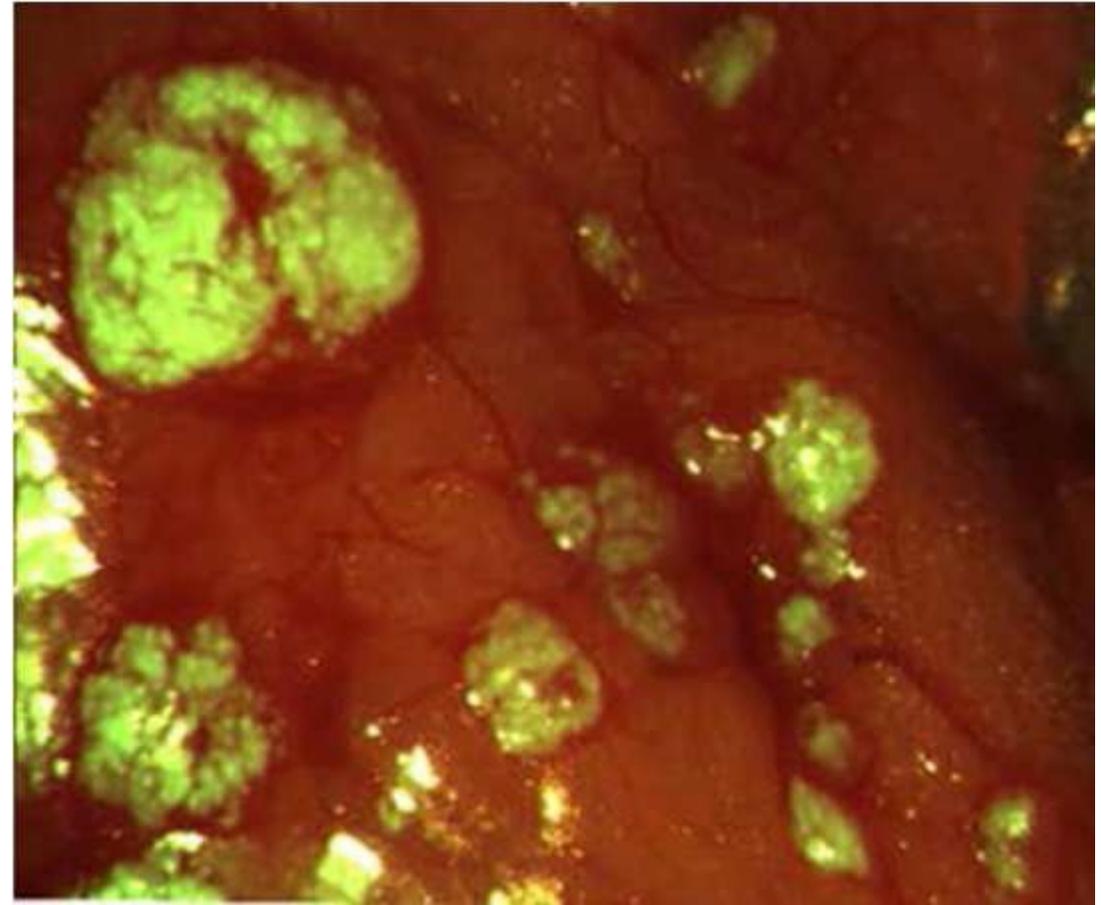
## La galleria del vento



# Ambito medico



riconoscere specifiche  
sequenze del DNA



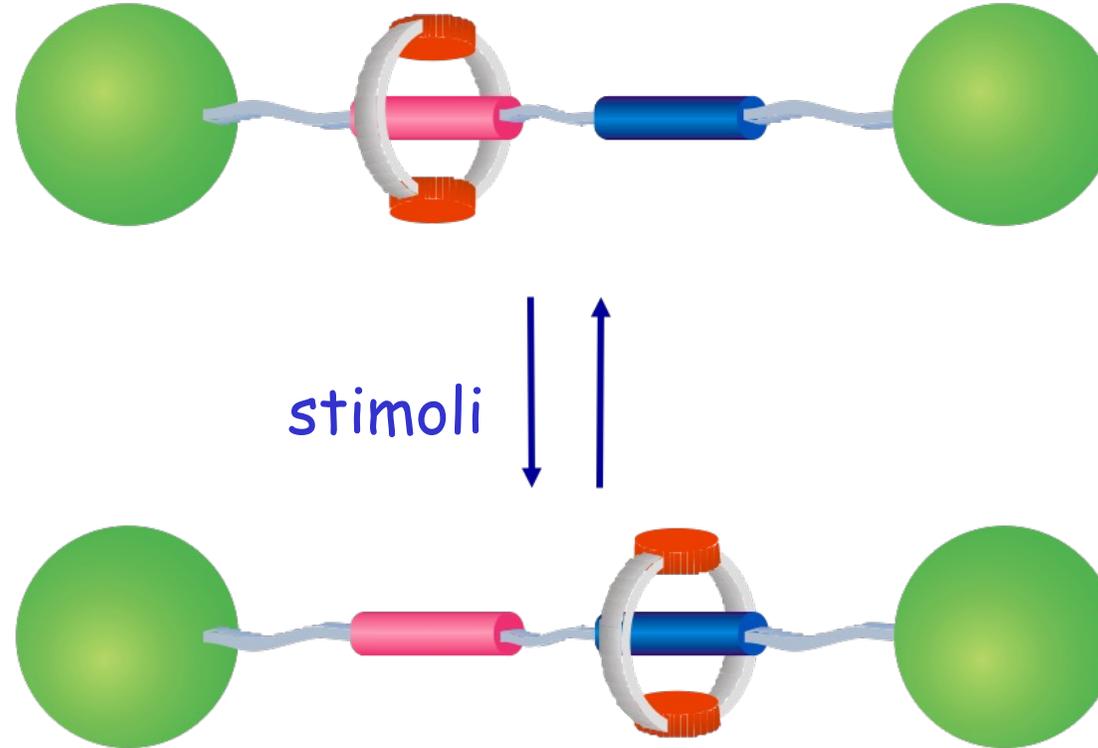
chirurgia guidata dalla luce:  
l'ultima frontiera della chirurgia

# Macchine molecolari artificiali

Sistemi supramolecolari i cui componenti sono capaci di compiere movimenti meccanici a seguito di opportuni stimoli esterni

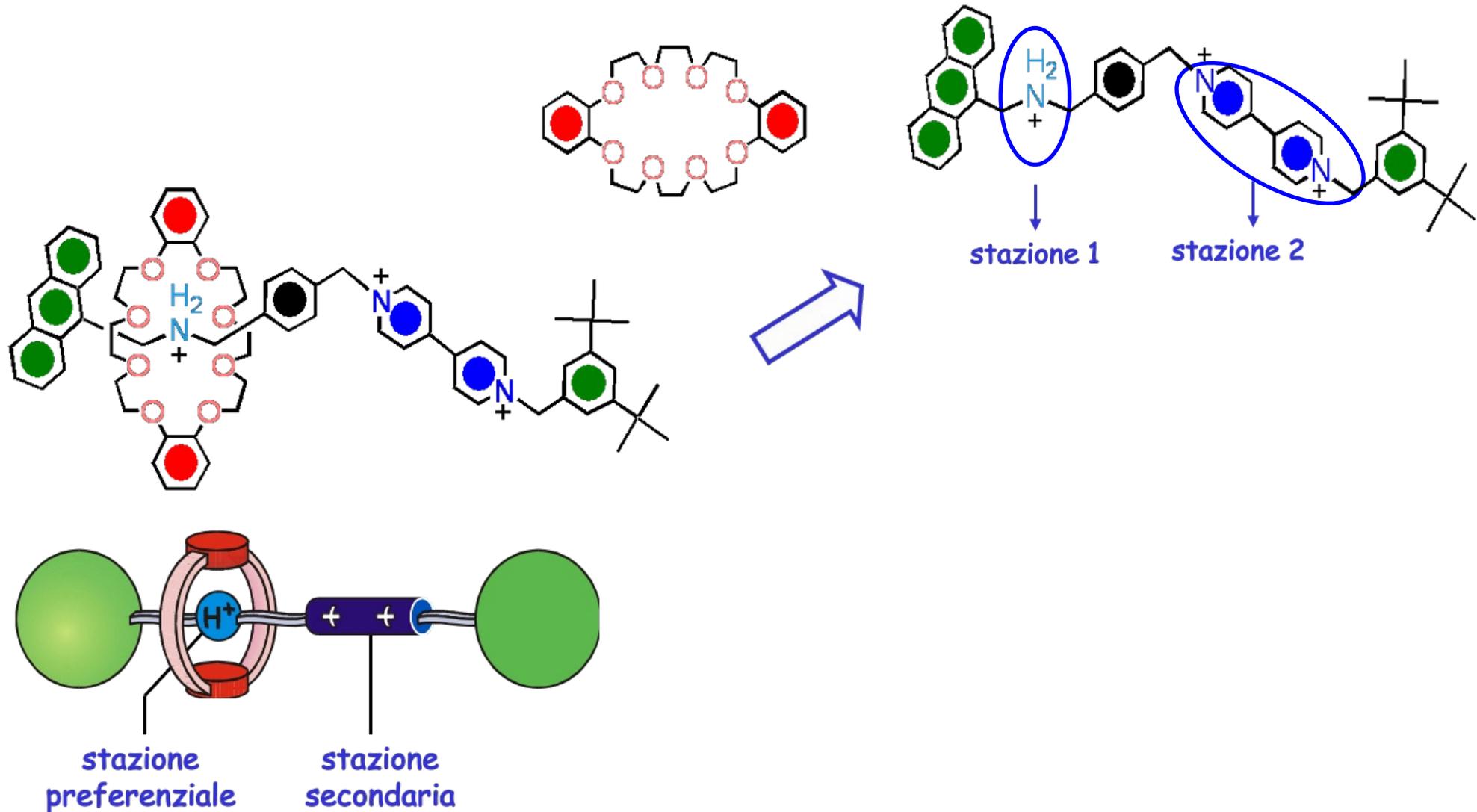
# Una navetta molecolare

rotassano = ruota + asse

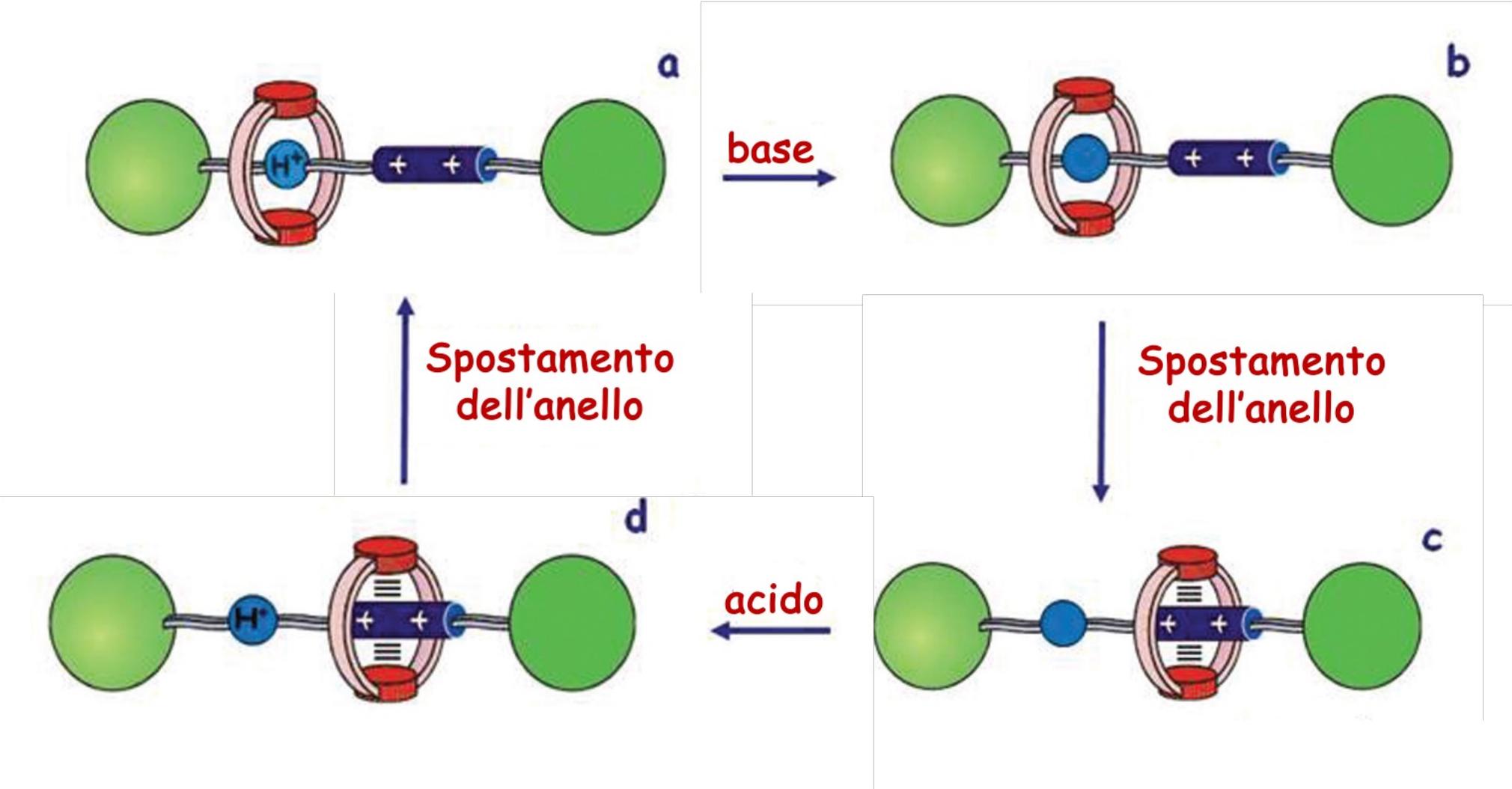


La fase della progettazione è cruciale

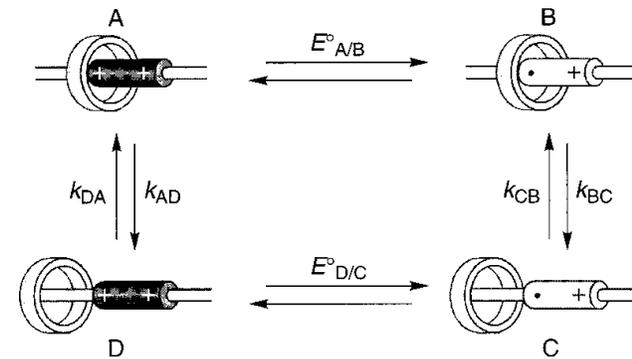
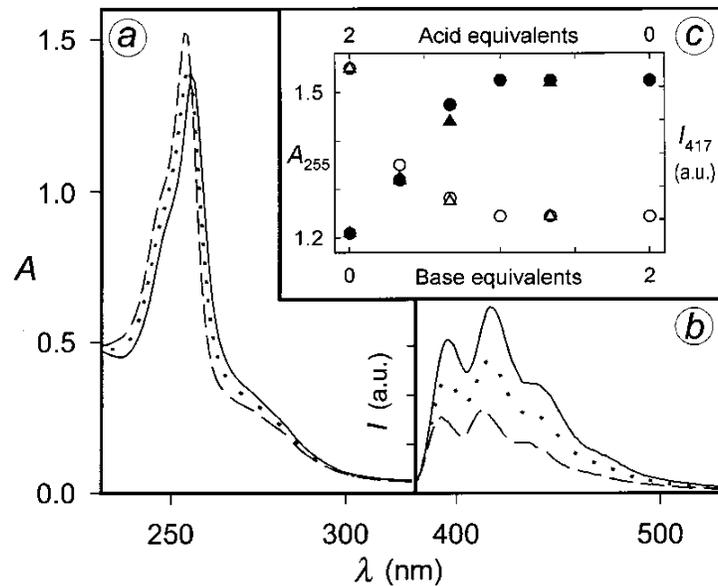
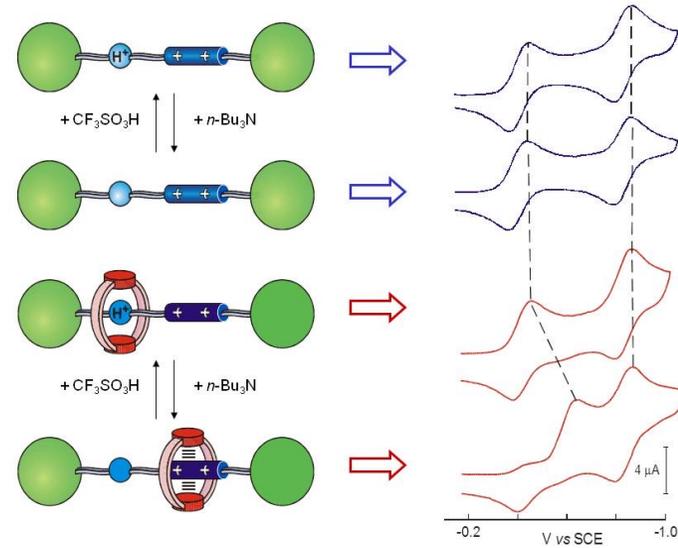
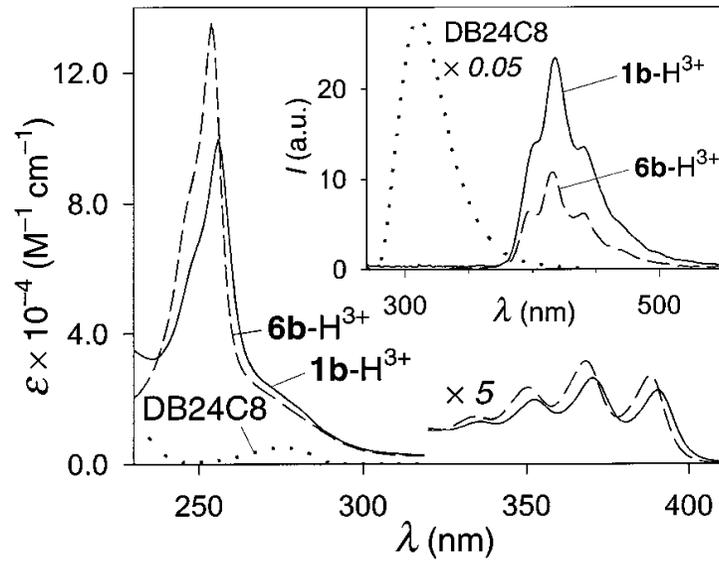
# Una navetta molecolare azionata dal pH



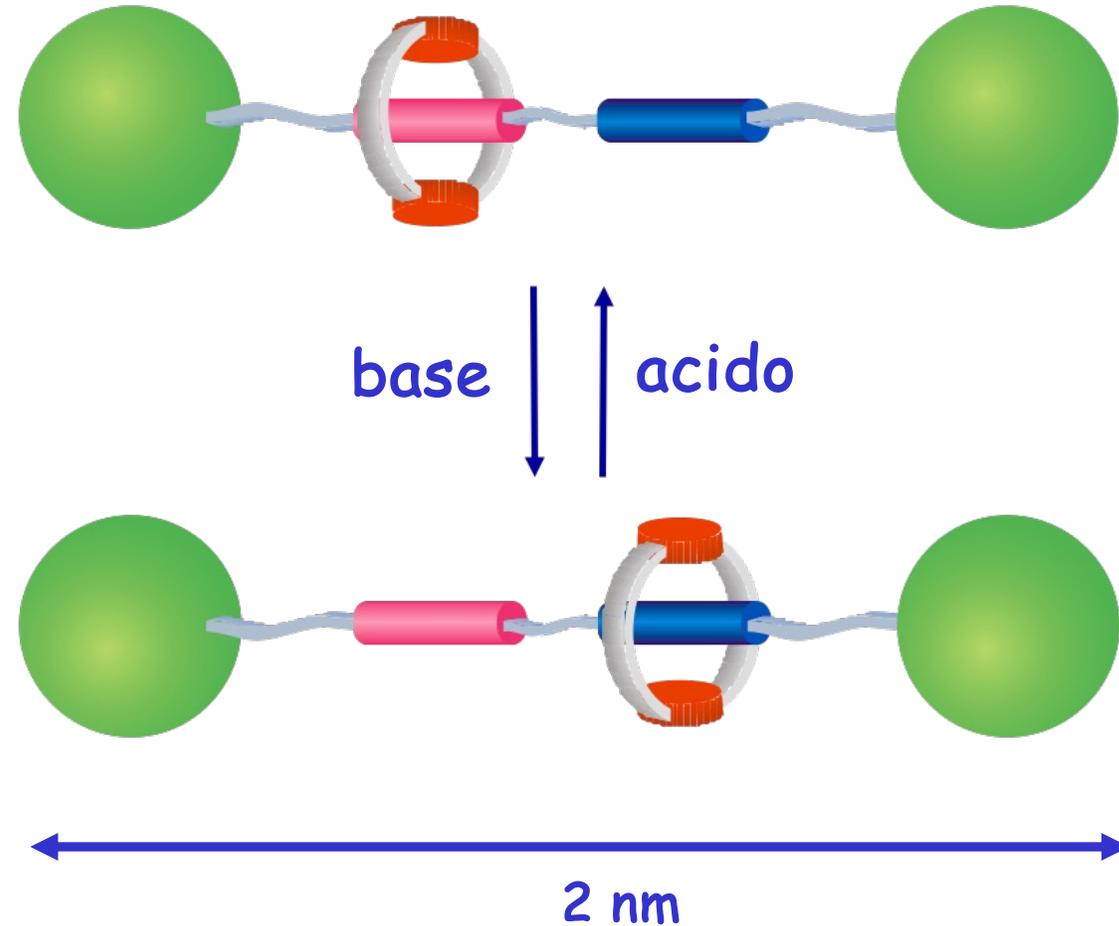
# Meccanismo alla base del movimento molecolare



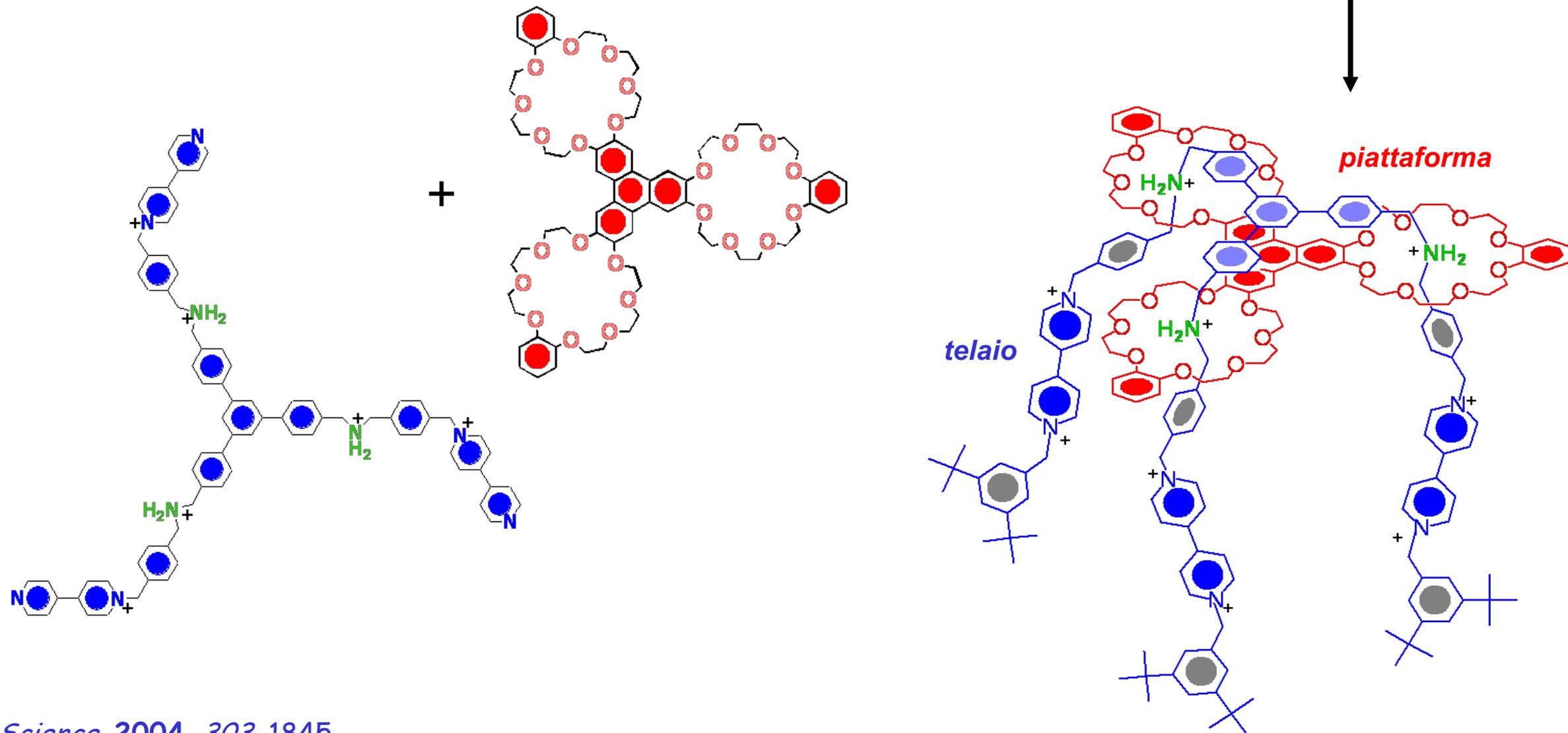
# Indagini sperimentali

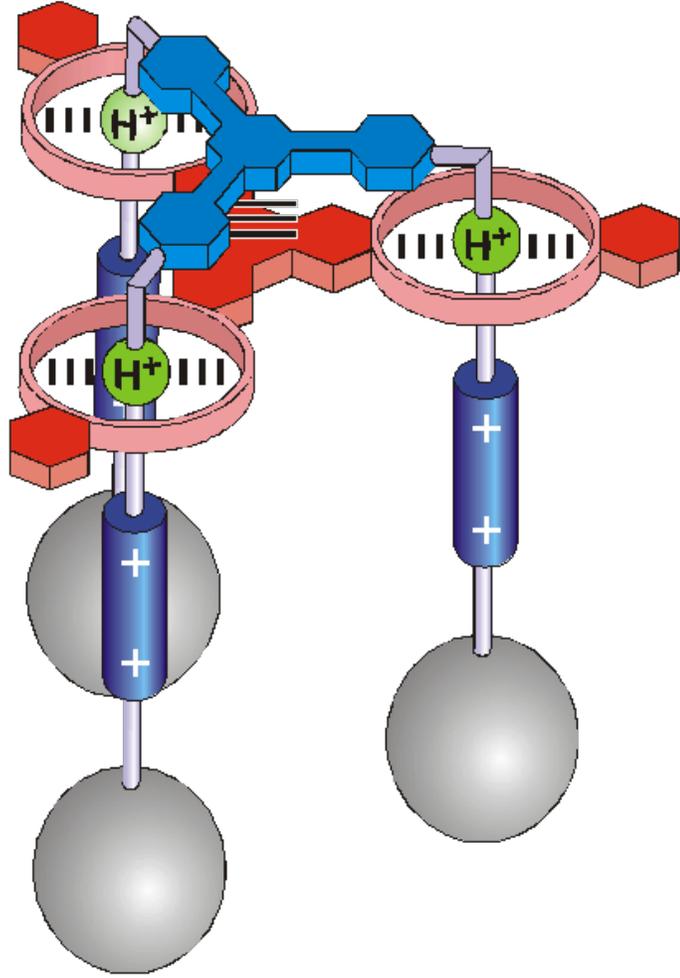


# Una navetta molecolare azionata dal pH

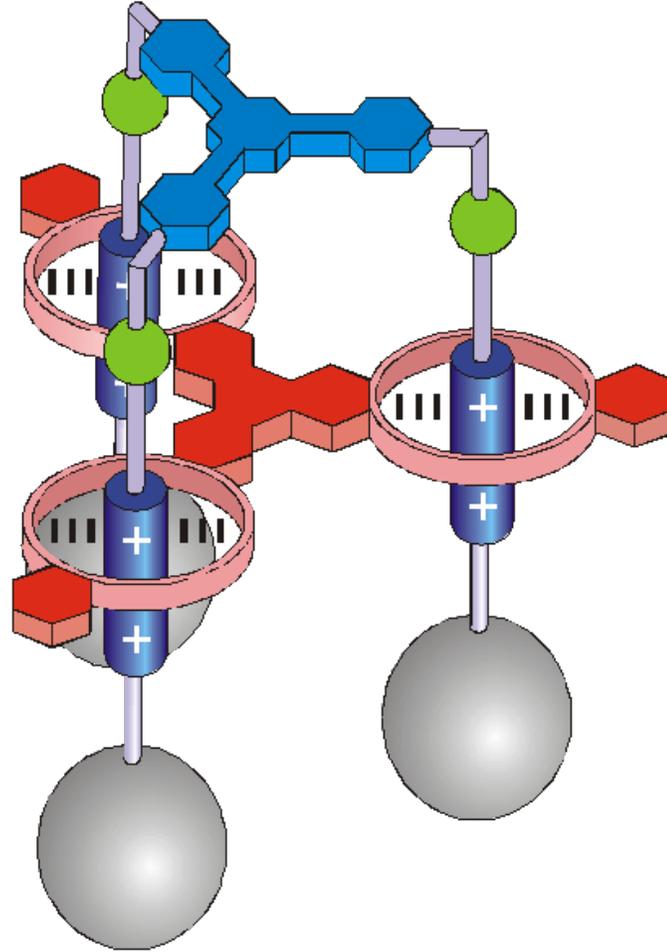


# Sviluppo tridimensionale della navetta

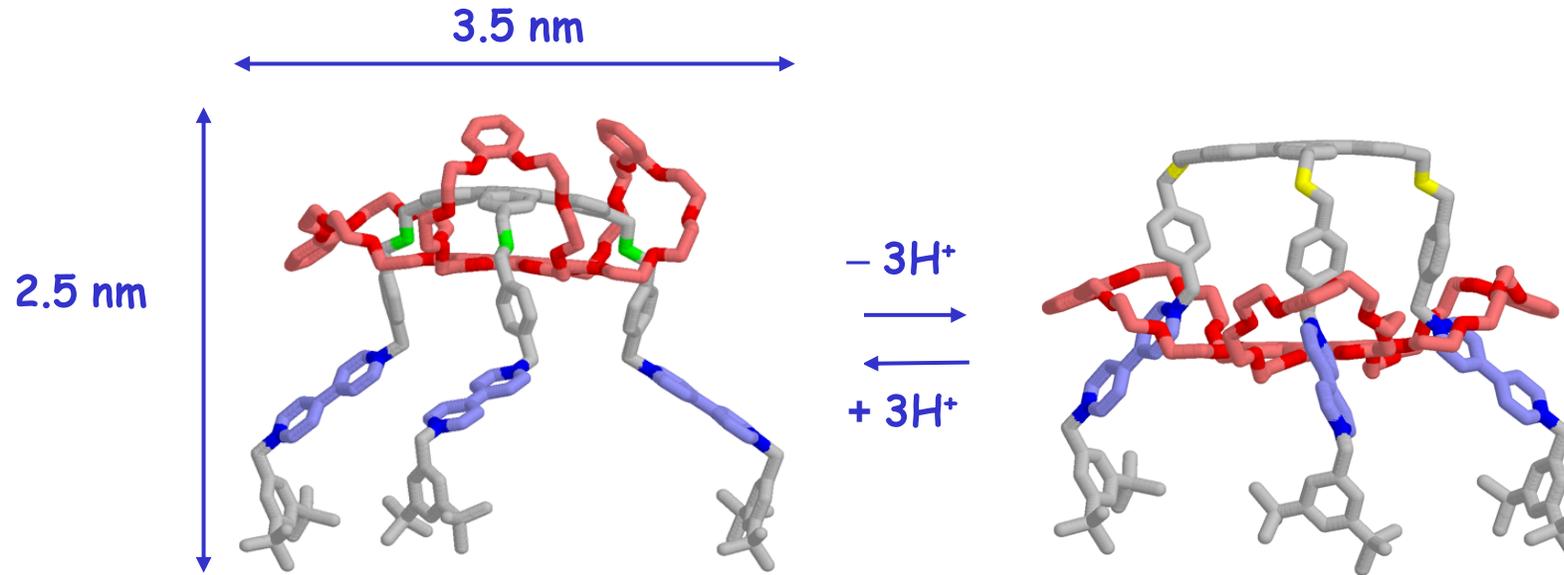




... è un prototipo di "ascensore molecolare"



# Alcune considerazioni di "nanomeccanica"...

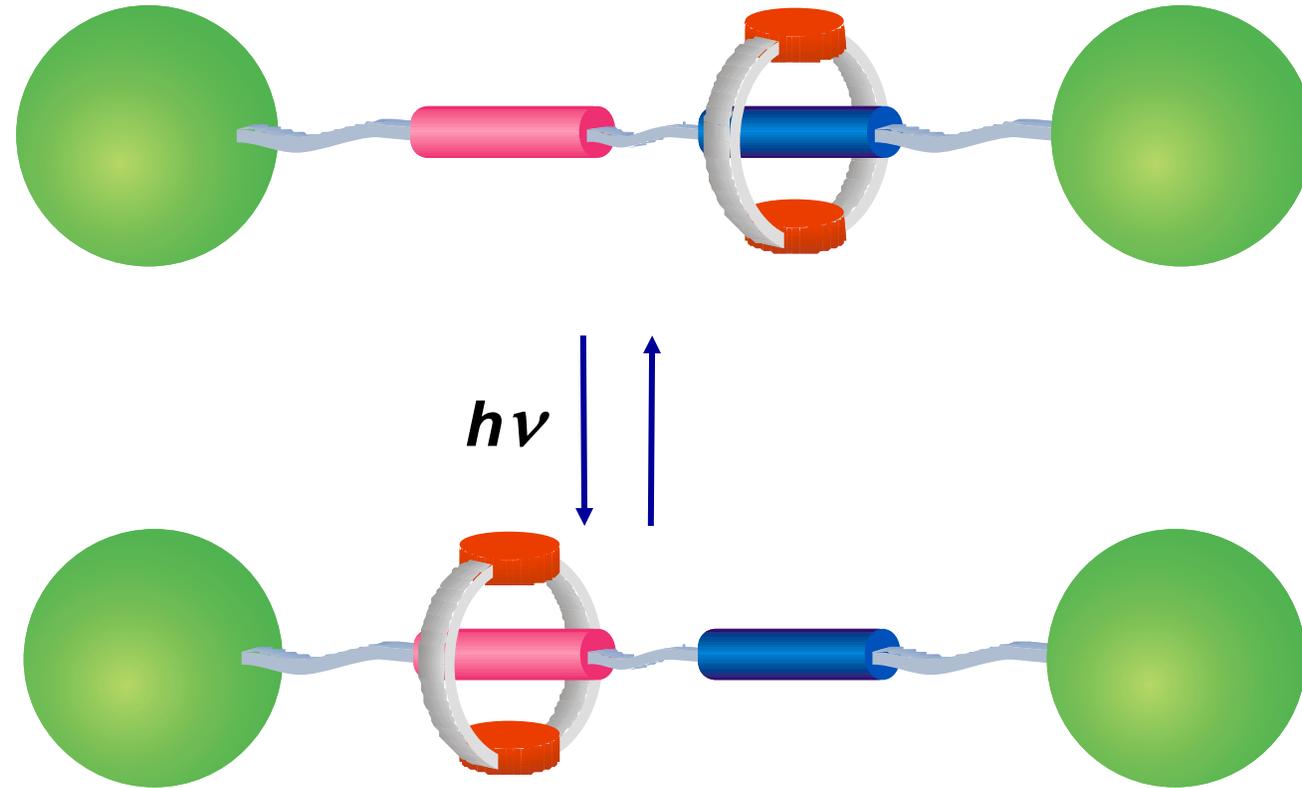


Spostamento della piattaforma:

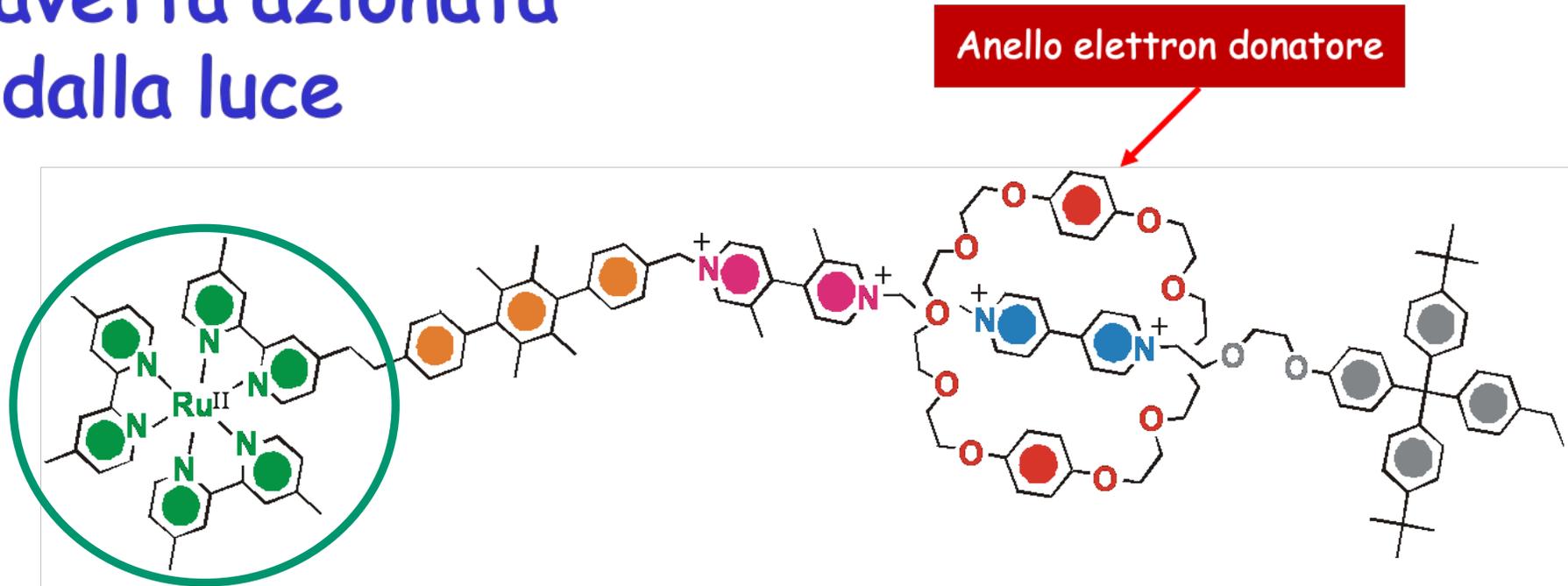
ca. 0.7 nm

Forza sviluppata nella fase "basica": 200 pN (miosina V, 3 pN; kinesina, ca.7 pN)

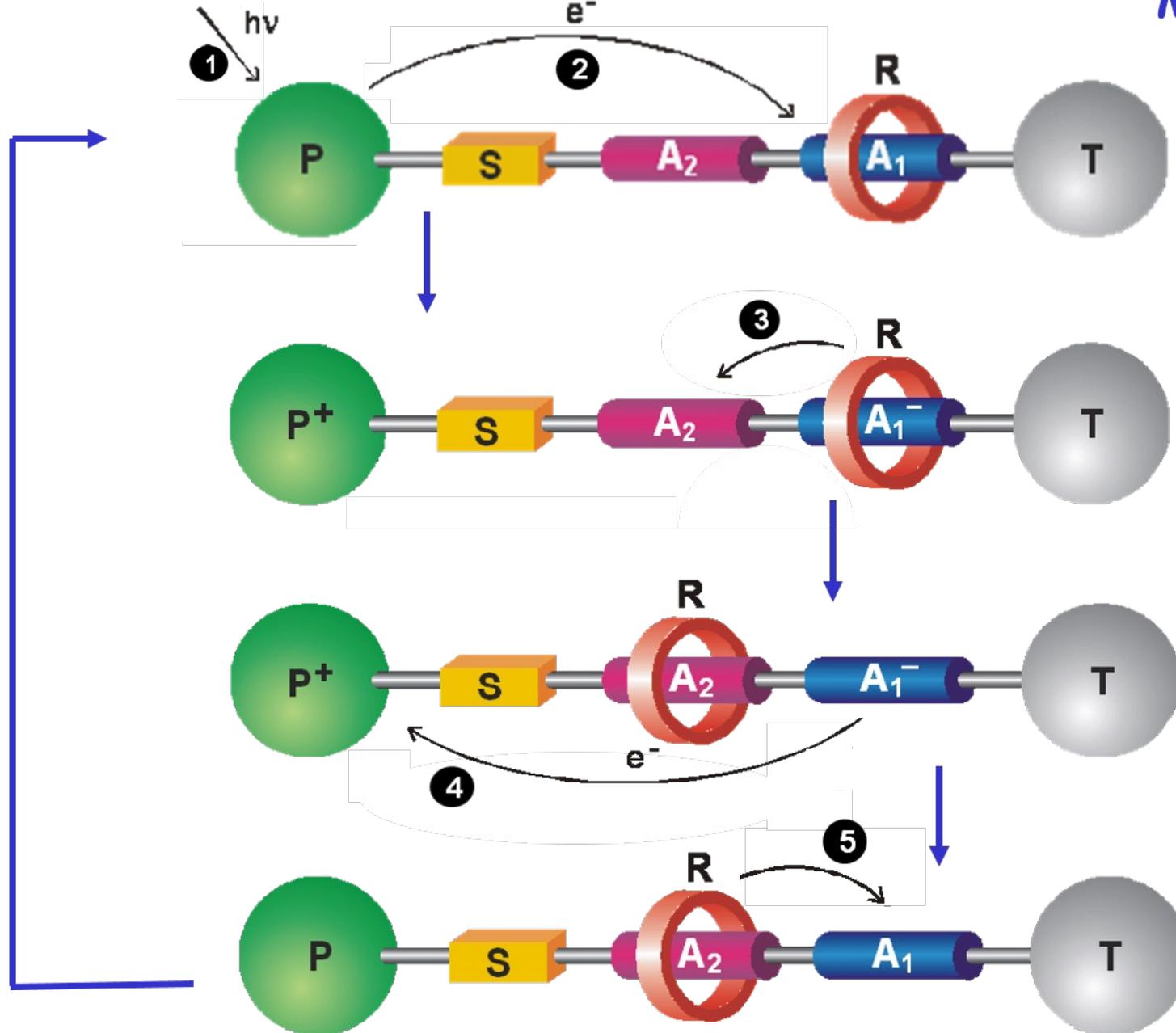
# Una navetta molecolare azionata dalla luce



# Una navetta azionata dalla luce



# Meccanismo alla base del funzionamento



# Si tratta di un nanomacchina con caratteristiche veramente speciali

- Il combustibile (luce solare) è gratuito
- La macchina lavora in maniera autonoma
- E' notevolmente stabile (ca.  $10^3$  cicli)
- Fa un ciclo completo in meno di 1 ms (frequenza  $\approx$  1 kHz)

PHOTOCHEMISTRY

Lighting up nanomachines

Euan R. Kay and David A. Leigh

A cleverly engineered molecule uses light to generate a charge-separated state and so cause one of its components to move. It's the latest study of a molecular machine that exploits nature's most plentiful energy source.

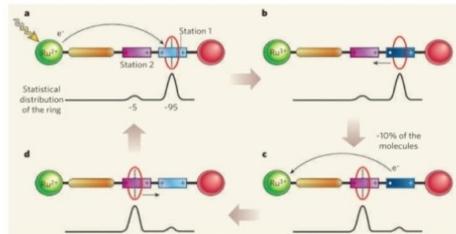
Nature runs the nanomachinery that makes life possible using the last word in clean, free and readily available power sources — sunlight. In photosynthetic bacteria and green plants, photon absorption by chlorophyll generates a charge-separated state, from which the electron is quickly passed down a cascade of electron carriers, ultimately generating energy in a convenient chemical form. Can similar capabilities be engineered? An exemplary effort to do just this is given by Balzani *et al.* who, writing in *Proceedings of the National Academy of Sciences*<sup>1</sup>, describe photochemical experiments on an artificial machine that uses light to displace a fragment of its unimolecular structure.

Those who seek to harness the Sun's energy for synthetic molecular machines find that chemistry is always throwing up obstacles. In particular, charge recombination typically occurs thousands or millions of times faster than the nuclear movements on which such machines rely, making charge-separated states difficult to exploit. This problem can be overcome using bimolecular systems: here, the charged partners quickly diffuse apart so their energy can be used, for example, to achieve

switching in a rotaxane<sup>2</sup>. This class of molecule, consisting of a ring that shuttles randomly and incessantly along a string, stopped only by bulky groups at the string's termini, is also that used by Balzani and colleagues<sup>3</sup>.

Their rotaxane<sup>3</sup> (Fig. 1) incorporates two structurally different bipyridinium sites — 'stations' 1 and 2 — that slow the shuttling ring's motion through strong short-range electrostatic interactions. The ring thus divides its time between station 1, station 2 and the rest of the string in the ratio of around 95:5:1. At room temperature, the ring shuttles between the stations tens of thousands of times per second, but the net flux is zero. So no work can be done, or useful task performed, by the shuttling action (the 'principle of detailed balance').

One of the bulky end-groups of the rotaxane's string is a ruthenium trisbipyridine complex. This can absorb a photon of visible light and so form a reactive, excited state that donates an electron to the more easily reduced of the two bipyridinium sites — station 1, the ring's preferred binding site. One would normally expect the resulting charge imbalance to be corrected by back-transfer of an electron on



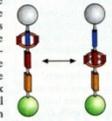
**Figure 1** Light-driven molecular shuttle. Balzani and colleagues' rotaxane<sup>3</sup> consists of a molecular ring free to move along a molecular string. **a**, At equilibrium in the ground state, the ring spends most of the time over station 1, as a result of attractive, non-covalent interactions. But irradiation of the ruthenium complex (green) at one end of the string generates a highly reducing excited state, resulting in electron transfer to station 1, and the weakening of this station's electrostatic interactions with the ring. **b**, Normally, charge recombination is fast in comparison with nuclear motions, but here a delay allows approximately 10% of the molecules to undergo significant brownian motion, shifting the distribution of these rings to favour station 2. **c**, When charge recombination eventually does take place, the higher binding affinity of station 1 is restored, and **d**, the system relaxes to restore the original statistical distribution of rings.

©2006 Nature Publishing Group

SCIENCE & TECHNOLOGY  
CONCENTRATES

Light drives molecular motor

A molecular motor powered by sunlight alone has been prepared by chemists in Italy and in the U.S. (*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2006, 103, 1178). Vincenzo Balzani and Alberto Credi of the University of Bologna, J. Fraser Stoddart of the University of California, Los Angeles, and their coworkers believe their device is unique for several reasons. Because it's powered solely by visible light, the motor's movement—the shuttling of a crown ether back and forth between two points on the handle of a dumbbell-shaped structure (shown)—requires no additional chemicals and produces no waste products. Also, the shuttle's movement relies on intramolecular processes, so it could, in principle, be operated at the single-molecule level. The motor moves when a ruthenium complex (green sphere) at one end of the dumbbell absorbs a photon and transfers an electron to a 4,4'-bipyridinium moiety (blue bar) within the dumbbell's handle. This reduction prompts the crown ether (pink circle) to move 1.3 nm to a 3,3'-dimethyl-4,4'-bipyridinium unit (red bar) in the compound. The crown ether moves back to its original position via a back electron-transfer process.



subjected the protein to an approach called SIAFE (simultaneous incorporation and adjustment of functional elements) in conjunction with directed evolution (iterative modification and selection for desirable activity). The result was eMBL8, a designed enzyme with the ability to hydrolyze  $\beta$ -lactam amide bonds, a type of activity on which bacterial resistance to  $\beta$ -lactam antibiotics is based. Key to the change was the replacement of several of the enzyme's surface loop structures. The researchers say they hope the technique can be extended to convert other structures into enzymes that catalyze diverse reactions, including some not found in nature.

Down-to-earth

and his coworkers suppose that their simpler device will lead to the first inexpensive and field-portable NMR spectrometers that could be used for medical imaging (MRI), in-line chemical reaction monitoring, and environmental monitoring.

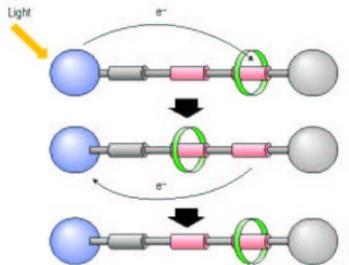
Double C-F/C-H bond activation

Superstrong C-F bonds don't readily lend themselves to activation and subsequent reaction, but that hasn't stopped chemists from edging closer to a general method for C-F activation. In one of the latest efforts, Kohei Fuchibe and Takahiko Akiyama of Gakushuin University, in Tokyo, report a "double activation" reaction in which a C-F bond and a C-H bond

Making light work of it

In contrast to motors in nature, artificial ones generally require one input to cause motion, followed by another to reset the motor. Often these inputs are chemical fuels, and therefore generate waste products, as well as requiring intervention at each stage. Now Balzani *et al.* report an autonomous motor powered simply with light (*Proc. Natl. Acad. Sci.* 103, 1178–1183; 2006). The motor consists of a rotaxane—a ring threaded around a dumbbell-shaped component of two electron-acceptor sites, or 'stations', for the ring to move between, with a bulky stopper group on each end. Absorption of a photon at

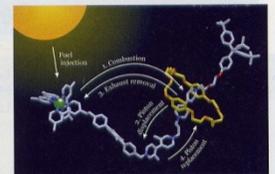
a stopper group initiates electron transfer to the station where the ring rests, causing displacement to the second station. An electron can then transfer back to the stopper group from the now-free first station, and the ring can return to its original position. The motor works analogously to a four-stroke engine, with fuel injection and combustion, piston displacement, exhaust removal and piston-replacement steps. The motors of Balzani *et al.* rely exclusively on intramolecular processes and light absorption, and therefore do not consume chemical fuel or produce waste.



Synthetic procedures

Nano Motor Powered by Solar Energy

Chemists at the University of Bologna (Italy), UCLA, and the California NanoSystems Institute (both USA) have designed and constructed a rotaxane-based molecular motor of nanometer size that is powered only by sunlight. The system is built up from a dumbbell-shaped component, which is more than 6 nm long, and a ring component of a diameter of approximately 1.3 nm. The ring component is trapped on the rod portion of the dumbbell contains two "stations" that can be called "A" and "B". The absorption of sunlight by one of the two stoppers, a light-harvesting species, causes the transfer of one electron to station A, which is deactivated as far as wanting



**Figure 1.** Molecular structure of the nano motor (image courtesy of the UCLA Newsroom).

according to the scientists, possible areas for applications of these light-powered nanoscale motors are nanoelectronics, molecular computers, and valves that could perhaps be used for the delivery of anti-cancer drugs and other medications.

V. Balzani *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 2006, 10, 1178

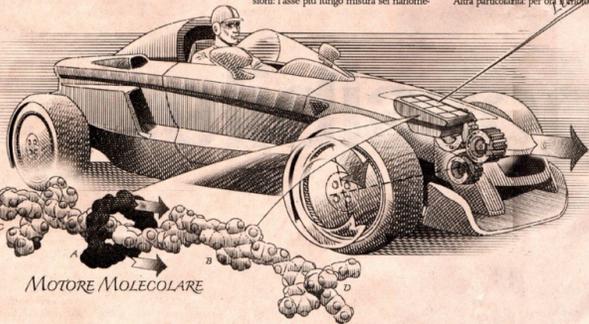
MADE IN ITALY IL PIÙ ECOLOGICO E VELOCE DEL MONDO

# Un nanomotore a «benzina» solare

Chimici bolognesi hanno costruito una macchina microscopica azionata dalla luce, che non genera alcun prodotto di scarto

DI LARA RICCI

Un motore portentosissimo: funziona a energia solare, è velocissimo e pulito, non emette prodotti di scarto. «Sunny» è un macchinario al confine dell'altro mondo, quello invisibile, dell'ultra-piccolo, dove le leggi sono quelle della fisica quantistica. Ha quattro tempi come il motore a scoppio, ma è molto diverso, a partire dalle dimensioni: l'asse più lungo misura sei nanometri, impossibile da vedere, difficile da immaginare. Un nanometro, cioè un milionesimo di metro, è circa 30mila volte più piccolo del diametro di un capello umano, o ancora, è uno spessore centomila volte minore di quello di un foglio di carta. La velocità di Sunny è sbalorditiva: un milione di volte maggiore dell'unico altro esempio al mondo di motore molecolare a ventipila costruito dall'uomo. Altra particolarità: per ora il motore non



porta da nessuna parte, ma fa correre la fantasia. Lo hanno costruito tre chimici del gruppo di Fotochimica e chimica supramolecolare del dipartimento «Giorgio Ciamician» dell'Università di Bologna: Vincenzo Balzani, Alberto Credì e Margherita Venturi, con ricercatori dell'Università della California. Un gruppo di «ingegneri» dell'ultra-piccolo, i cui materiali di costruzione non sono mattoni o pistoni, ma le molecole. Nel 2004, per esempio, avevano costruito un «scissor» molecolare che era anche la nanomacchina più forte sviluppata fino a quel momento. Ora il laboratorio si è arricchito di quest'altro gioiellino, capace di trasformare direttamente l'energia solare in energia meccanica. Sunny è composto da due molecole, una ad anello che scorre su un'altra filiforme (che si comporta da asse). Quando la luce (un fotone) colpisce la prima, infatti, questa assume un'altra forma — trasferisce un elettrone, il che può essere fatto a

### Come funziona

Mettili il sole nel motore. Per motore molecolare si intende un sistema di molecole in grado di compiere lavoro meccanico, in modo controllato dall'uomo. Il nostro motore molecolare super-veloce è composto da due molecole: una filiforme lunga circa 6 nanometri che funziona da asse di scorrimento; l'altra ad anello con un diametro di circa 1,3 nanometri infilata nella prima. Quando il motore è in funzione l'anello scorre avanti e indietro lungo l'asse con estrema rapidità. Andata e ritorno in meno di un milionesimo di secondo. Vale a dire una frequenza di 1000 hertz o, per analogia con il motore a scoppio, 6000 giri al minuto. Ad oggi esiste un solo altro motore molecolare ecologico costruito dall'uomo. È stato realizzato da alcuni scienziati dell'Università di Groningen nel Paese Bassi ma è notevolmente più lento. Per completare un ciclo impiega infatti un'ora.

sposta lungo l'asse, movimento che può essere fatto corrispondere allo spostamento del pistone. Quando poi viene colpita da un altro fotone, l'elettrone viene eliminato e l'anello torna alla posizione di partenza. I quattro passaggi sono i «quattro tempi». È il tutto molto velocemente: la distanza, inferiore al nanometro, è completata in meno di un milionesimo di secondo, continuando l'analogo con il motore a scoppio si può parlare di 6000 giri al minuto. Ma cosa faremo di questo «nanolavoro»? «Questo è il problema — risponde Balzani, professore all'università di Bologna e uno dei 50 chimici più citati al mondo —. È una ricerca di base. In una soluzione acquosa ci sono milioni di questi nanomotori, che lavorano all'unisono, ma in modo incoerente. Se riuscissimo ad allinearli su una superficie (ed è possibile, ci sono gruppi di ricerca che lo sanno fare) avremmo in teoria milioni di molecole che

forza che si può anche misurare. Si potrebbe anche sfruttare il fatto che quando il fotone colpisce l'anello cambia la conducibilità per costruire la memoria di un calcolatore. Il cosiddetto «computer chimico» che però, a mio parere, è ancora lontano». «È difficile prevedere applicazioni, quando le idee sono molto nuove — continua Balzani —. Mi viene in mente un aneddoto: quando il primo ministro britannico andò a visitare Michael Faraday chiese cosa se ne sarebbe fatto della sostanza esotica che chiamava «elettricità». Faraday rispose: «Non si preoccupi, un giorno la basterà». Lo studio è stato pubblicato sull'ultimo numero di Pnas. «È il frutto di sette anni di lavoro e di quarant'anni di esperienza — spiega Balzani — fin da quando mi sono laureato, mi sono sempre occupato di come interagisce la luce sulla materia. Il laboratorio ha una grande tradizione nella fotochimica: Ciamician iniziò a lavorarci

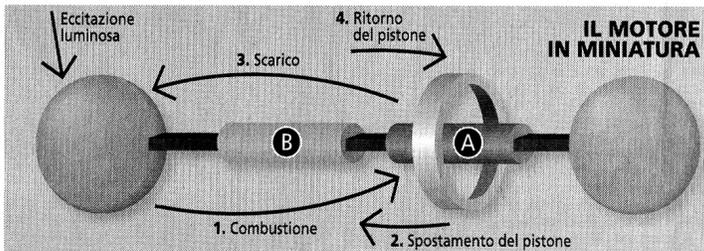
### TECNOLOGIA

# Il nanomotore è meglio di una Formula 1

DUE MOLECOLE CON IL SOLE COME CARBURANTE. TANTE APPLICAZIONI, DALLA MEDICINA ALL'INFORMATICA

Un motore di Formula 1 arriva a 20 mila giri al minuto. Questo supera i 60 mila. Piacebbe di sicuro a Schumacher, se non fosse piccolissimo: è un nanomotore formato da due molecole. Invisibile a occhio nudo. Ha però un vantaggio straordinario: non richiede benzina, lo fa girare la luce del sole. Per questo i ricercatori dell'Università di Bologna, che l'hanno realizzato con l'Università della California, lo chiamano «Sunny». La notizia è su «Pnas», la rivista dell'Accademia americana delle Scienze. Il gruppo italiano fa capo a Vincenzo Balzani, uno dei 50 chimici più citati nelle riviste scientifiche. Il laboratorio Nanofaber della Regione Emilia sta esplorandone le future applicazioni.

L'unità di misura delle nanotecnologie è il nanometro, il miliardesimo di metro o - se



metro. Il motore «Sunny» è formato da una molecola sottile, lunga 6 nanometri, che funziona da asse di scorrimento, e da una molecola ad anello dal diametro di 1,3 nanometri, infilata nella prima. Sotto l'azione della luce l'anello scorre lungo la molecola mille volte al secondo. In sostanza, l'anello si muove come un

dei fotoni solari in lavoro utilizzabile. Esiste un altro motore molecolare concettualmente simile costruito all'Università di Groningen nei Paesi Bassi, ma impiega un'ora a completare un ciclo: quello bolognese è quasi 4 milioni di volte più veloce.

Tipica delle nanotecnologie è la trasversalità. Sono utilizzabili

elettronica, meccanica, chimica, fisica. Una possibile applicazione riguarda la salute: l'anello mobile funziona come un nastro trasportatore e, quindi, può far passare un farmaco attraverso la membrana delle cellule. Un altro suo potenziale riguarda l'informatica: si pensa a un computer chimico che sfrutti la logica del nanomotore, fa-

cendo corrispondere lo 0 e l'1 alle due posizioni del pistone. Interessante è anche l'idea di far lavorare insieme un grande numero di questi motori, così da ottenere un lavoro significativo anche sulla scala della nostra vita quotidiana.

Come funziona «Sunny»? Un po' come un motore a quattro tempi, ma senza «scoppio». La molecola sottile alle estremità ha due blocchi che fermano l'anello. La luce solare fa passare un elettrone da uno dei due blocchi alla stazione A, dove all'inizio si trova l'anello (fase 1: combustione). Questo elettrone disattiva la stazione A: l'anello si sposta dunque nella stazione B (fase 2: movimento del pistone). L'elettrone ritorna, a questo punto, al blocco di partenza (fase 3: uscita dei gas di scarico) e l'anello recupera la posizione iniziale nella stazione A (fase 4: ritorno del pistone). Così in meno di un milionesimo di secondo il sistema è pronto per un altro ciclo.

Ovviamente la luce-benzina non crea inquinanti. I nanomotori stanno dentro una soluzione a temperatura ambiente. Per farli partire basta esporli alla luce. [p.b.]

RIVOLUZIONARIO. Creato da un chimico italiano al quale il ministero della Moratti nega fondi per la ricerca

## Ecco il motore perfettamente ecologico Per ora è una molecola, ma crescerà

di Pietro Greco

Come molti nobili, ha un doppio nome: «rotaxano» nel linguaggio specialistico dei chimici, Sunny per gli amici. È un nuovo motore con due caratteristiche: è del tutto ecologico, perché non produce scorie; agisce a scale piuttosto piccole, quelle dei nanometri (un milionesimo di metro) in un processo interamente controllato dall'uomo. Ha la forma di una ciambella con un diametro di 1,3 nanometri che scende e sale ciclicamente lungo un asse lungo 6 nanometri, fermandosi solo a quattro stazioni. Il movimento è reversibile, sincronizzato e piuttosto veloce: andata e ritorno in un milionesimo di secondo. Ovvero, 60.000 cicli in un minuto.

L'uomo che ha diretto l'équipe che lo ha messo a punto, Vincenzo Balzani - uno dei 50 chimici più citati al mondo, l'unico italiano nella classifica dei primi 100 - ne è molto orgoglioso. Non solo perché è una macchina molecolare frutto di oltre sei anni di intenso lavoro. Non solo perché è piuttosto veloce: compie 60.000 cicli in un minuto. Ma soprattutto perché è un motore integralmente ecologico: consuma solo energia solare e non produce scorie di sorta.

Finora di queste macchine molecolari a energia solare ne era stata messa a punto una sola, presso l'università di Groningen in Olanda. Ma era piuttosto lenta: per completare un ciclo impiegava

**Funziona con la luce solare non produce nessuna scoria ed è molto veloce**

un'ora. Sunny è tre milioni e seicentomila volte più veloce. È anche per questo che l'articolo con cui Vincenzo Balzani e i suoi collaboratori viene pubblicato domani in bella evidenza sulla rivista dell'Accademia nazionale delle scienze degli Stati Uniti (Pnas). Si tratta di un lavoro estremamente elegante di chimica di base. Progettato a Bologna, presso il

Dipartimento di Chimica dell'università felsinica da Vincenzo Balzani e da due suoi collaboratori: Alberto Credì e Margherita Venturi. Progettare una molecola, anzi una grossa molecola, e prevederne la struttura tridimensionale non è impresa facile. Ma Vincenzo Balzani è noto in tutto il mondo per essere uno dei più maggiori esperti di questa particolare branca della chimica, chiamata «chimica supramolecolare». Anche realizzare il progetto non è semplice: ci sono riusciti J. Fraser Stoddart e tre suoi collaboratori presso l'università di California a Los Angeles. Una volta messa a punto, sulle sponde del Pacifico, la supramolecola è tornata a Bologna, dove Balzani e i suoi sono riusciti ad accendere il motore



molecolare e a farlo funzionare. Con un combinato disposto di sette performance rendono davvero unico il rotaxano: funziona con la luce visibile (energia solare); ha un comportamento autonomo (come quei particolari motori che sono le proteine); non produce rifiuti; si fonda su un processo intramolecolare, che in principio può essere svolto da una singola molecola; funziona alla velocità di 1.000 cicli al secondo; funziona in un ambiente non estremo (in soluzione, a temperatura ambiente); è stabile per oltre 1.000 cicli. Insomma, se un giorno si potrà costruire un sistema macrosco-

co fondato sul rotaxano giungeremo molto vicini a un motore ecologico perfetto. Naturalmente non sappiamo se e quando questo nanomotore diventerà un motore e se e quando questo motore potrà essere commercializzato. Tuttavia il lavoro di Vincenzo Balzani e del suo gruppo italo-americano conferma che le nanotecnologie, le tecnologie sviluppate alla dimensione in cui iniziano a diventare rilevanti i fenomeni quantistici, sono un settore davvero promettente. Anche da un punto di vista applicativo. La ricerca dimostra anche che in Italia abbiamo ottime competenze in questo settore.

Peccato che le ricerche di Vincenzo Balzani e del suo gruppo non siano rientrate tra i 47 progetti di chimica finanziati dal Ministero dell'Università e della Ricerca diretto da Letizia Moratti. Evidentemente il fatto che queste ricerche siano state proposte da uno dei 50 chimici più citati al mondo (unico italiano tra i primi cento), che si sviluppino in un settore di punta della ricerca fondamentale e applicata, che i risultati vengano giudicati di primaria importanza da riviste internazionali di grande prestigio, come Pnas e Science, non conta nulla.

L'Unità

GINEVRA L'AUTO EUROPEA PER BATTERE LA CRISI

la mia

€ 4,00 ITALY ONLY Anno VII  
Mensile N. 3 Marzo 2006

# Auto



BMW 24 M

**NOVITÀ**  
Mazda6 MPS  
Renault  
Mégane  
Seat Altea FR



**ALFA SPIDER**  
Rinasce  
un mito

**PEUGEOT 207**  
Tiberio Timperi  
ce la racconta

**I NOSTRI TEST**



BMW 745d

Mercedes  
Classe B 180 CDI

Mazda MX-5

Nissan Micra  
C+C 1.4

Chevrolet Nubira  
SW 1.6 16V Gpl



## SOMMARIO

88

Cinque anni portati bene, un recente restyling che ha rinfrescato tutta la gamma, ed ora un nuovo intervento della Casa bavarese per mantenere l'offerta dei motori diesel ai vertici della categoria: ecco i perché della nuova BMW 745d, che sfoggia un'anima potente e grintosa più che mai.



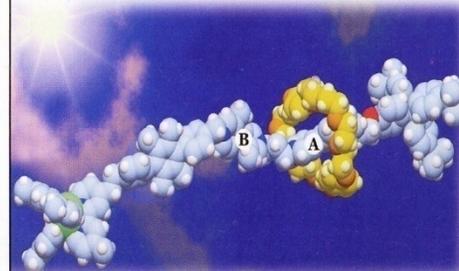
96

Monovolume media di insolito fascino, con un'immagine che richiama al tempo stesso una classica limousine e una sportiva coupé, la Mercedes Classe B conferma la felice ispirazione che anima in questo periodo la Casa della Stella. Durante il nostro test abbiamo gustato la personalità spiccata che si evince già dal design, l'inconfondibile appeal delle finiture interne, che ben si sposano con le tecnologie di ultima generazione, e l'equilibrio dosato tra prestazioni, consumi e piacere di guida.



132

Quando la meccanica tradizionale lascia il posto a nanoscienze e nanotecnologie, il confine tra realtà e fantascienza si fa sottile. Quando poi ai tradizionali pistoni si sostituisce, almeno in teoria, una molecola a filo, la curiosità sul futuro lontano dei propulsori si fa acuta. Così La mia Auto scandaglia le scienze di domani e presenta Sunny, un motore molecolare figlio di studi approfonditi nel campo dell'infinitesimale condotti da un'équipe di luminari bolognesi. Una creatura che getta un ponte, sottile ma potente, verso il domani dell'automobile.



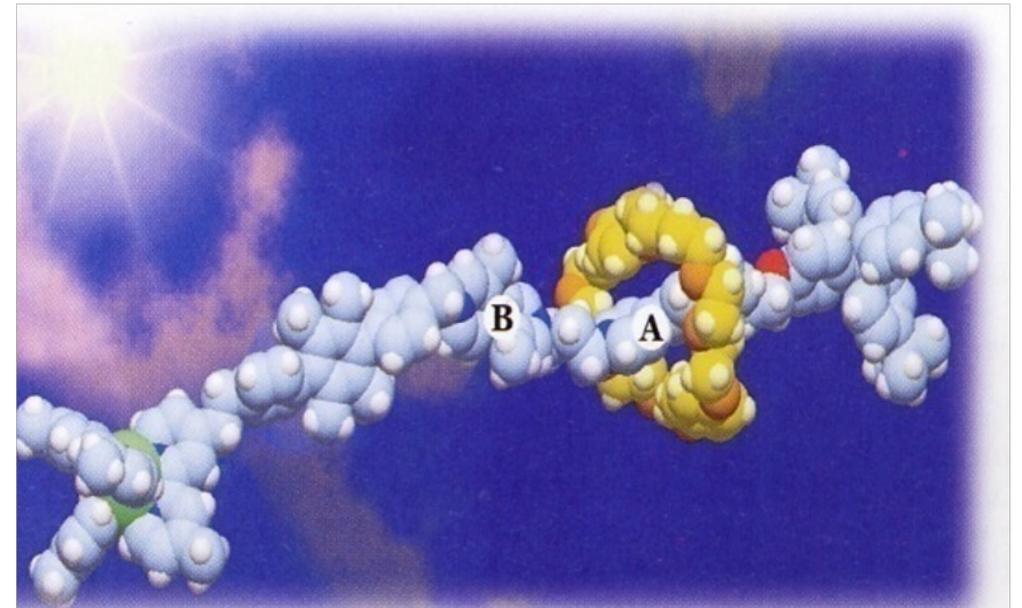
Date: Tue, 24 Jan 2006 13:17:35 +0100

Subject: complimenti

salve professore, mi chiamo ....., come si vedrà anche dalla mail, sono di Bologna e ho studiato anch'io all'ateneo, purtroppo non chimica ma lettere, di conseguenza di chimica non so niente, ma adesso faccio le moto da corsa e se per caso avesse bisogno di una mano ci sarei a costruire un prototipo, nel caso avrei piacere di far personalmente anche i primi test dinamici alla guida.

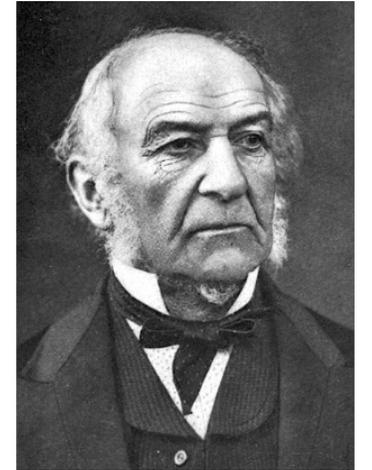
grazie se ha letto, buona giornata

lunghezza: 6 nm



# A cosa servono questi sistemi?

Il primo ministro inglese Gladstone un giorno andò a visitare il laboratorio di Faraday e durante la visita gli chiese a cosa potesse servire quella "cosa esotica" chiamata elettricità



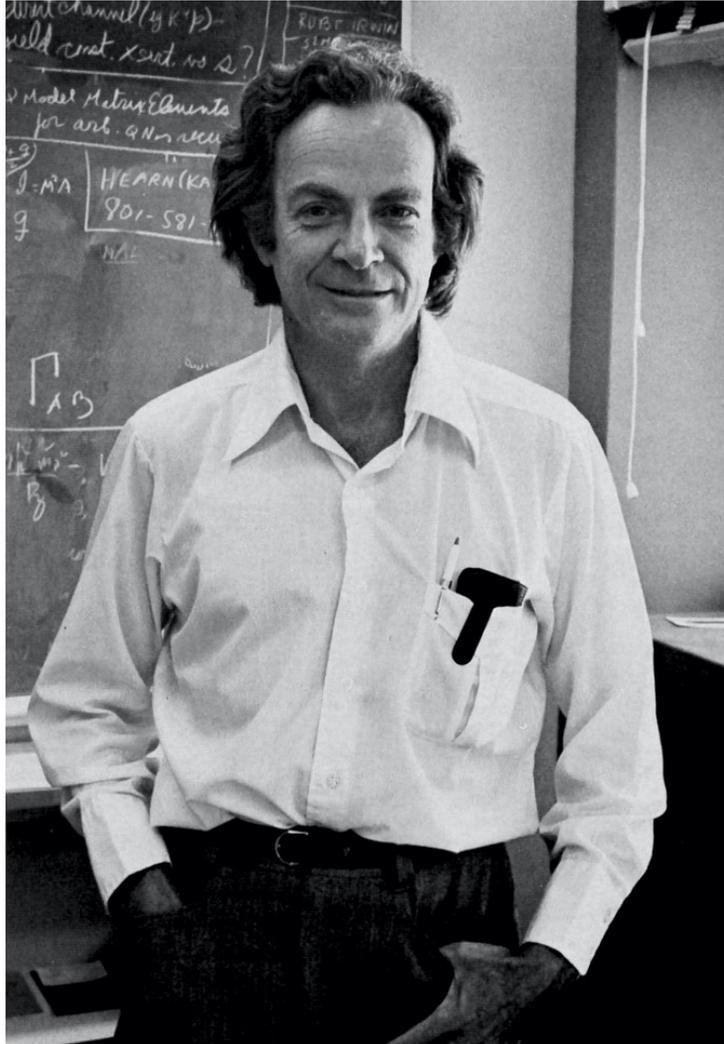
W. Gladstone



M. Faraday

Faraday rispose: "Ora non lo so, ma sono sicuro, eccellenza, che un giorno la tasserete!"

# What is the utility of these systems?



What would be the utility? Who knows? I cannot see exactly what would happen, but I can hardly doubt that when we have some control of the rearrangement of things on a molecular scale we will get an enormously greater range of possible properties that substances can have and of different things we can do

*R. P. Feynman*

Address to the American Physical Society  
December 1959

*R. P. Feynman, 1965 Nobel Prize in Physics*

*"For the greatest benefit to mankind"*  
*Alfred Nobel*



The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the

## 2016 NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY

to:



**Jean-Pierre Sauvage**  
**Sir J. Fraser Stoddart**  
**Bernard L. Feringa**

*"for the design and synthesis of molecular machines"*

 Nobelprize.org

Illustrations: Niklas Elmehed, Nobel Prize Medal.  
Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

L'Accademia Svedese ha premiato queste ricerche fiduciosa che in un futuro, forse non lontano, questi sistemi potranno offrire affascinanti prospettive in vari campi

## I primi passi verso lo sviluppo di un "computer molecolare"



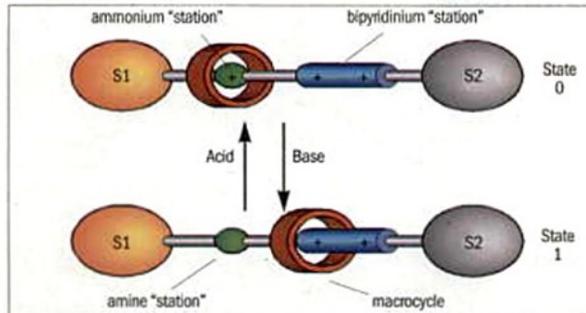
### Molecular logic arrives

A group of chemists in Italy and the UK have built a molecular device that switches between two states depending on whether acidic or basic conditions are applied to the system. This molecular abacus is one step towards computers that could be built up from individual molecules each performing specific functions.

The work has been carried out by the research groups of Vincenzo

Balzani, at the University of Bologna, Italy, and Fraser Stoddart of the UK's University of Birmingham. Stoddart is now based at the University of California, USA.

The device exploits a molecular chain that has two different functional groups. A macrocyclic molecule is threaded onto this chain and preferentially binds to one or other of the groups depending on the external stimulus.



The molecular abacus that brings atomic-scale computers one step closer.

#### NEWS FOCUS

As conventional silicon chips race toward their physical limits, researchers are seeking the Next Small Thing in electronics through chemistry

### Assembling Nanocircuits From the Bottom Up

#### NANOCOMPUTING

Microelectronics has an impressive record of packing ever more transistors on computer chips. This special focus section looks at new ways researchers are attempting to keep those gains coming and some hurdles they face in doing so.

#### MOLECULAR ELECTRONICS EUV LITHOGRAPHY LIMITS TO GROWTH

postdocs wearing the usual academic uniform of T-shirts and jeans, hunched over blacktopped lab benches. Intel territory this is not—at least, not yet.

In a 10-centimeter glass dish atop one of these benches, some of the smallest computer circuitry ever dreamed of is in the making. The setting may not look impressive, but what's happening here may provide a glimpse of the future for the multibillion-dollar microelectronics industry.

Mike Diehl, one of Heath's graduate students, pulls back a piece of crinkled aluminum foil from atop the dish to reveal four wedge-shaped portions of a silvery silicon wafer in a bath of clear organic solvent. On each wedge are two gold squares connected by a stair-step-shaped wire. What's not visible, says Diehl, is that the step portion of the wire is actually two parallel wires close together. Spanning the gap between them are carbon nanotubes, each a three-dimensional straw of carbon atoms about 1 nanometer across and perhaps a micrometer long. Using elec-

trical voltages applied between the pairs of invisible wires and a separate step involving moving fluids, Diehl and others in the Heath lab have come up with methods to array these nanotubes in perpendicular rows, one atop another in a crossbar arrangement. When an electrical current is applied to a nanotube in one row, it can pass that current to intersecting nanotubes. Next, Heath's group plans to put a layer of organic molecules between the nanotubes that will act as transistorlike switches. If all goes well, within weeks they'll have arrays of some of the smallest circuits ever produced.

Crossbars are simple stuff compared with the intricate patterns on everyday semiconductor chips. What's impressive is the scale. By making devices from small groups of molecules, researchers may be able to pack computer chips with billions of transistors, more than 30 times as many as current technology can achieve. That could open the door to fanciful computing applications such as computers that recognize and respond to everyday speech and translate conversations on the fly. And it's all happening

with just the beakers, solvents, and fluid flow chambers of benchtop chemistry.

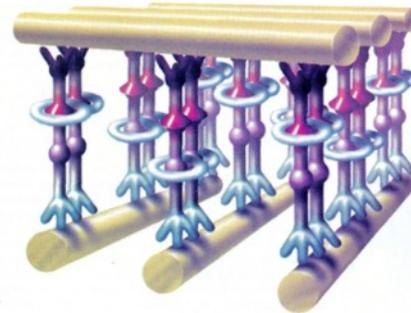
Heath and a growing cadre of chemists, materials scientists, and physicists are pursuing molecular electronics: the attempt to use chemistry to build circuits from the bottom up instead of carving bigger pieces of matter into smaller and smaller chunks, as chip manufacturers now do. The idea has long had critics and detractors, who say the approach will never achieve the reliability and performance chipmakers demand. But as the field begins to grow in sophistication, it's starting to earn new respect. In the past few years, researchers have fashioned an impressive array of chiplike devices from handfuls of individual molecules. Now they are beginning to take the next key step, linking those individual components into more complex circuits such as the Heath group's crossbars.

Within just the last 2 years, "the progress has been pretty mind-boggling," says William Warren, who heads the molecular electronics initiative at the Defense Advanced Research Projects Agency, which sponsors molecular electronics research at

labs around the United States. Adds chemist Tom Mallouk of Pennsylvania State University, University Park: "People are publishing really interesting stuff that has the potential to change the field at a very heady clip."

#### Breaking the law

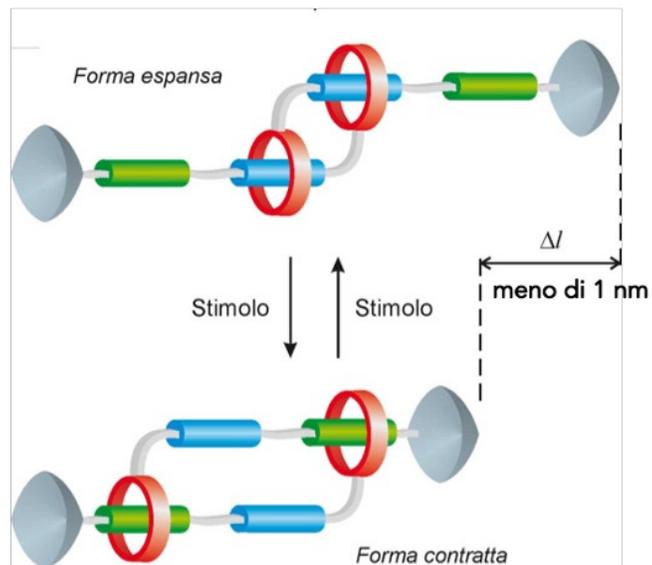
Silicon-based electronics has been moving along at a steady clip itself. For the past 35 years, chipmakers have managed to double the number of transistors on computer chips every 18 months by shrinking their size, a trend known as Moore's Law after Intel co-founder Gordon Moore, who noted the trend in 1965. Today, chip engi-



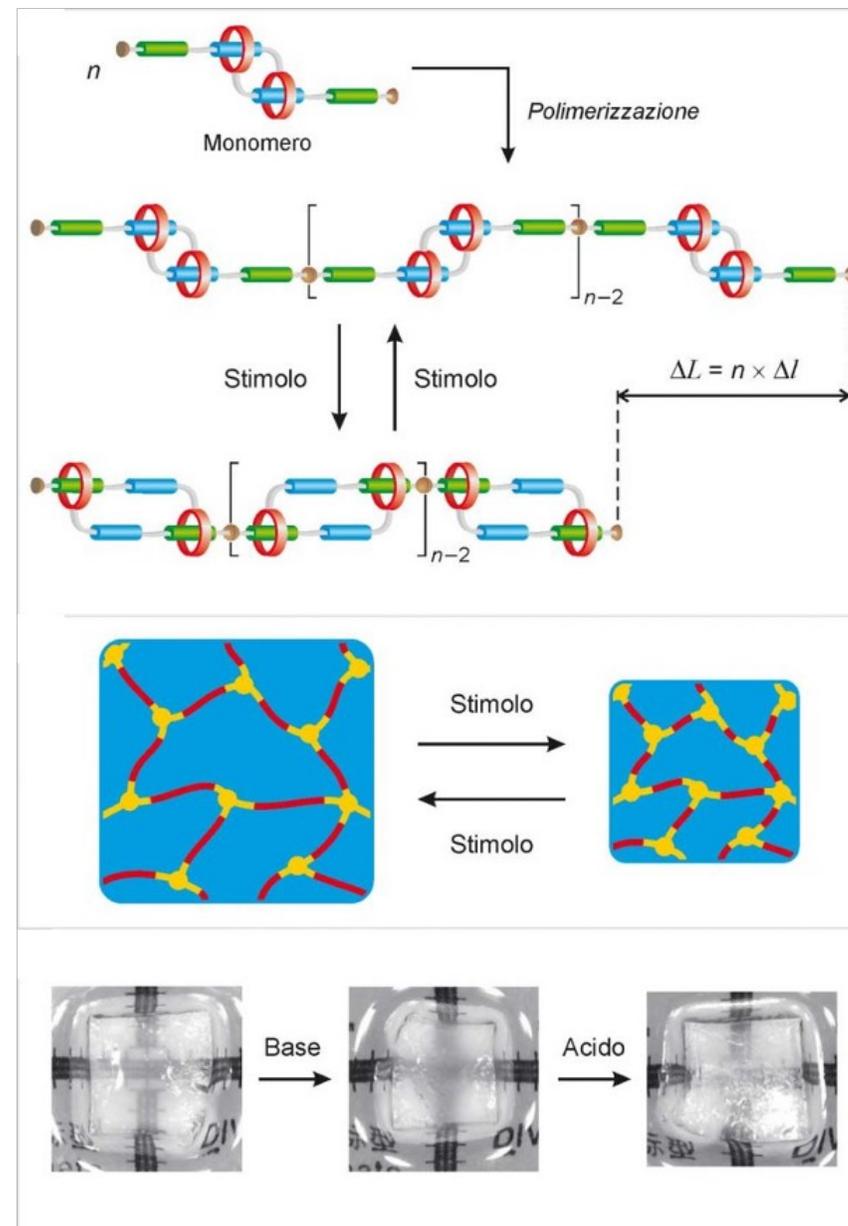
Molecular memory circuit. In a promising array design, currents passed between perpendicular nanowires alter the conductivity of organic molecules sandwiched in between.

# Ambito dei materiali

Una nanomacchina che mima il funzionamento di un muscolo

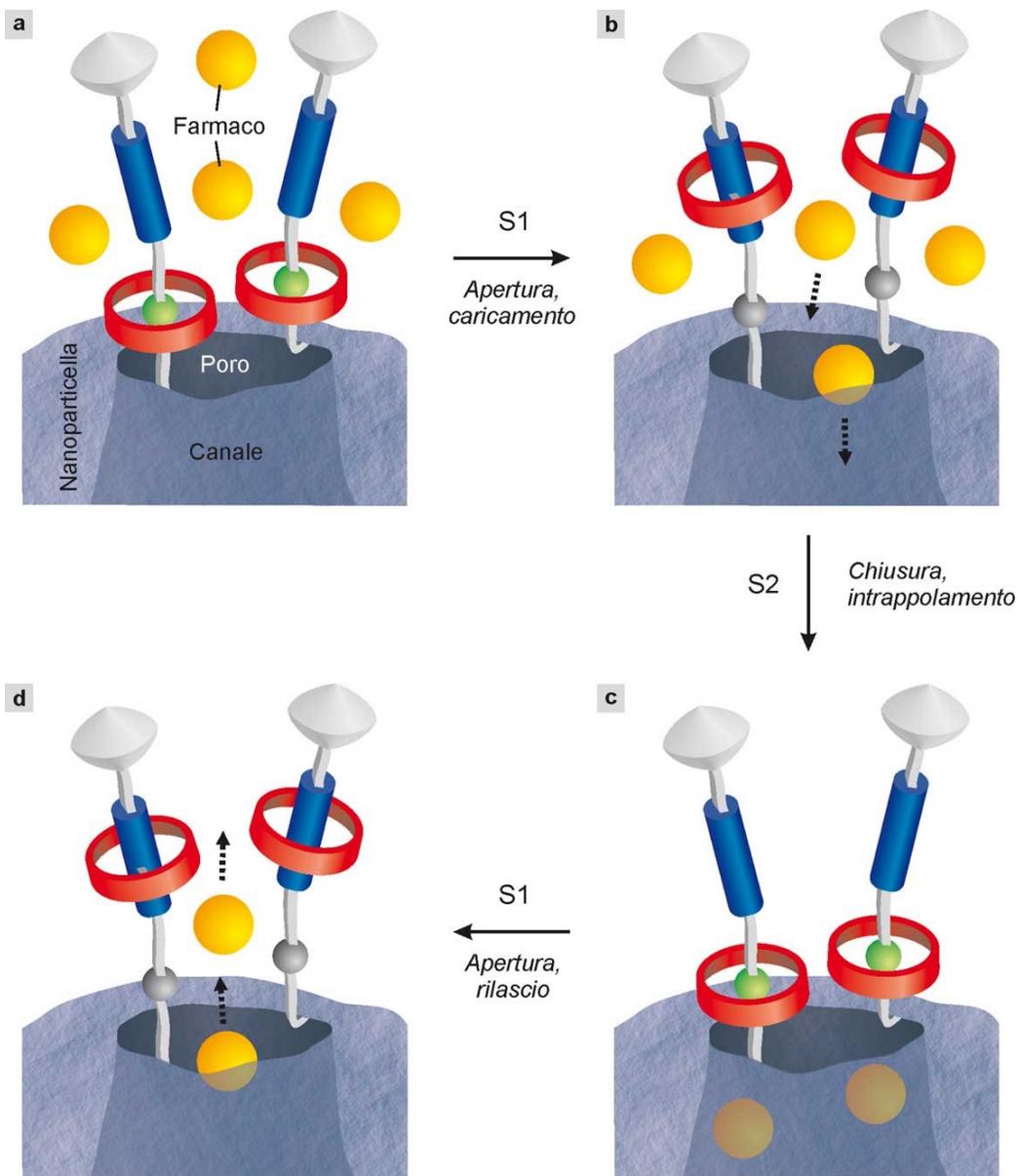


Un polimero formato da 2000 nanomacchine a seguito di stimoli chimici varia la sua lunghezza di alcuni micrometri



# Ambito medico

Sviluppo di farmaci intelligenti: nanovalvole per il rilascio controllato di farmaci



# I farmaci del futuro

## THE SCIENCES

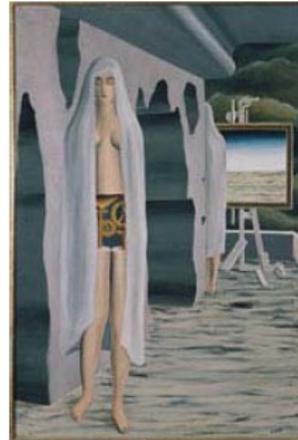
PUBLISHED BY THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES · JULY/AUGUST 2000

### SAY "AH!"

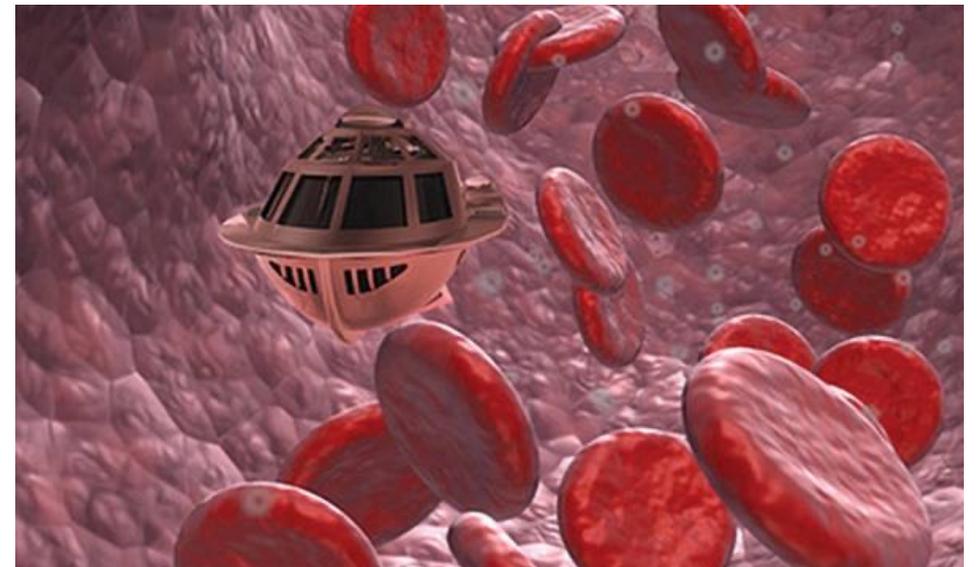
*Nanorobots the size of bacteria might one day roam people's bodies, rooting out disease organisms and repairing damaged tissue*

BY ROBERT A. FREITAS JR.

In June of last year, Richard E. Smalley, A Nobel Prize-winning chemist at Rice University in Houston, Texas, took a break from his cancer treatments to testify before a congressional subcommittee about the promise of nanotechnology, the science of building at unthinkable small scales. Smalley had jump-started the entire field back in 1985, when he discovered a novel form of carbon that showed promise as a raw material for miniature devices. Engineers began to dream of microscopic machines that could clean up pollution and aid in space exploration. More than a decade later, however, Smalley was diagnosed with non-Hodgkin's lymphoma, an often fatal cancer of the immune system. The treatment was chemotherapy—a harsh chemical brew that poisons not only the cancer but the entire body, causing weakness, nausea and hair loss. It was then that Smalley became interested in another potential application of nanotechnology: the treatment of disease.



De LaGrace Volcano, Jack Unveiled (detail), 1994



Il chimico inventore sta aggiungendo nuove e importanti pagine al libro della Chimica



Le nuove pagine dovranno essere scritte anche e soprattutto con grande senso di responsabilità

# Responsabilità morale

## Albert Einstein

Concern for man and his destiny must always be at the centre of any scientific enterprise

