

 POLITECNICO DI MILANO



Nanotecnologie e Nanomateriali

Andrea Li Bassi
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano



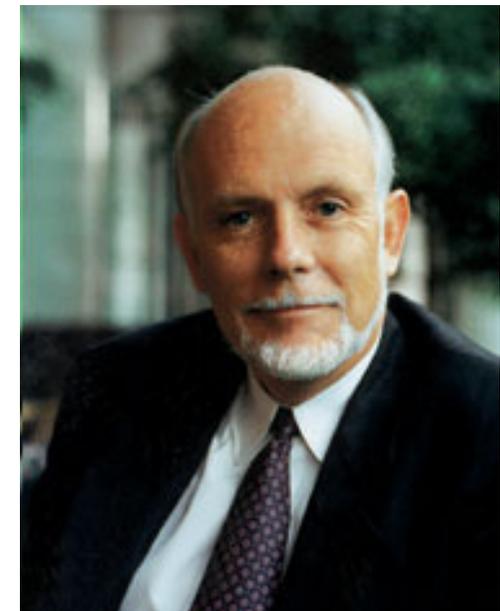
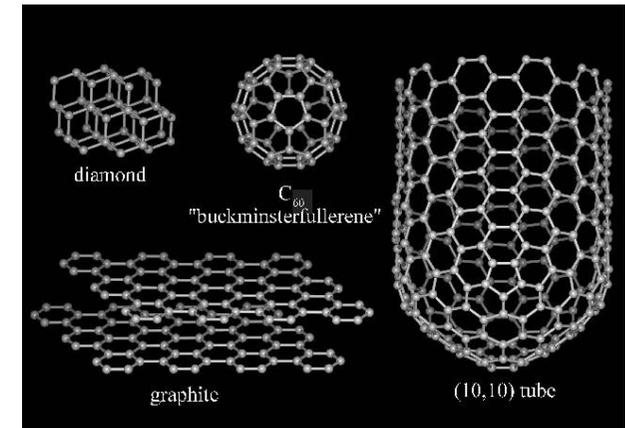
Il ruolo cruciale dei materiali nella società del futuro

Per risolvere alcuni dei problemi più critici del futuro:

- energia
- acqua
- cibo
- ambiente
- povertà
- terrorismo e guerra
- malattia

**occorrerà inventare e produrre
materiali radicalmente nuovi**

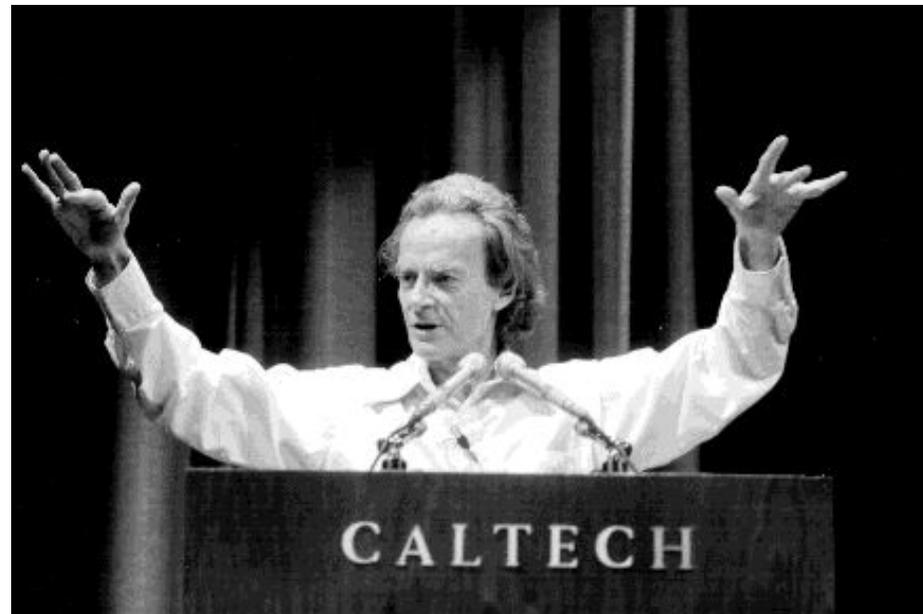
Richard E. Smalley, premio Nobel, Boston dicembre 2004





“What would happen if we could arrange the atoms one by one the way we want them?”

Richard Feynman, 1959

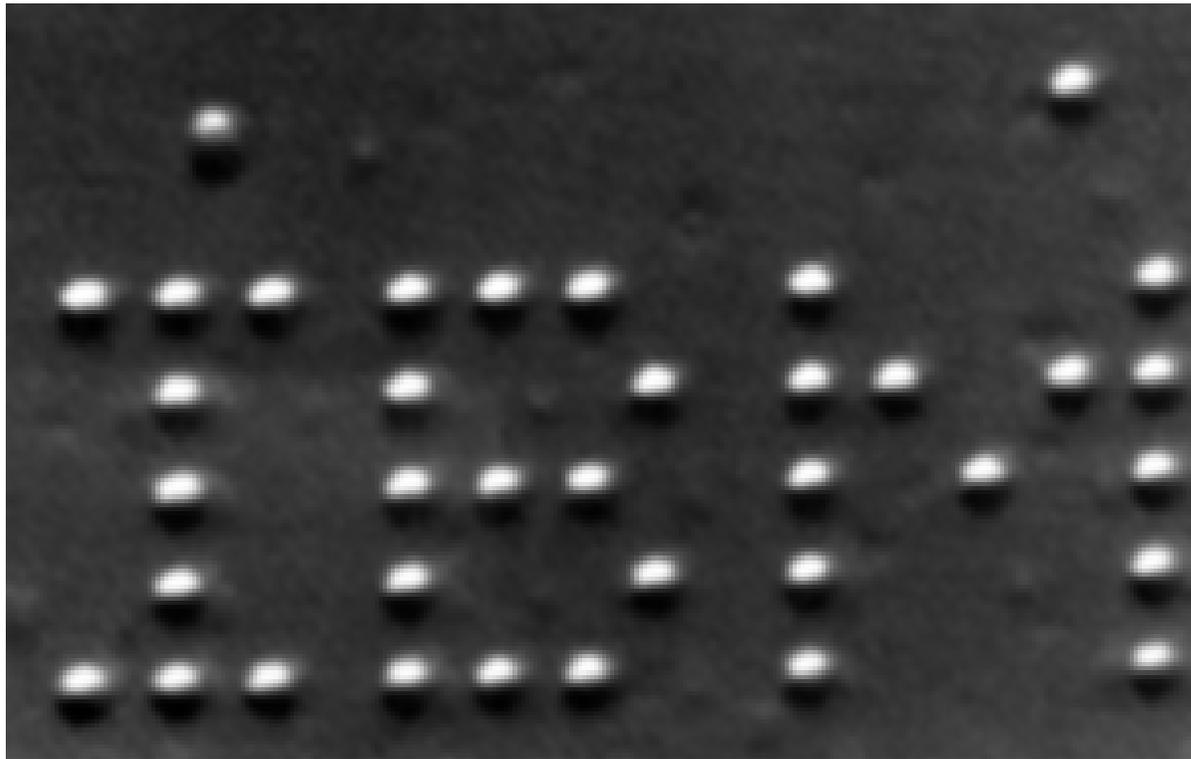




Manipolazione atomica

Grazie a nuove strumentazioni...

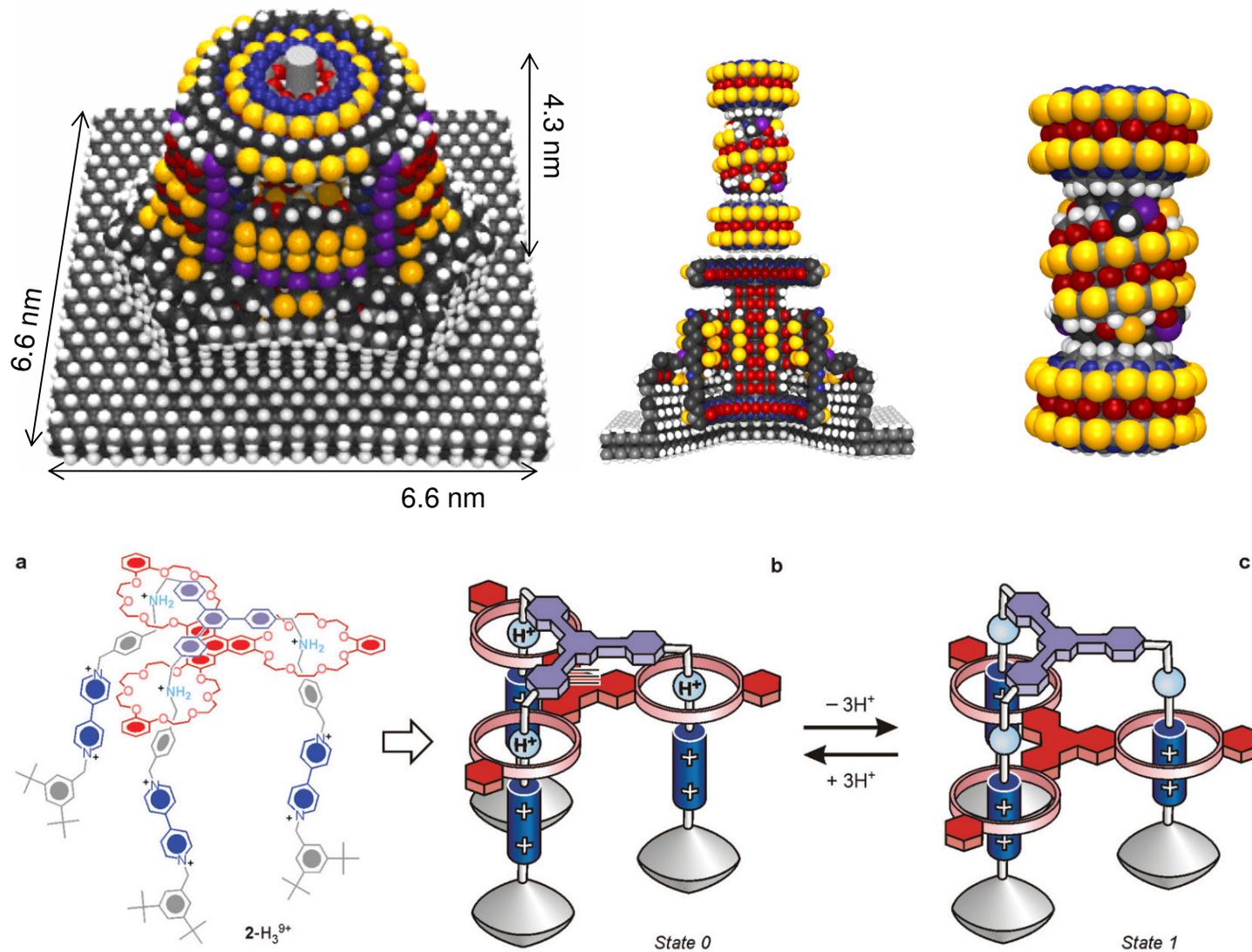
La **microscopia a scansione a effetto tunnel (STM)**, consente di ***vedere*** singoli atomi e di ***manipolarli***



1990: logo "IBM" scritto con 35 atomi di Xe



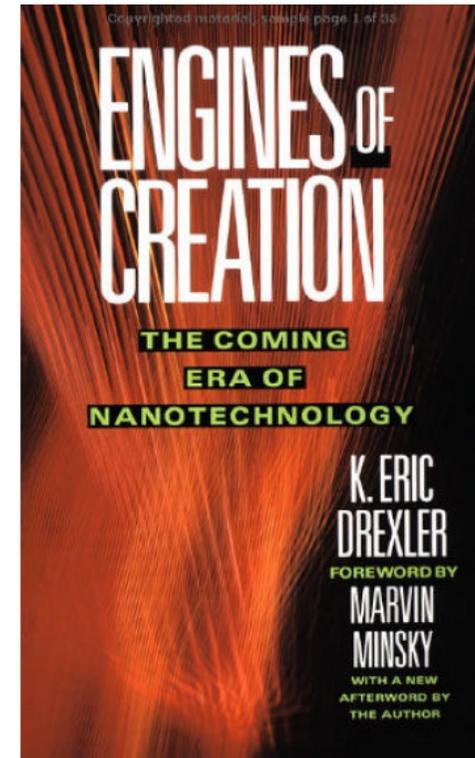
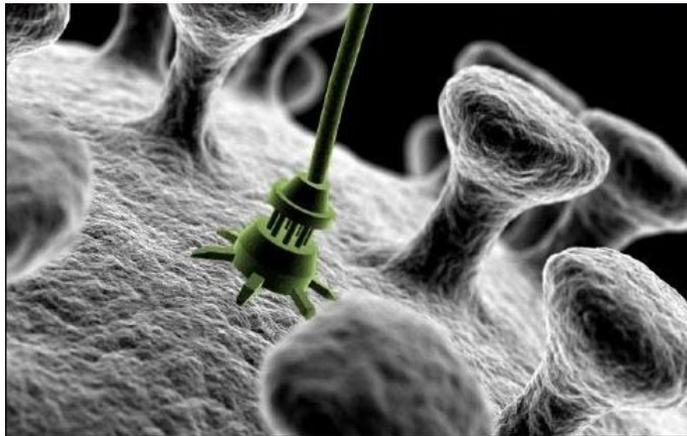
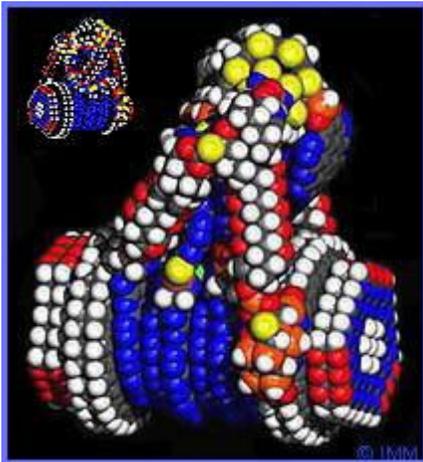
Macchine molecolari





Nascita del termine “nanotecnologia”

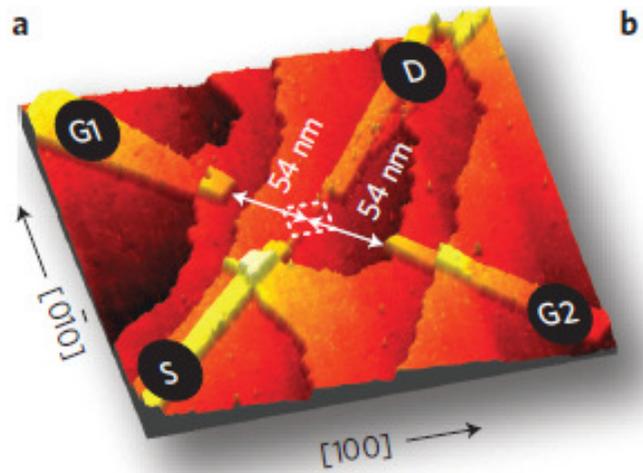
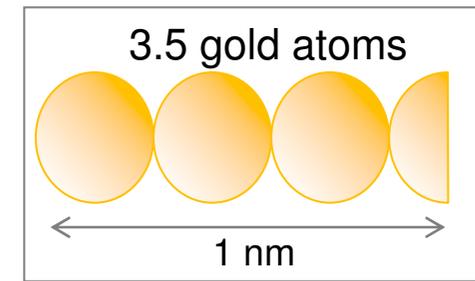
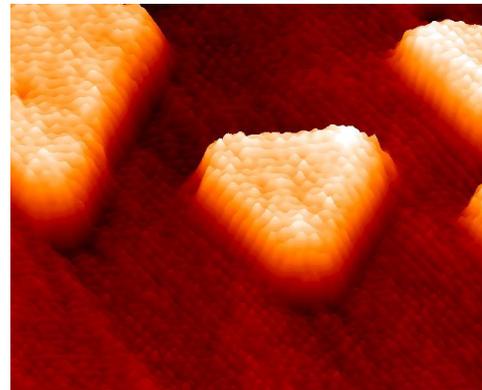
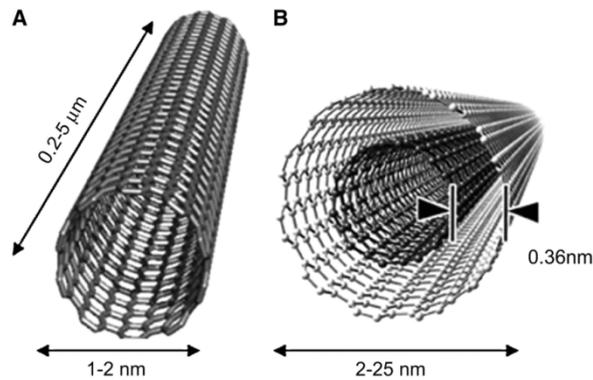
Il termine fu coniato dal **Norio Taniguchi** della Tokyo Science University nel **1974** per descrivere la **fabbricazione di materiali e manufatti con tolleranze nanometriche**, e fu inconsapevolmente usato da **Drexler** nel **1986** nel suo libro “***Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology***” per descrivere quelle che vennero poi chiamate *nanotecnologie molecolari*





Le Nanotecnologie

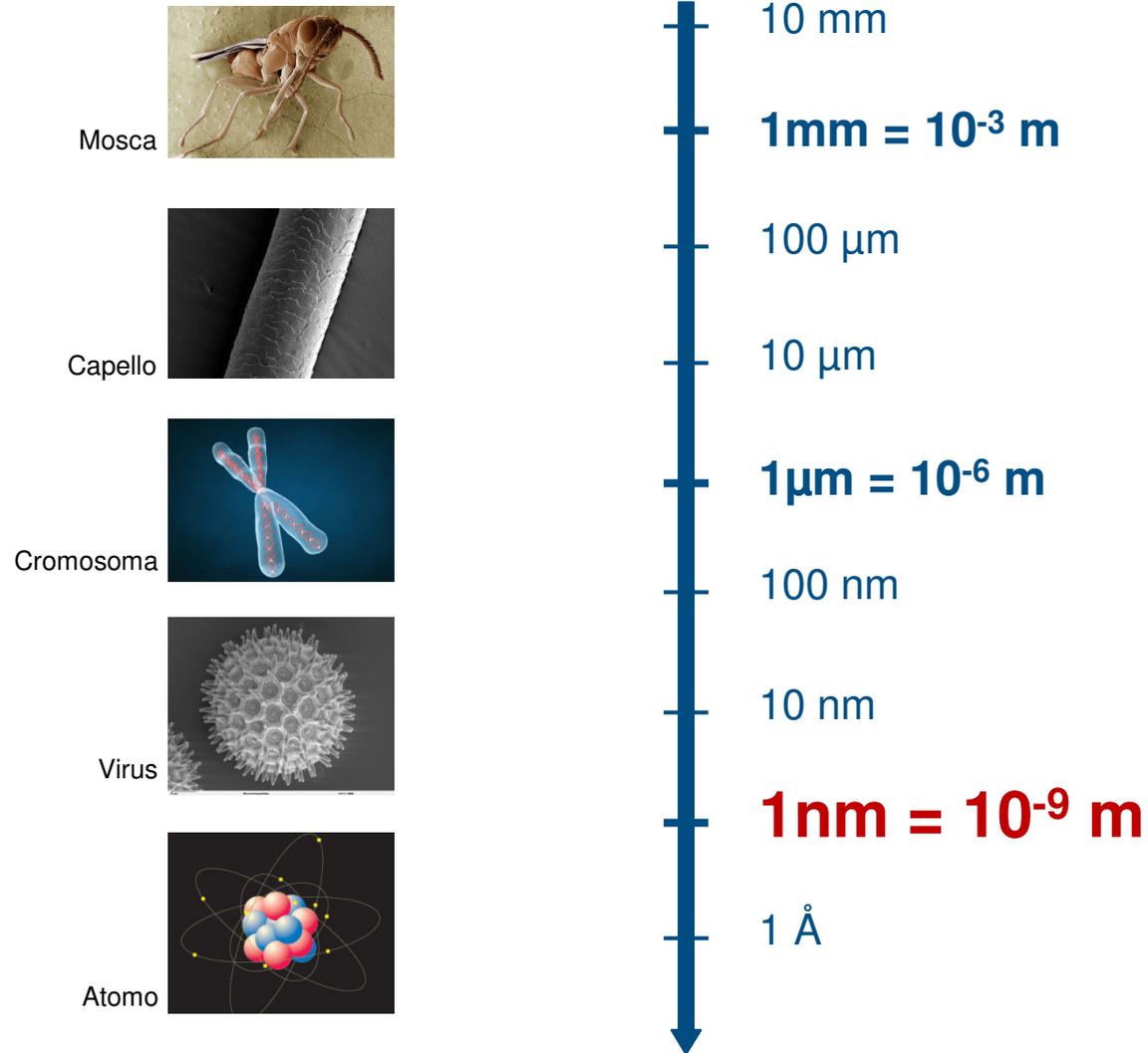
Si occupano della comprensione e del controllo della materia a dimensioni comprese tra 1 e 100 nanometri



Utilizzando scienza, ingegneria e tecnologia la manipolazione della materia comprende modelli, fabbricazione, immagini, misurazioni, progettazione e dispositivi alla scala atomica e molecolare



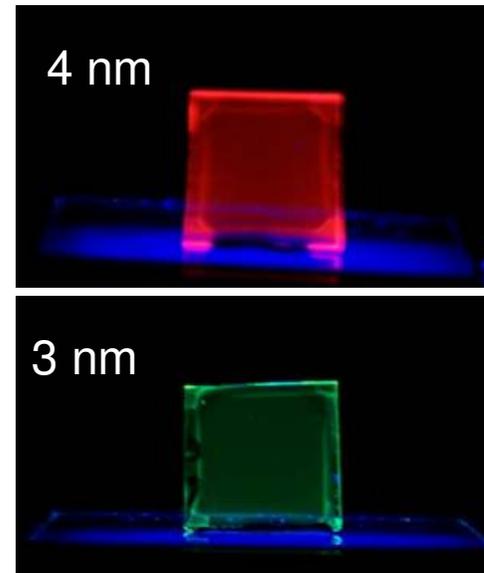
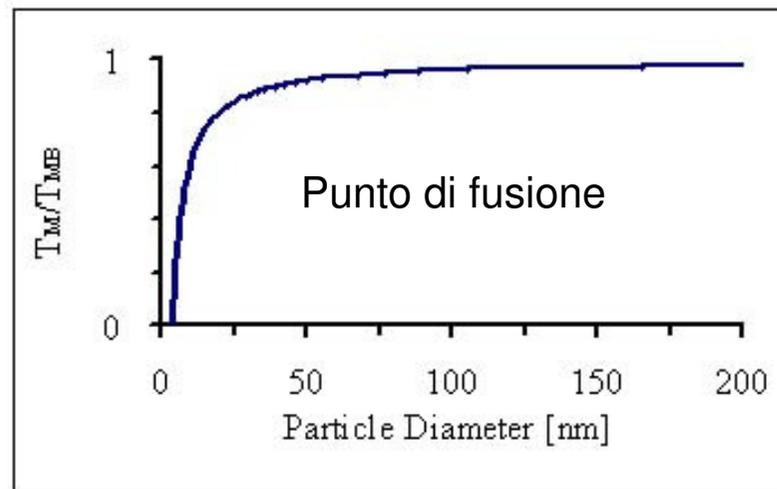
La scala nanometrica





Cos'ha di così speciale la scala nanometrica? Perché le nanotecnologie?

Alla scala nanometrica **le proprietà dei materiali cambiano** a causa delle leggi della **meccanica quantistica**; inoltre la **superficie** assume un ruolo fondamentale



Le proprietà di un materiale possono essere **progettate-
ingegnerizzate** controllando le dimensioni delle unità nanometriche che lo costituiscono (***materiali nanostrutturati***)



La dimensione conta !

3 **ragioni** per cui i materiali alla nanoscala possono differire dai materiali alla scala micro/macrocopia (al di là della *miniaturizzazione*):

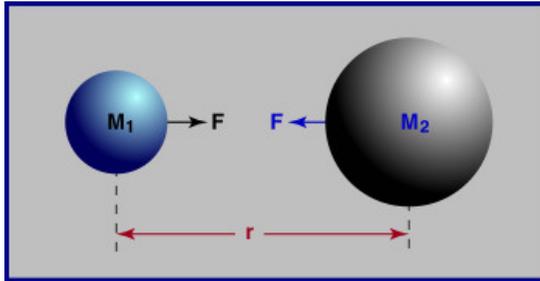


- A causa di **leggi di scala** le forze dominanti in diversi fenomeni sono diverse (es. forze elettromagnetiche vs. gravitazionali)
- La **superficie** gioca un ruolo fondamentale (maggiore rapporto superficie/volume)
- La **meccanica quantistica** (e non la meccanica classica) è il modello adeguato per descrivere le proprietà dei materiali alla nanoscala (**confinamento quantico**)

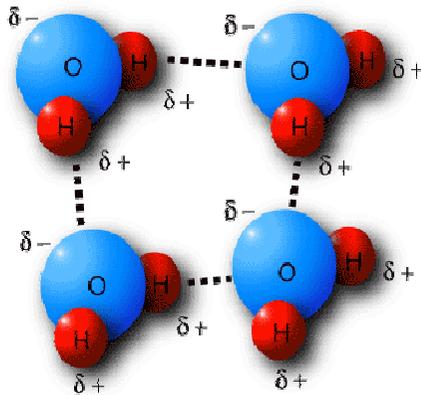
→ questo è un cambiamento radicale – vera e propria **rivoluzione** !



Forze fondamentali



La forza gravitazionale è funzione della massa (e della distanza) ed è debole per oggetti nanometrici



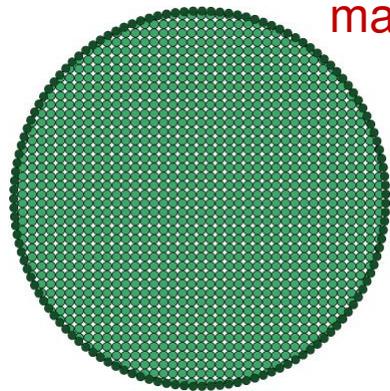
La forza elettromagnetica è funzione della carica

Le forze elettromagnetiche dominano alla nanoscala

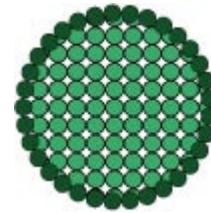
La forza elettromagnetica tra 2 protoni è 10^{36} volte maggiore rispetto alla forza gravitazionale



Rapporto superficie-volume



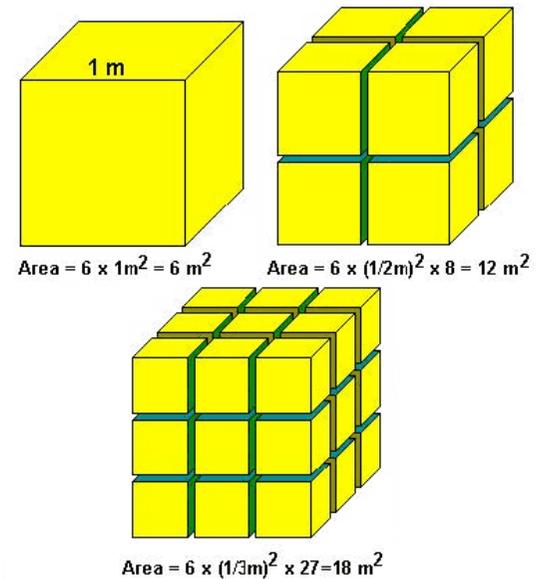
macroscala



nanoscala

All'aumentare del rapporto superficie-volume una porzione maggiore dell'oggetto è in contatto con l'ambiente circostante.

Inoltre le proprietà degli atomi di superficie sono diverse rispetto a quelle degli atomi di volume





Effetti quantistici

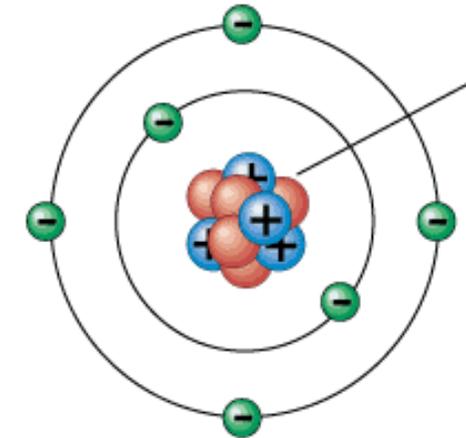
$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}\Psi \quad \text{Eq. Schrodinger}$$

La meccanica classica non è adeguata per:

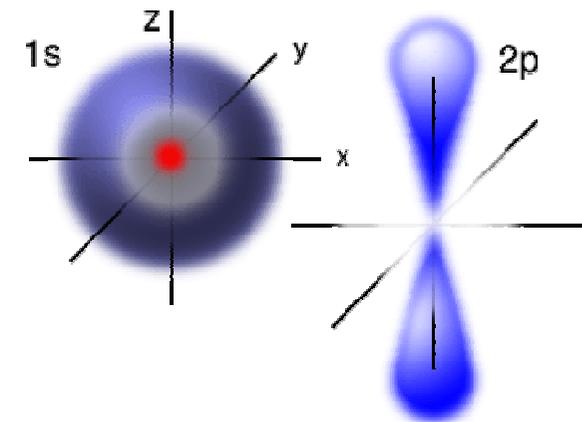
- oggetti molto piccoli (nanoscala)
- oggetti molto veloci (vicino alla velocità della luce)

La meccanica quantistica descrive meglio fenomeni che la meccanica classica non è in grado di descrivere:

- Le particelle (es. elettroni) mostrano una natura **ondulatoria** (e la luce una natura corpuscolare...)
 - Uso di concetti **probabilistici** per descrivere dove un elettrone *può essere* trovato
- il comportamento della materia alla scala nanometrica cambia radicalmente – nuovo paradigma



Carbon atom





Alcune tappe

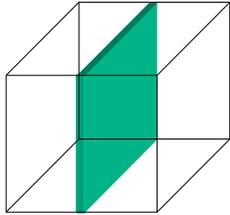
- 1959** R.P. Feynman tiene il suo discorso “There’s plenty of room at the bottom”
- 1974** Norio Taniguchi conia il termine “nanotecnologie”
- 1981** Viene inventato il microscopio STM (premio Nobel nel 1986)
- 1986** Smalley e Kroto scoprono i fullereni (premio Nobel nel 1996);
viene inventato il microscopio AFM
- 1989** D.M. Eigler, di IBM, scrive il nome della sua azienda con 35 atomi
- 1990** Nasce il primo giornale sulle nanotecnologie
- 1991** S. Iijima scopre i nanotubi di carbonio
- 1993** Nasce alla Rice University (USA) il primo laboratorio di Nanotecnologie
- 2004** Isolato un singolo piano di grafite, il grafene
- 2010** A. Geim e K. Novoselov vincono il premio Nobel per gli studi sul grafene



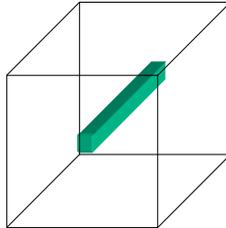
- **Differenza tra nanoscienza e nanotecnologie**
- **Una tecnologia che sfrutta gli effetti di confinamento quantistico e/o la capacità di manipolare singoli atomi o molecole**
- **Una tecnologia che opera alla scala nanometrica ($< 1 \mu m$)**



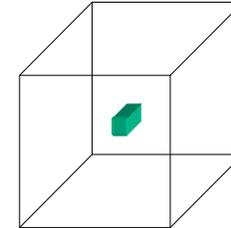
Nanostrutture e dimensionalità



Strutture 2D



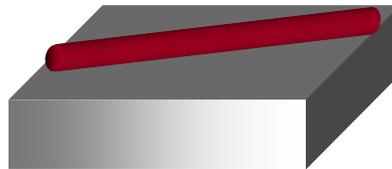
Strutture 1D



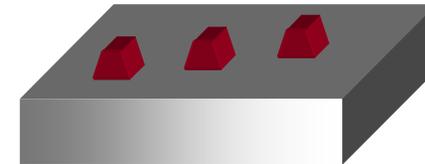
Strutture 0D



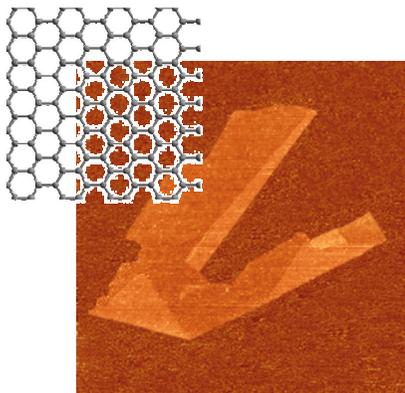
Pozzo quantico



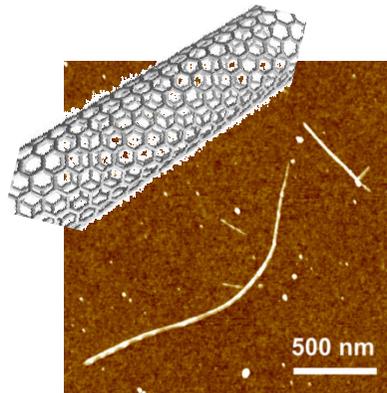
Filo quantico



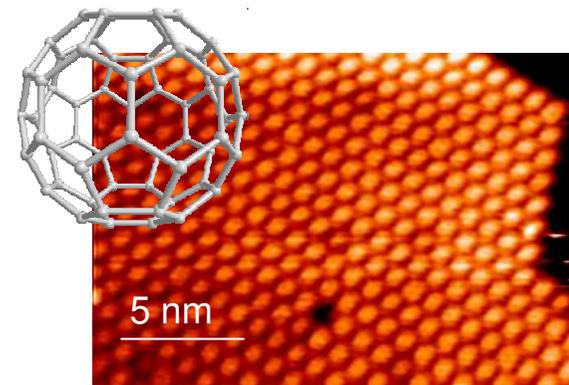
Punto quantico



Grafene



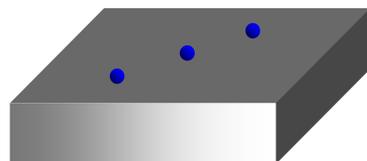
Nanotubi



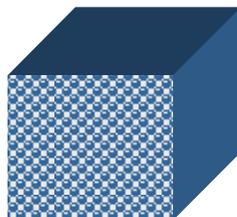
Fullereni



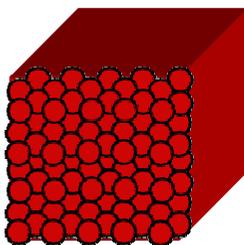
Dalle nanostrutture ai materiali nanostrutturati



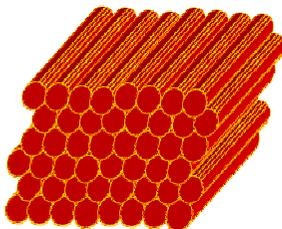
Singoli atomi



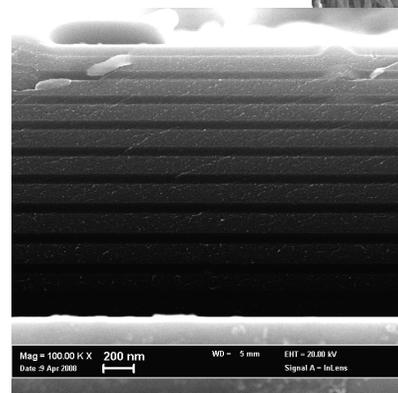
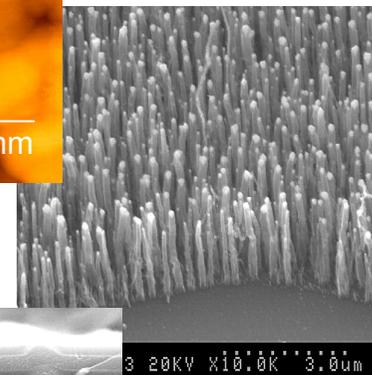
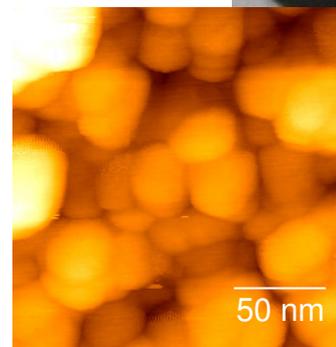
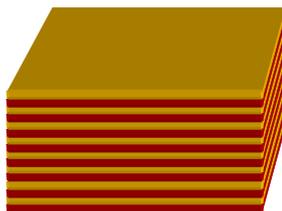
Quantum dots



Quantum wire



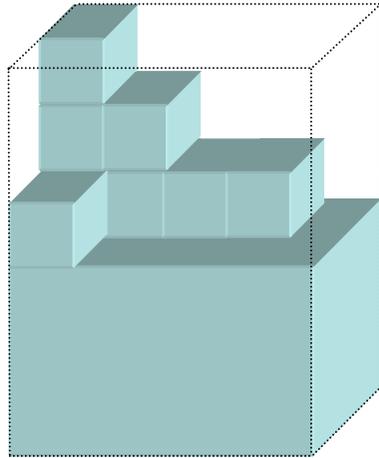
Quantum well



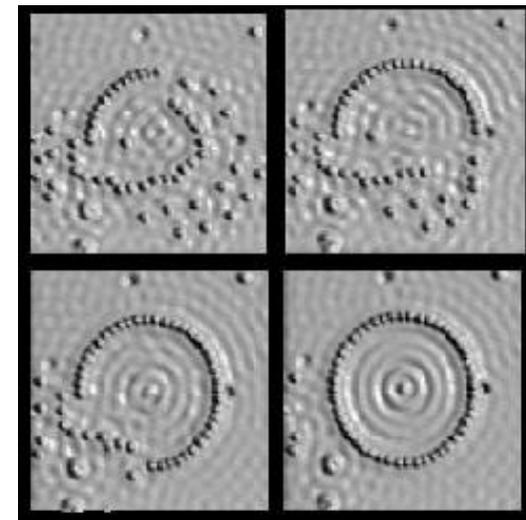
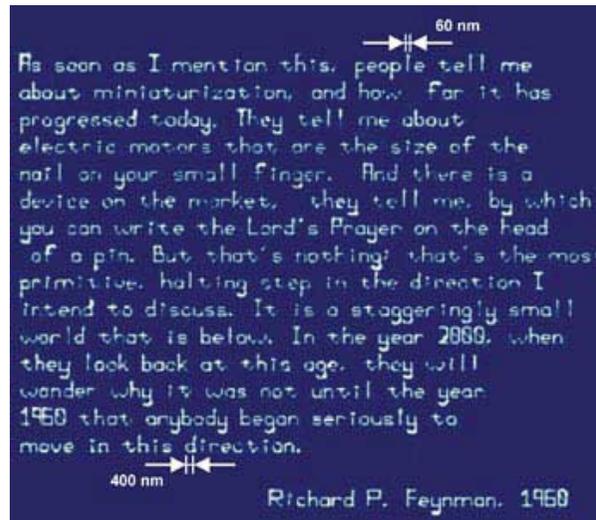
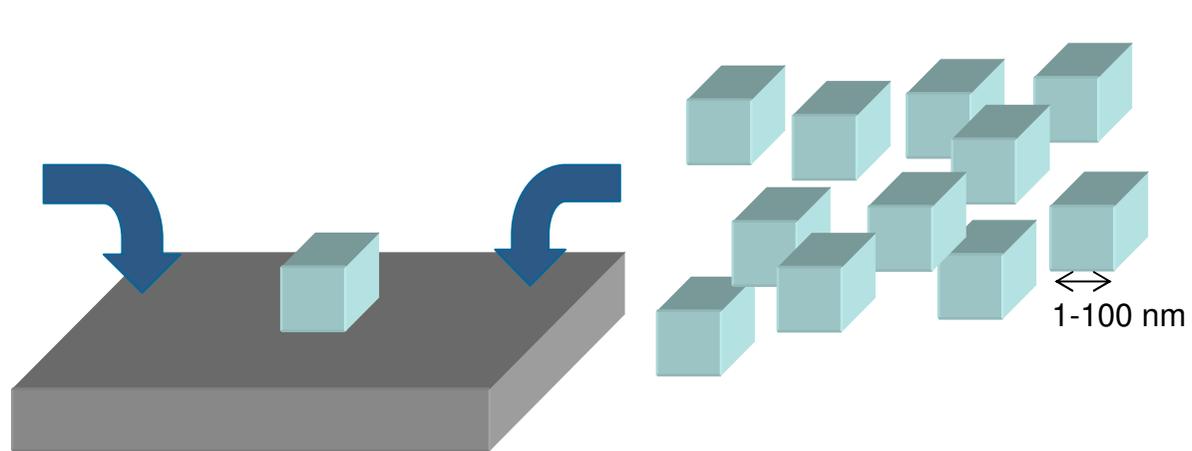


Strategie di fabbricazione

Top-down



Bottom-up





Approccio intrinsecamente interdisciplinare

- Comprendere la dipendenza tra proprietà e dimensioni/dimensionalità (**nanoscienze**)
 - Manipolare la materia alla scala nanometrica per ottenere materiali e dispositivi con funzionalità controllate (**nanotecnologie**)
-
- Fisica
 - Scienza dei Materiali
 - Chimica
 - Ingegneria
 - Biotecnologie....
- + nuovi strumenti !!!!!

Grande importanza di una solida preparazione di base; contesto internazionale

Output: ricerca, ricerca industriale, tecnologie avanzate

Politecnico di Milano: Laurea in Ingegneria dei Materiali e delle Nanotecnologie; Laurea Magistrale in Materials Engineering and Nanotechnology; ma anche altri corsi (Ing. Chimica, Ing. Fisica, Ing. Elettronica, ...); ricerca a livello interdipartimentale



Alcune applicazioni

Rivestimenti, nuovi materiali

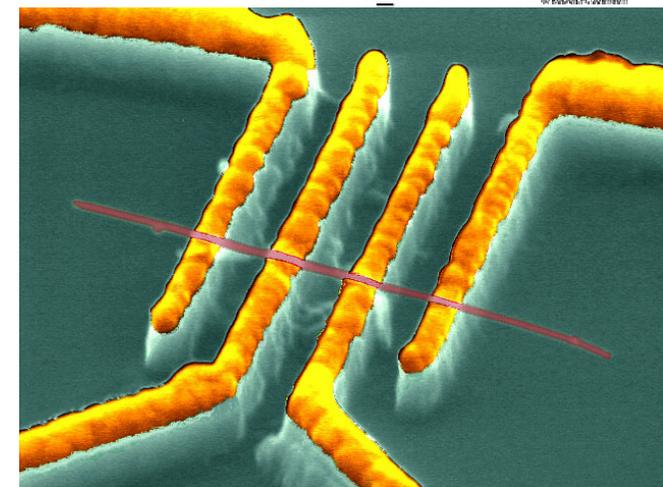
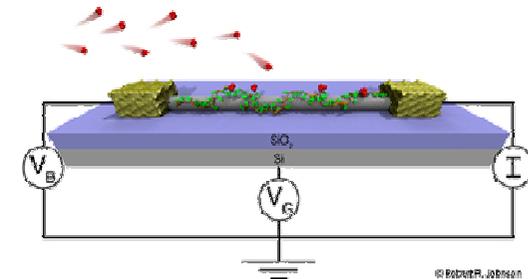
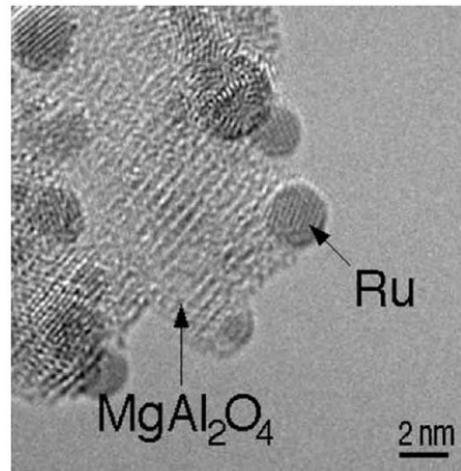
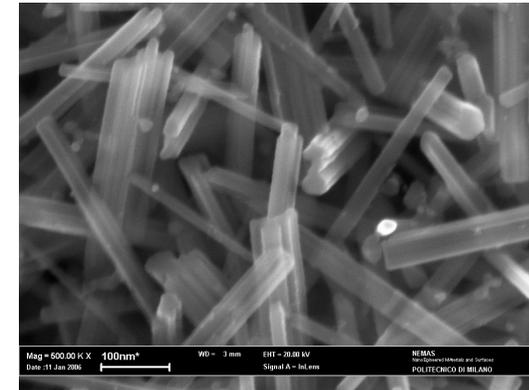
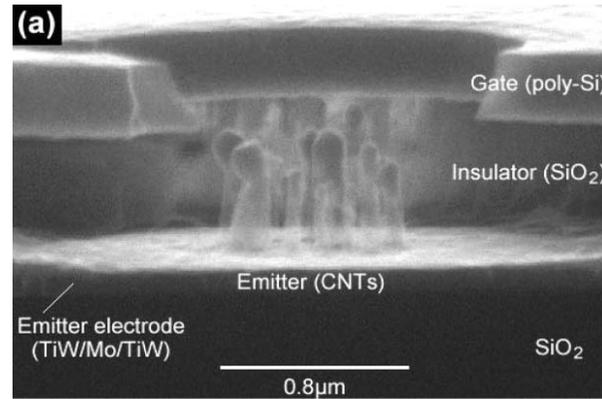
Biotecnologie e Medicina

Catalisi e Sensoristica

Energia

Elettronica/informazione

Ottica e fotonica

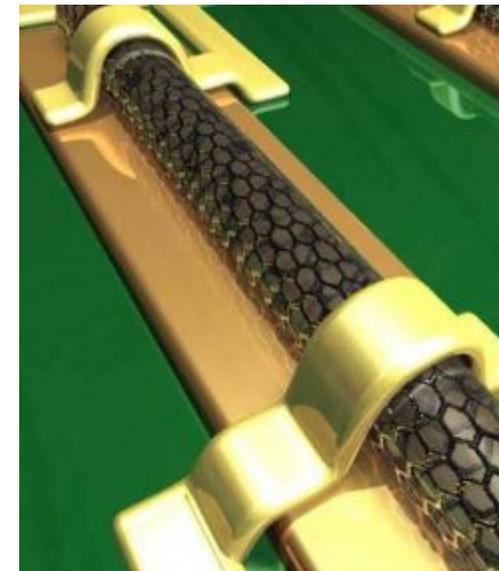
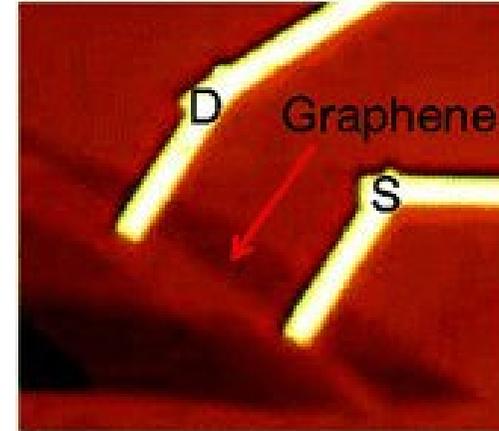
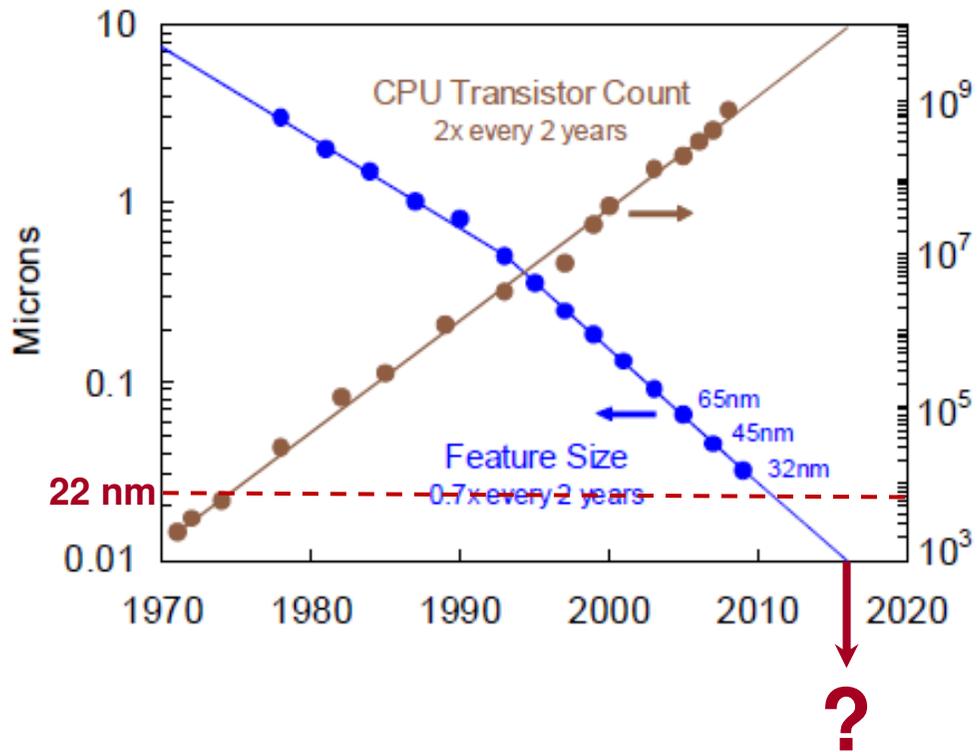




Potenza di calcolo

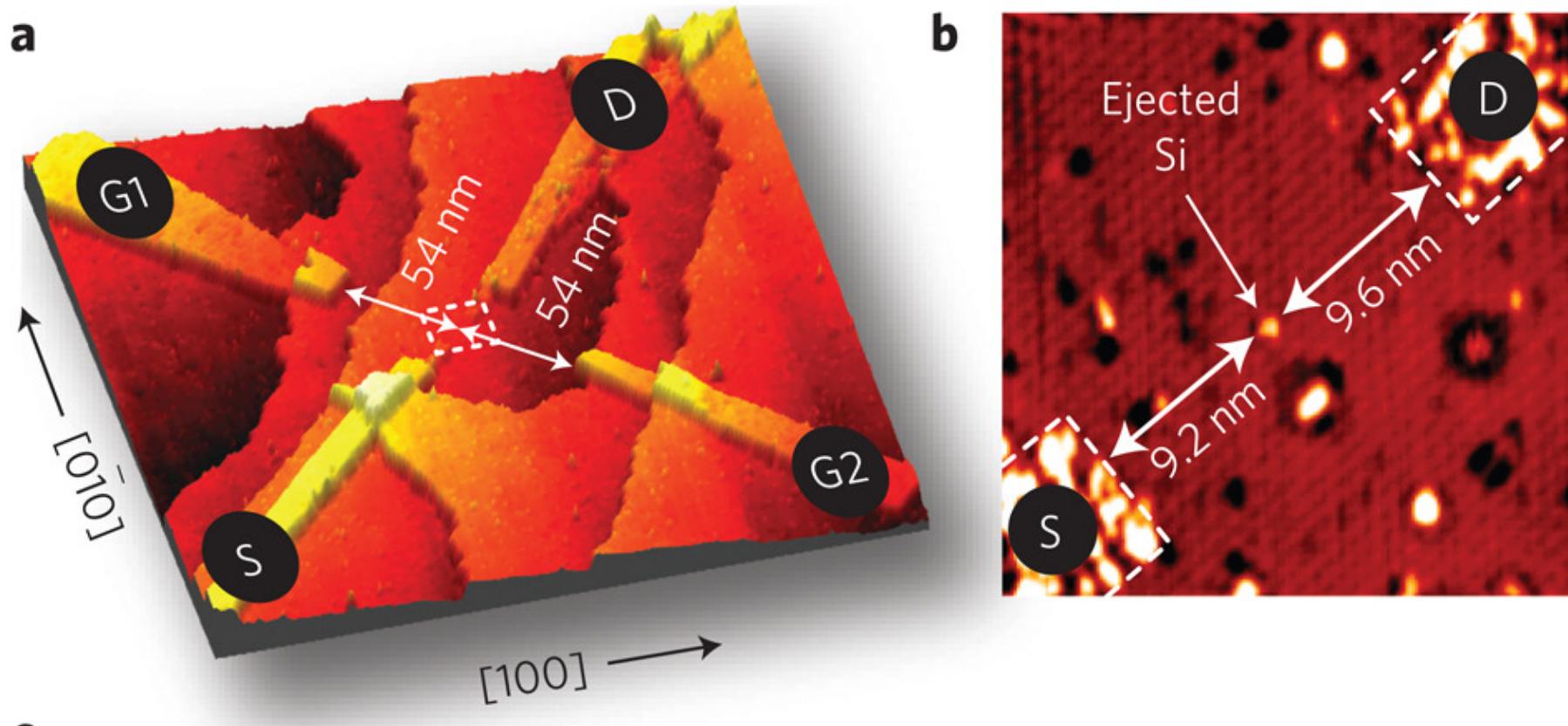
Moore's law:

'Il numero di dispositivi in una CPU raddoppia ogni 2 anni'





Un transistor a singolo atomo



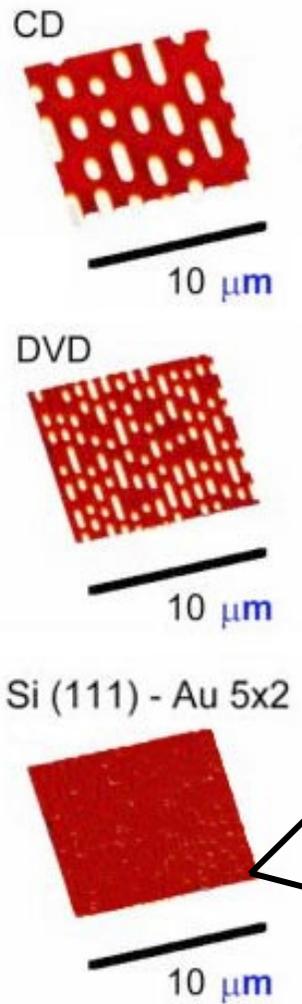
Condizioni operative:

Pressione 10^{-11} mbar

Temperatura 20 mK



Immagazzinamento di dati



Gli attuali CD e DVD utilizzano bit di scala
micrometrica

Nuove tecnologie possono sfruttare la scala
dei *nanometri*

quantum dot di oro su
silicio



Energia: celle solari ibride, water splitting....

dye-sensitized solar cells

