



VI Scuola Nazionale di Didattica della Chimica *Giuseppe del Re*
XIII Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica *Ulderico Segre*

Le nanoscienze nell'insegnamento della Chimica di base: una sfida e una opportunità



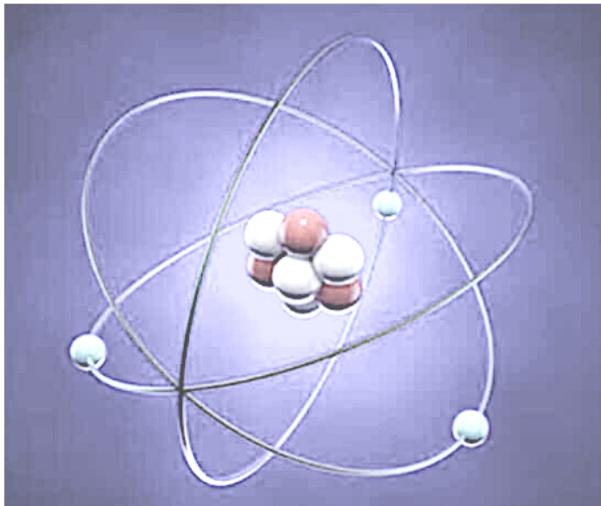
Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "G. Ciamician"
Università di Bologna

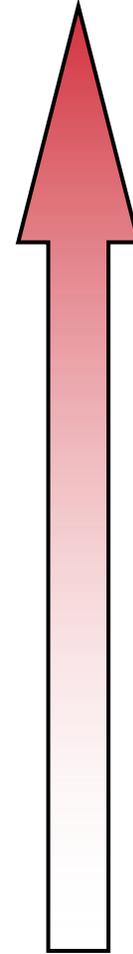
E-mail: margherita.venturi@unibo.it

18 novembre 2021

L'approccio della chimica supramolecolare
all'interpretazione del mondo macroscopico
la scala della complessità chimica
un meraviglioso viaggio che porta
dall'atomo all'uomo

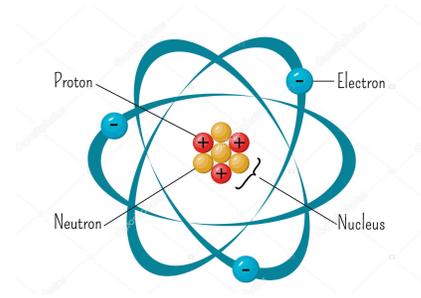


uomo
apparati
organi
tessuti
cellule
sistemi supramolecolari
molecole
atomi



scala della complessità chimica

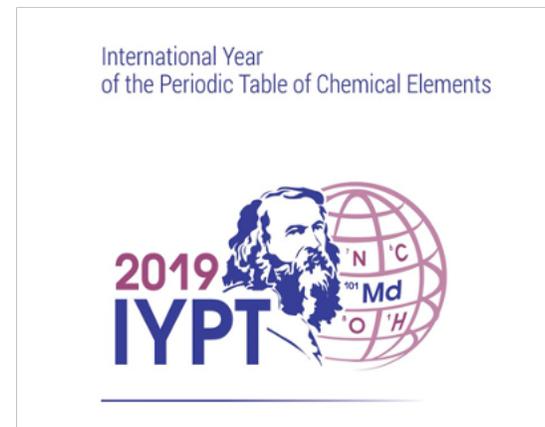
Atomo



L'atomo è la più piccola particella della materia

In natura esistono circa un centinaio di specie atomiche elementari (H, C, O, Fe, ...)

Le specie atomiche elementari sono ordinate nella Tavola Periodica



La caratteristica più interessante degli atomi

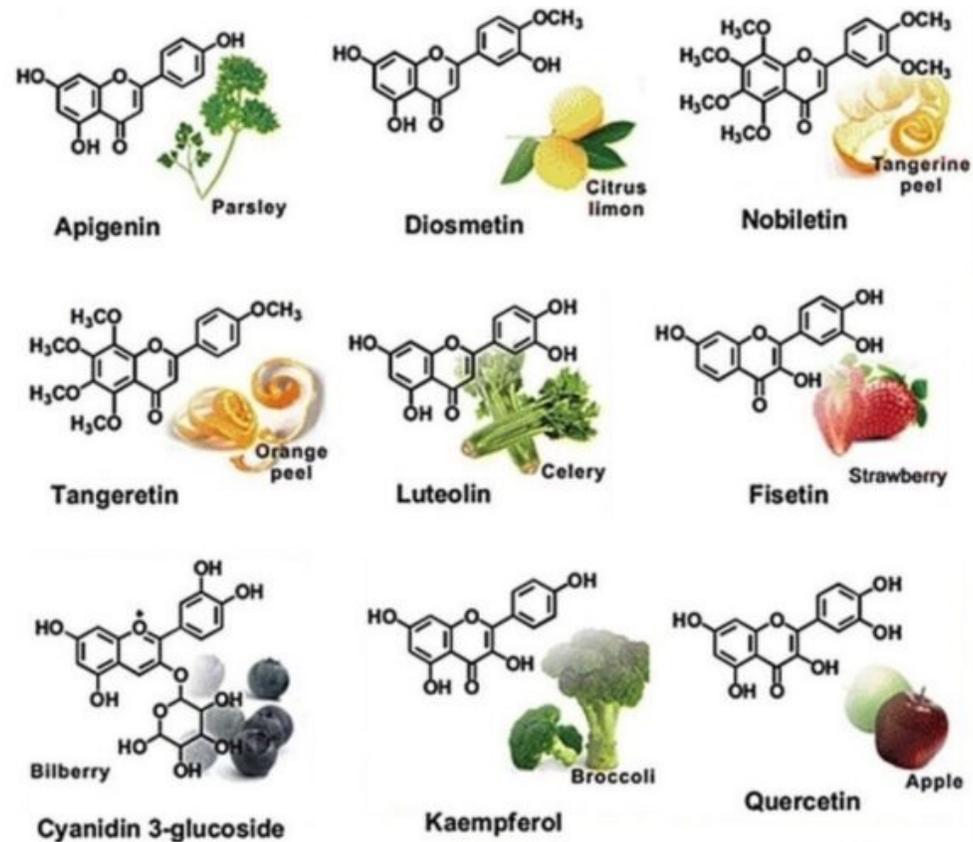
capacità di combinarsi (dare legami) con altri atomi per formare aggregati atomici, cioè le molecole



Atomium di Bruxelles

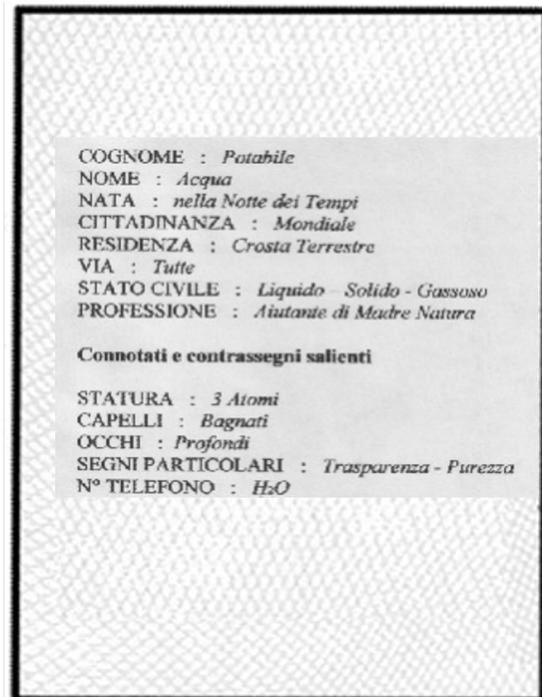
Con il centinaio di specie atomiche a disposizione si può ottenere un numero enorme di molecole

Moltissimi tipi di molecole sono presenti in natura



Chimico esploratore della natura

Il chimico ha identificato decine di milioni di molecole naturali

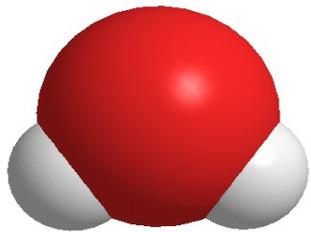


Ogni molecola è definita da un **nome**, è rappresentata attraverso **formule** ed ha una sua **forma**

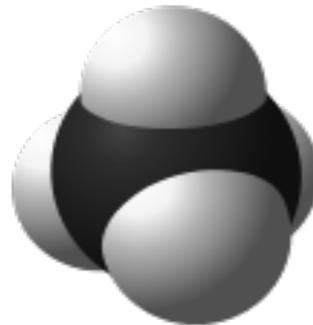
Una visione tridimensionale delle molecole si ottiene attraverso **modelli**, molto ingranditi ma realistici



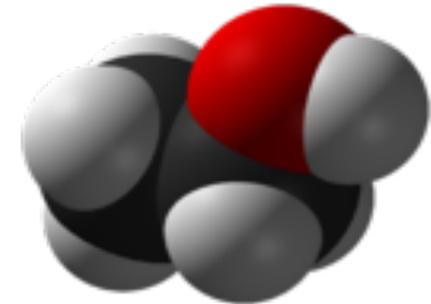
Il lego dei chimici



acqua

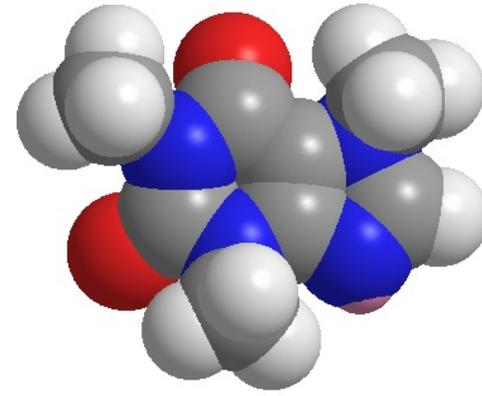


metano

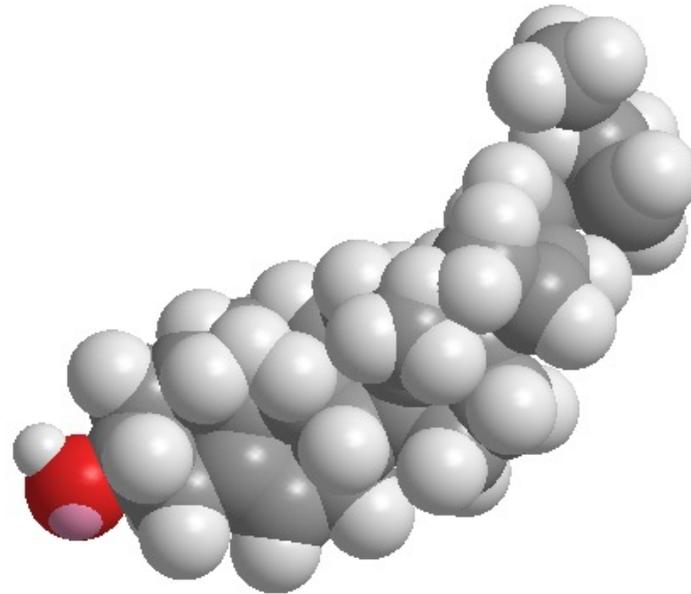


alcool etilico

Caffeina
 $C_8H_{10}O_2N_4$



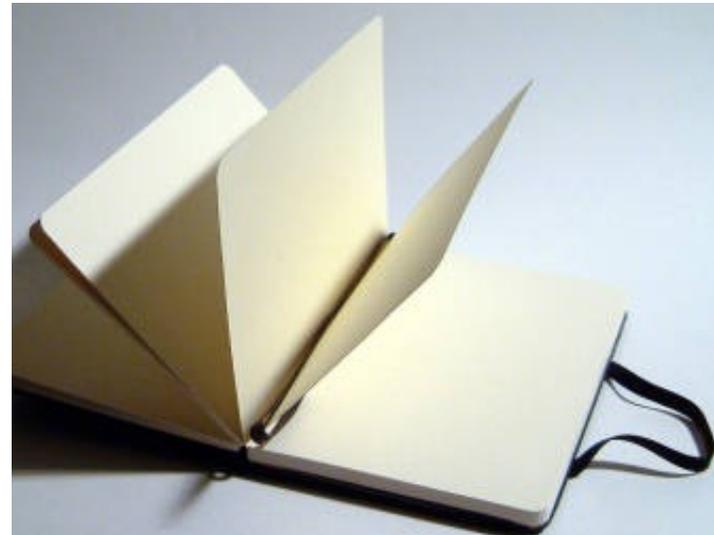
Colesterolo
 $C_{27}H_{46}O$



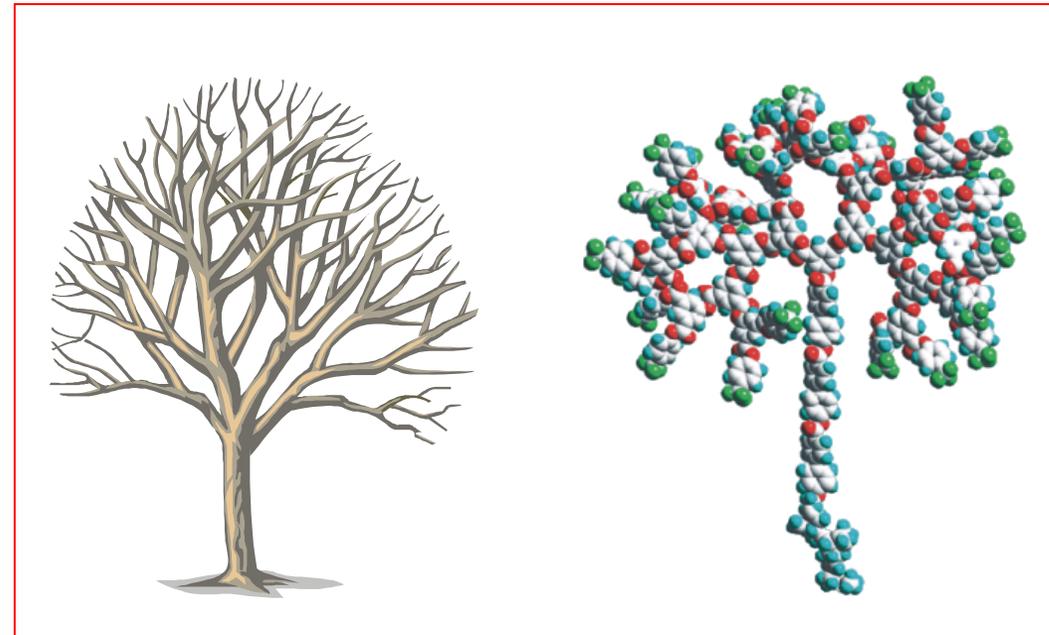
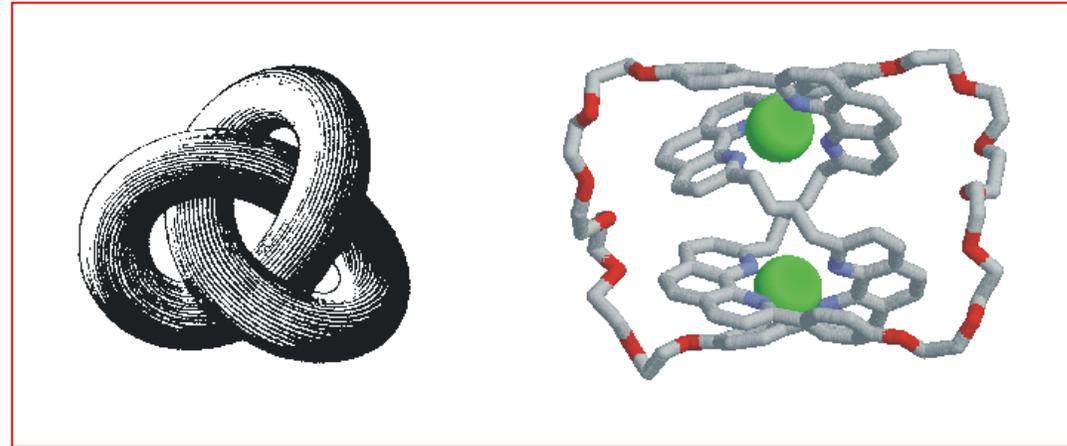
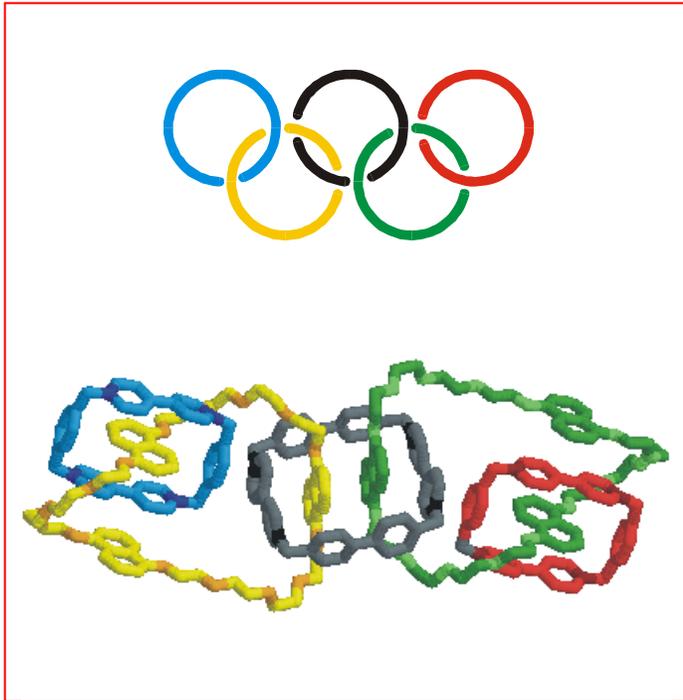
Il chimico inventore

Il chimico ha cominciato a costruire molecole artificiali (decine di milioni)

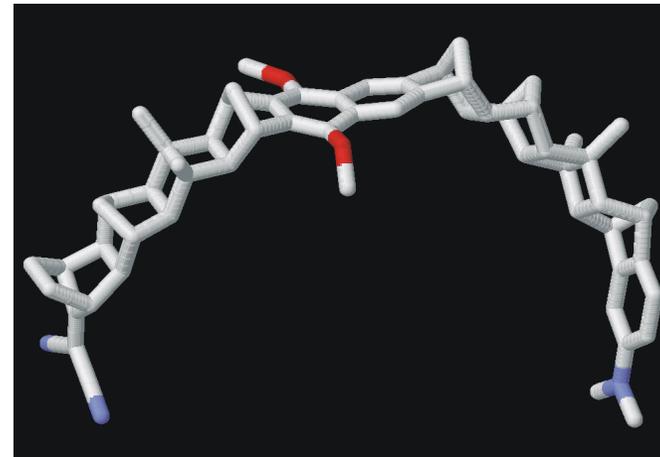
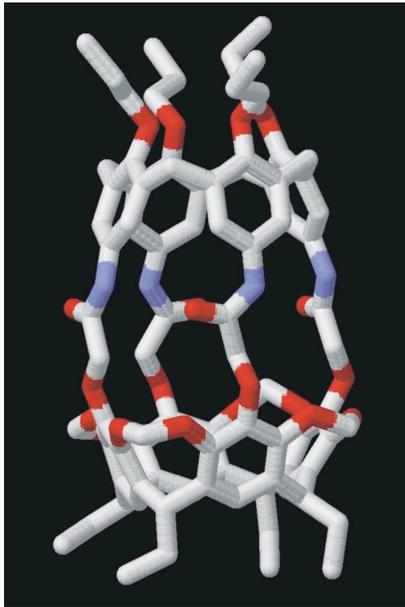
Il grande libro della natura non è solo da leggere, ma si può anche scrivere



Esempi di molecole artificiali



Esempi di molecole artificiali





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*

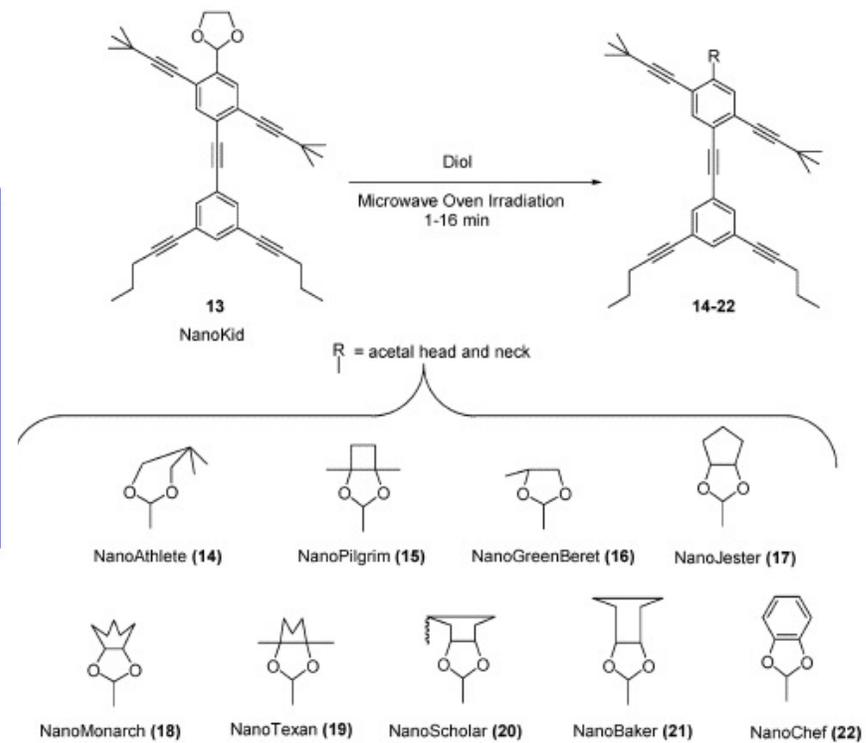
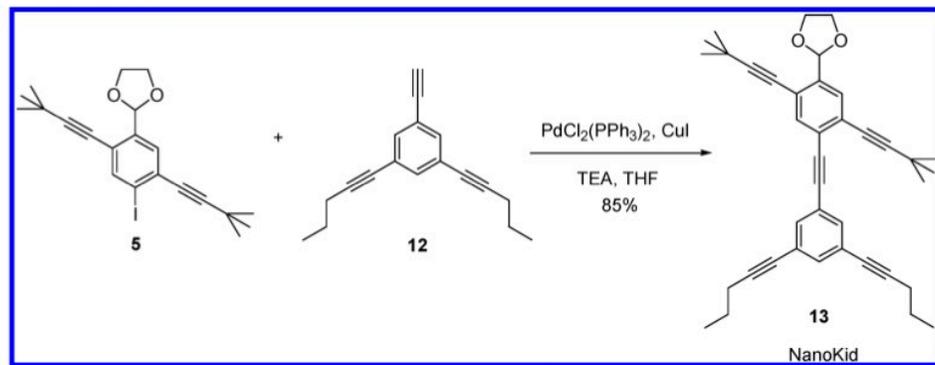
tour@rice.edu

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.

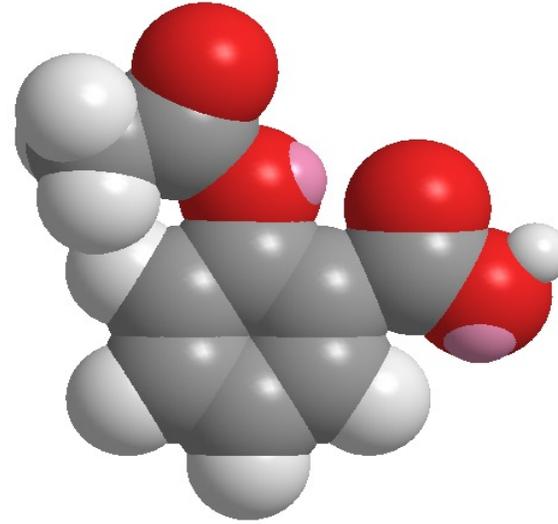
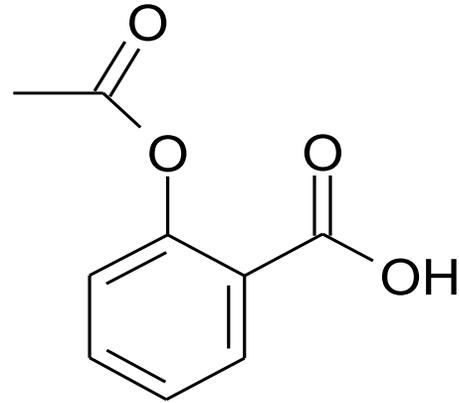


Esempi di molecole artificiali



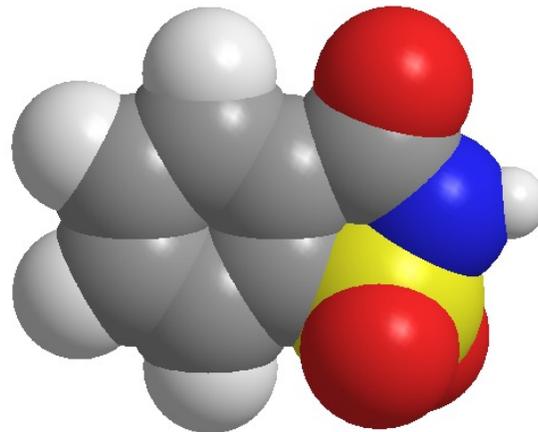
Acido acetilsalicilico (aspirina) $C_9H_8O_4$

Brevetto 1899



Saccarina $C_7H_5O_3NS$

Brevetto 1884



**Esempi di
molecole artificiali**

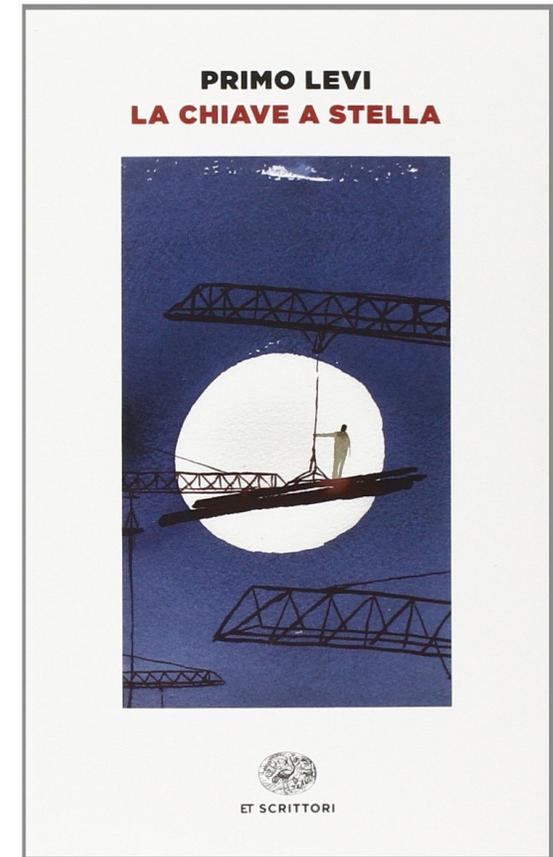
Un mondo
veramente affascinante, ma invisibile

Le molecole però hanno un handicap: sono
"oggetti" piccolissimi

Gli oggetti più piccoli al mondo ad avere
una forma propria

Il chimico lavora "al buio"

"... noi chimici montiamo e smontiamo delle costruzioni molto piccole ... e 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

I chimici non hanno mai
abbandonato l'idea di riuscire
a vedere le molecole
spingendo le loro indagini
sempre più verso il piccolo

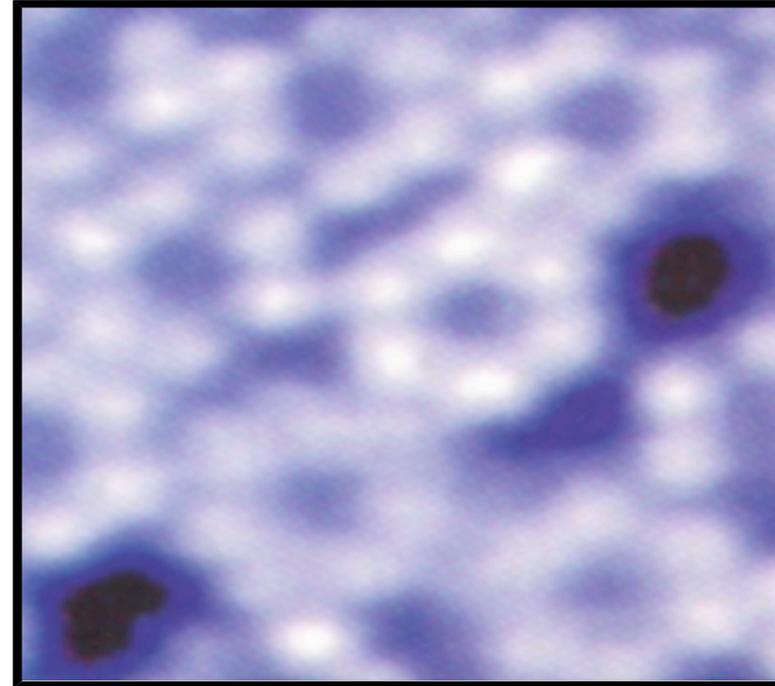
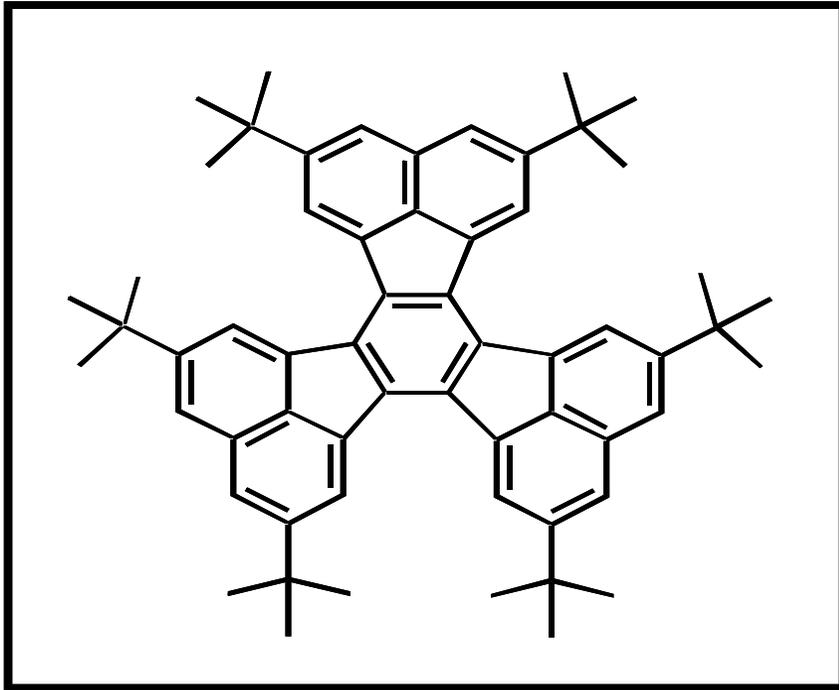
Goethe si opponeva all'uso del
microscopio affermando:

"non è giusto cercare di vedere
ciò che non si può vedere ad
occhio nudo, perché
evidentemente è nascosto per
qualche buona ragione"

L'invenzione di nuove tecniche
di indagine

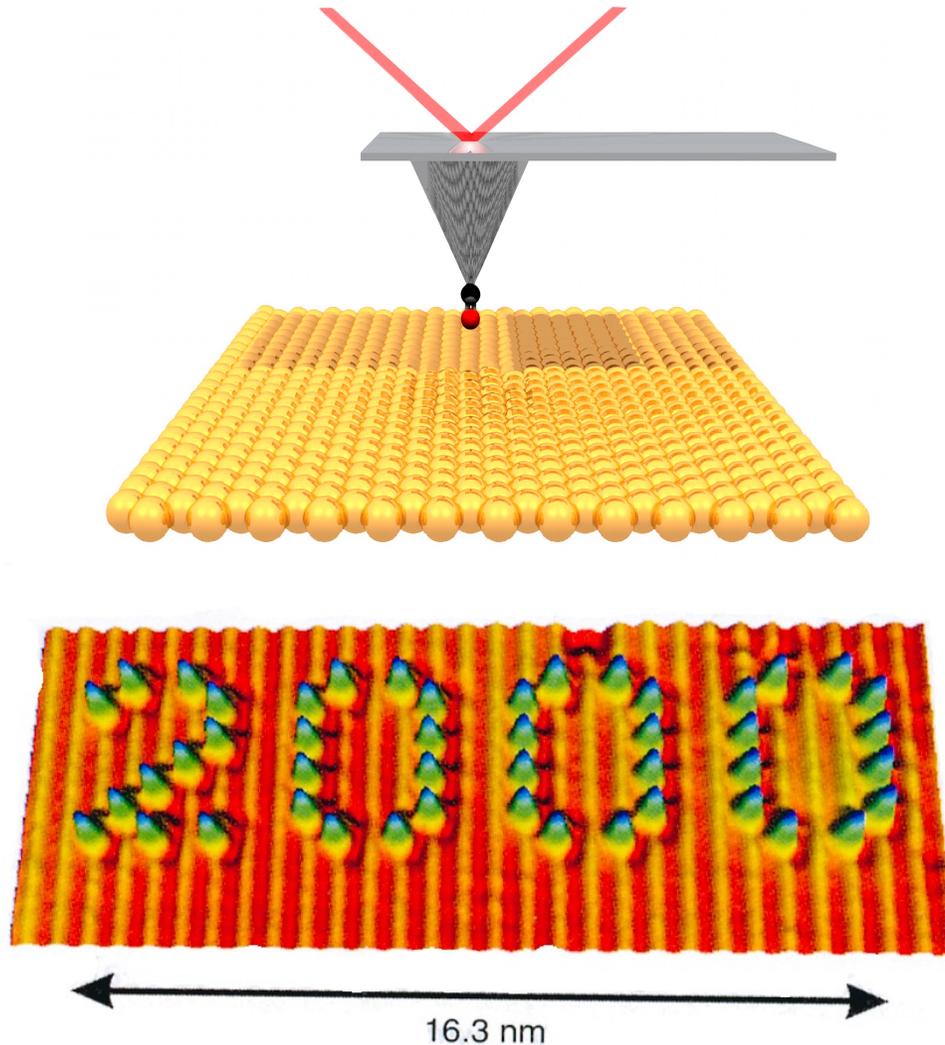
ha permesso di ...

"Vedere" singole molecole



Science, 1998, 281, 531

"Manipolare" singole molecole



Una "gru"
nanometrica

La data celebrativa del nuovo millennio ottenuta posizionando 47 molecole di ossido di carbonio, CO , su una superficie di rame, mediante tecniche di microscopia a sonda

ChemPhysChem, 2001, 2, 362



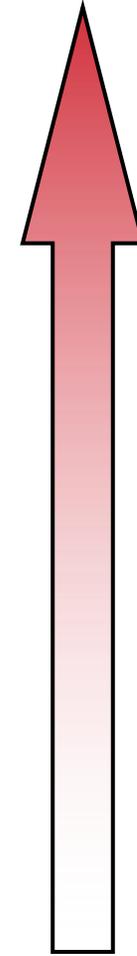
Le molecole rappresentano il punto di partenza per la costruzione di gran parte del mondo che ci circonda e del nostro corpo

Le molecole rappresentano anche il punto di partenza per interpretare la maggior parte dei fenomeni e dei processi che avvengono al di fuori di noi ed in noi



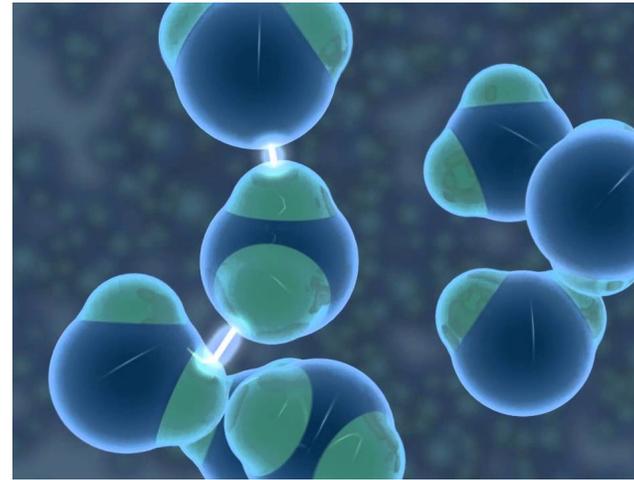
molecole

atomi



scala della complessità chimica

Le molecole sono sistemi più complessi degli atomi



Complesso = sinonimo non tanto di complicato ma attributo di sistemi costituiti da entità che interagendo fanno emergere nuove proprietà

Le proprietà di una molecola sono gli elementi di informazioni che permettono alla molecola stessa di interagire con il mondo circostante, cioè con le altre molecole

Quando una molecola incontra un'altra molecola possono verificarsi tre diverse situazioni:

- le molecole non interagiscono



- le molecole si trasformano in altre molecole

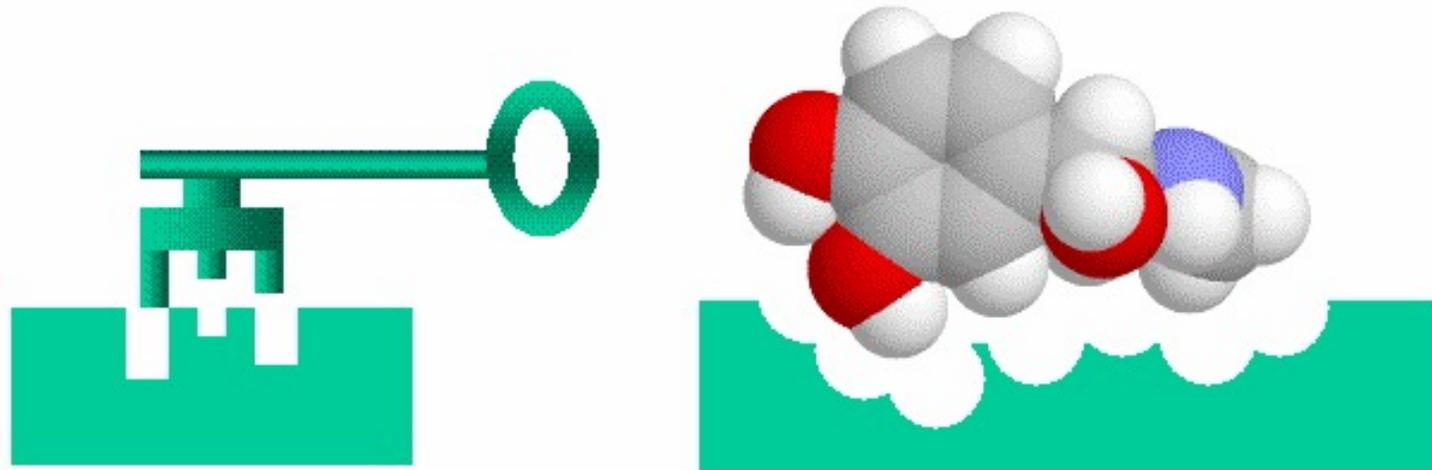


- le molecole si associano

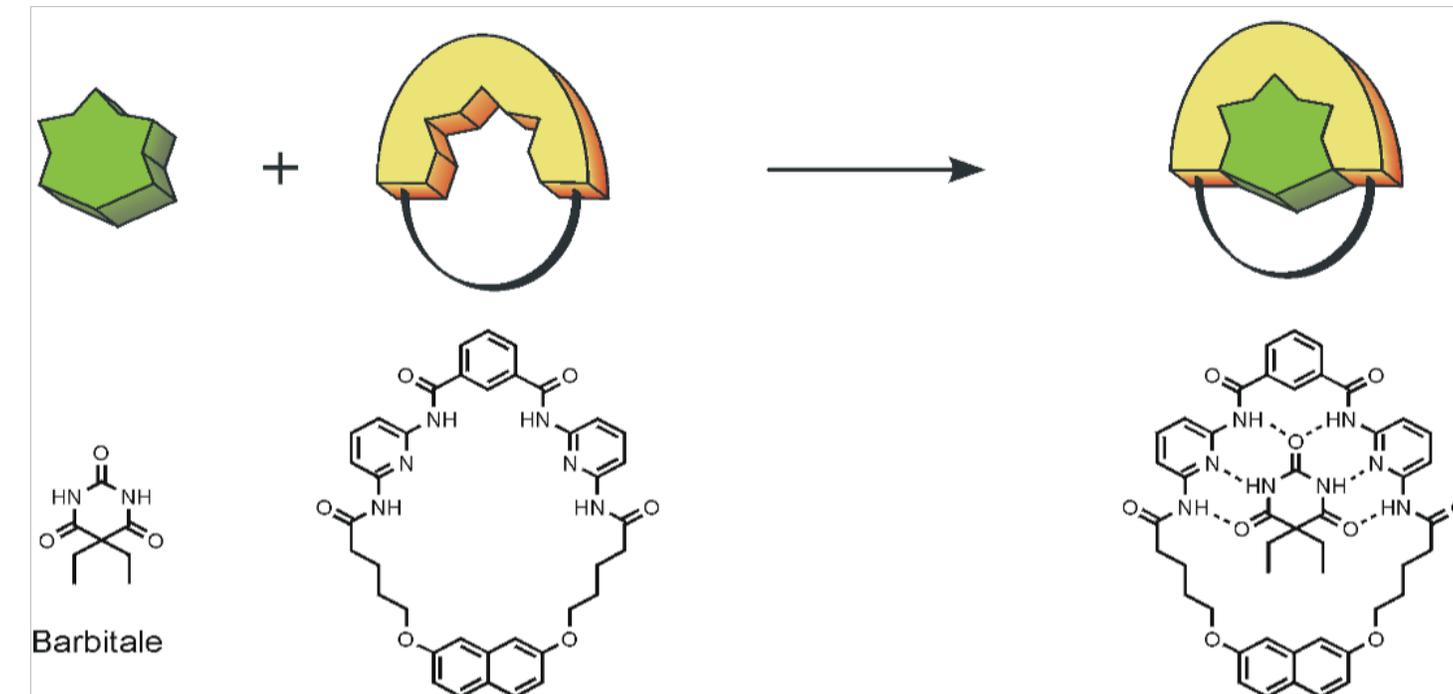
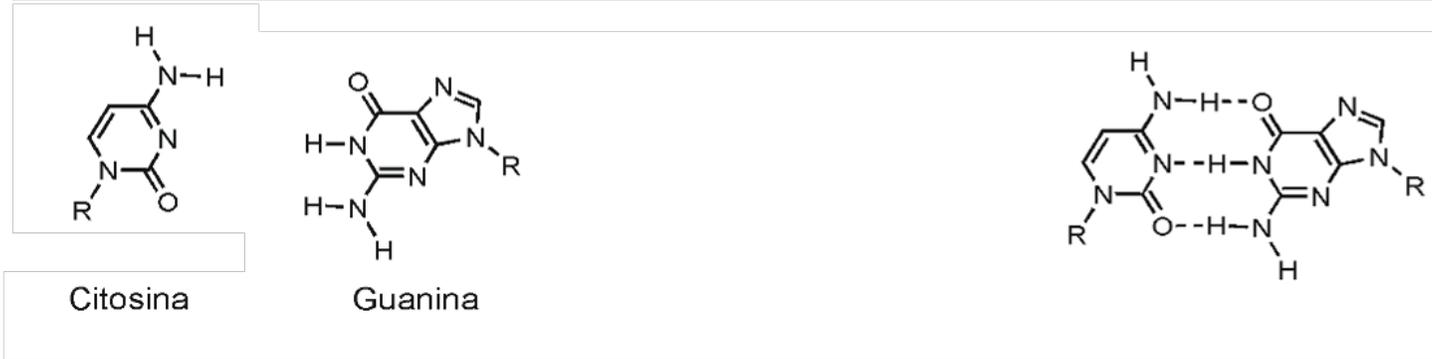


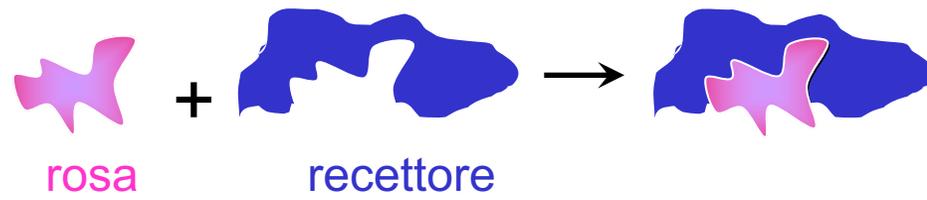
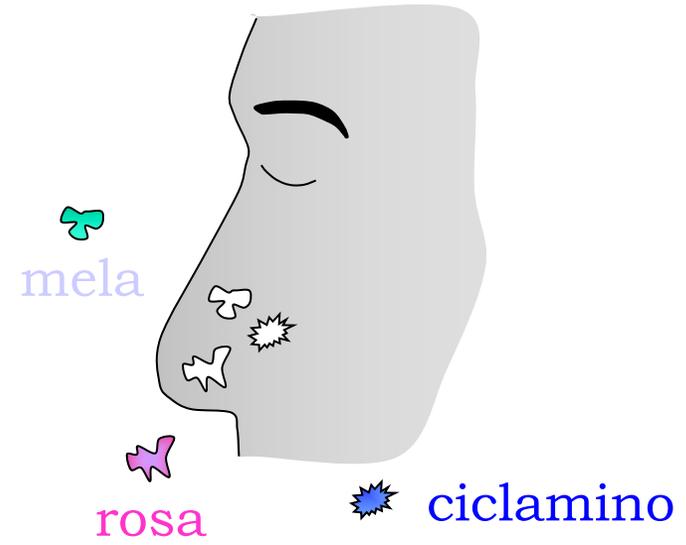
L'associazione fra molecole porta ad aggregati molecolari detti **sistemi supramolecolari**

L'associazione fra molecole si basa sul **riconoscimento molecolare**
un fenomeno altamente selettivo e specifico



Esempi di sistemi supramolecolari

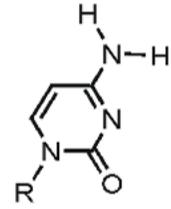




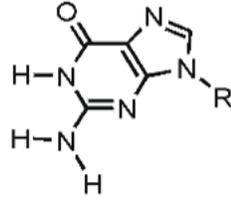
La Natura usa estesamente i sistemi supramolecolari

In natura esiste un numero elevatissimo
di molecole programmate per associarsi

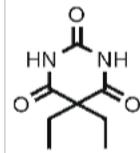
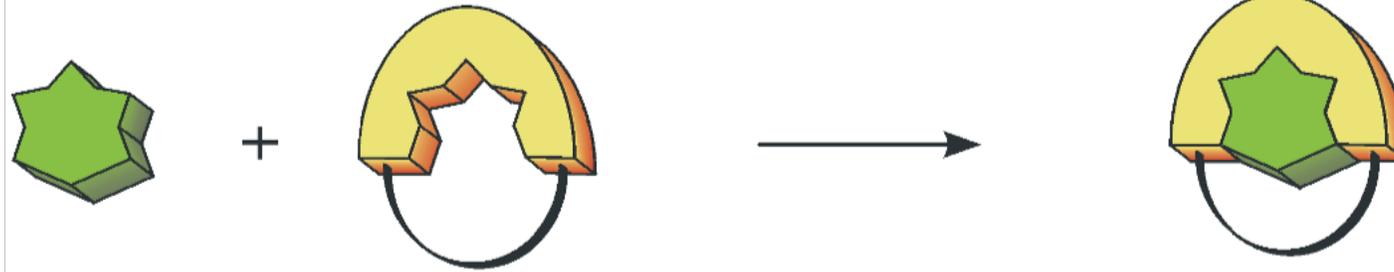
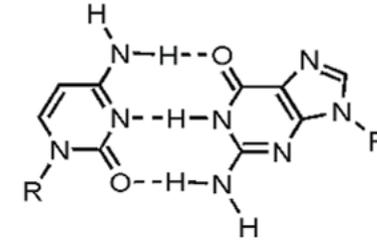
- Sono flessibili



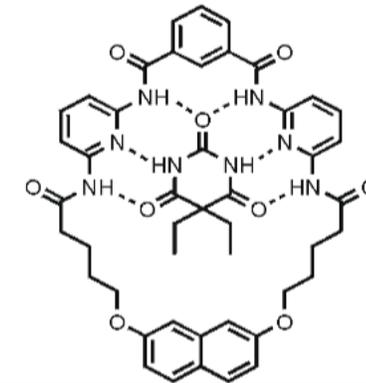
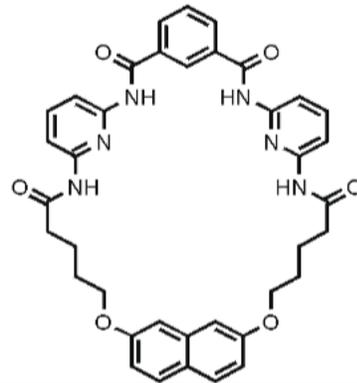
Citosina



Guanina

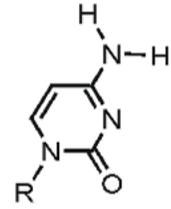


Barbitale

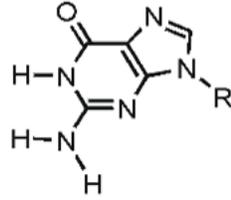


La Natura usa estesamente i sistemi supramolecolari

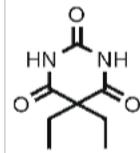
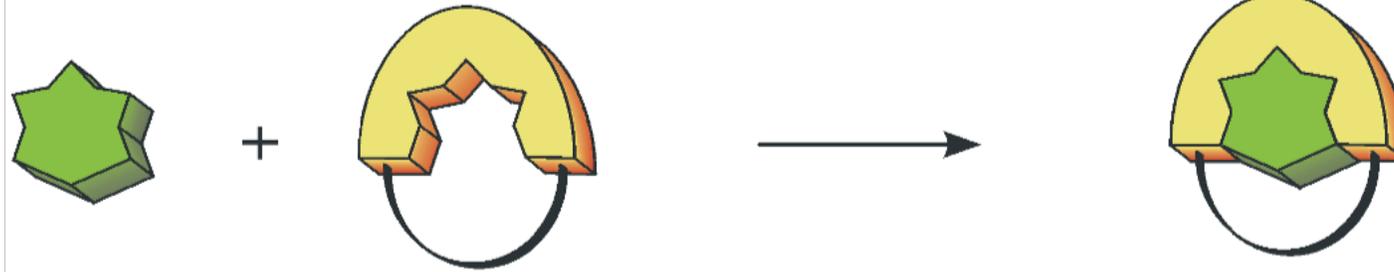
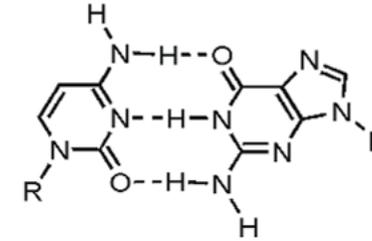
- Sono in grado di svolgere funzioni più pregiate delle singole molecole che li compongono



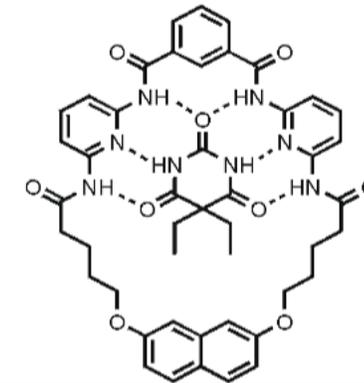
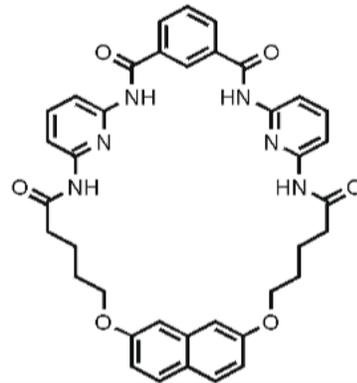
Citosina



Guanina



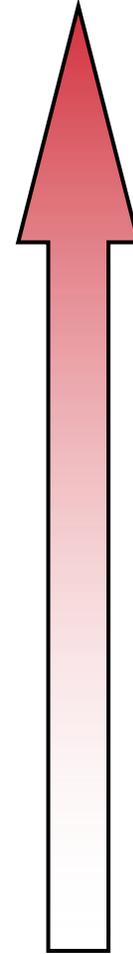
Barbitale



sistemi supramolecolari

molecole

atomi



scala della complessità chimica

I Chimici, così come hanno imparato a creare molecole artificiali, sono oggi capaci ad assemblare più molecole per ottenere sistemi supramolecolari artificiali

Il chimico ingegnere a livello molecolare

Sfruttando un approccio di tipo ingegneristico, il chimico costruisce "oggetti" di dimensioni nanometriche tecnologicamente avanzati, cioè dei veri e propri congegni e macchine a livello molecolare

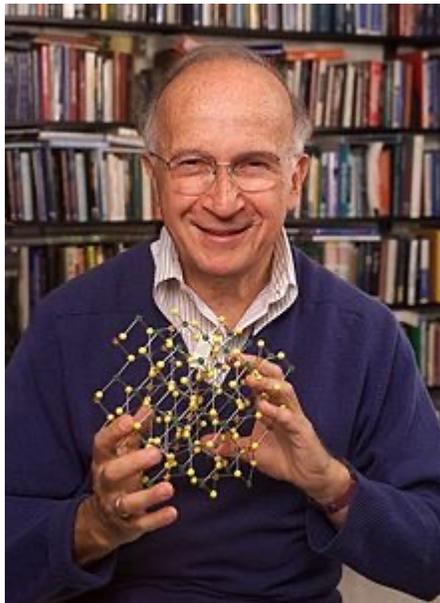
ingegneria a livello molecolare



nanotecnologia

Nanotecnologia

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



Roald Hoffmann
Premio Nobel per la Chimica nel 1981

Questo approccio di tipo ingegneristico
ha già dato i suoi risultati producendo
prototipi di

**Congegni e macchine molecolari
artificiali**

La Natura sa fare molto meglio

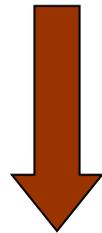
La Natura è un ingegnere molecolare
estremamente abile:

i sistemi supramolecolari naturali sono
preposti a svolgere funzioni molto pregiate

Sistemi supramolecolari complessi

I sistemi supramolecolari complessi

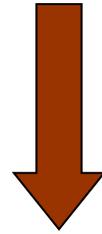
Aumentando il numero dei componenti molecolari, ottimizzando la loro organizzazione spaziale e il grado di cooperazione



proprietà e funzioni
sempre più pregiate e sofisticate

Sistemi supramolecolari semplici

Chimica



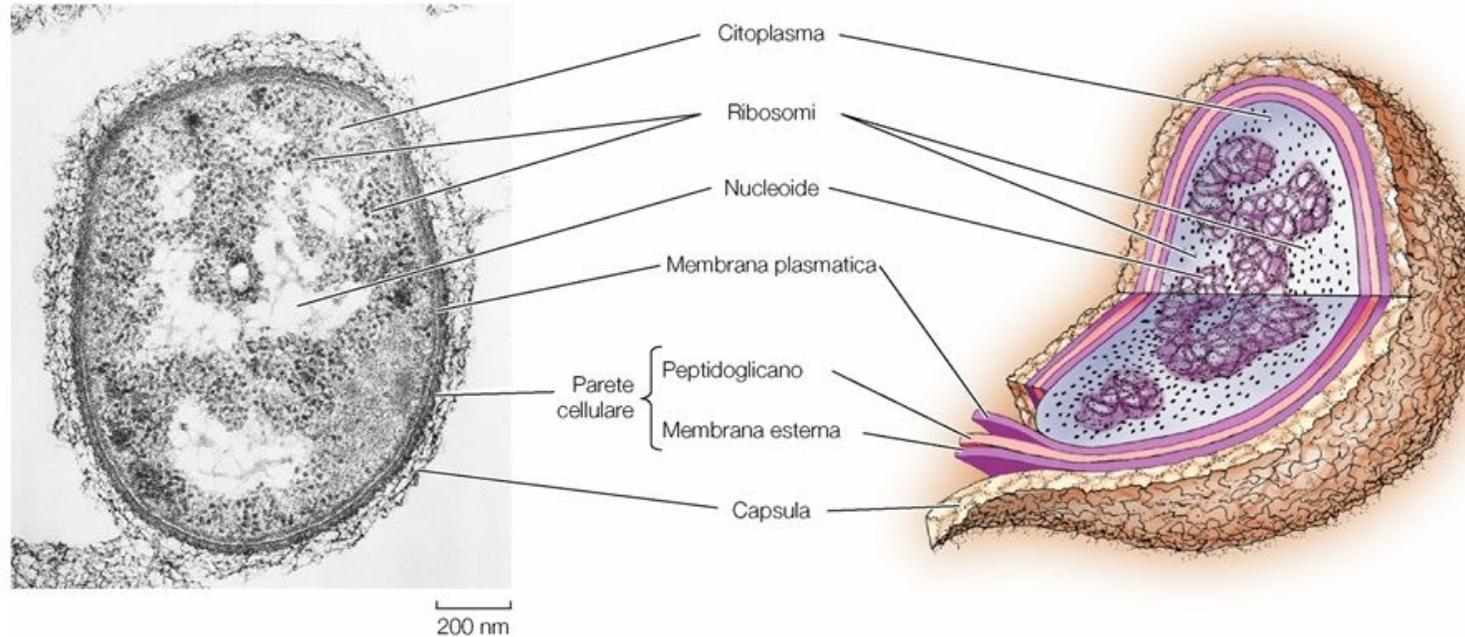
Sistemi supramolecolari complessi

Biologia

La transizione dalla materia inanimata alla vita che è in assoluto la **funzione più pregiata**

Cellula di un batterio

contiene migliaia di miliardi di molecole

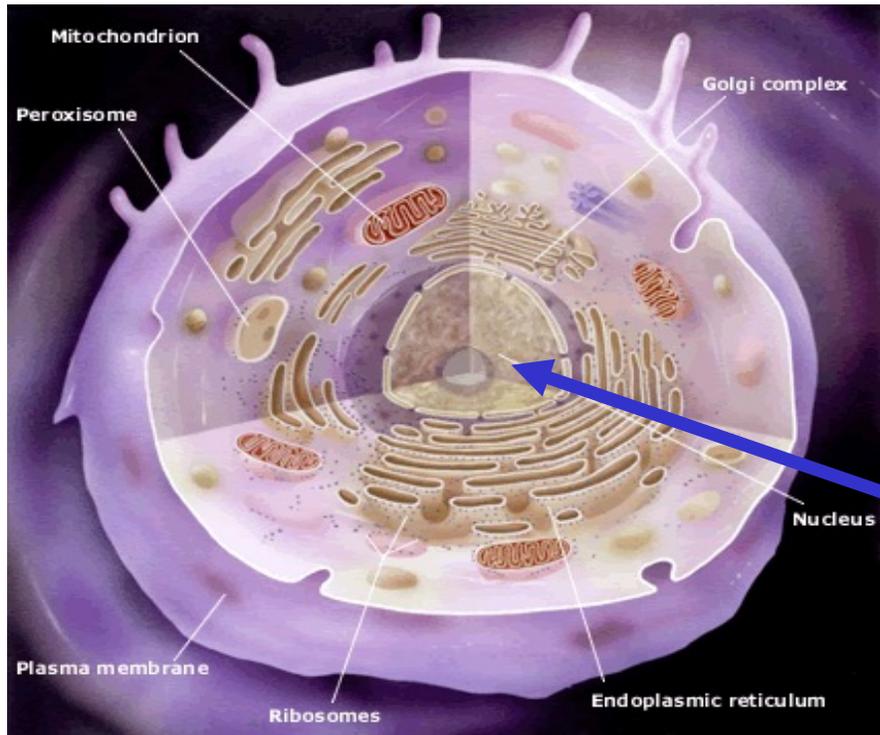


Problema dell'origine della vita

Non si sono ancora trovate le condizioni per trasformare spontaneamente la materia inanimata in materia vivente, neppure per la più semplice forma di vita ("vita minimale")

Cellula umana

contiene centomila miliardi di molecole

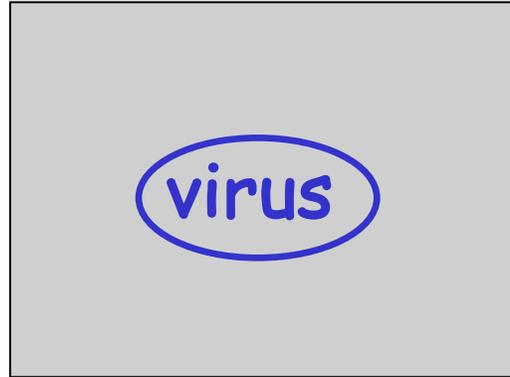


All'interno della membrana
ci sono:

- il citoplasma
- gli organuli
- il nucleo

Nel nucleo sono contenuti
46 cromosomi (lungi
filamenti di DNA) ordinati
in 23 coppie

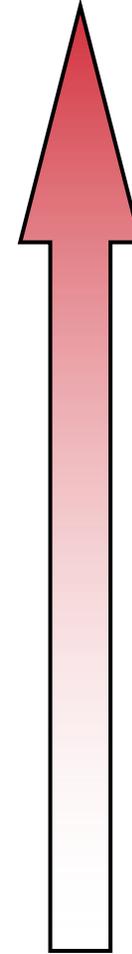
cellule



sistemi supramolecolari

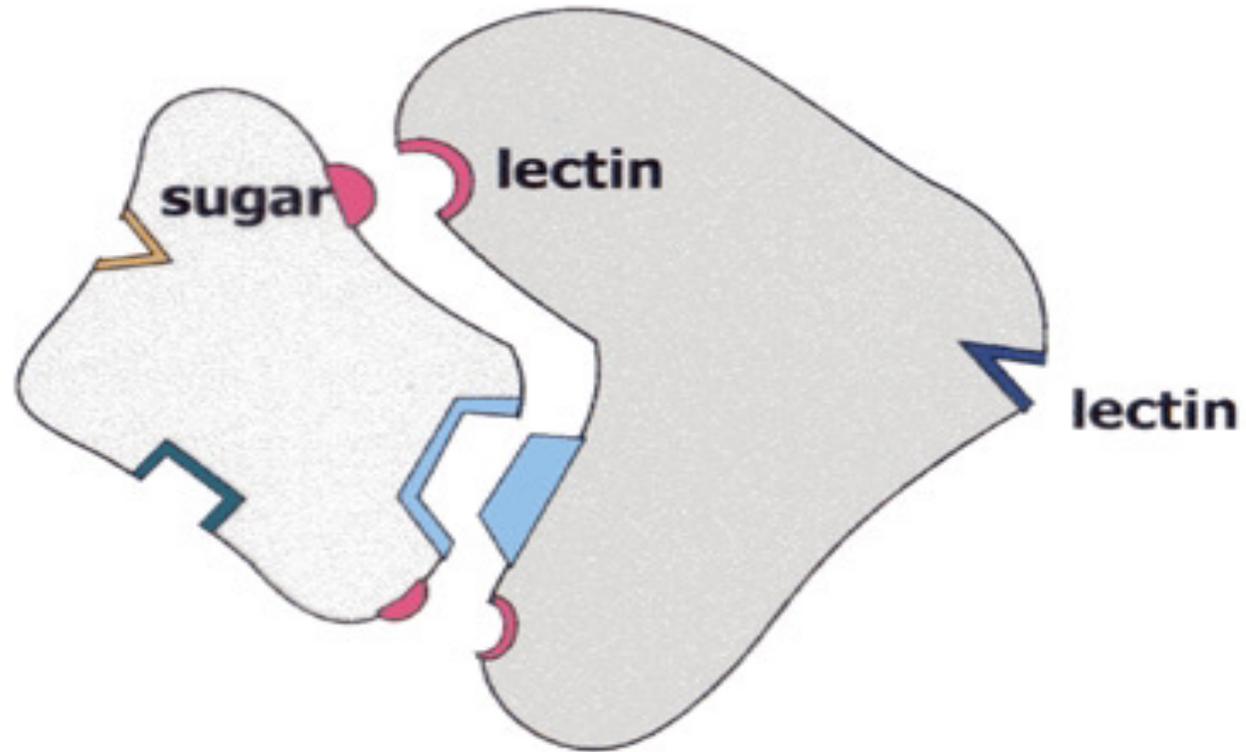
molecole

atomi



scala della complessità chimica

Riconoscimento ed associazione di cellule per dare tessuti



uomo

apparati

organi

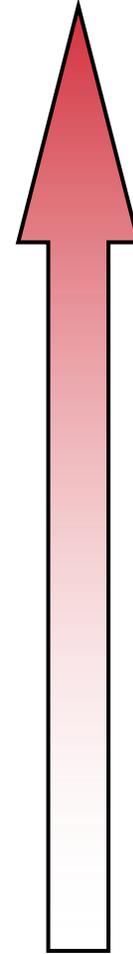
tessuti

cellule

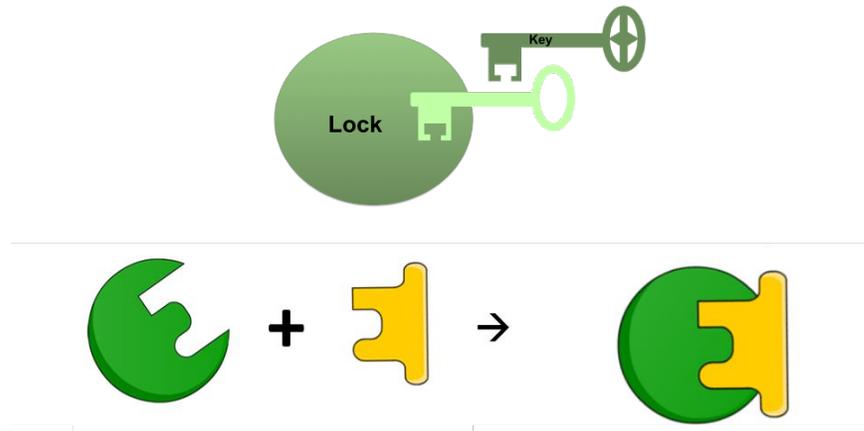
sistemi supramolecolari

molecole

atomi



scala della complessità chimica



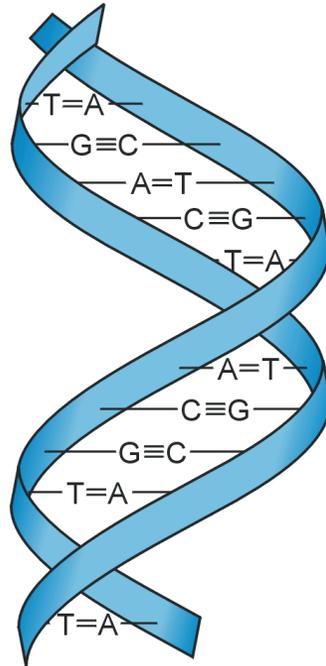
Le sostanze della vita si
assemblano sfruttando, in
modo via via più complesso,

il riconoscimento fra composti chimici molto
specifici secondo il modello chiave-serratura

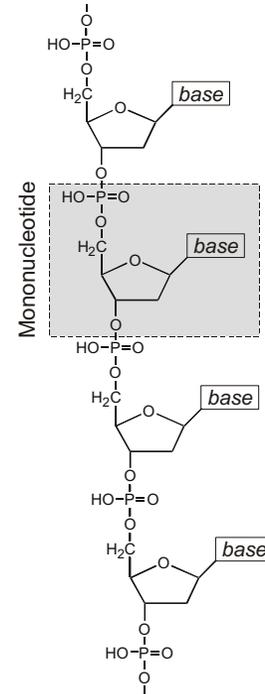
Il risultato è un'incredibile
organizzazione e un'estrema complessità

DNA portatore dell'informazione genetica

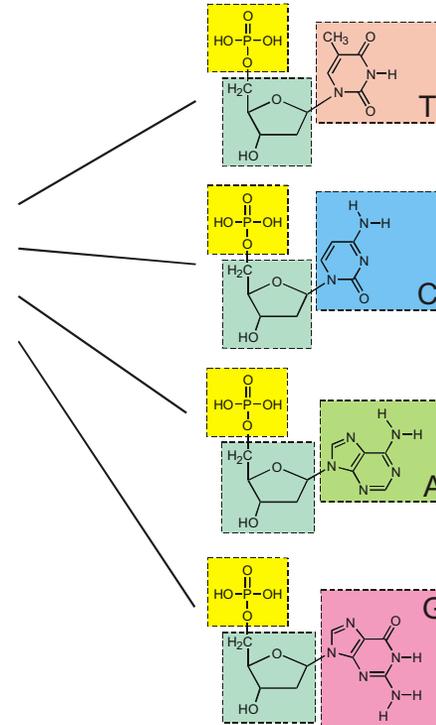
Segmento di doppia elica



Segmento di un filamento

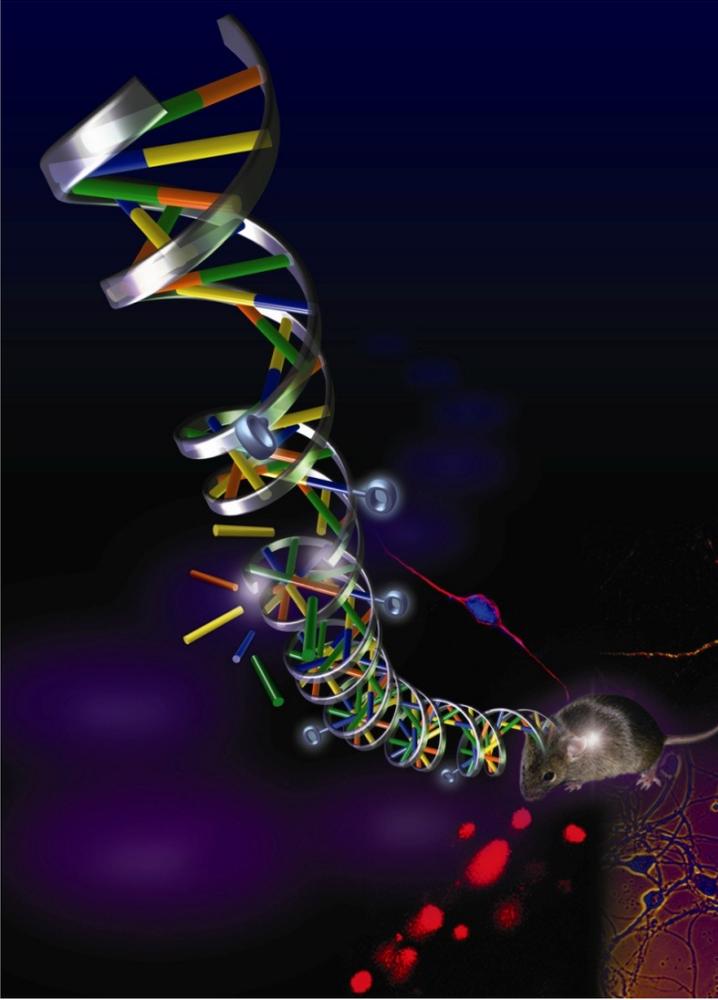


I quattro tipi di mononucleotidi



Nel DNA (genoma) si possono individuare dei segmenti chiamati "geni"

DNA

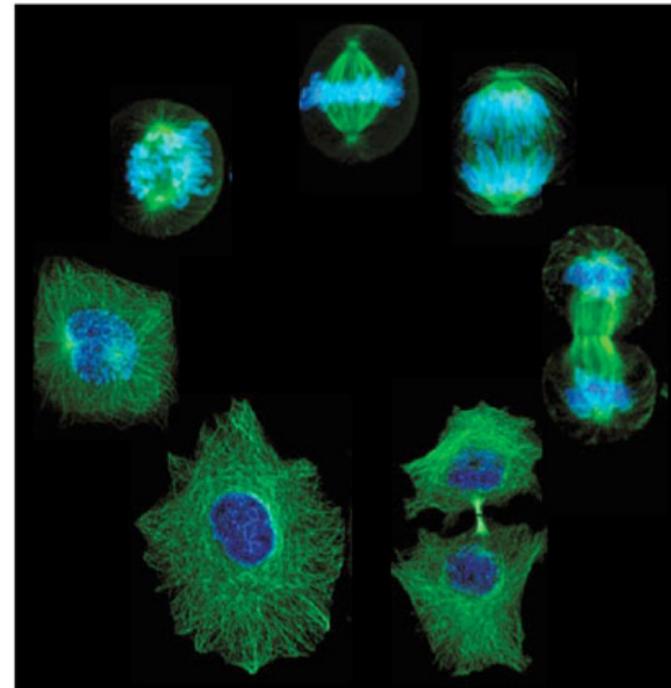
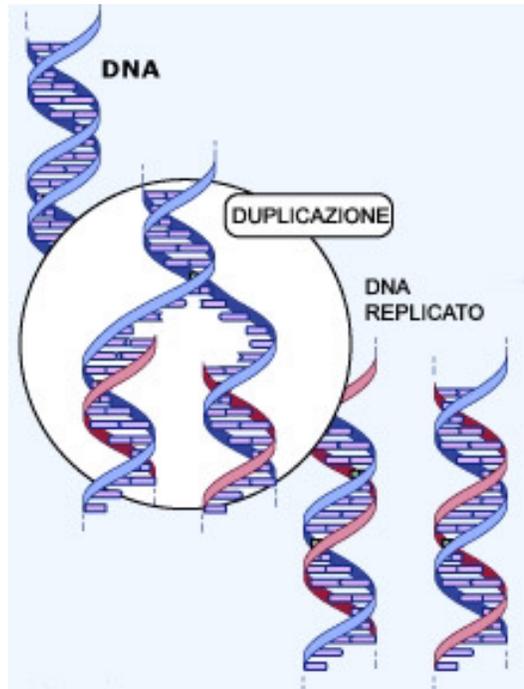


- Il DNA umano contiene circa 3 miliardi di mononucleotidi
- Il DNA umano ha un contenuto di informazioni pari a ca. 10^9 bit, paragonabile a quello di una biblioteca di un migliaio di volumi di 500 pagine ciascuno
- Nella sequenza dei mononucleotidi sono scritte le caratteristiche genetiche dell'individuo

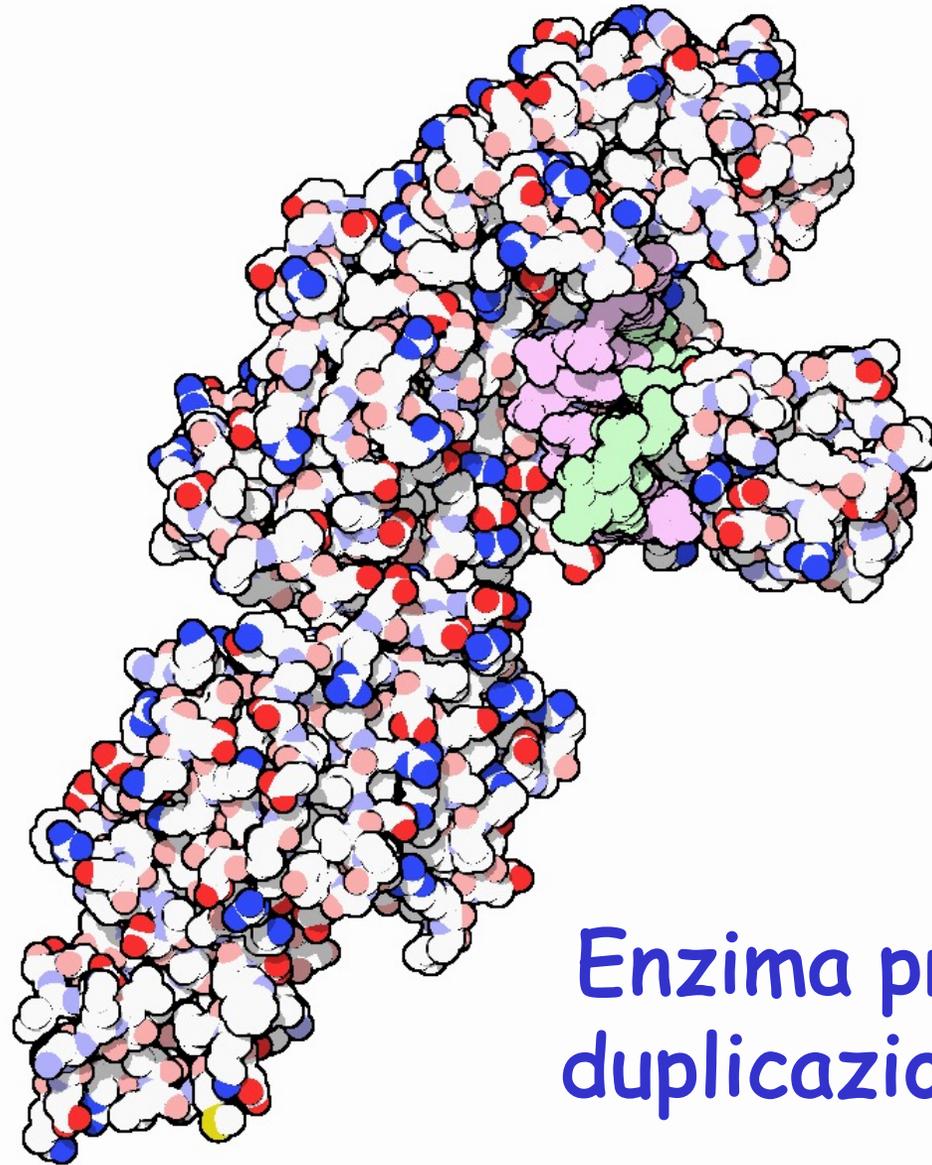
Tutte le cellule di un individuo, 10.000 miliardi, hanno lo stesso DNA

DNA polimerasi

Questo enzima genera due doppie eliche di DNA identiche a quella originaria

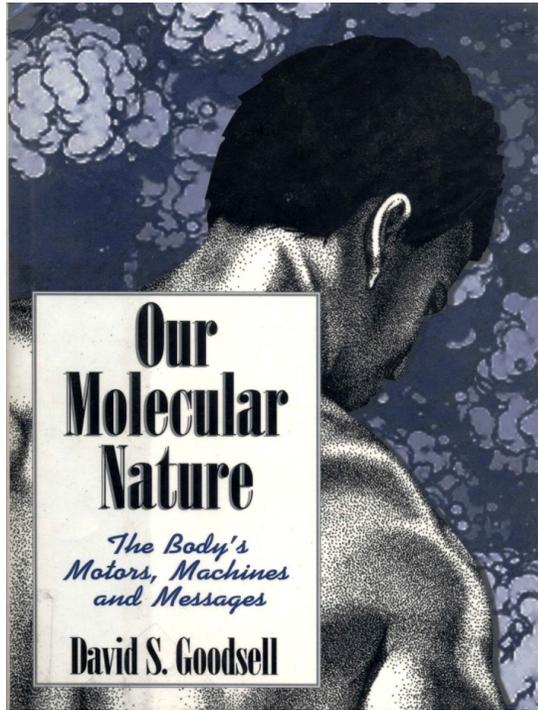


DNA polimerasi



Enzima preposto alla
duplicazione del DNA

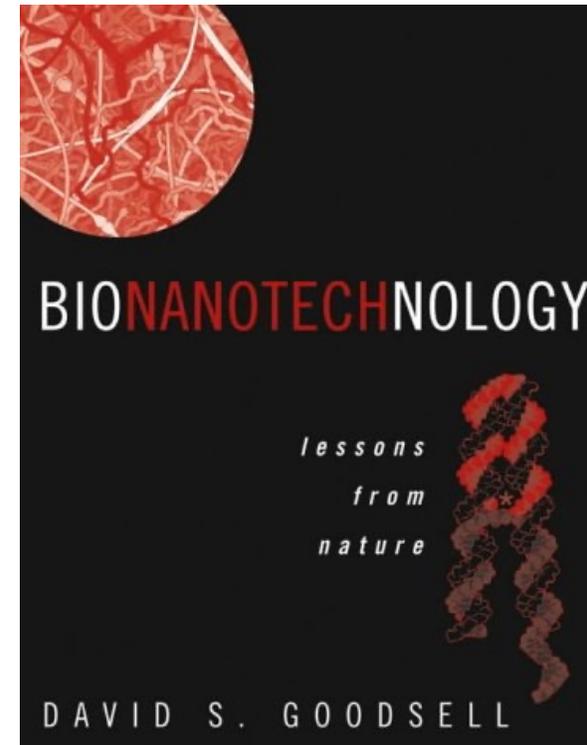
Copernicus, Springer - Verlag, New York, 1996



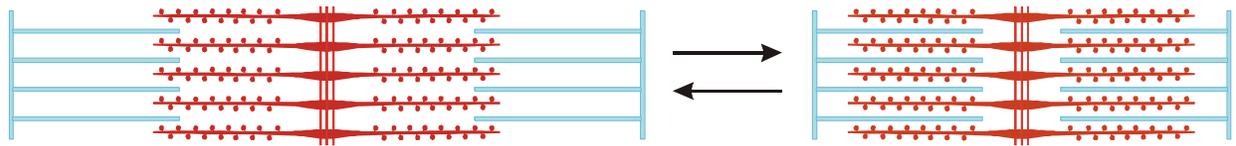
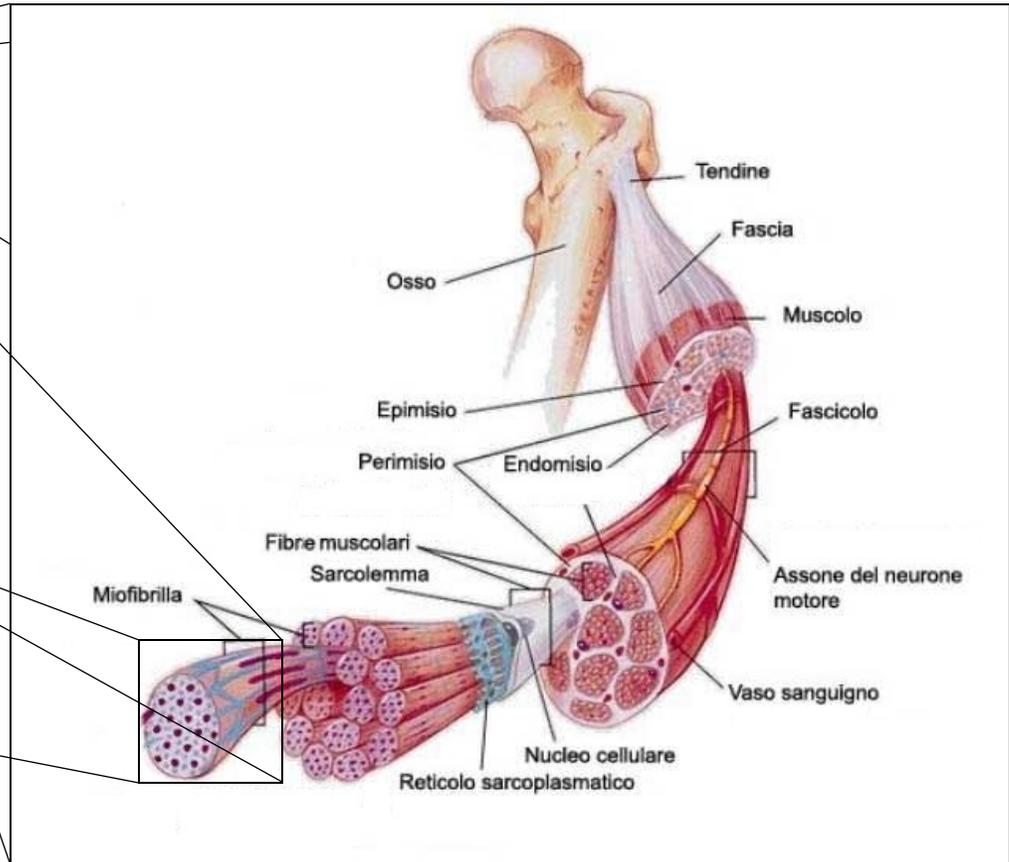
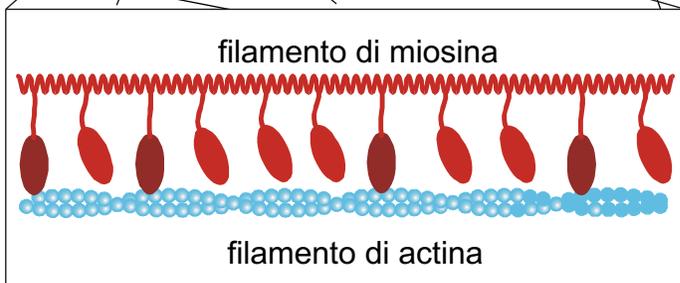
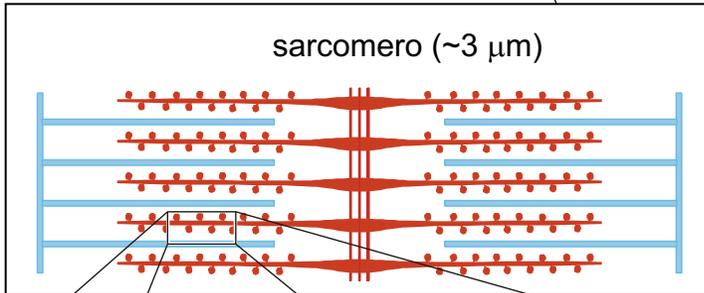
Macchine e motori molecolari naturali

Le cellule possiedono centinaia di tipi diversi di motori molecolari, ognuno "specializzato" in una particolare funzione. Negli ultimi anni sono stati scoperti molti di questi motori molecolari biologici, basati su proteine

La varietà dei motori molecolari naturali è molto ampia. Alcuni di questi motori funzionano in modo ciclico, dando luogo a moti di rotazione oppure di traslazione. Tra le funzioni svolte vi sono il trasporto di sostanze all'interno della cellula, la sintesi di sostanze chimiche, la regolazione di funzioni e proprietà di organi cellulari, ecc.



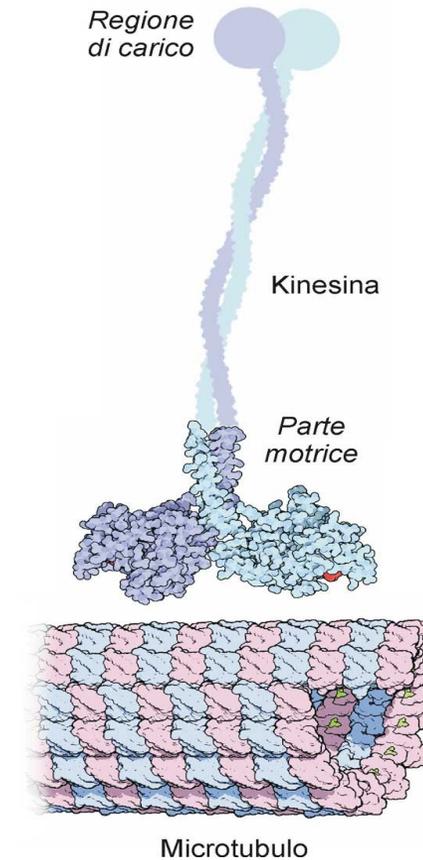
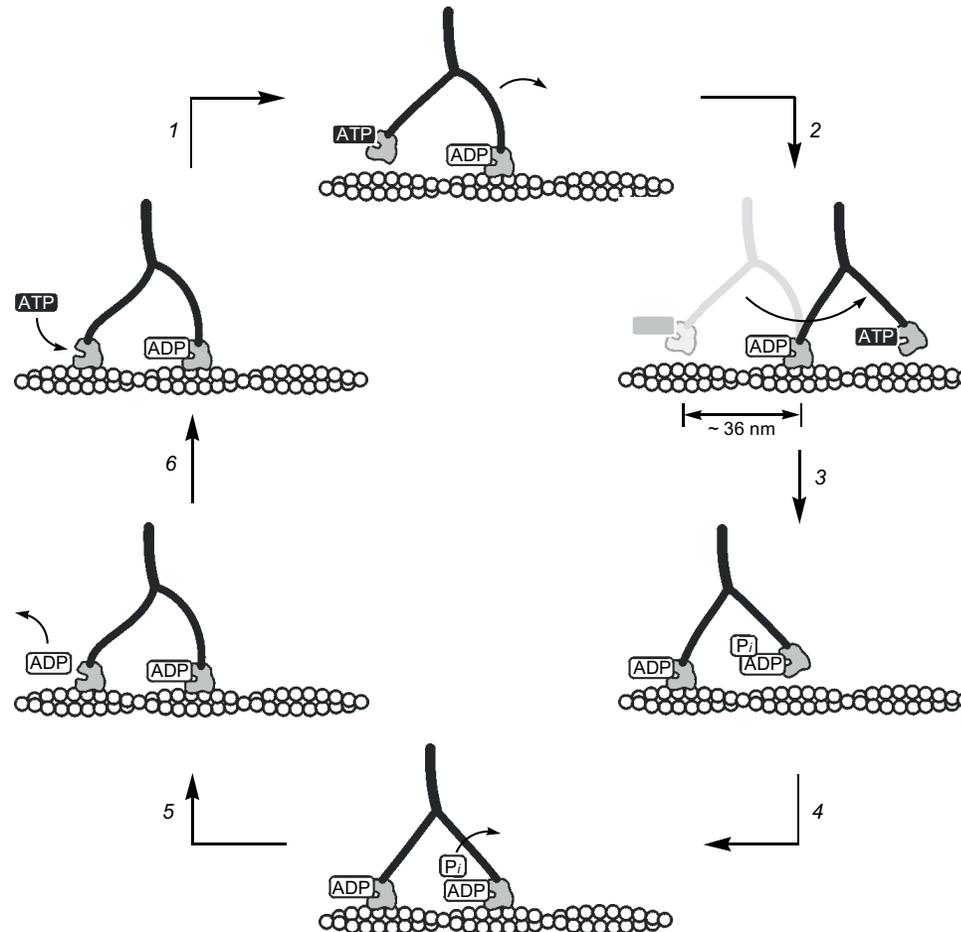
Wiley, New York, 2004



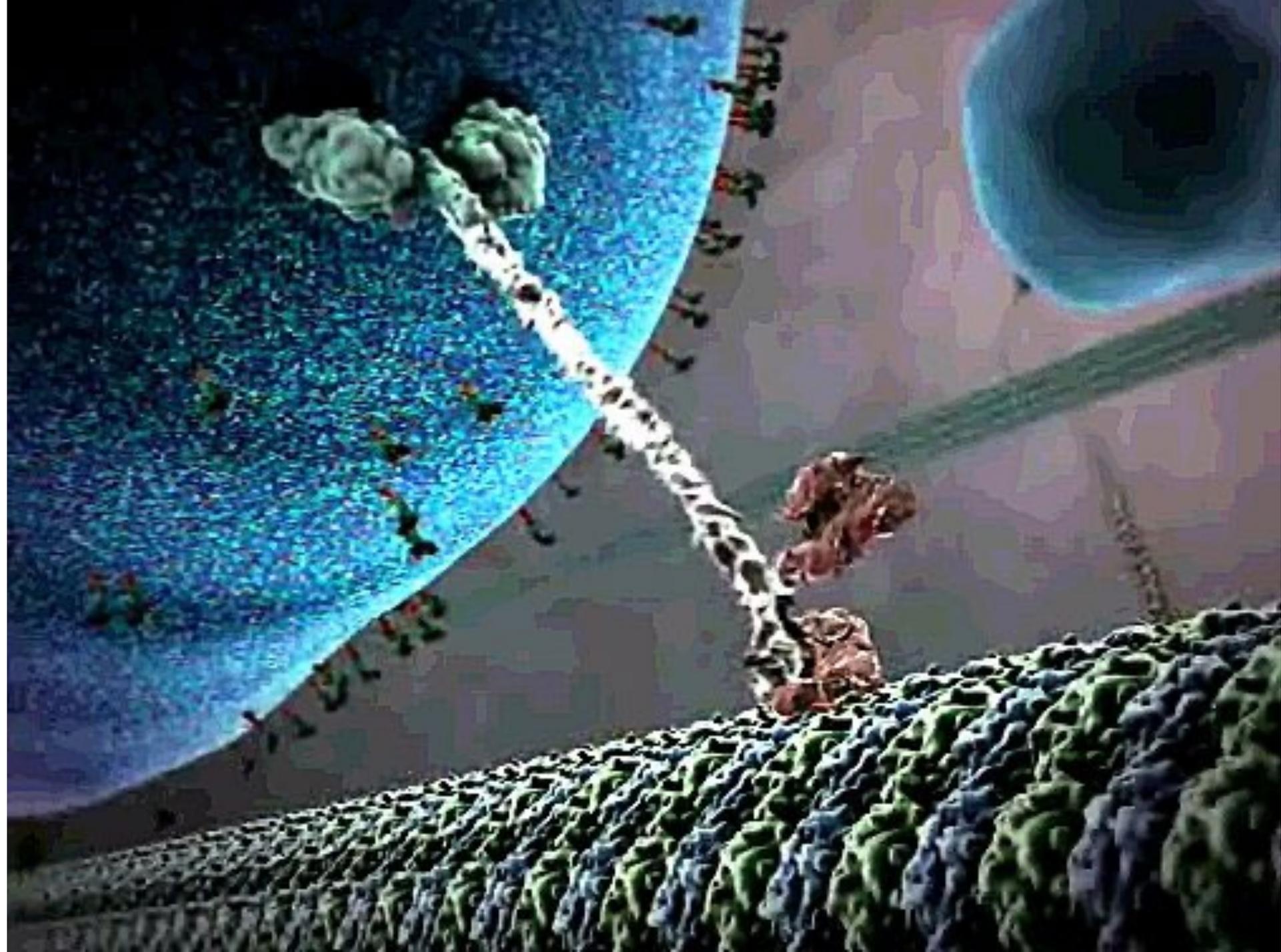
forma espansa

forma contratta

La **kinesina** trasporta sostanze da una parte all'altra della cellula



Cammina su un binario
compiendo "passi"
di 72 nm alla velocità di
1000 nm al secondo



La vita è dovuta ad un grandissimo numero di processi chimici estremamente complessi, incredibilmente organizzati e capaci di una funzionalità così ricca e diversificata da suscitare il nostro stupore e sfuggire, per ora, al nostro raziocinio

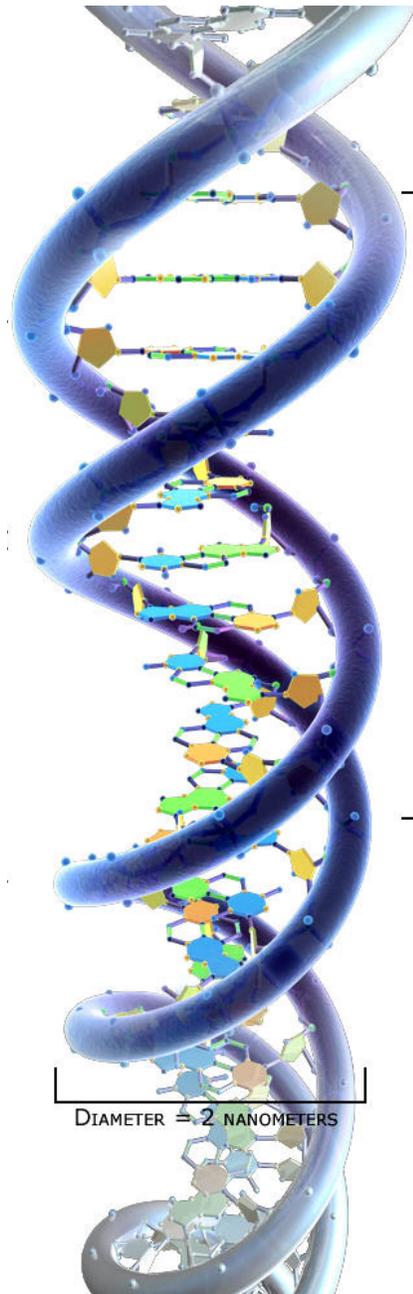
La vita rimane, in larga parte, ancora un mistero

Ingegneria genetica

Manipolazione del DNA

Trasferimento di geni da un organismo ad un altro (OGM)

Il gene trasferito continua a svolgere la sua funzione anche nella cellula in cui è stato trapiantato (fabbrica chimica vivente, es.: insulina)

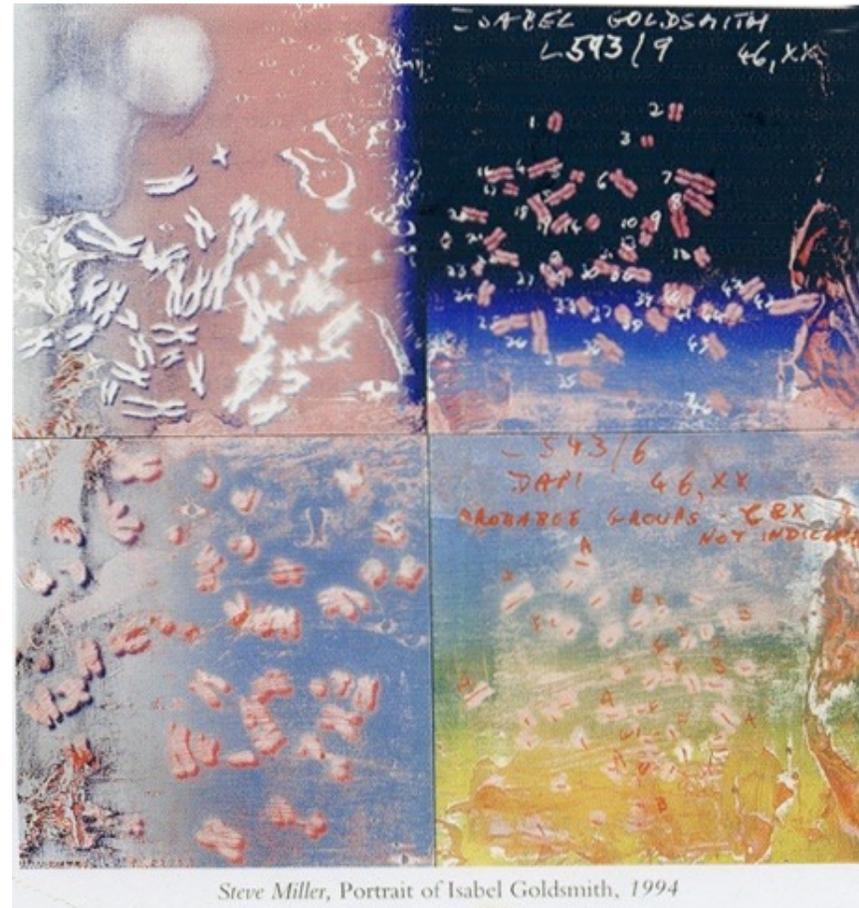




Alexis Rockman, The Farm, 2000

Schedatura Genetica

classificazione degli individui in base ai loro geni



La situazione è molto più complessa

Schedatura Genetica

I problemi etici connessi
alla schedatura genetica
sono tantissimi:
è come aprire il vaso di
Pandora



It's All About Me

Along with the flood of discoveries in human genetics, 2007 saw the birth of a new industry: personal genomics. Depending on your budget, you can either buy a rough scan of your genome or have the whole thing sequenced. The companies say the information will help customers learn about themselves and improve their health. But researchers worry that these services open up a Pandora's box of ethical issues.

At \$300,000 to \$1 million per genome, sequencing all 3 billion base pairs is still too costly for all but a few. Although dozens more personal genomes will probably be sequenced in the coming year, most will be done by public and private research organizations—including the institute run by genome maverick J. Craig Venter, whose personal genome was one of three completed in 2007 in the United States and China. In a lower-budget effort, Harvard's George Church this month will deliver initial DNA sequences for the protein-coding sections (1% of the genome) to the first 10 volunteers for his Personal Genome Project. Meanwhile, a new company called Knome is offering full-genome sequencing to 20 customers willing to pay \$350,000.

A glimpse of one's genome is already within the reach of ordinary people, thanks to several companies. They include 23andMe, which has financing from Google and may let users link to others with shared traits; Navigenics, which will screen for about 20 medical conditions; and deCODE Genetics in Iceland, a pioneer in disease gene hunting. For \$1000 to \$2500, these companies will have consumers send in a saliva sample or cheek swab, then use "SNP chips" to scan their DNA for as many as 1 million markers. The companies will then match the results with the latest publications on traits, common diseases, and ancestry.

Although many customers may view this exercise as a way to learn fun facts about themselves—recreational genomics, some call it—bioethicists are wary. Most common disease markers identified so far raise risks only slightly, but they could cause needless worry. At the same time, some people may be terrified to learn they have a relatively high risk for an incurable disease such as Alzheimer's.

The rush toward personal genome sequences also sharpens long-held worries about discrimination. A bill to prevent insurers and employers from misusing genetic data is stalled in Congress. Complicating matters, your genetic information exposes your relatives' DNA, too.

The most profound implications of having one's genome analyzed may not be what it reveals now—which isn't much—but what it may show later on. Perhaps to sidestep such questions, some companies will limit which markers to disclose. Others, however, will hand customers their entire genetic identity, along with all the secrets it may hold.

—JOCELYN KAISER



Pandora's box? This cheek-swab kit could reveal your intimate secrets.

In una recente intervista Edgar Morin ha detto:

C'è stato un periodo in cui la scienza, la tecnica, la ragione, la giustizia, la democrazia e l'uguaglianza avanzavano assieme, ma oggi non è più così

La scienza si sviluppa a una velocità senza precedenti, che non lascia il tempo alla società di elaborare un pensiero capace di accompagnarla

... il suo potere sulle nostre vite è diventato enorme, senza dimenticare che spesso essa è pesantemente condizionata dalla ricerca del profitto ad ogni costo

È dunque necessario reintrodurre una riflessione etica che ne regoli gli eccessi

L'agire sull'uomo impone delle
valutazioni molto serie e mature

La vita non può essere ridotta
ai suoi aspetti chimici e biologici

Canto notturno di un pastore errante dell'Asia

Dimmi, o luna: a che vale
al pastor la sua vita,
la vostra vita a voi? Dimmi: ove tende
questo vagar mio breve,
il tuo corso immortale?
... tu forse intendi,
questo viver terreno,
... il perché delle cose, e vedi il frutto
del mattin, della sera,
del tacito, infinito andar del tempo
... a che tante facelle?
... ed io che sono?

Giacomo Leopardi