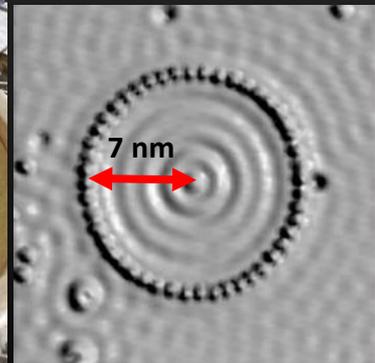
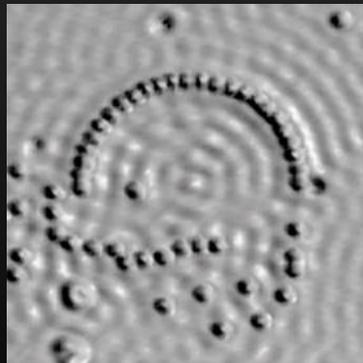
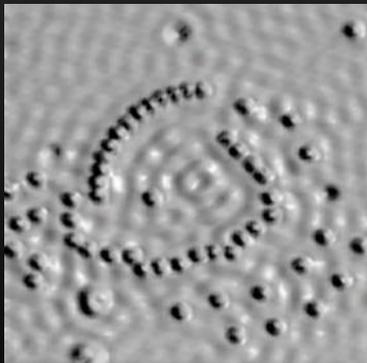


Vedere è sapere

immagini e suggestioni dal nanomondo

Andrea Donarini

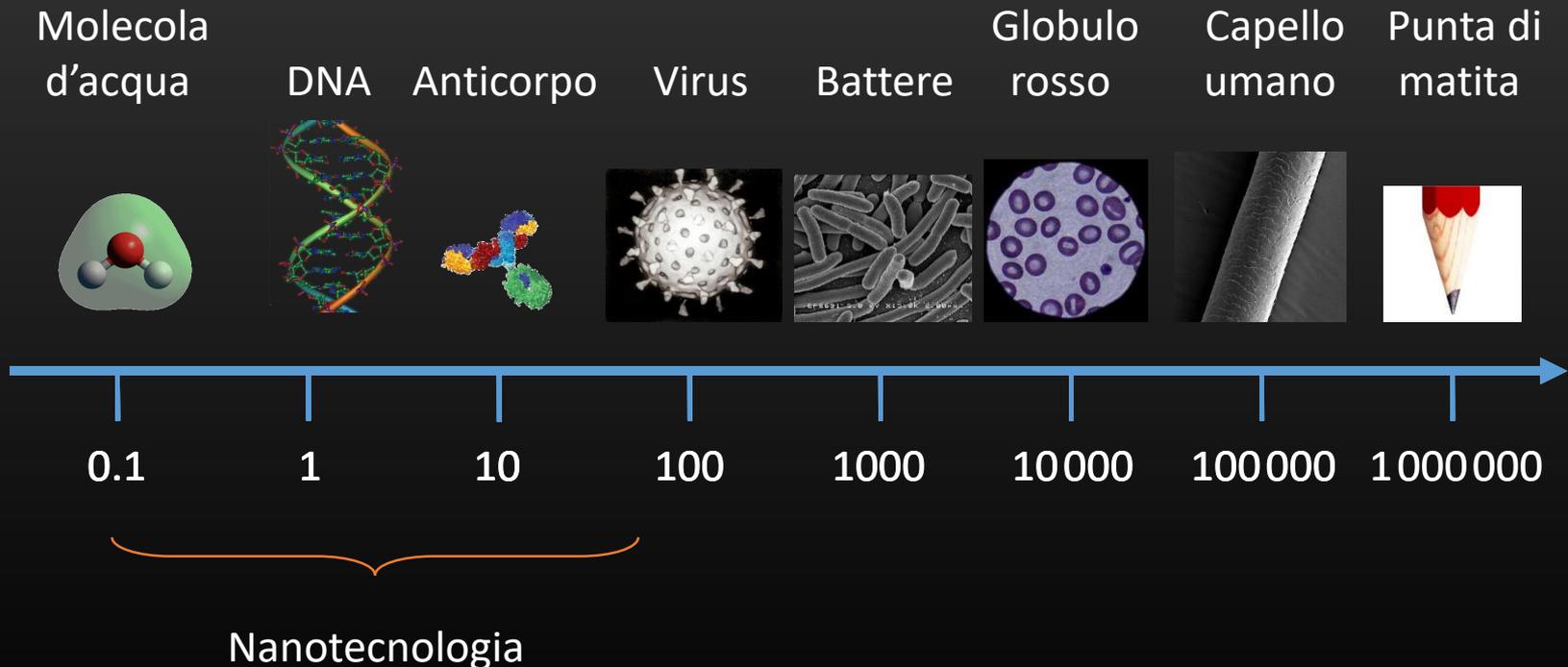
Istituto di Fisica Teorica, Università di Ratisbona Germania



Crema, M

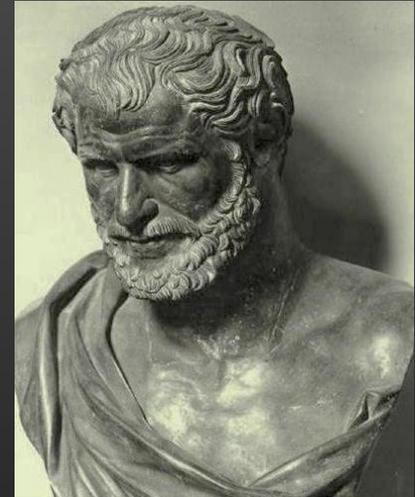
Quanto è grande un nanometro ?

$$1 \text{ nm} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ mm}$$



Concetto di atomo

- A-tomi: particelle originarie indivisibili ed in perpetuo movimento
- Atomo e vuoto alla base dell'ontologia di **Democrito**: tutto è costituito da atomi che si muovono nel vuoto
- In contrasto con la infinita divisibilità dello spazio geometrico di Zenone di Elea
- Discepolo di Leucippo, ha influenzato il pensiero di Epicuro, Lucrezio, Gassendi, Cartesio...



Democrito,
(460 a.C. – 370 a.C.)

« Tutto ciò che esiste nell'universo è frutto del caso e della necessità »



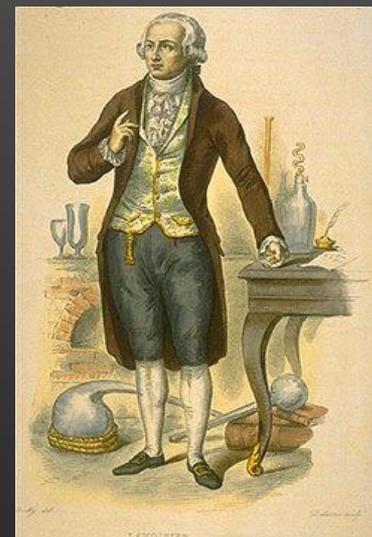
Crema, Marzo 2018

Indizi chimici

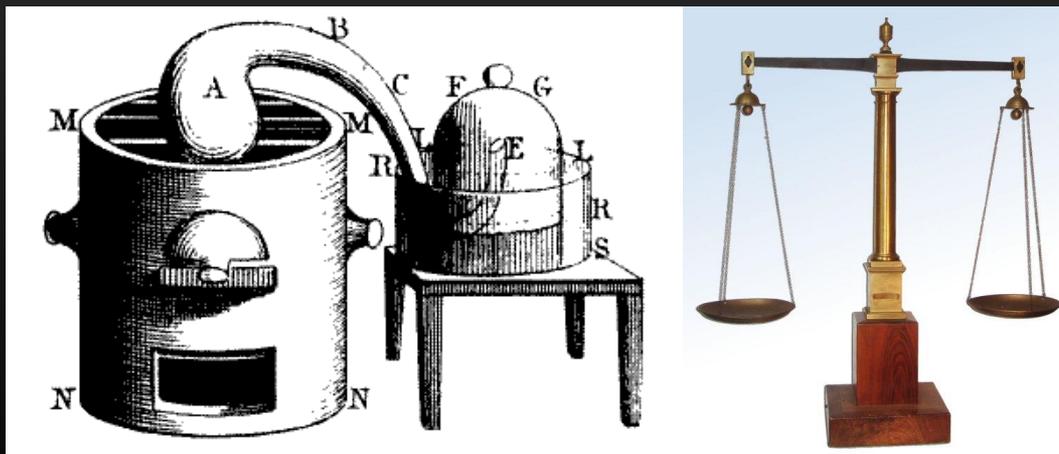
Esperimenti di combustione per confutare la teoria del flogisto: la massa totale dei reagenti è sempre uguale a quella dei prodotti.

Legge di conservazione della massa (Lavoisier 1774)

« Nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma »



Antoine de Lavoisier
(1743 - 1794)



Indizi chimici

Legge delle **proporzioni definite** (Legge di Proust - 1799)

« *Quando due o più elementi reagiscono per formare un determinato composto, si combinano sempre secondo proporzioni in massa **definite e costanti*** »



Joseph Louis Proust
(1754-1826)

Legge delle **proporzioni multiple** (Legge di Dalton - 1804)

« *Quando due elementi si combinano in modi diversi per formare diversi composti, posta fissa la quantità di uno dei due elementi, la quantità dell'altro elemento necessaria a reagire per formare un diverso composto risulterà essere un multiplo o sottomultiplo di se stessa, in rapporti esprimibili con **numeri piccoli ed interi*** »



John Dalton
(1766-1844)

Anidride carbonica



Monossido di carbonio

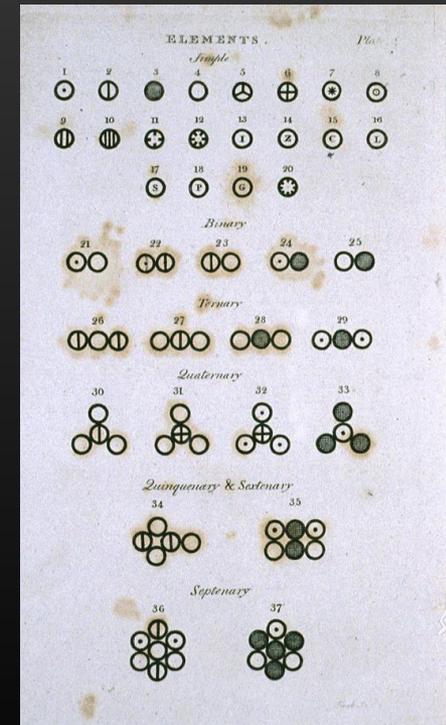
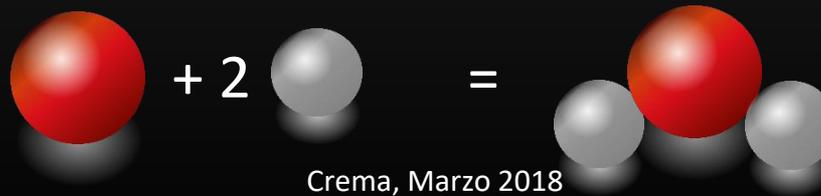


Teoria atomica di Dalton



John Dalton
(1766-1844)

1. Tutta la materia è fatta da particelle microscopiche **indistruttibili** e **indivisibili** chiamate **atomi**.
2. Tutti gli atomi di uno stesso **elemento** sono **identici** e hanno uguale **massa**.
3. Gli atomi di un elemento **non** possono essere **convertiti** in atomi di altri elementi.
4. Gli atomi di un elemento si combinano, per formare un composto, solamente con **numeri interi** di atomi di altri elementi.
5. Gli atomi non possono essere **né creati né distrutti**, ma si trasferiscono interi da un composto ad un altro.



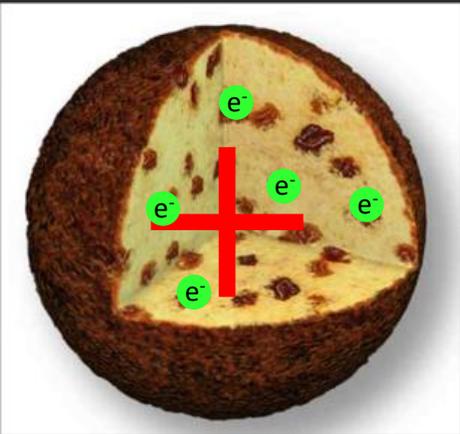
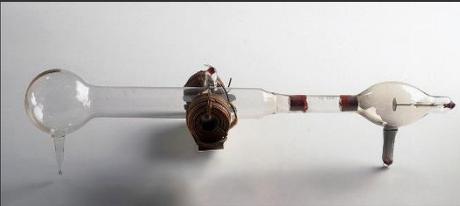
da "A new system of Chemical Philosophy" (1808)



Crema, Marzo 2018

Modelli atomici

Joseph J. Thomson



Plum's pudding (1904)

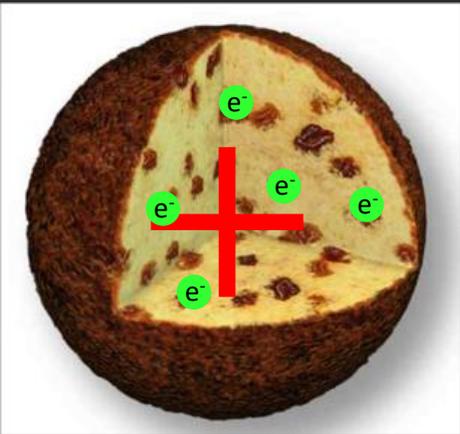
spessore $1\mu\text{m}$



$\approx \frac{1}{10\,000}$ viene respinta !

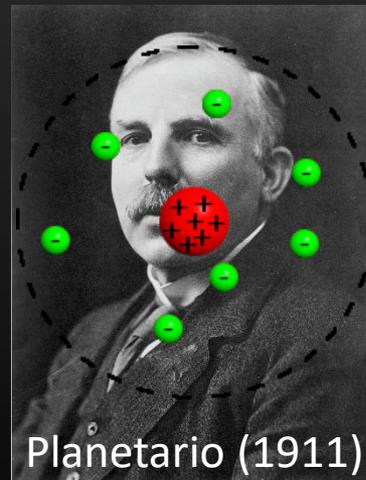
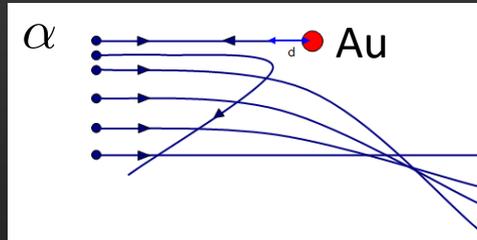
Modelli atomici

Joseph J. Thomson

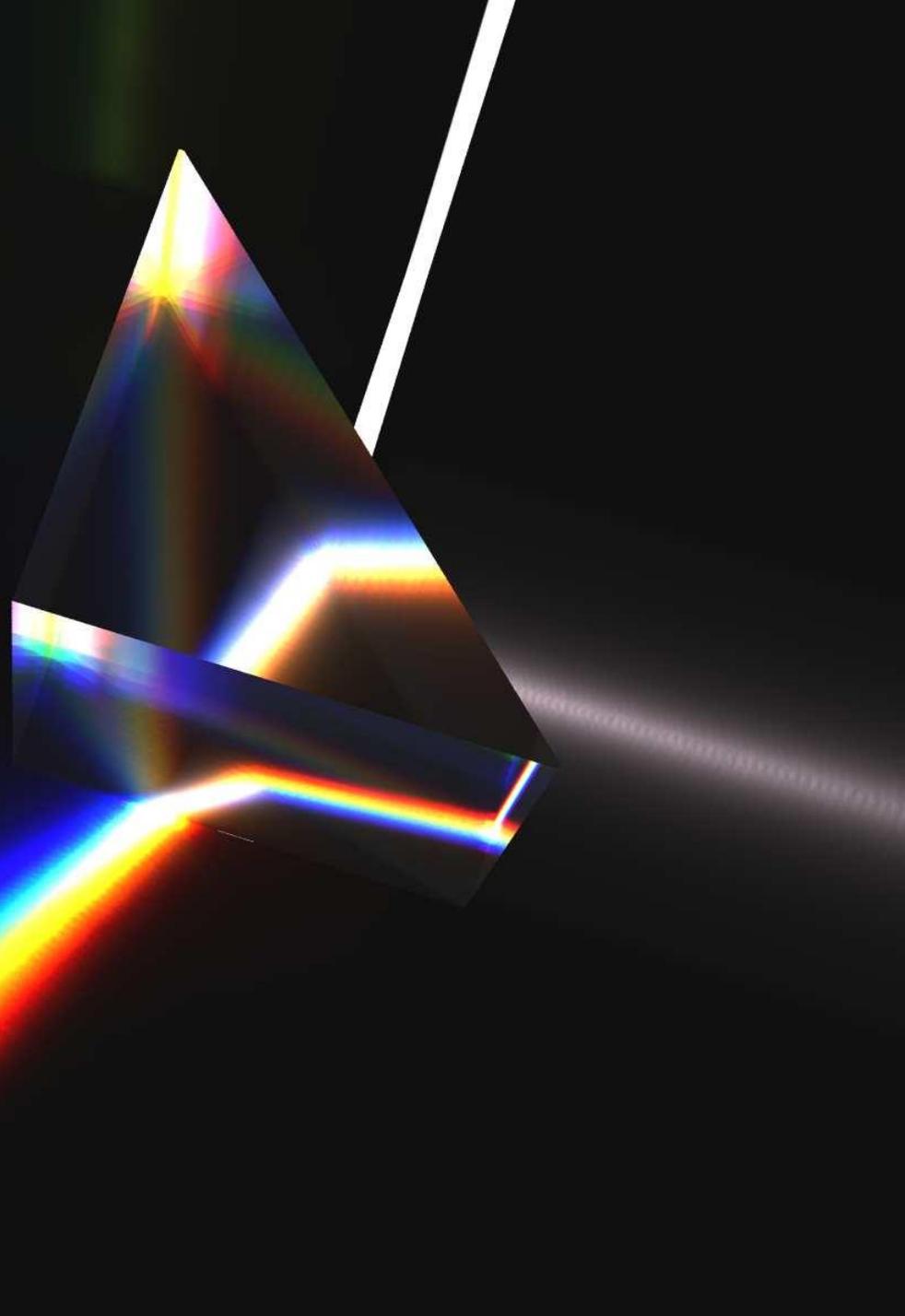


Plum's pudding (1904)

Ernest Rutherford

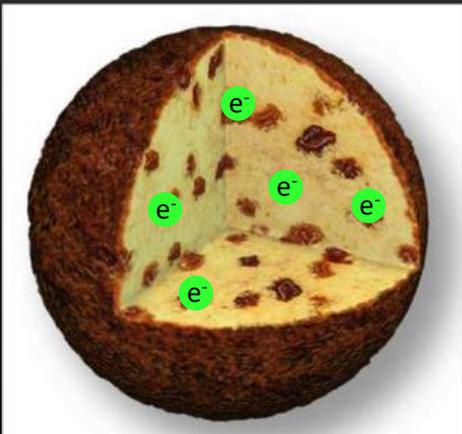


Planetario (1911)



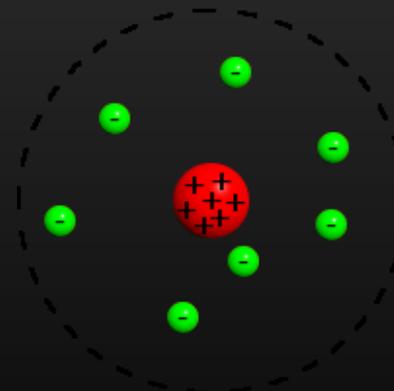
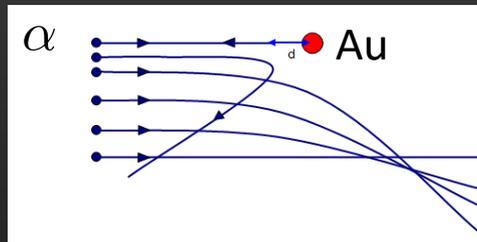
Modelli atomici

Joseph J. Thomson



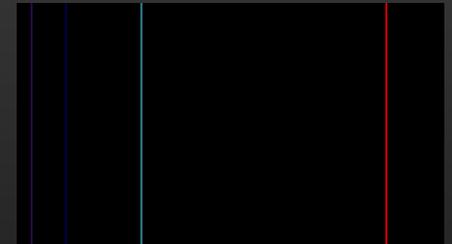
Plum's pudding (1904)

Ernest Rutherford



Planetario (1911)

Niels Bohr



Quantistico (1913)

Nuvole elettroniche

Secondo la meccanica quantistica ogni particella può essere descritta solamente da una **funzione d'onda** (1926).

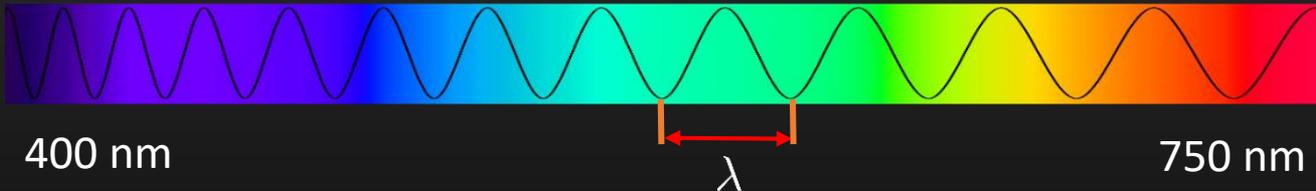
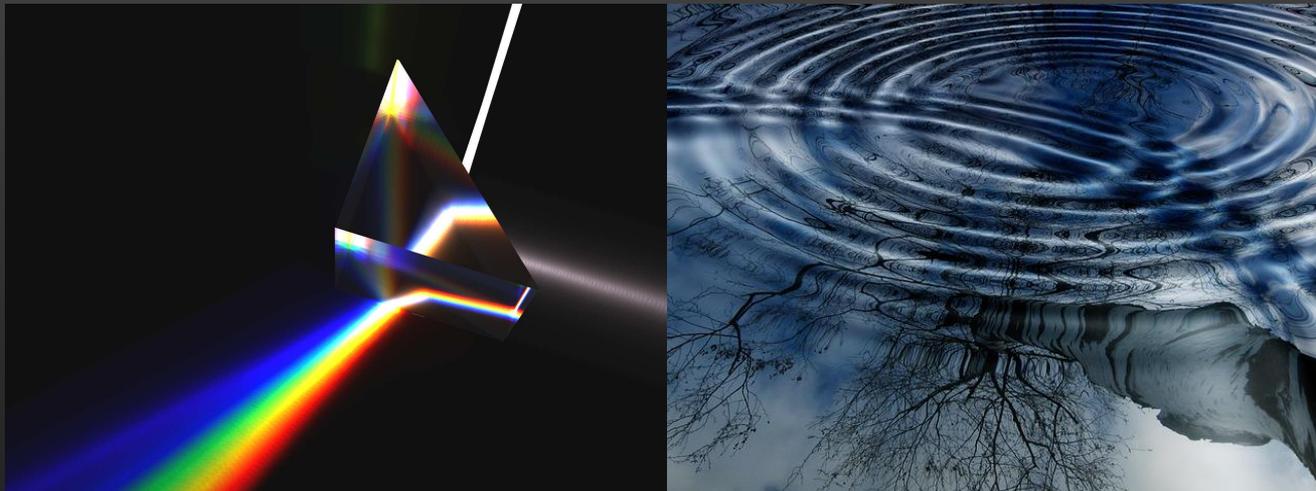
$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right) \psi$$



Erwin Schrödinger
(1887-1961)

« Solamente la densità di probabilità di misurare una particella evolve secondo una precisa legge causale »

Vedere gli atomi ?



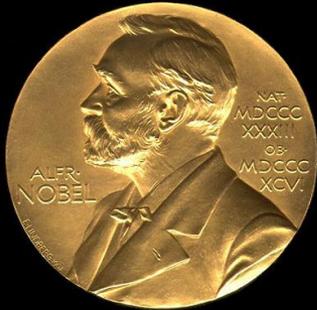
La lunghezza d'onda λ della luce è molto più grande dell'atomo

➡ È **impossibile** distinguere i singoli atomi usando la luce.

Toccare gli atomi

Heinrich Rohrer

Gerd Binnig

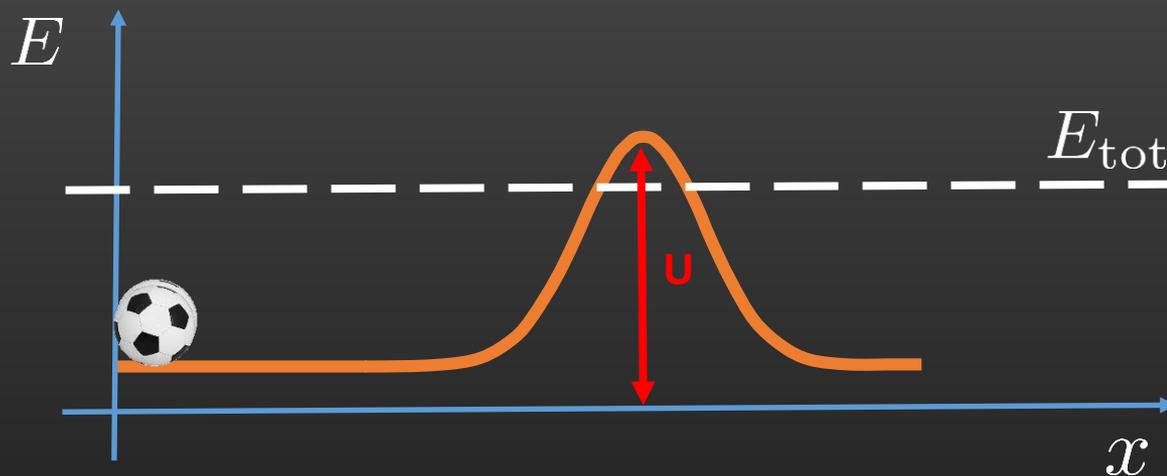


Premio Nobel per la Fisica 1986

**... per aver progettato e realizzato il primo
microscopio elettronico a effetto tunnel.**

1981

Effetto tunnel

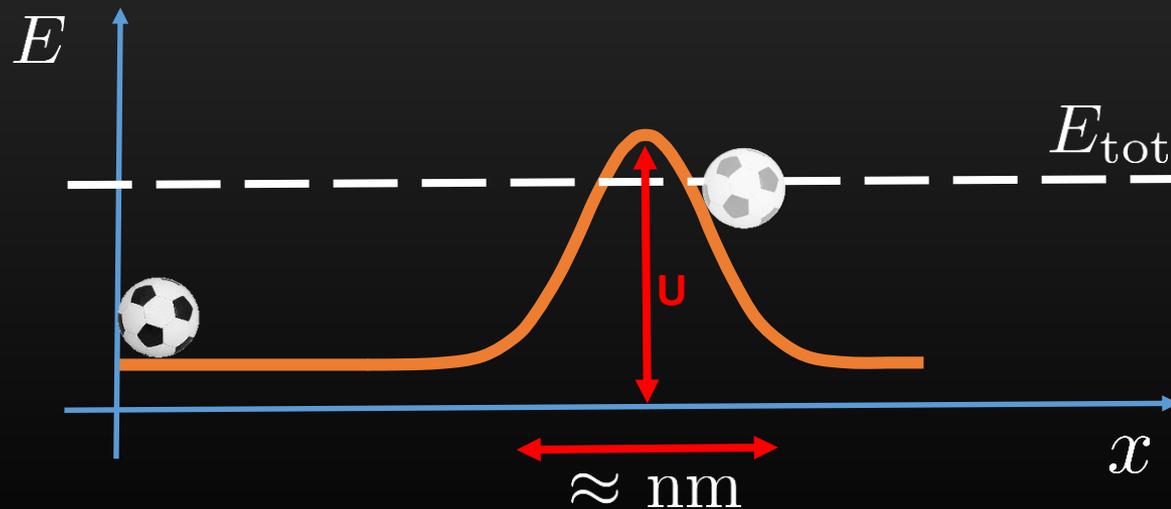


Dinamica classica

$$E_{\text{tot}} < U$$



Riflessione totale



Dinamica quantistica

$$E_{\text{tot}} < U$$



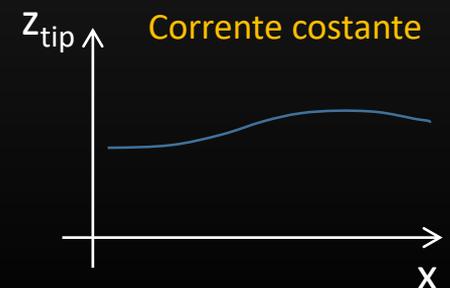
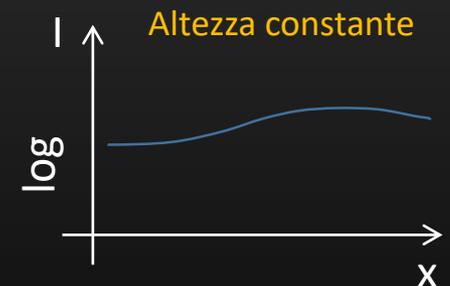
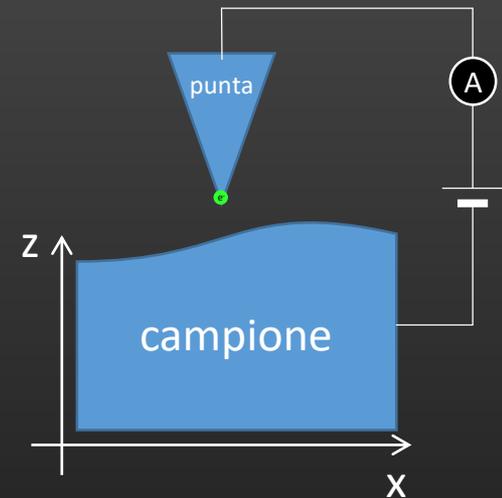
Trasmissione parziale

Microscopio a effetto tunnel (STM)

- Il segnale è la corrente - tunnelling di elettroni - tra la punta metallica e il campione sottostante
- La corrente di tunneling dipende esponenzialmente dalla distanza fra la punta e il campione

$$I_t = I_0 e^{-2z/\xi} \quad \xi \approx 0.1\text{nm}$$

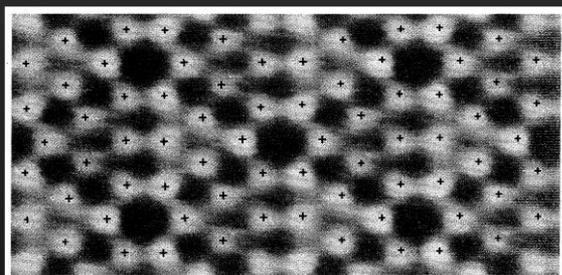
- Il microscopio può essere usato in due modalità fondamentali: **altezza costante**, o **corrente costante**.
- In entrambi i casi ci si aspetta di registrare la **topografia del campione**



Risoluzione (sub-)atomica

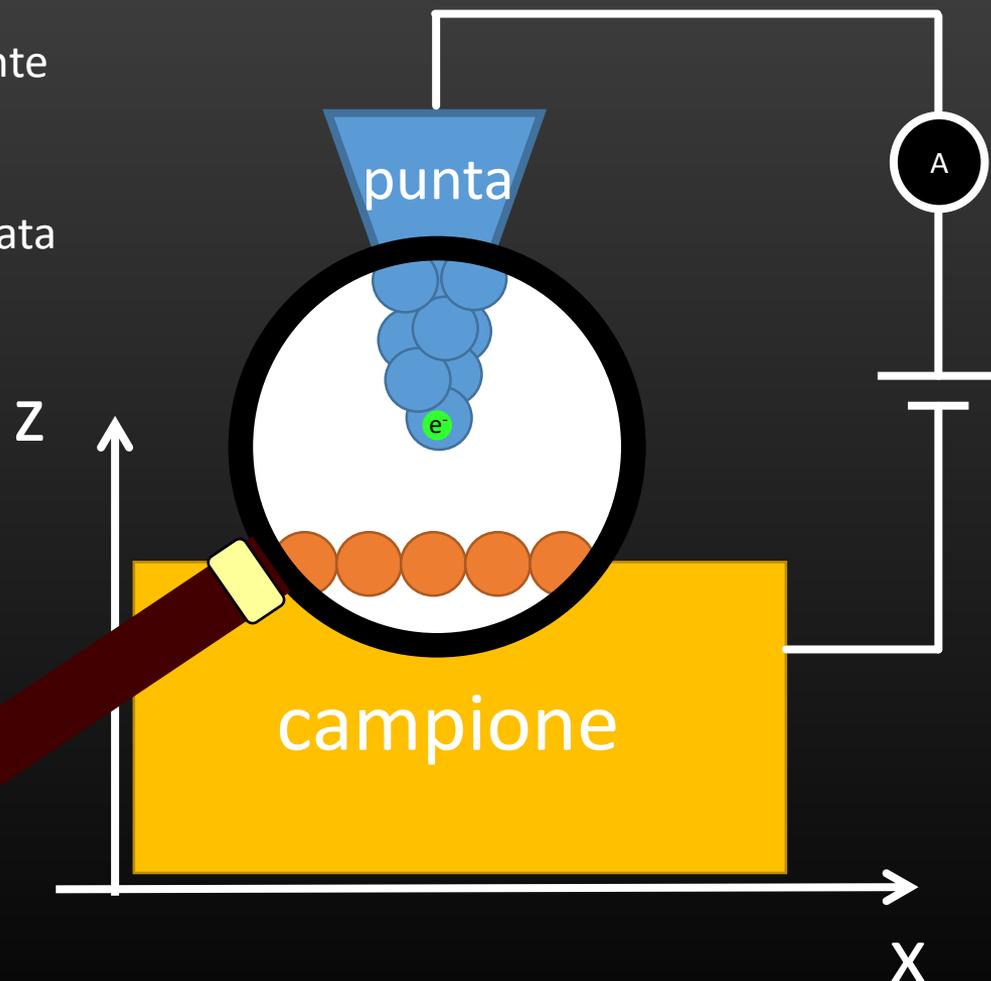
Il contributo prevalente alla corrente è dovuto all'ultimo atomo

La posizione della punta è controllata con precisione subatomica



Peculiare riorganizzazione atomica della superficie di Si(111). PRL 50, 120 (1983)

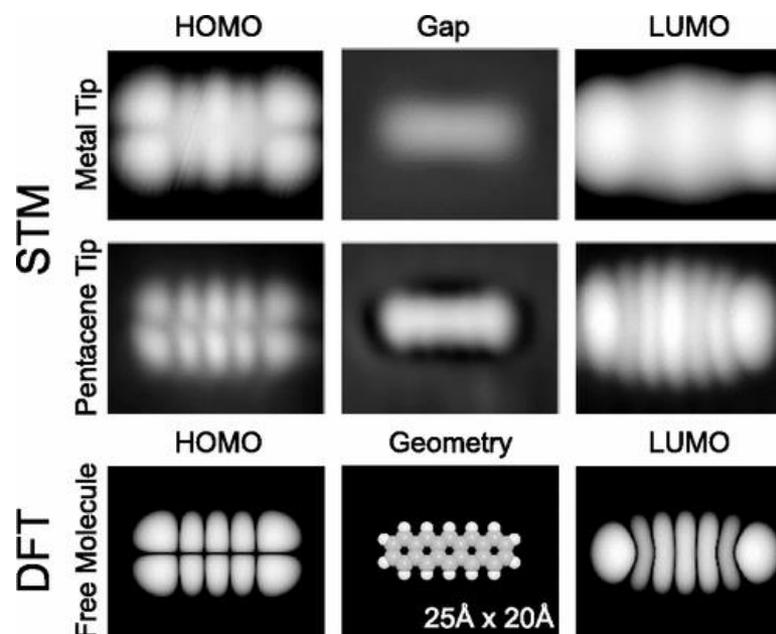
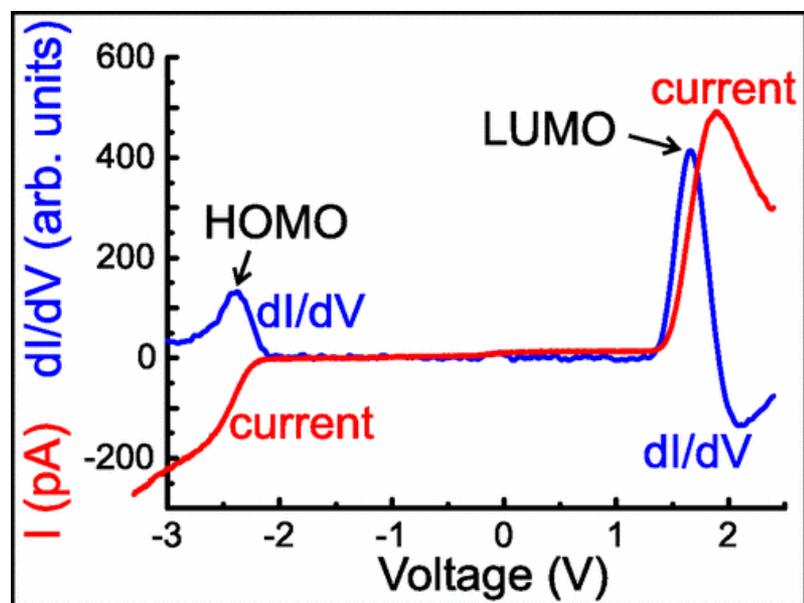
Microscopio a forza atomica: variante dello strumento che misura la **forza** di interazione tra punta e campione.



Elettronica molecolare

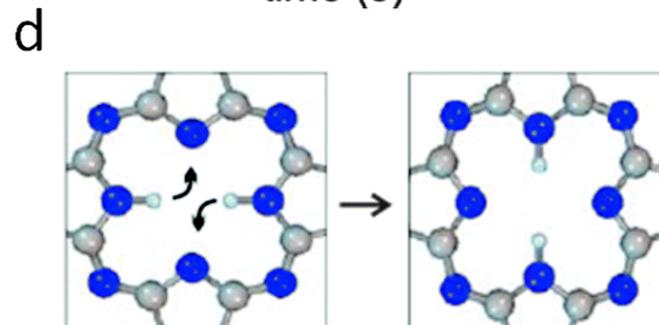
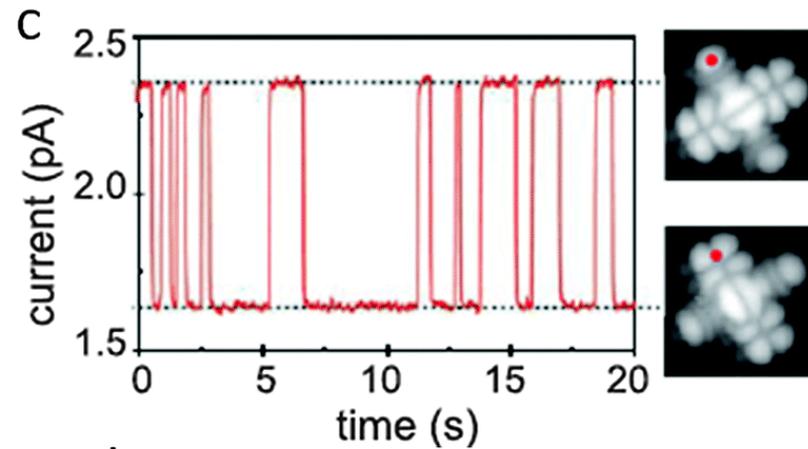
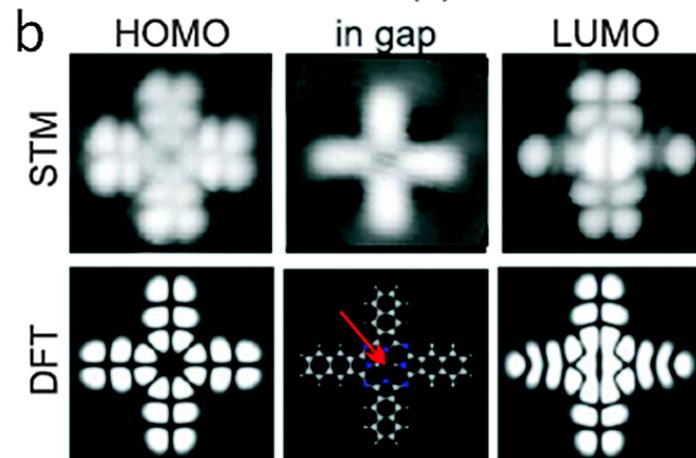
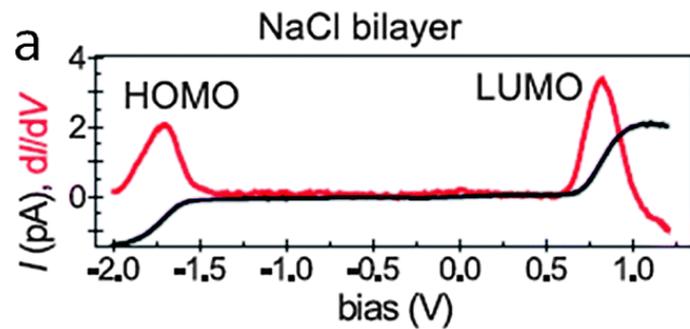
Crema, Marzo 2018

Vedere gli orbitali molecolari



Phys. Rev. Lett. **94**, 026803 (2005)

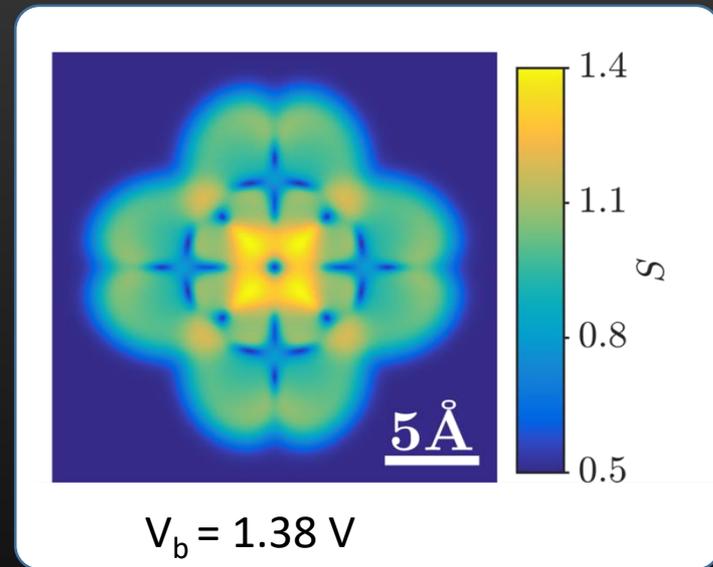
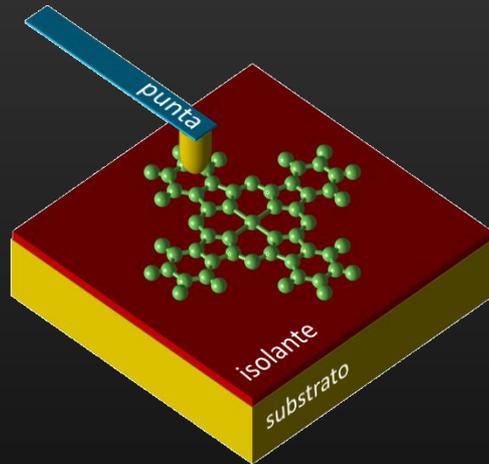
Switch molecolare



Science **317**, 1203 (2007)

Crema, Marzo 2018

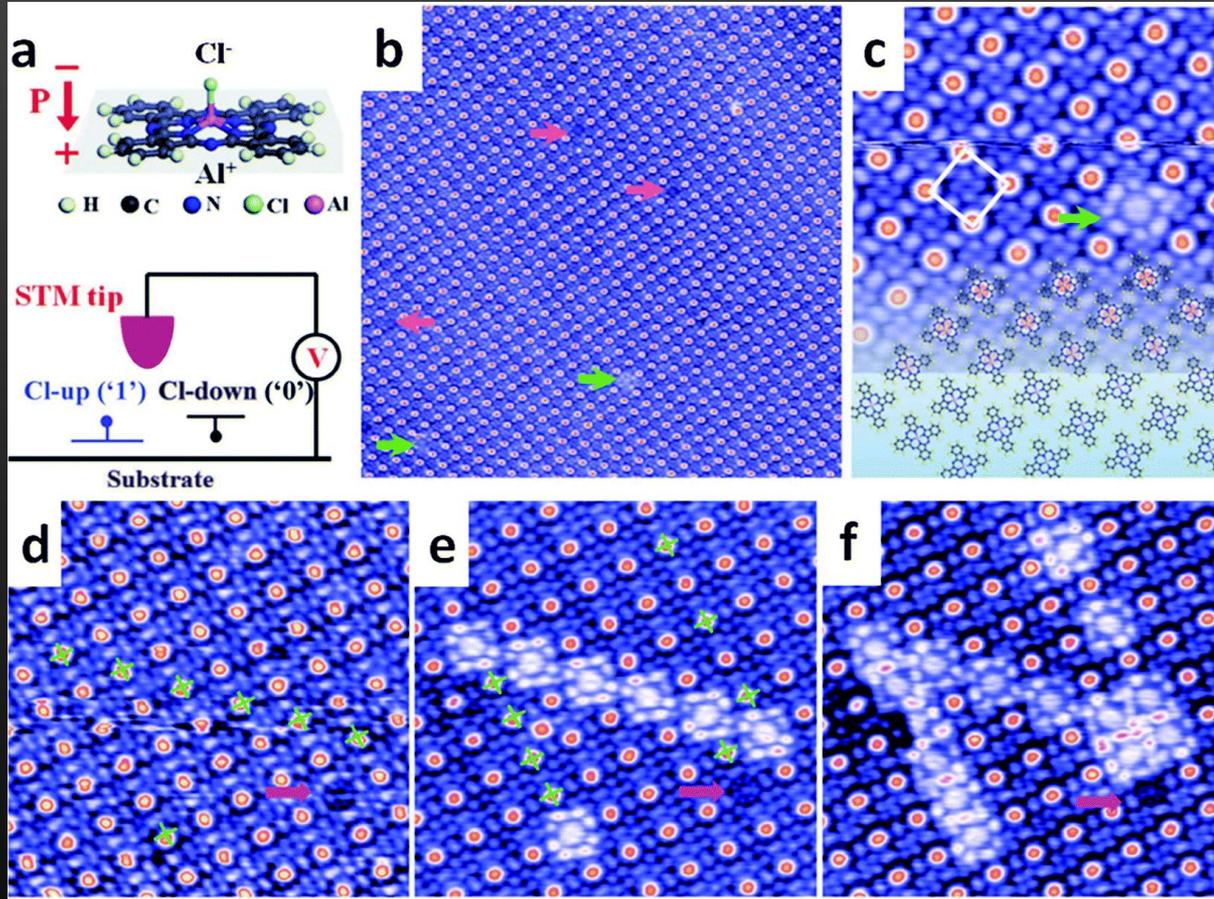
Magnetizzazione di singola molecola



Phys. Rev. B **93**, 121406(R) (2016)

Crema, Marzo 2018

Polarizzazione di singola molecola

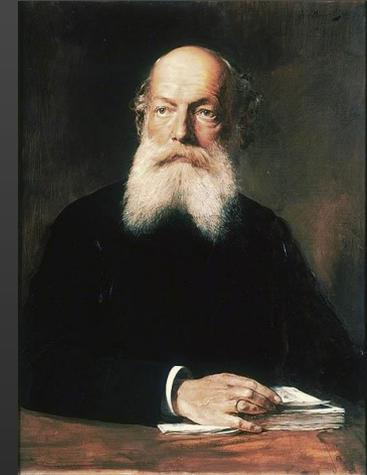


Small **8**, 1423 (2012)

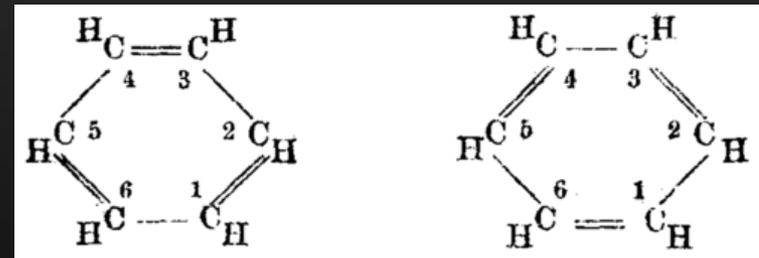
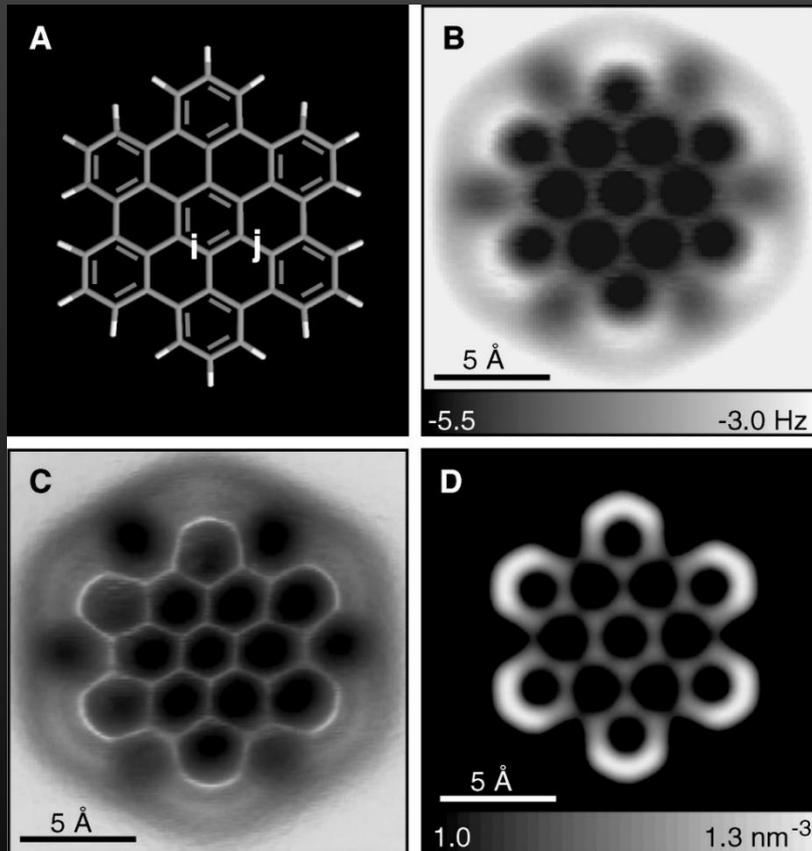
Chimica su superficie

Crema, Marzo 2018

Legami doppi e singoli in hexabenzocoronene



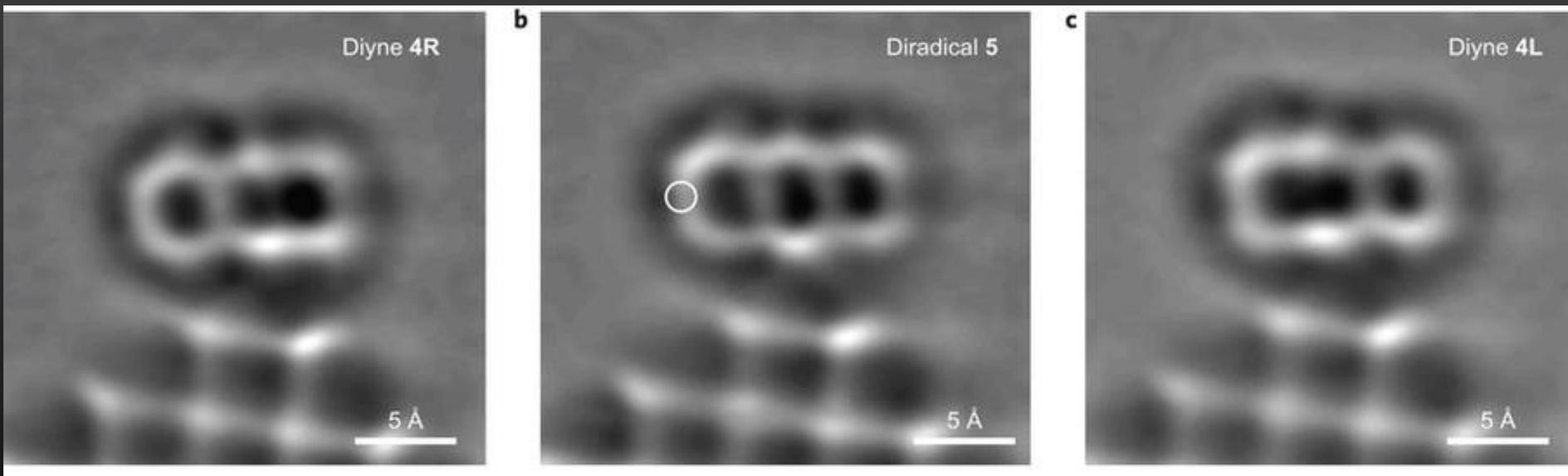
August Kekulé
(1829 - 1896)



Strutture previste da
Kekulé per il benzene

Science **337**, 1326 (2012)

Reazioni chimiche indotte da STM

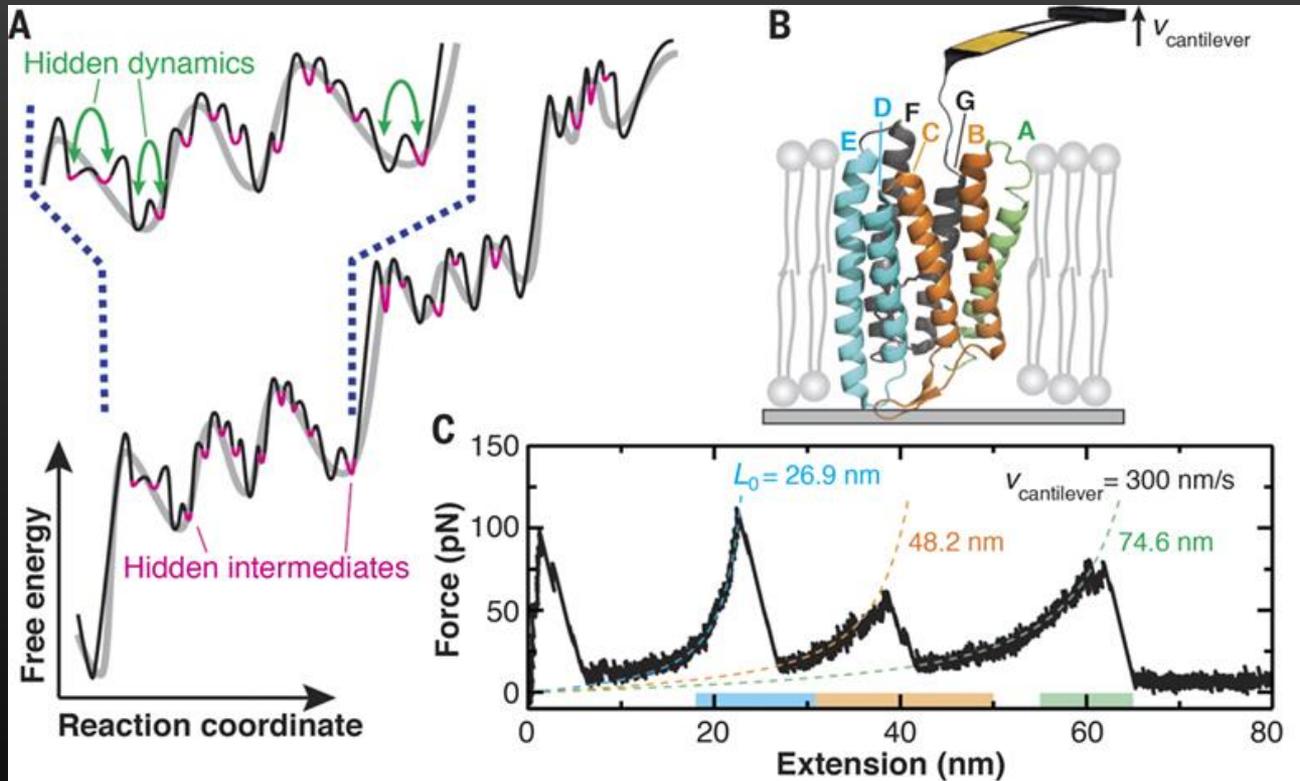


Nature Chem. **8**, 220 (2016)

Biologia

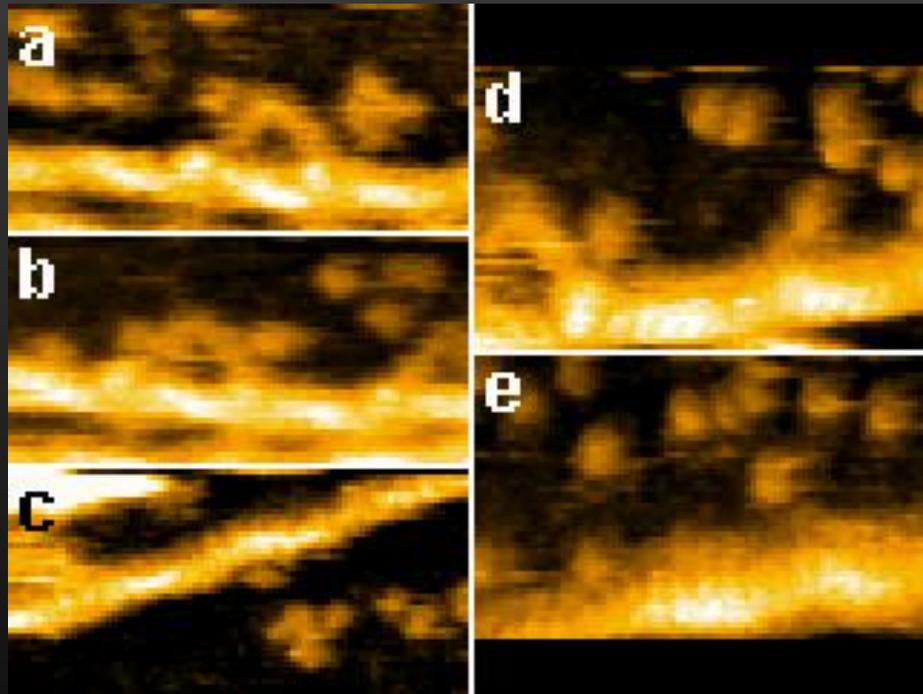
Crema, Marzo 2018

Denaturazione proteica



Science **355**, 945 (2017)

Passeggiata della miosina



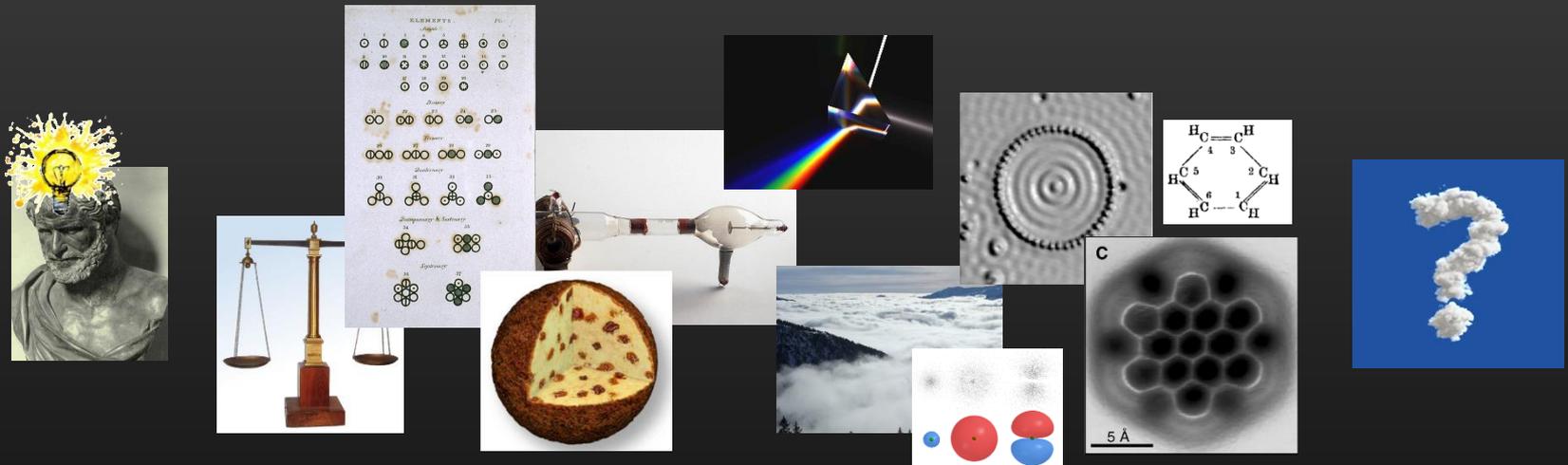
Nature **468**, 72 (2010)

Il film più piccolo del mondo

Crema, Marzo 2018

Immaginare e vedere è sapere

Il progresso scientifico emerge dalla sintesi di **ipotesi** teorica e **verifica** sperimentale,



potremmo dire, dalla sintesi di **immagine** e **immaginazione**.

Grazie per la vostra attenzione !