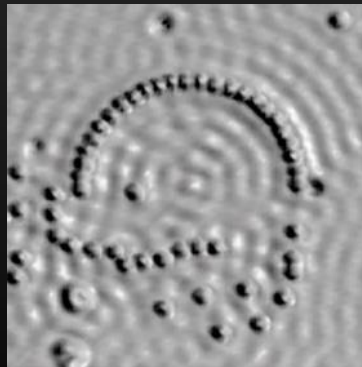
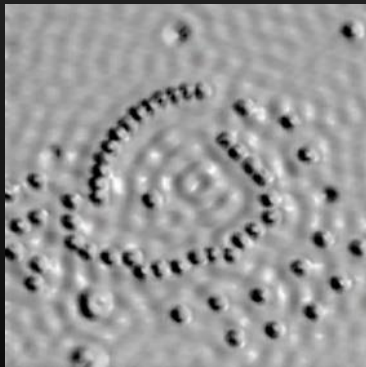


# Vedere è sapere

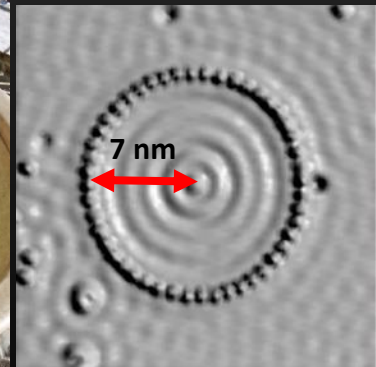
immagini e suggestioni dal nanomondo

Andrea Donarini

*Istituto di Fisica Teorica, Università di Ratisbona Germania*

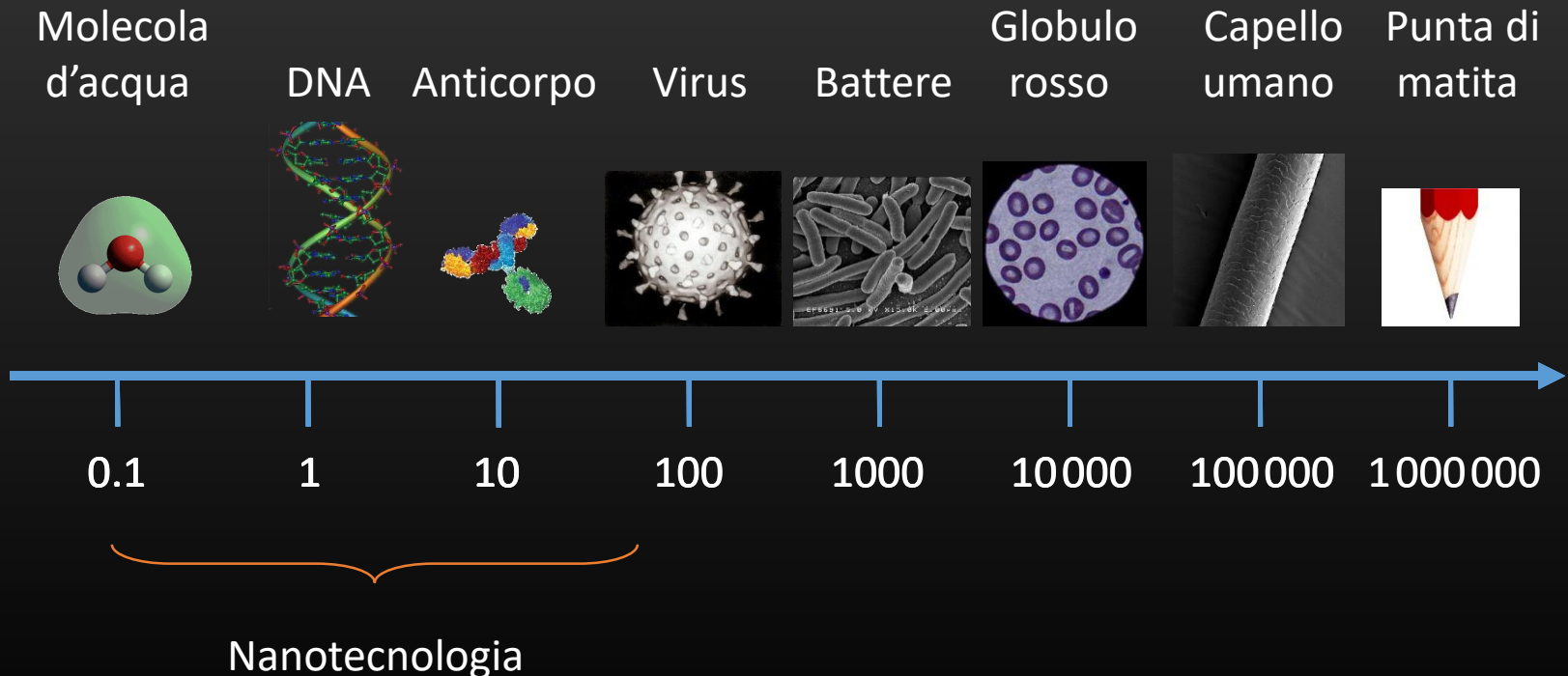


Crema, M



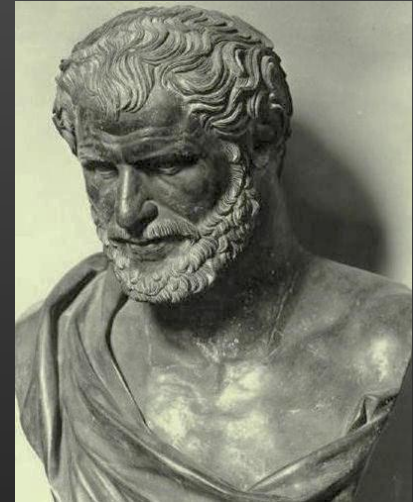
# Quanto è grande un nanometro ?

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



# 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 »*



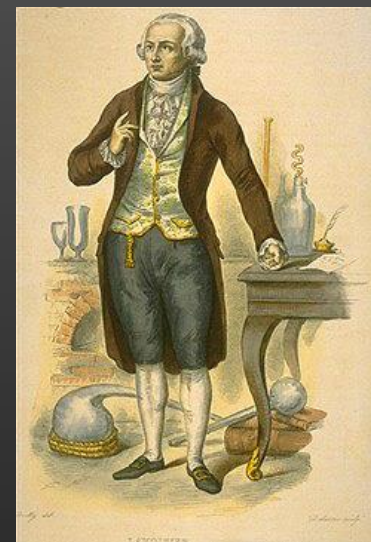
Crema, Marzo 2018

# Indizi chimici

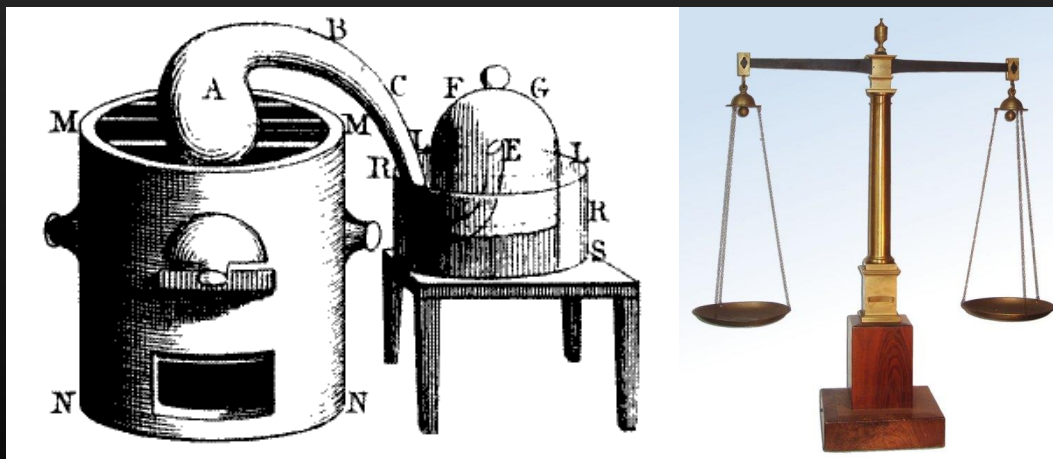
Esperimenti di combustione per confutare la teoria del flogisto: la massa totale dei reagenti è sempre uguale a quella dei prodotti.

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

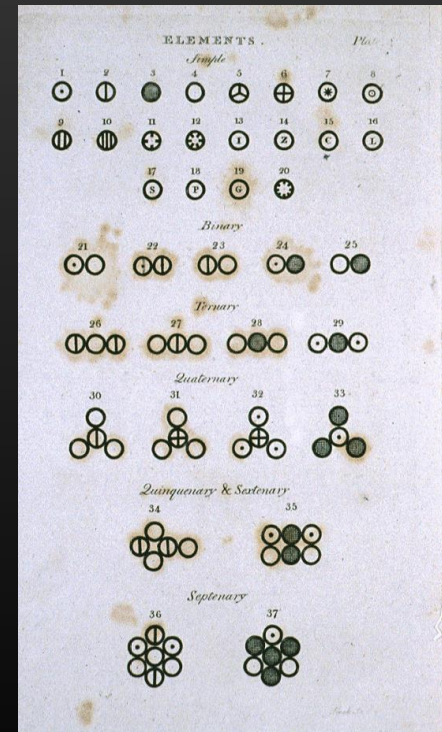
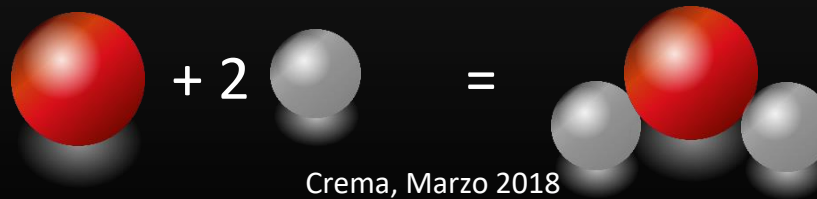


# Teoria atomica di Dalton



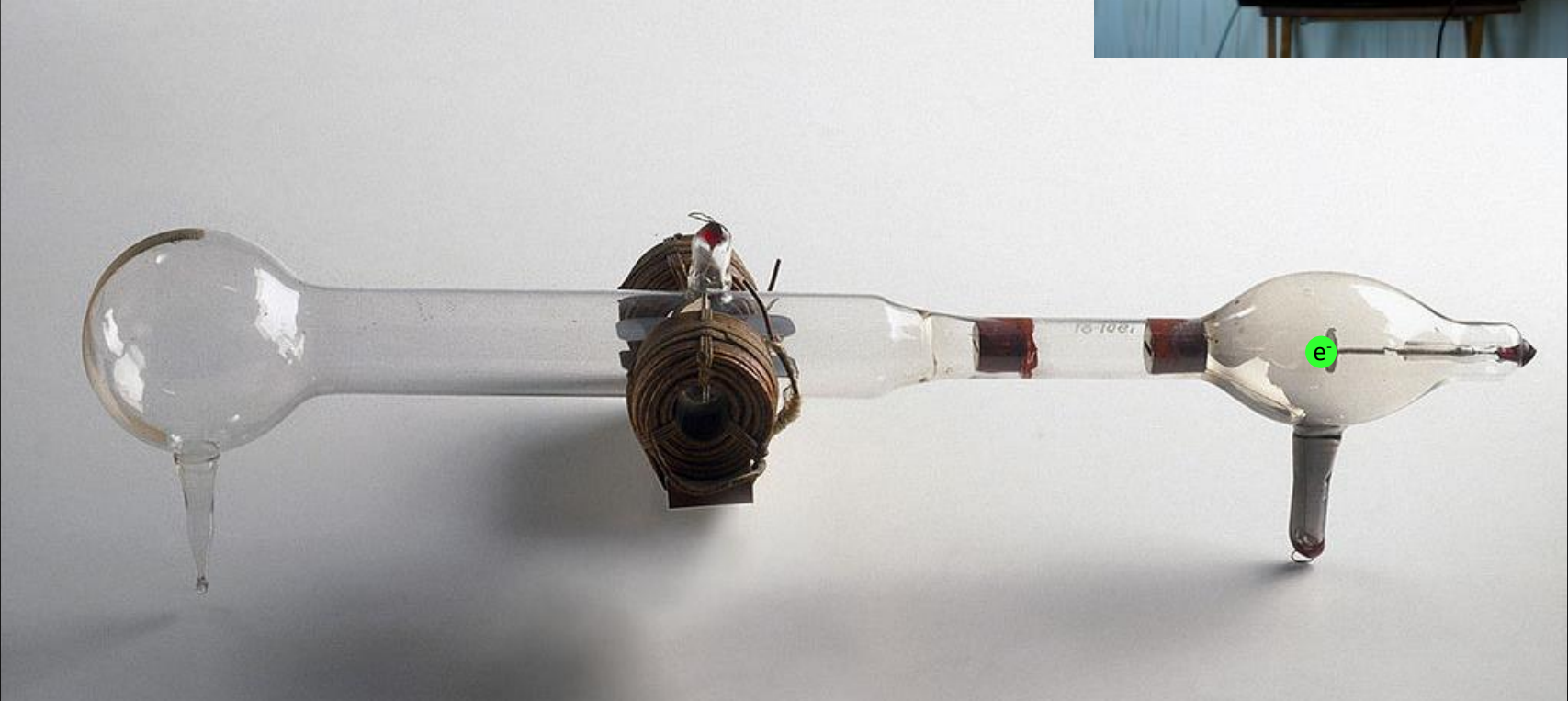
John Dalton  
(1766-1844)

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)

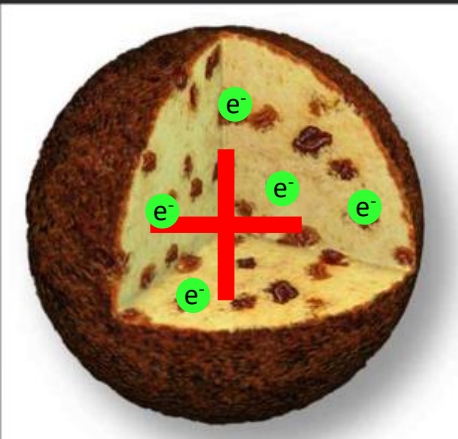




Crema, Marzo 2018

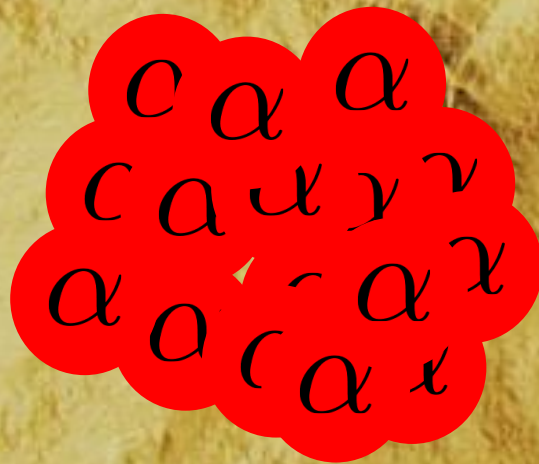
# Modelli atomici

Joseph J. Thomson



Plum's pudding (1904)

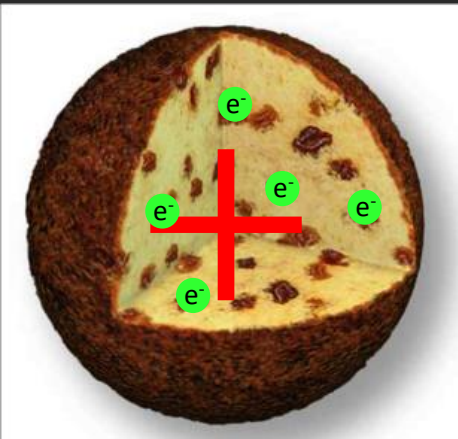
spessore  $1\mu\text{m}$



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

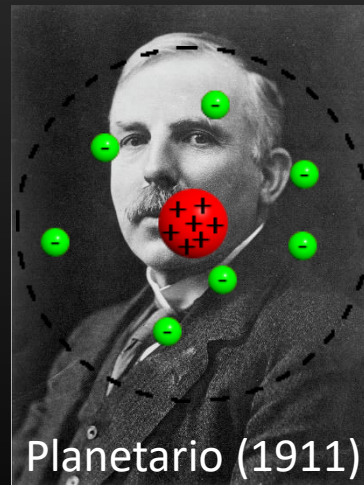
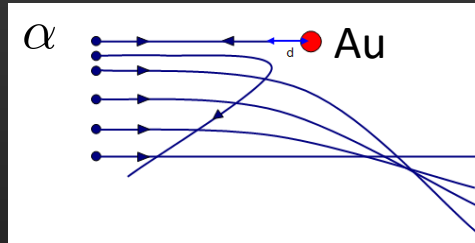
# Modelli atomici

Joseph J. Thomson

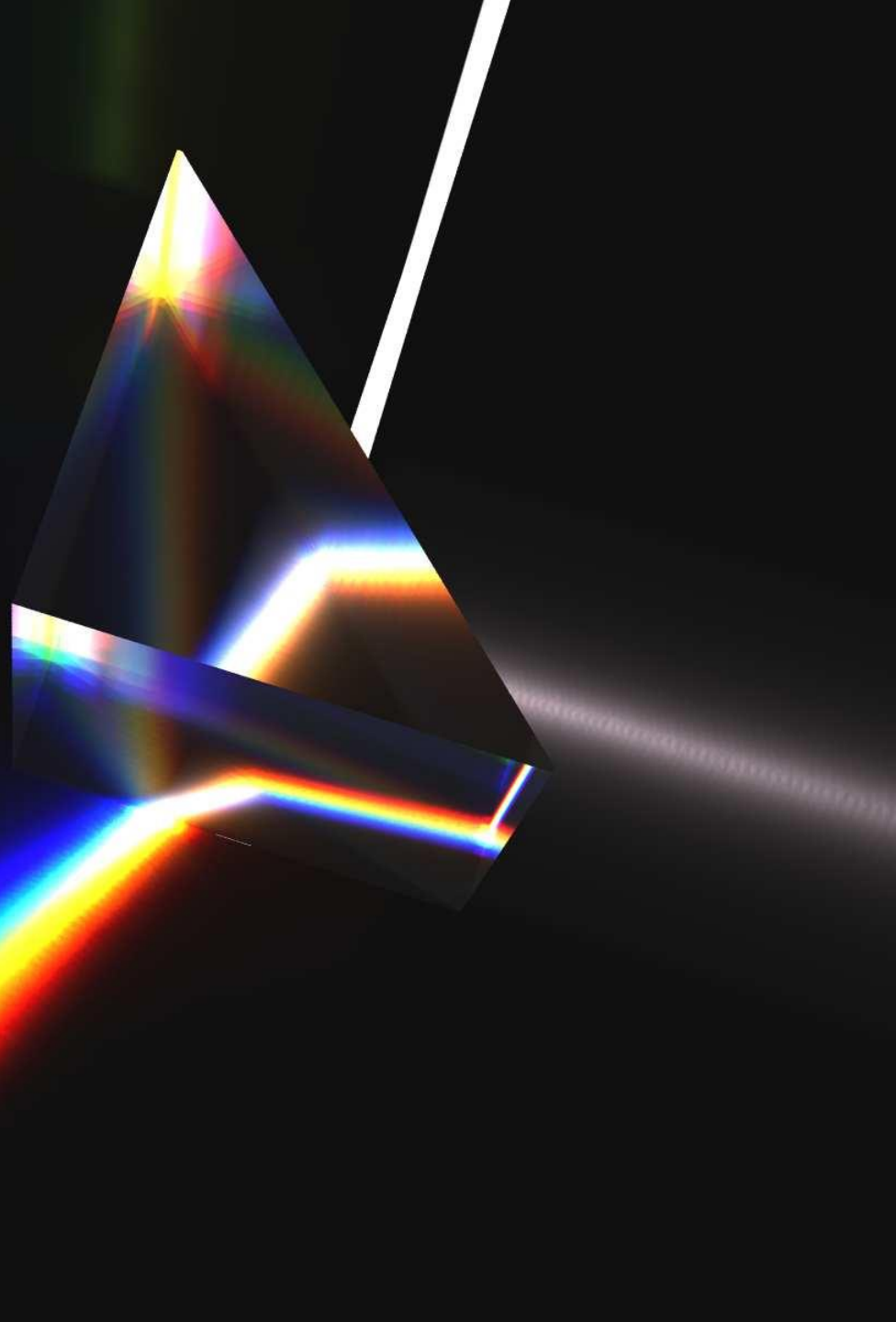


Plum's pudding (1904)

Ernest Rutherford

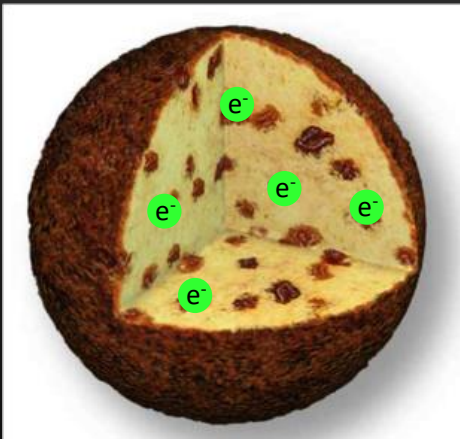


Planetario (1911)



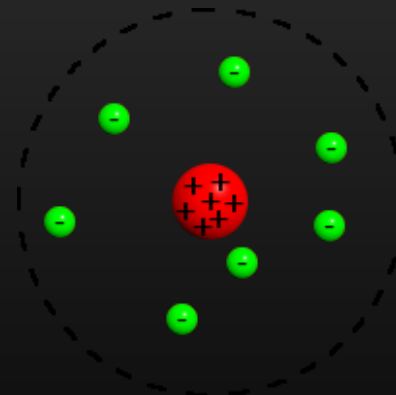
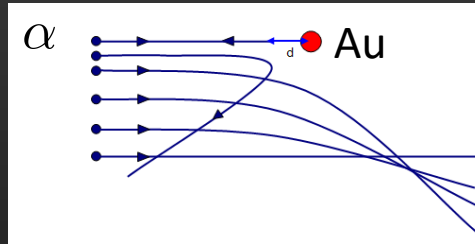
# Modelli atomici

Joseph J. Thomson



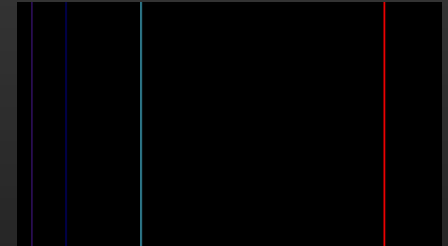
Plum's pudding (1904)

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).

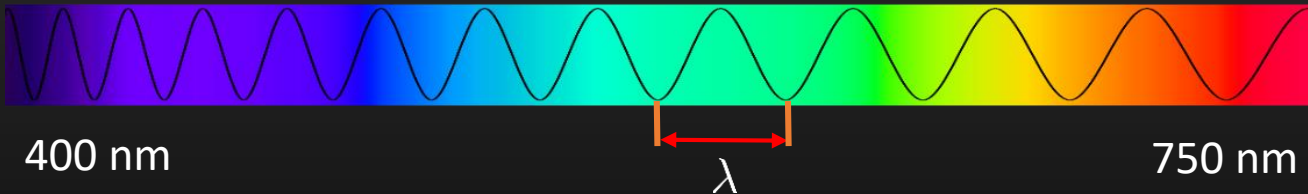
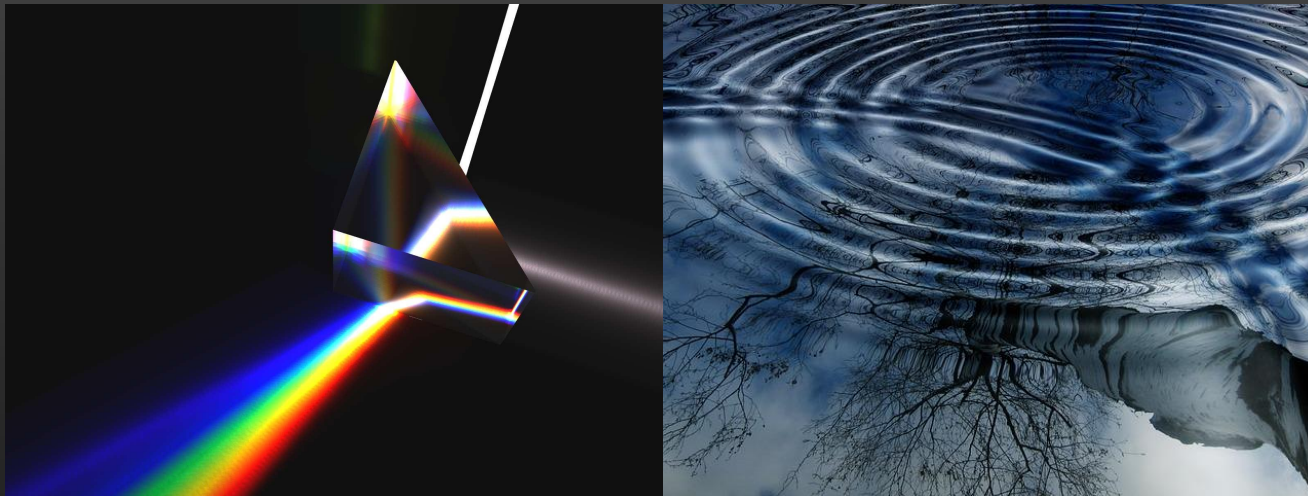
$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right) \psi$$



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  $\lambda$  della luce è molto più grande dell'atomo

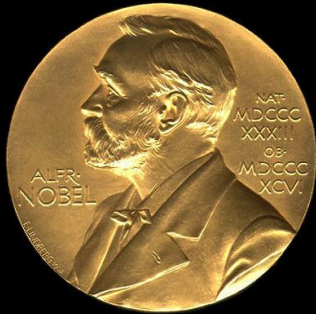
➡ È **impossibile** distinguere i singoli atomi usando la luce.



# Toccare gli atomi

**Heinrich Rohrer**

**Gerd Binnig**

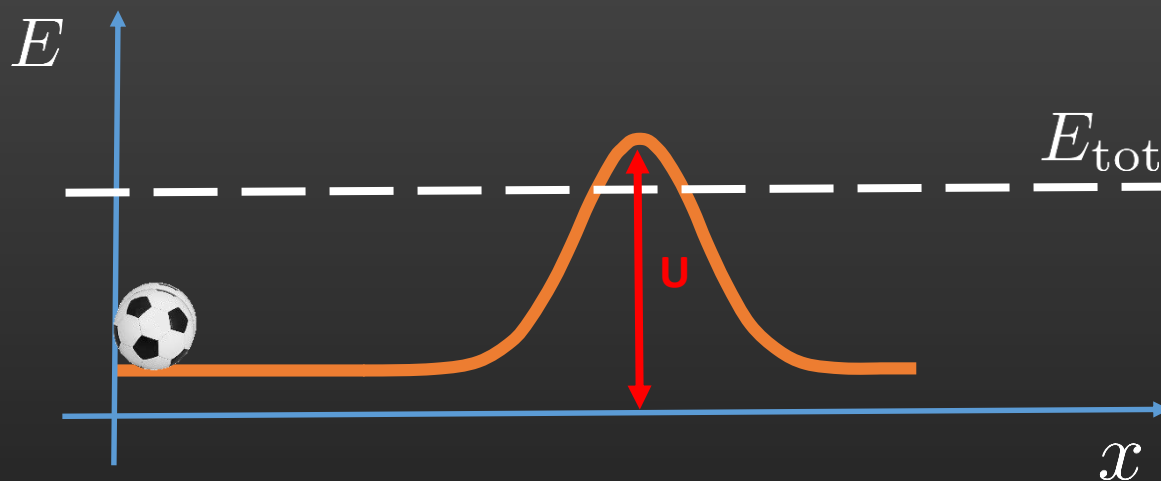


**Premio Nobel per la Fisica 1986**

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

1981

# Effetto tunnel

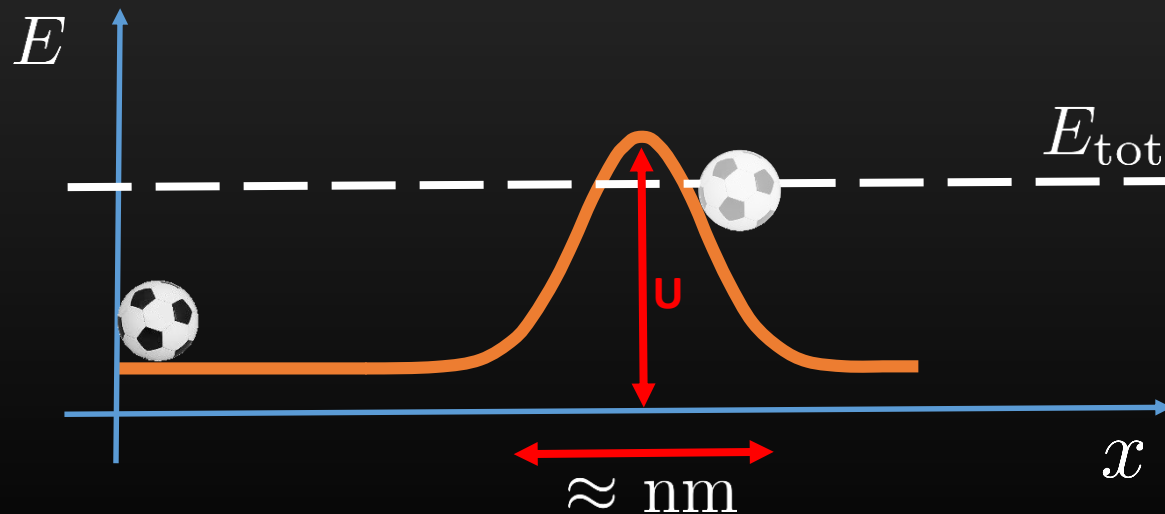


Dinamica classica

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



Riflessione totale



Dinamica quantistica

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



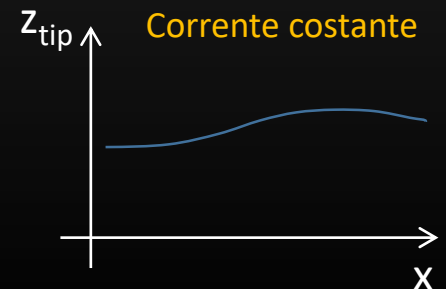
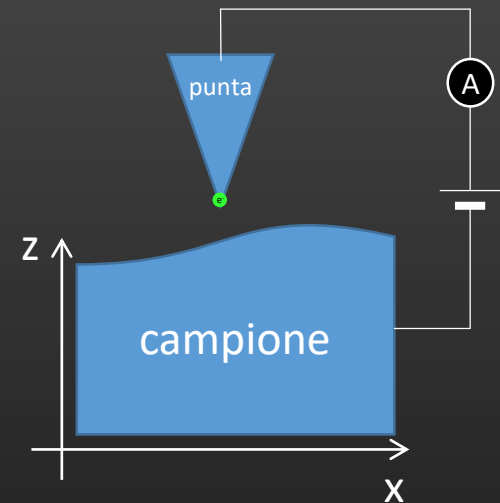
Trasmissione parziale

# 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

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

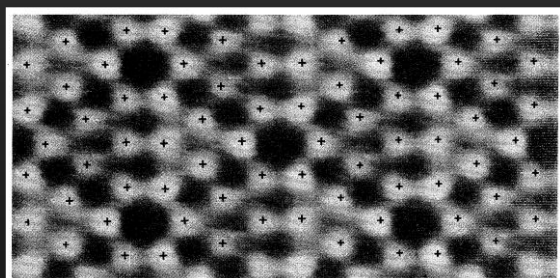
- Il microscopio può essere usato in due modalità fondamentali: **altezza costante**, o **corrente costante**.
- In entrambi i casi ci si aspetta di registrare la **topografia del campione**



# Risoluzione (sub-)atomica

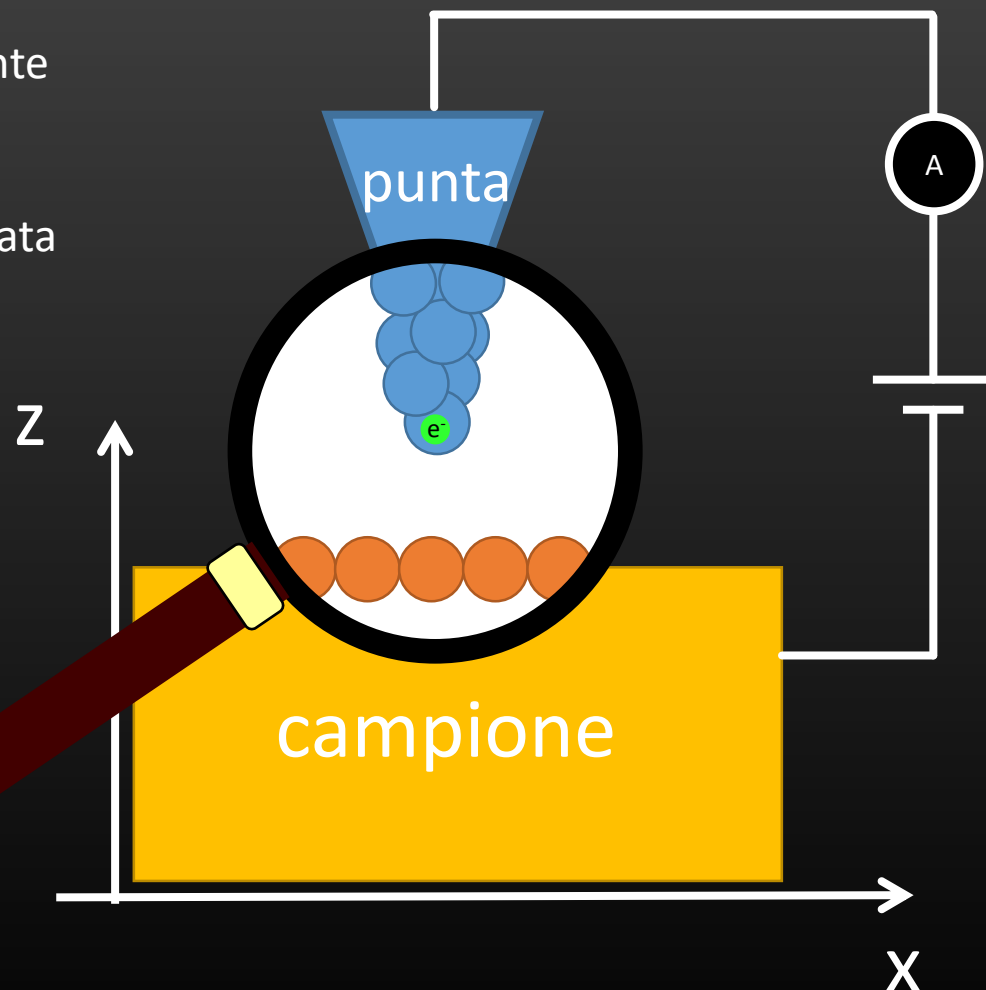
Il contributo prevalente alla corrente è dovuto all'ultimo atomo

La posizione della punta è controllata con precisione subatomica



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

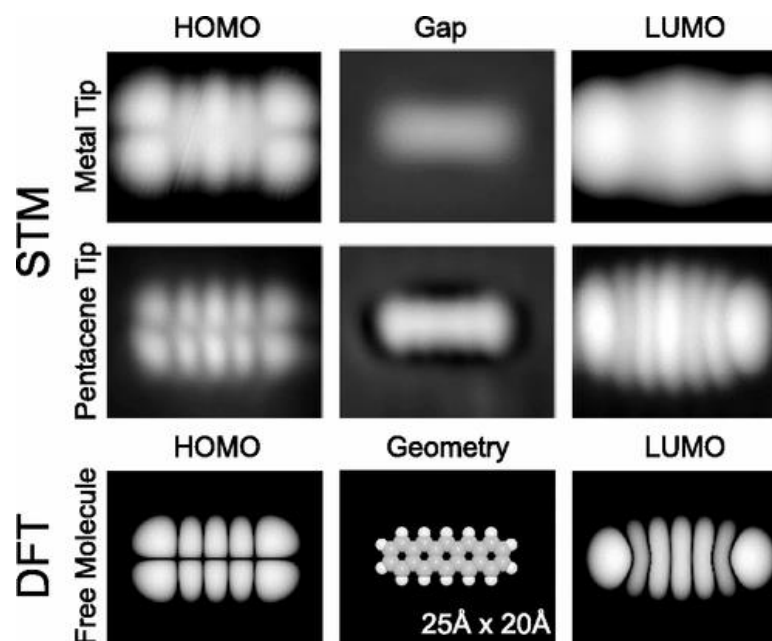
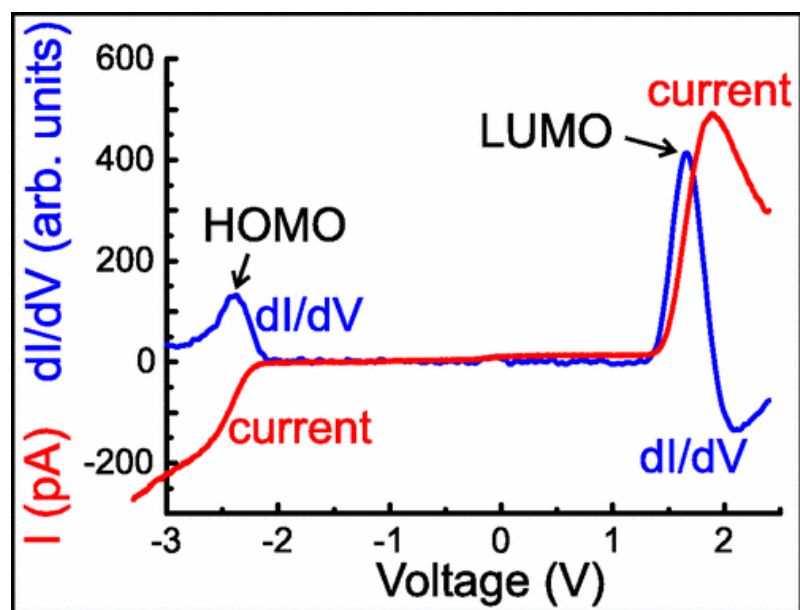
Microscopio a forza atomica: variante dello strumento che misura la **forza** di interazione tra punta e campione.



# Elettronica molecolare

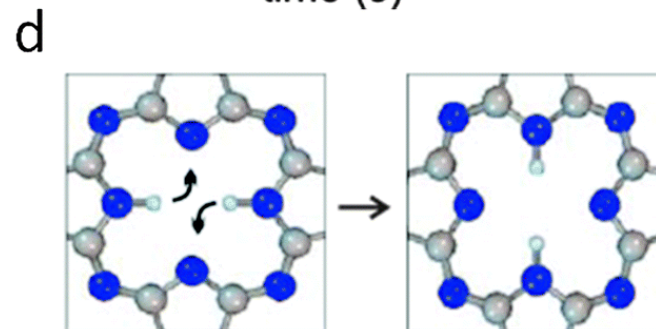
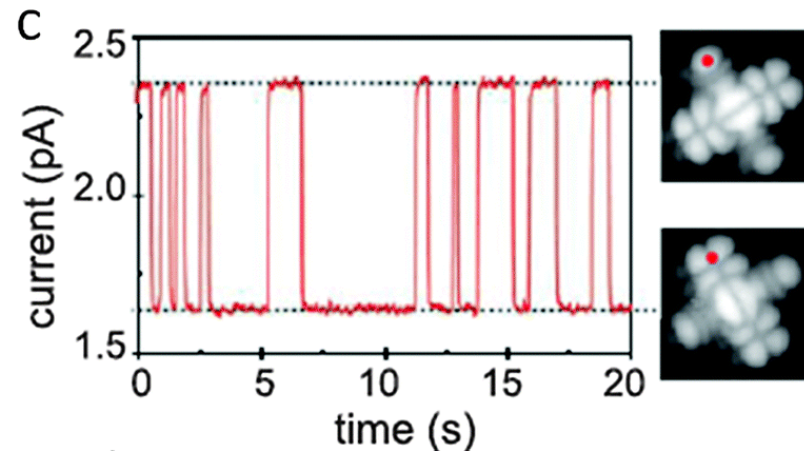
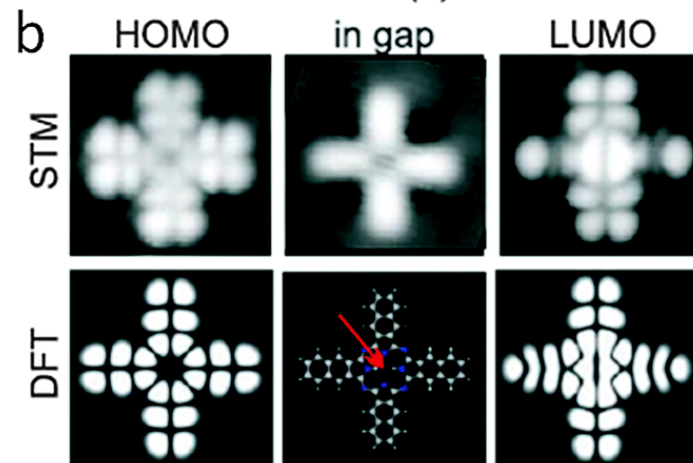
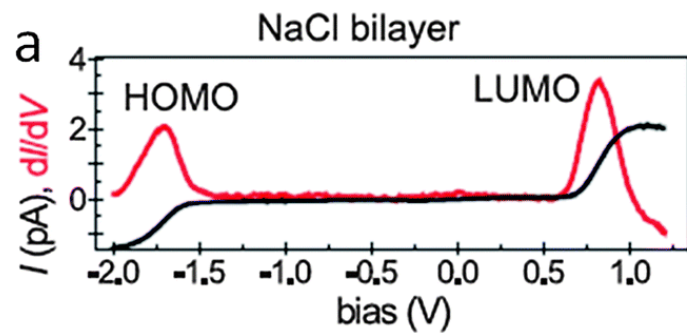
Crema, Marzo 2018

# Vedere gli orbitali molecolari



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

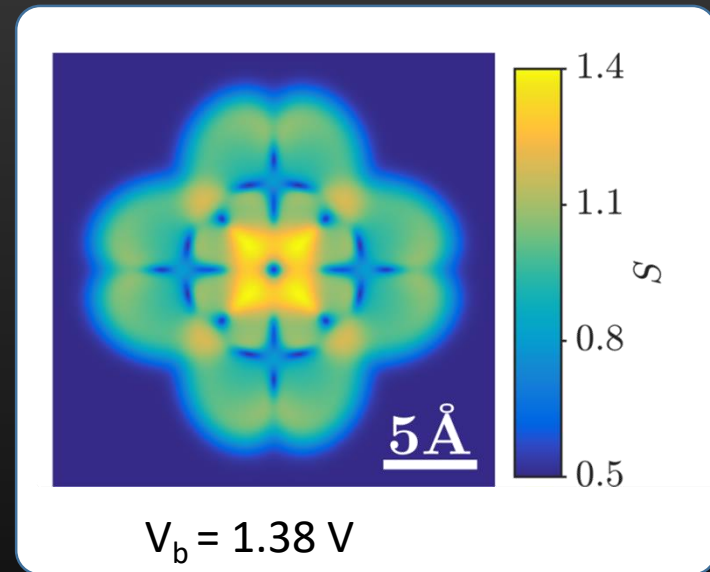
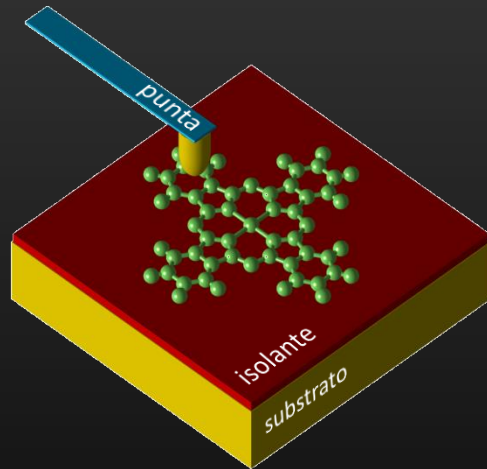
# Switch molecolare



*Science* **317**, 1203 (2007)

Crema, Marzo 2018

# Magnetizzazione di singola molecola

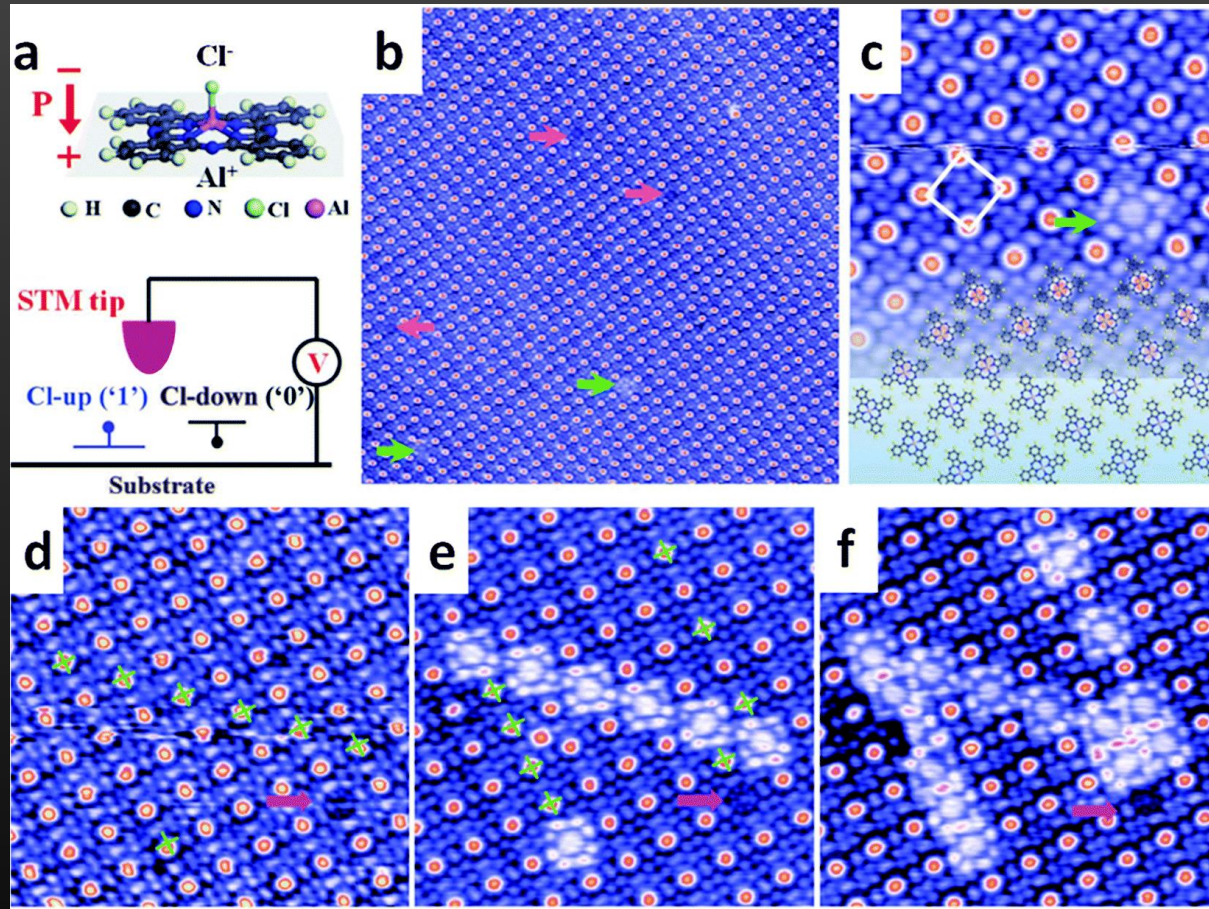


*Phys. Rev. B* **93**, 121406(R) (2016)

Crema, Marzo 2018



# Polarizzazione di singola molecola

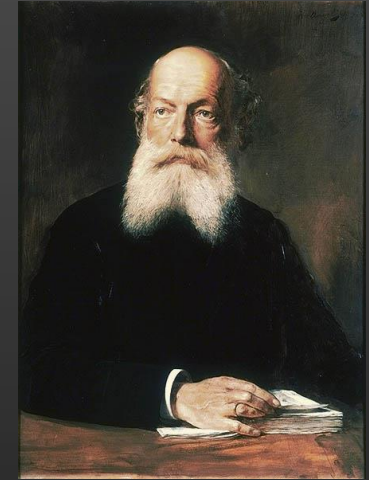


*Small* **8**, 1423 (2012)

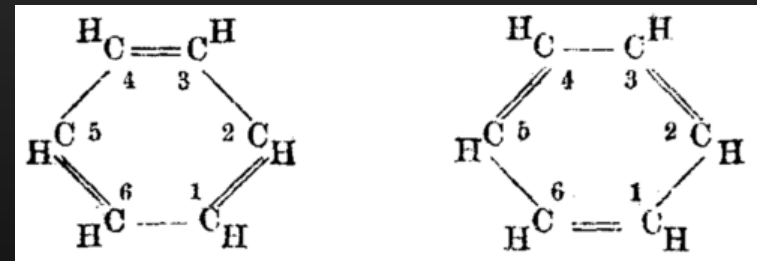
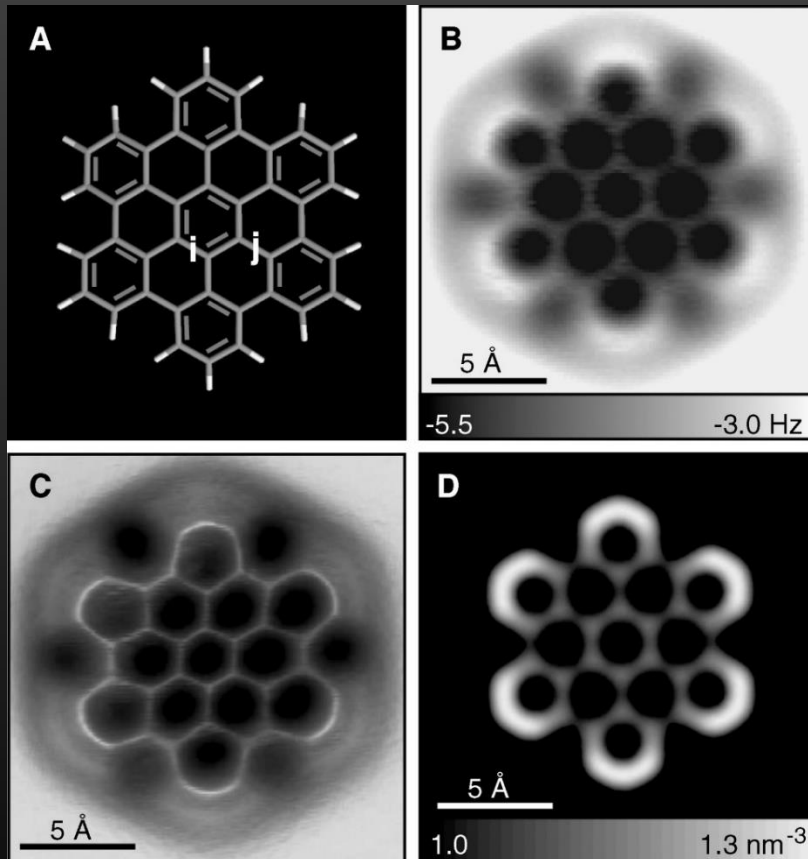
# Chimica su superficie

Crema, Marzo 2018

# Legami doppi e singoli in hexabenzocoronene



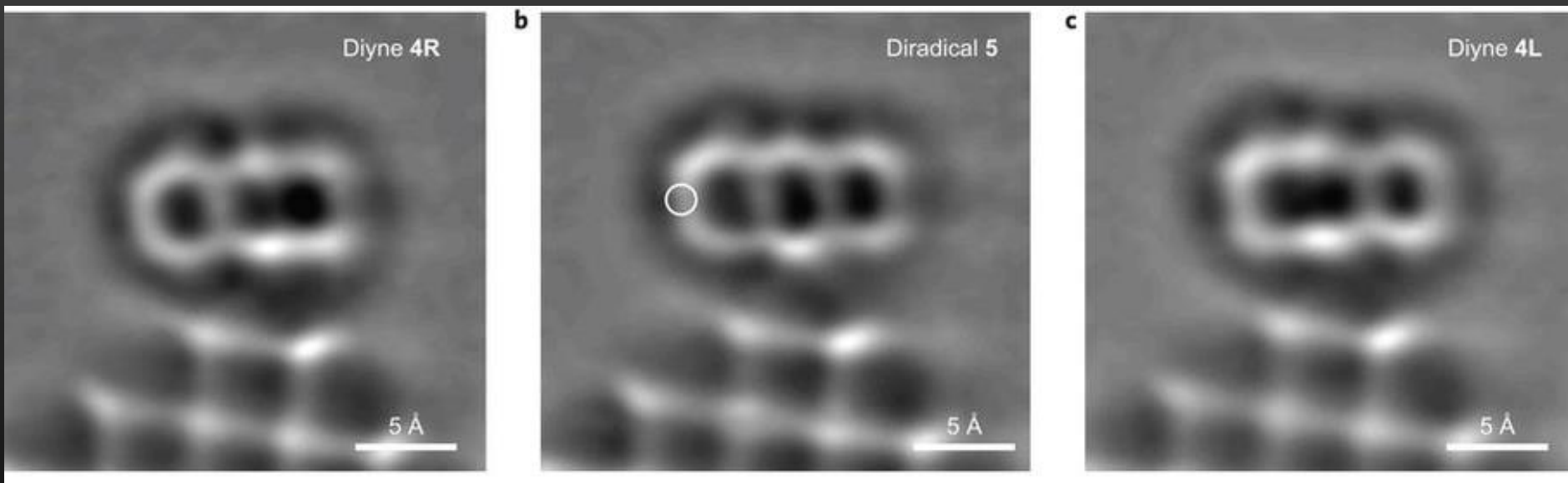
August Kekulé  
(1829 - 1896)



Strutture previste da  
Kekulé per il benzene

*Science* **337**, 1326 (2012)

# Reazioni chimiche indotte da STM

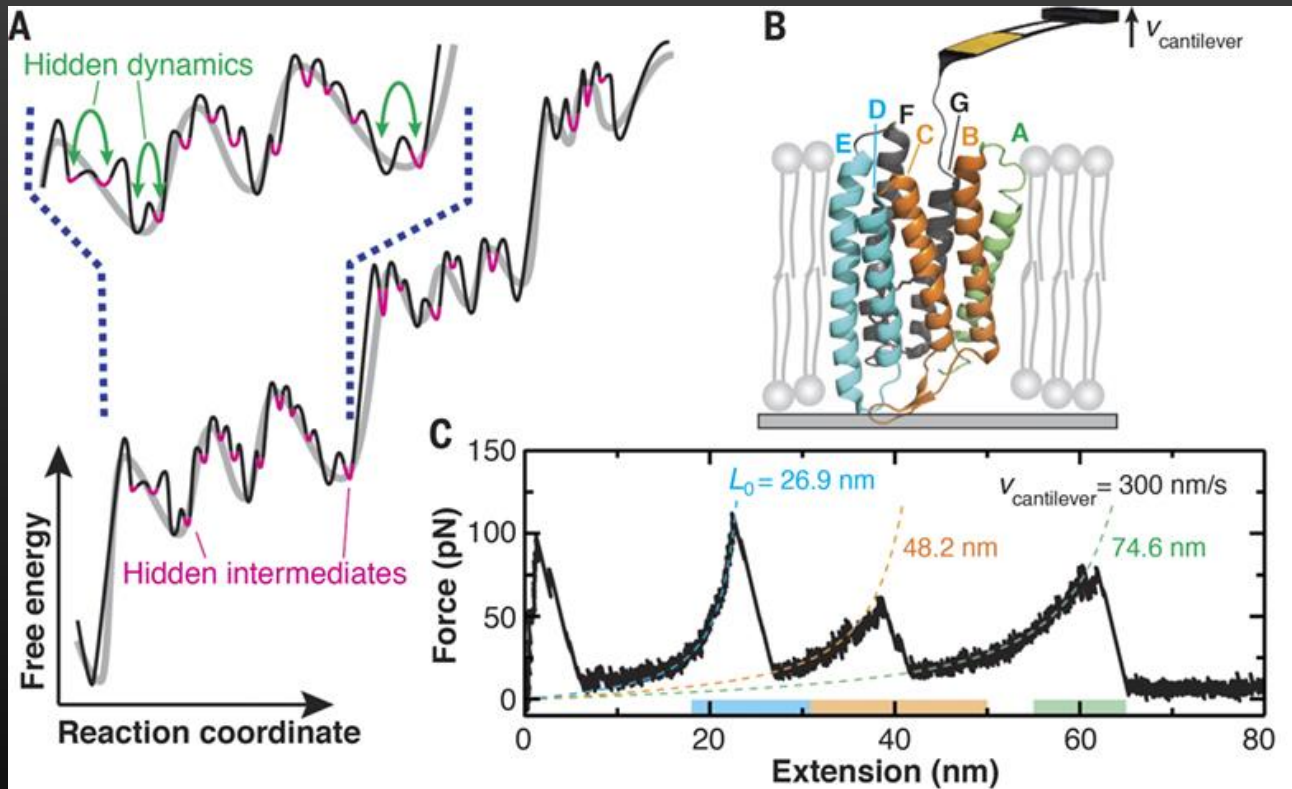


*Nature Chem.* **8**, 220 (2016)

# Biologia

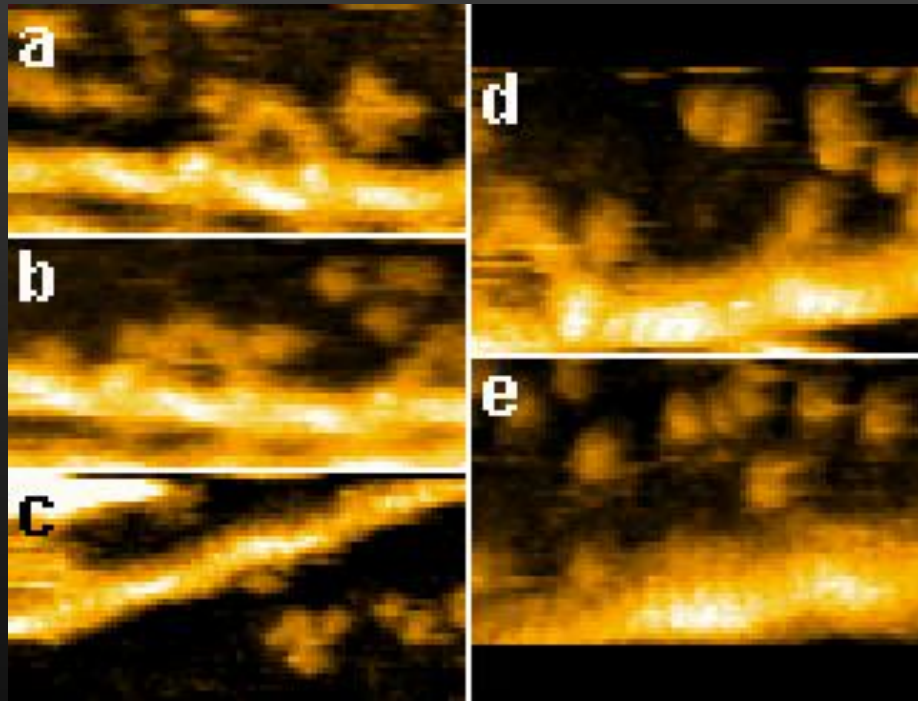
Crema, Marzo 2018

# Denaturazione proteica



*Science* **355**, 945 (2017)

# Passeggiata della miosina



*Nature* **468**, 72 (2010)

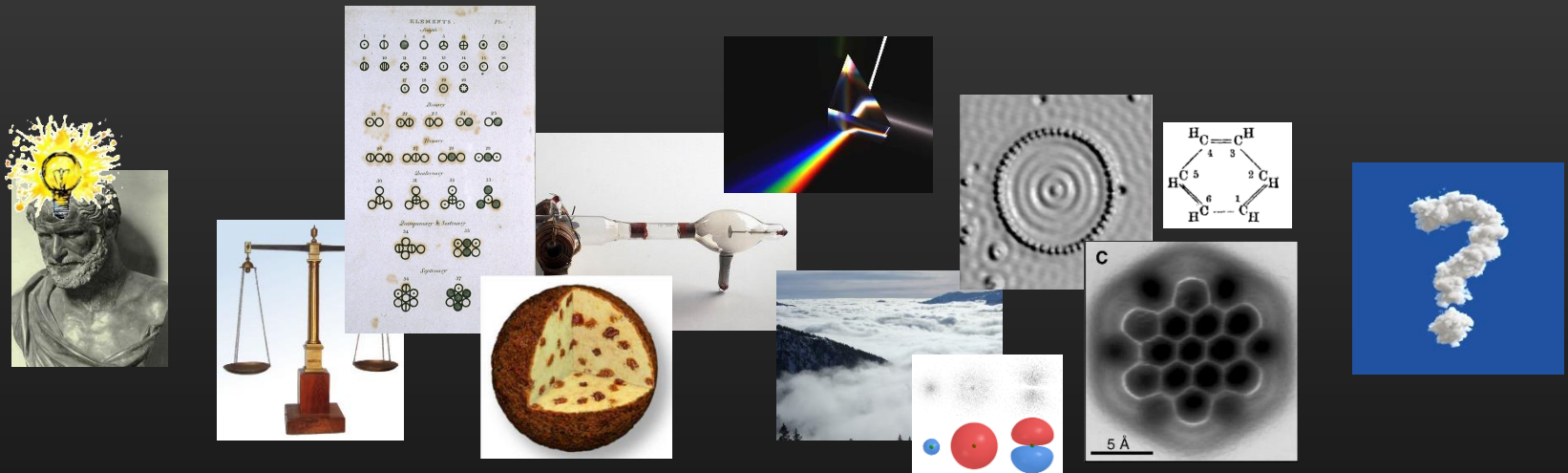
# Il film più piccolo del mondo

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 !*