



 POLITECNICO DI MILANO



## Inaugurazione 146° anno accademico 08|09

*Vedere e manipolare gli atomi:  
dal sogno di Feynman ai materiali del futuro*

Carlo Bottani

- Il ruolo cruciale dei materiali nella società del futuro
- Vedere gli atomi
- La nascita delle nanotecnologie
- I materiali nanostrutturati del presente e del futuro
- La ricerca nazionale sui nuovi materiali
- Conclusioni



# Il ruolo cruciale dei materiali nella società del futuro

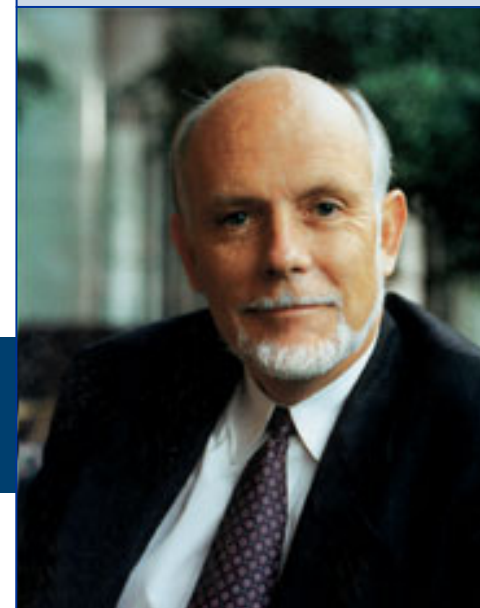
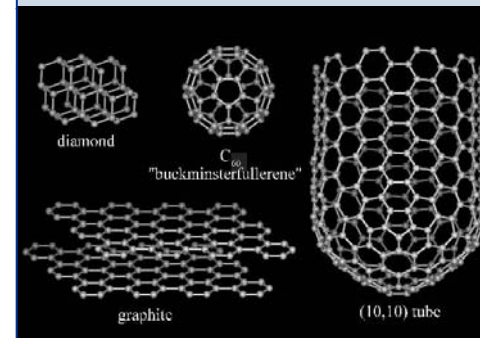
3

Per risolvere alcuni dei problemi  
più critici del futuro:

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

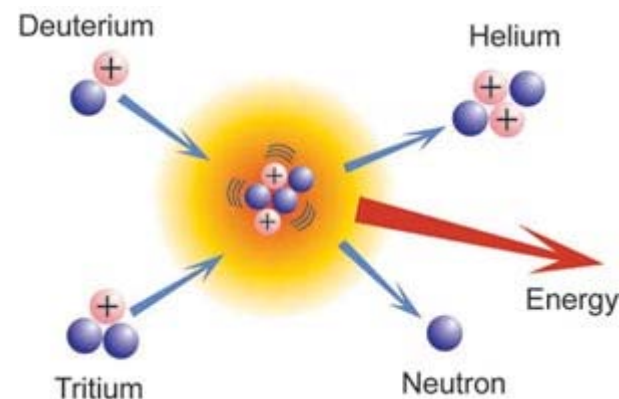
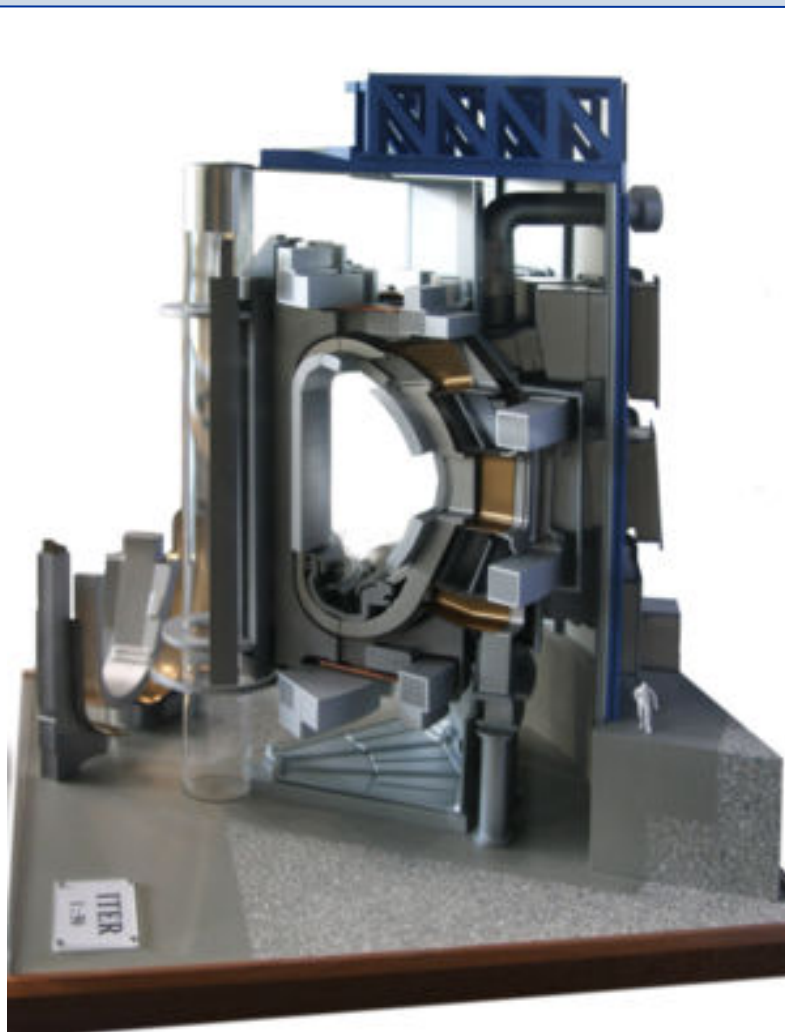
**occorrerà inventare e produrre  
materiali radicalmente nuovi**

**Richard E. Smalley,**  
premio Nobel, Boston dicembre 2004





# La prima parete di ITER: quali materiali potranno resistere in un reattore a fusione?



# Quali nuovi catalizzatori permetteranno di dissociare l'acqua per produrre idrogeno con sufficiente efficienza?

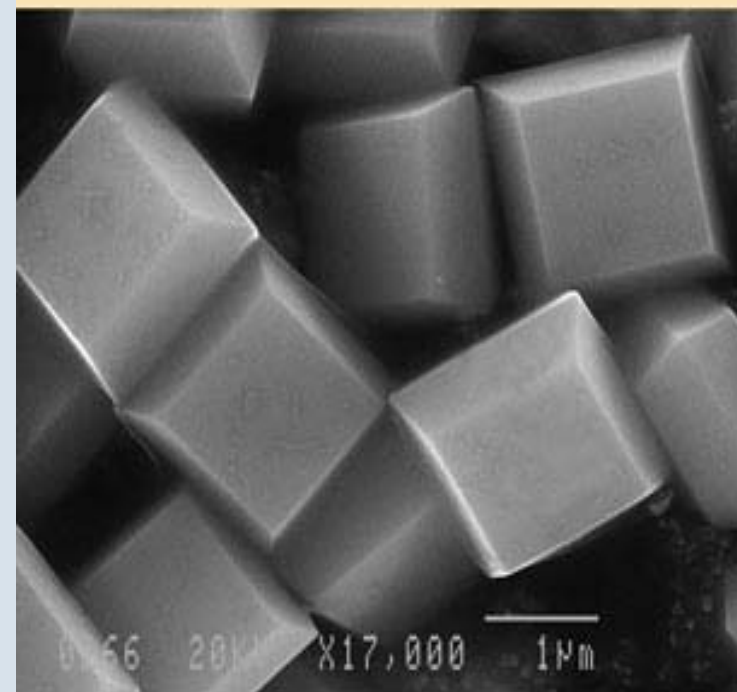
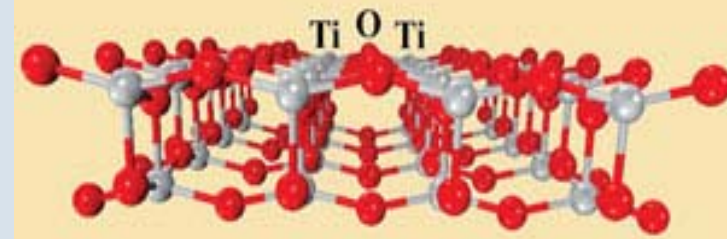
5

Oggi

quasi tutto l'idrogeno è prodotto mediante reforming di gas naturale nelle raffinerie di petrolio



Domani?



H G Yang *et al*, *Nature*, 2008, **453**, 638

# Gli atomi esistono?

## Se sì, si possono vedere?

**1830 - John Dalton:**

“Probabilmente gli atomi sono troppo piccoli perché possano essere mai visti grazie a un progresso nella microscopia.”

**1926 - Equazione di Schroedinger**

La nuova Meccanica Quantistica prevede teoricamente la struttura degli atomi

**1953 - Erwin Schroedinger, premio Nobel:**

“Non esiste alcun risultato sperimentale che riguardi la forma geometrica di un atomo. [...] Le forme che disegniamo sulla lavagna in base alla teoria non rappresentano nulla che possa essere osservato direttamente negli atomi reali.”

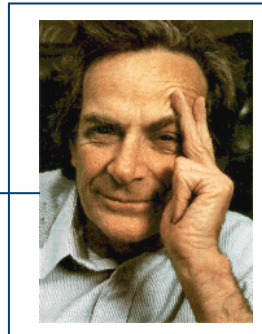
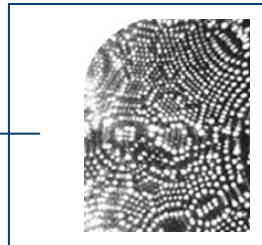
**1955 - Prime immagini con risoluzione atomica (Erwin Wilhelm Müller)**

**1959 - Percy W. Bridgman, premio Nobel:**

“Ho già fatto osservare che, ad essere strettamente rigorosi, qualcosa come un mondo microscopico non esiste, ma esiste solo un mondo modificato di esperienza macroscopica.”

**1959 - Richard Feynman, premio Nobel:**

“Dovrebbe essere possibile vedere individualmente gli atomi.”



# 1982 - G. Binnig and H. Rohrer (premi Nobel 1986) inventano il microscopio a scansione a effetto tunnel

7

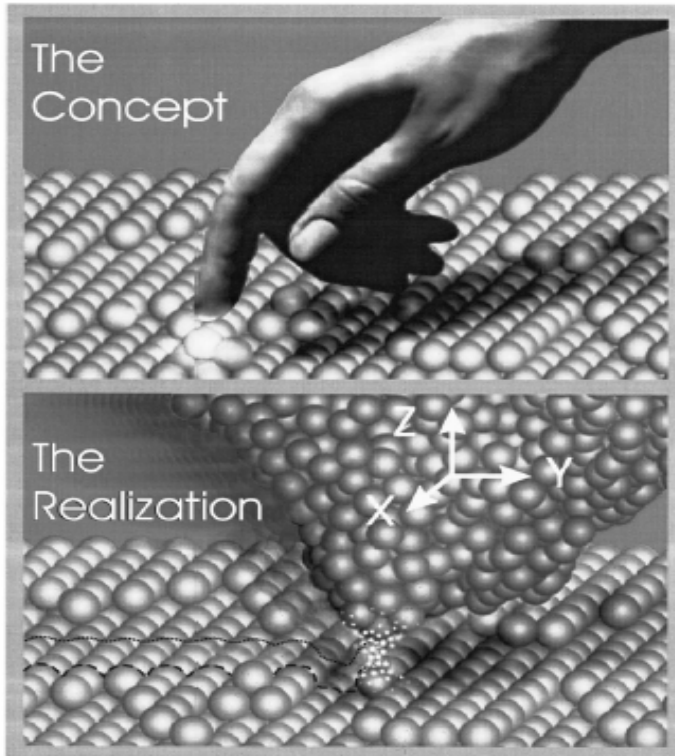
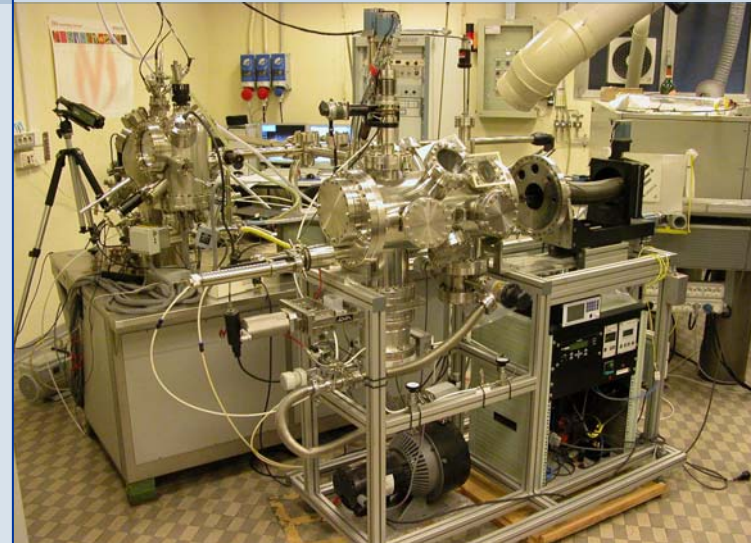


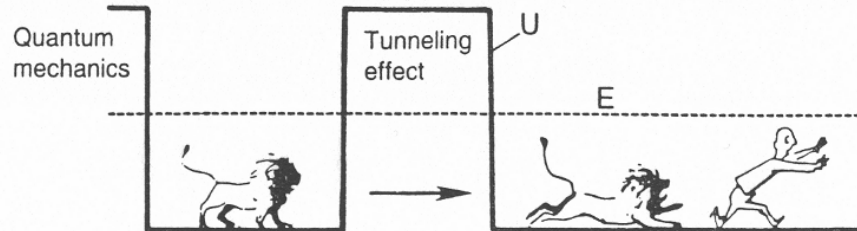
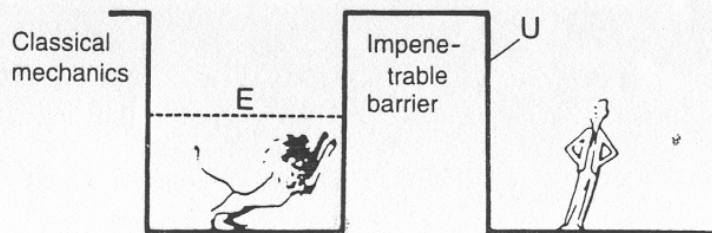
FIG. 1. Principle of a local probe: The gentle touch of a nanofinger. If the interaction between tip and sample decays sufficiently rapidly on the atomic scale, only the two atoms that are closest to each other are able to “feel” each other.



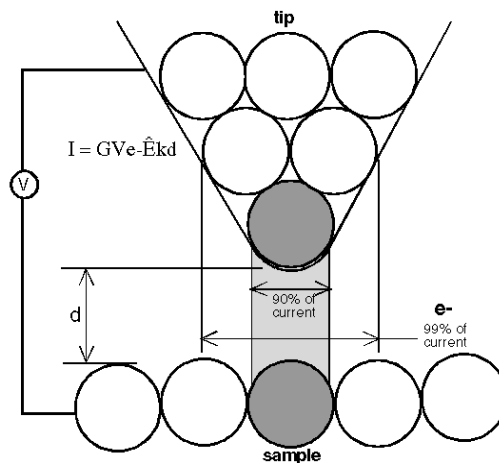
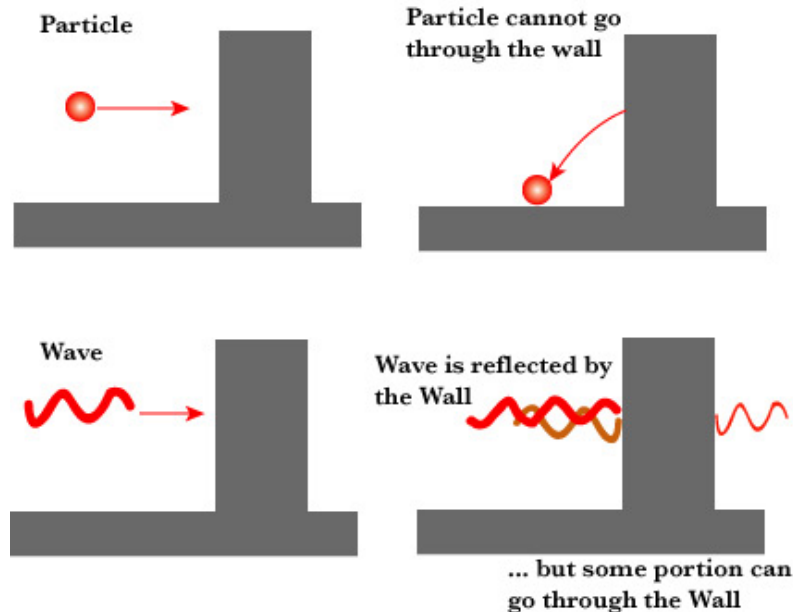
[www.nemas.polimi.it](http://www.nemas.polimi.it)



# L'effetto tunnel



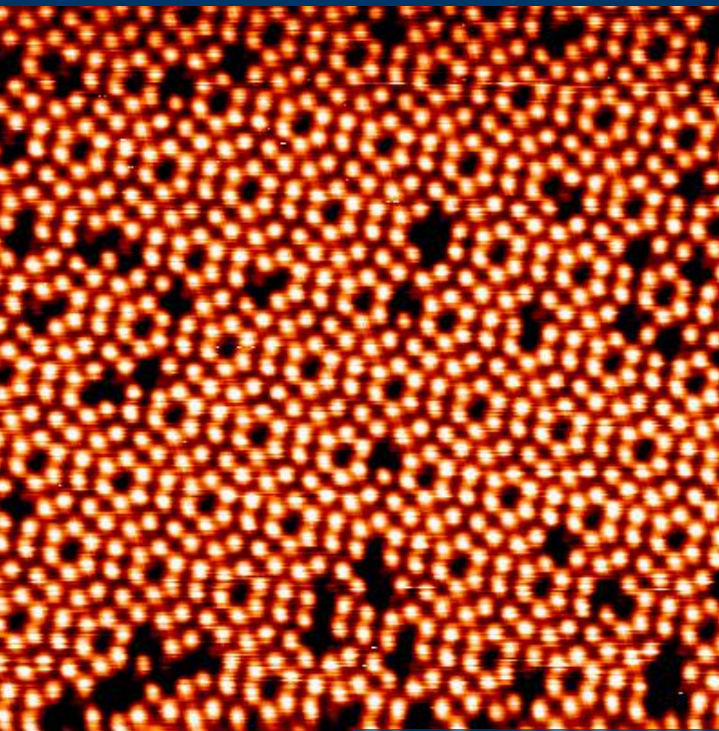
## TUNNEL EFFECT



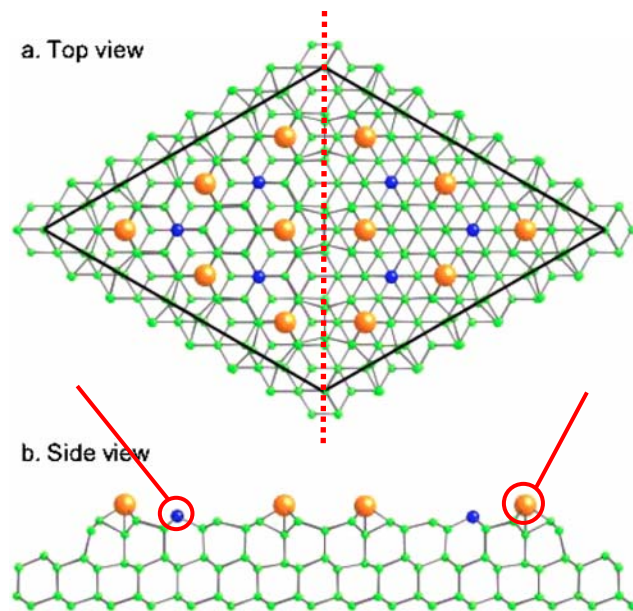
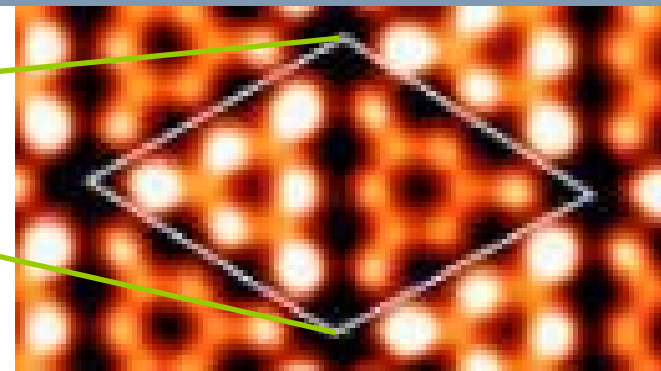
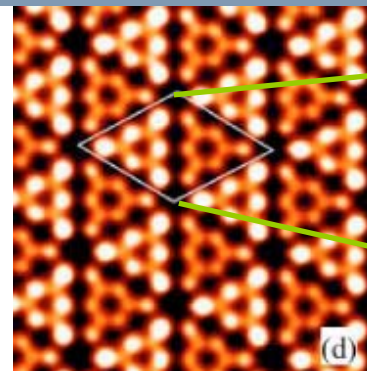




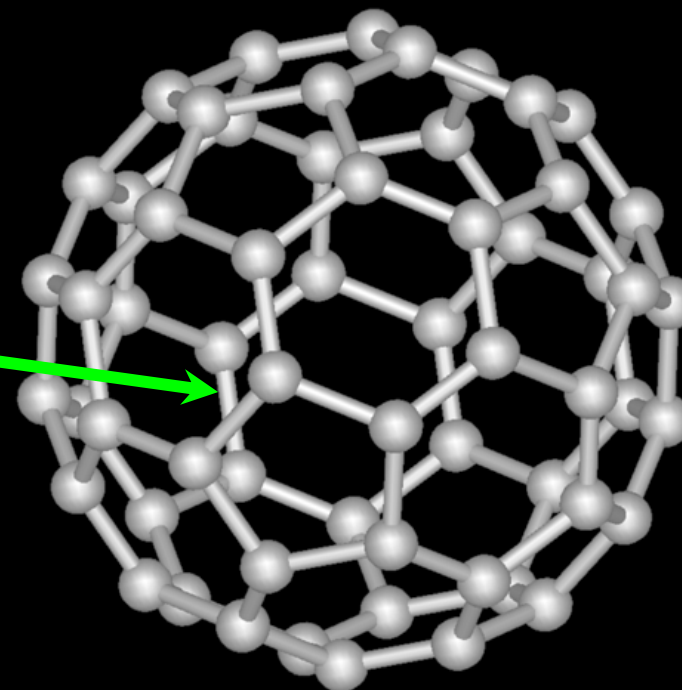
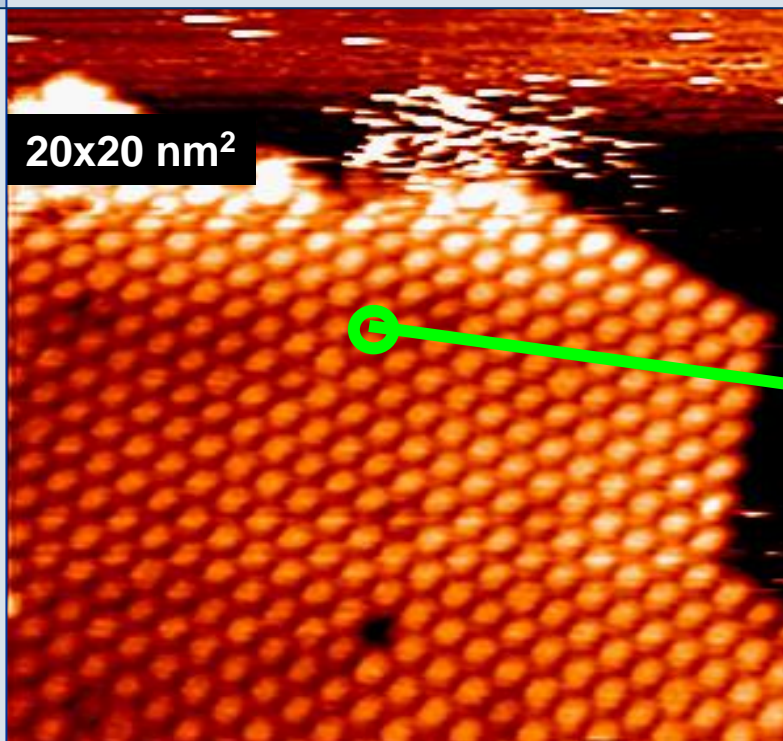
Si(111)7x7



20x20 nm<sup>2</sup>



## Fullereni $C_{60}$ depositati su oro



[www.nemas.polimi.it](http://www.nemas.polimi.it)



## “There's Plenty of Room at the Bottom”

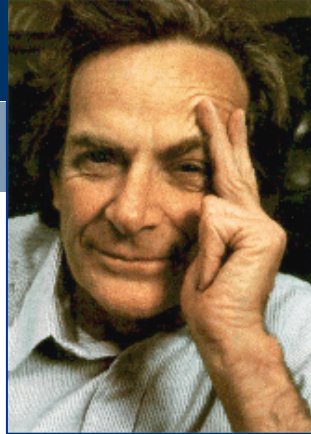
Richard P. Feynman 1959

### *An Invitation to Enter a New Field of Physics*

(annual meeting of the American Physical Society  
at the California Institute of Technology)

**“I principi della fisica, per quanto posso vedere, non parlano dell'impossibilità di manovrare le cose atomo per atomo. Non sarebbe un tentativo in contrasto con alcuna legge; in linea di principio è qualcosa che può essere fatto; ma in pratica non è stato fatto perché siamo troppo grandi.”**

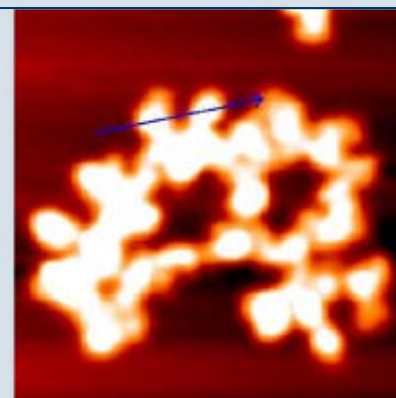
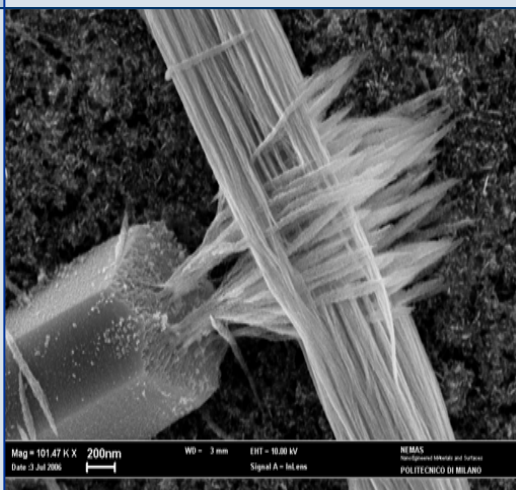
***“Riposizionare gli atomi - Non ho paura di affrontare la domanda finale cioè se alla fine, nel grande futuro che ci aspetta, saremo in grado di disporre gli atomi nel modo che vogliamo; proprio gli atomi, laggiù sul fondo! Che cosa accadrebbe se potessimo disporre gli atomi uno per uno come vogliamo? ragionevolmente, s'intende; non potremo porli in posizioni in cui siano chimicamente instabili, per esempio).”***



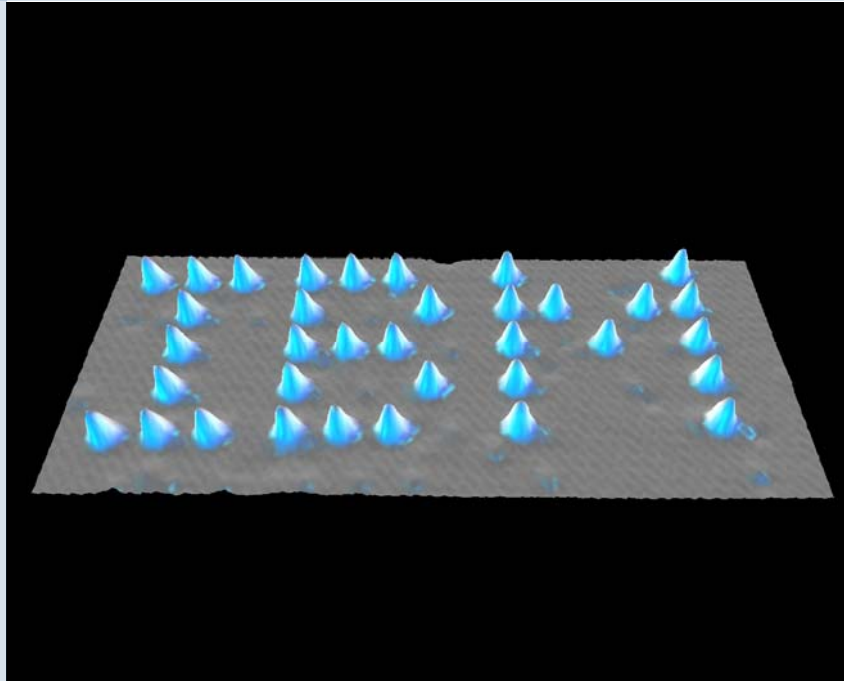


“Gli atomi a piccola scala si comportano come nient’altro si comporta a una grande scala, perchè essi obbediscono alle leggi della meccanica quantistica. Così, quando andiamo laggiù, e ci divertiamo con gli atomi là sul fondo, lavoriamo con leggi differenti e possiamo aspettarci di poter fare cose differenti. Possiamo produrre oggetti in modo diverso. Possiamo usare non solo circuiti ma qualche sistema che coinvolge **i livelli quantizzati di energia**, o le **interazioni di spin** quantizzati, ecc.”

*Richard P. Feynman 1959*



40x40 nm<sup>2</sup>



*Xenon on Nickel (110)*

G. Binnig and H. Rohrer: In touch with atoms

S327

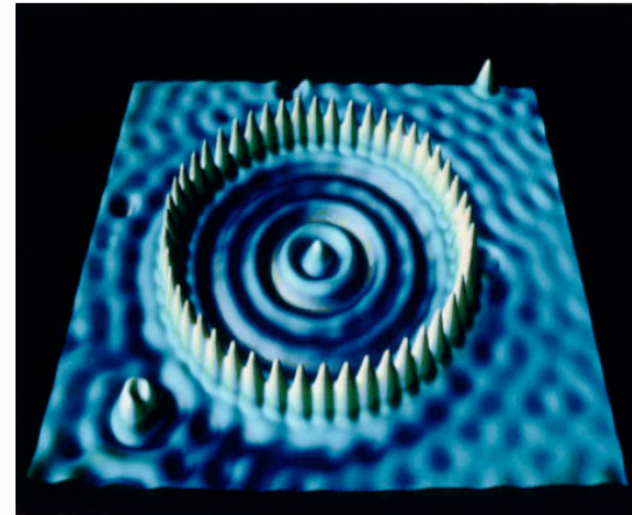
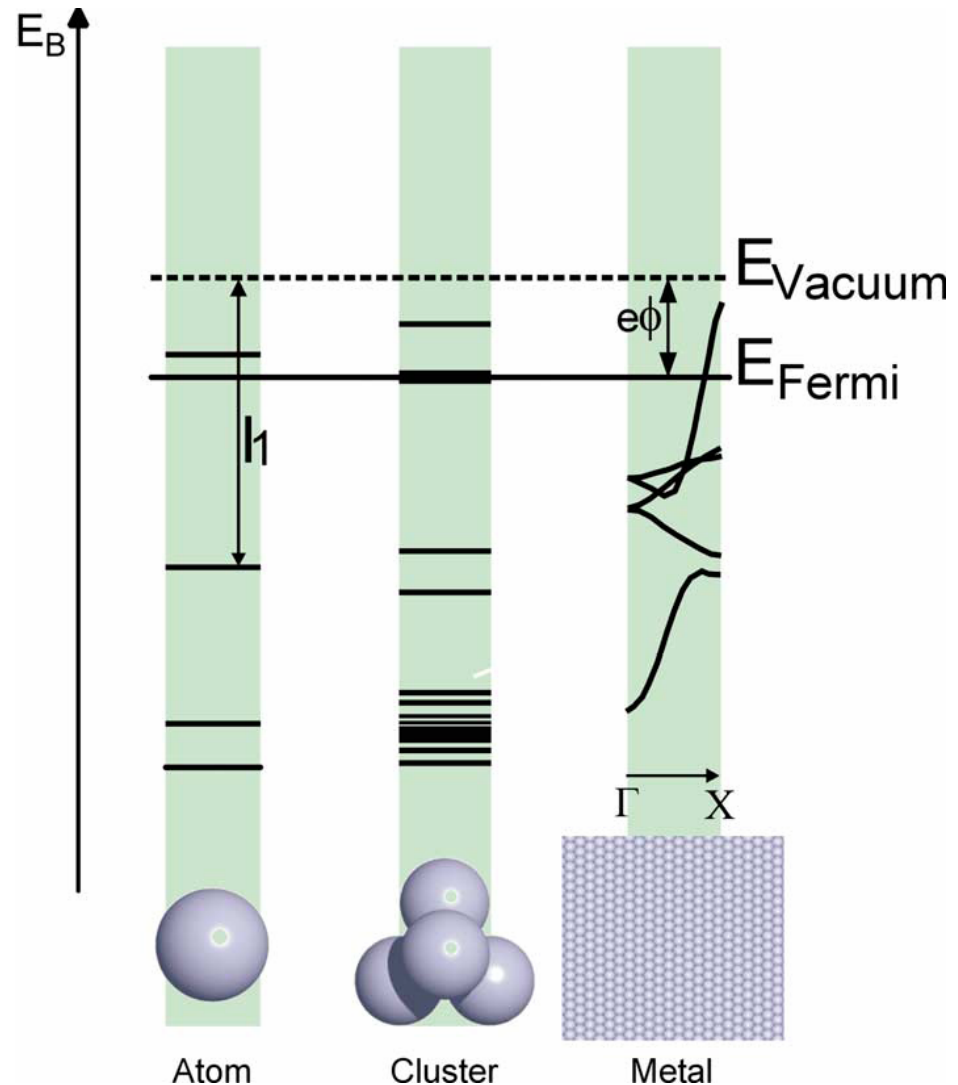


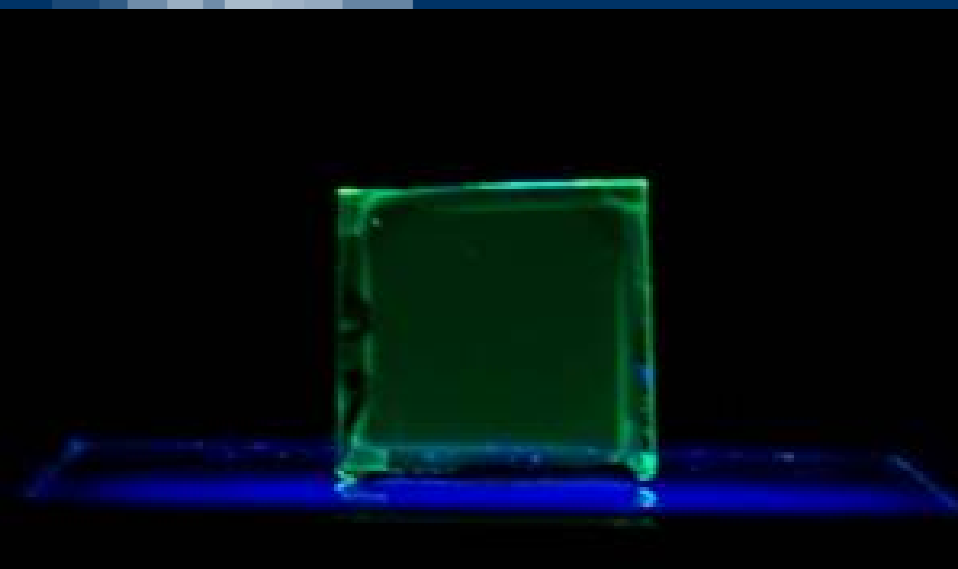
FIG. 2. (Color) STM image of a quantum corral for electrons built with 48 iron atoms on copper. The same tip is used to position the iron atoms into a 12.4-nm-diameter ring and to image them and the wave-structure interior caused by the confined surface-state copper electrons. Courtesy D. Eigler, IBM Research Center, Almaden, CA.



Solo alla nanoscala le proprietà dipendono fortemente dalla dimensione

Controllando la **dimensione** di un cluster (*superatomo*) o di un'altra nanostruttura (nanotubo, nanofilo, ecc.) si **modulano** le sue proprietà senza cambiarne la composizione chimica





green

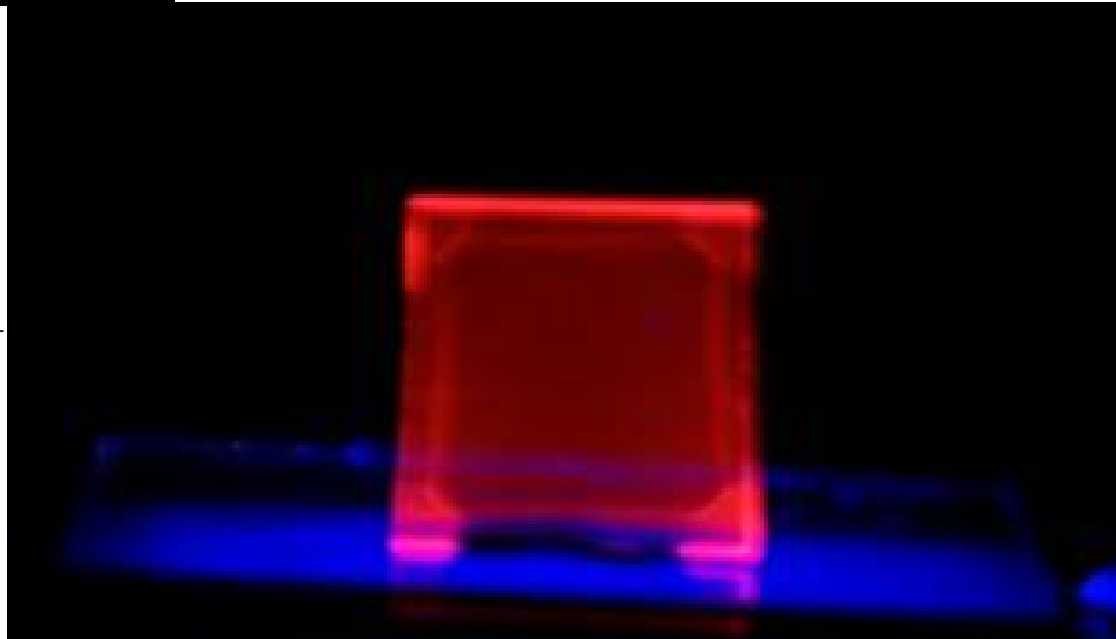
---

3 nm

red

---

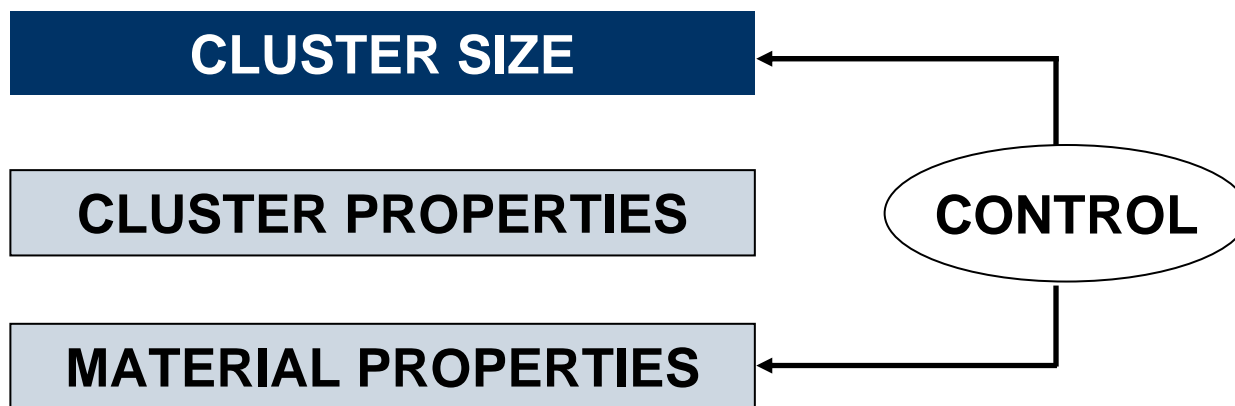
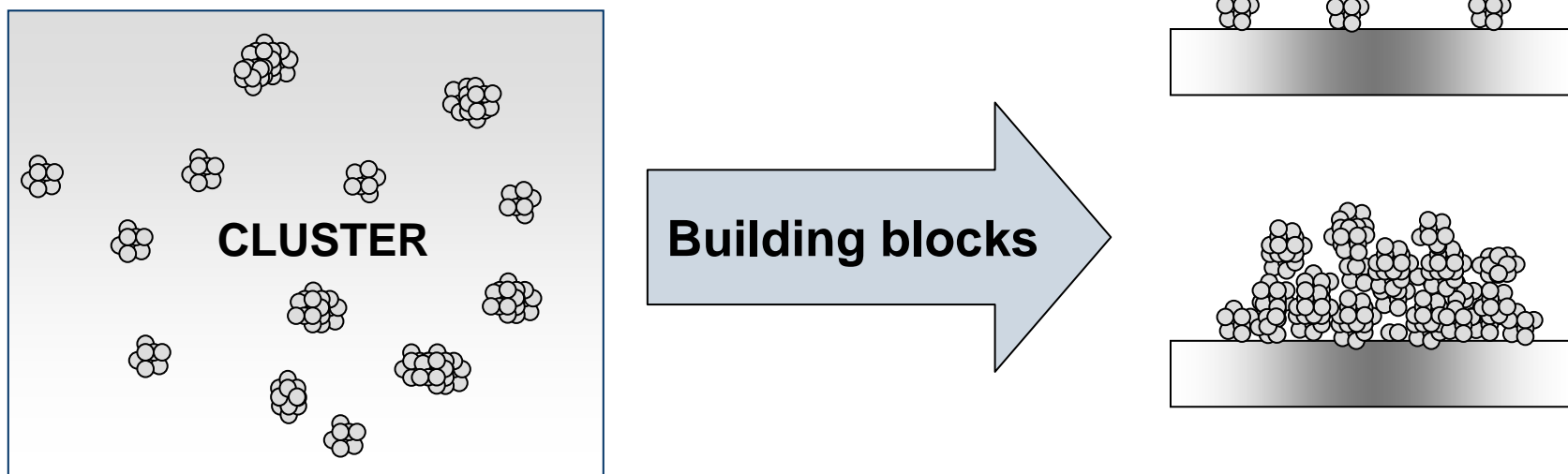
4 nm







# Una categoria emblematica: I nanomateriali assemblati da cluster





- Step assists on vans
- Bumpers on cars
- Paints and coatings to protect against corrosion, scratches and radiation
- Protective and glare-reducing coatings for eyeglasses and cars
- Metal-cutting tools
- Sunscreens and cosmetics
- Longer-lasting tennis balls
- Light-weight, stronger tennis racquets
- Stain-free clothing and mattresses
- Dental-bonding agent
- Burn and wound dressings
- Ink
- Automobile catalytic converters.



©2006 D. HAWXHURST/WILSON CENTER

**Nanotechnology is rapidly advancing, with more than 300 nanoproducts already on the market.**

# Dal 1990 la produttività scientifica e gli investimenti nel settore sono stati in continuo aumento

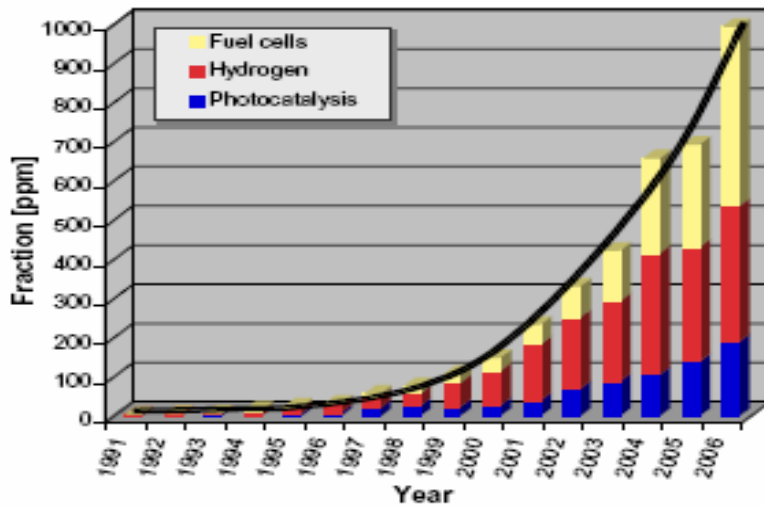
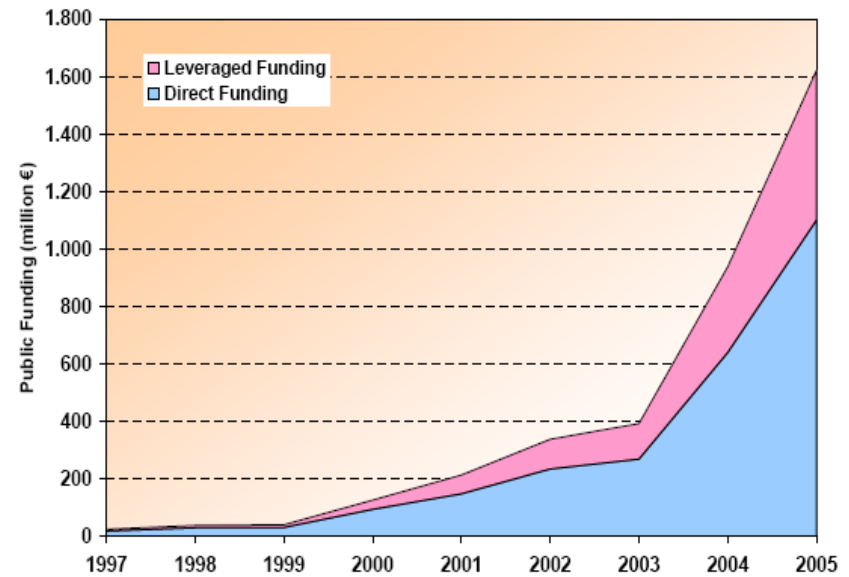


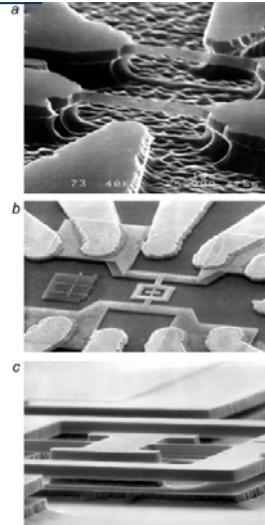
Fig. 2. The number of scientific publications involving Nanoscience as a Nano technology as tools to tackle energy- and environment-related issue has been increasing enormously during the past decade, as illustrated here for a few selected areas. Data obtained from the 'Web of Science', with the following search terms: (nano\* AND fuel cell\*), (nano\* AND hydrogen production) OR (nano\* AND hydrogen storage), (nano\* AND photocat\*). The number of publications has been normalized with the total number of records for the respective year in order to compensate for a general increase in scientific activity.

Figure 16: Integrated FP funding devoted to nanotechnology R&D (2005 data are a to-date estimate and subject to change)



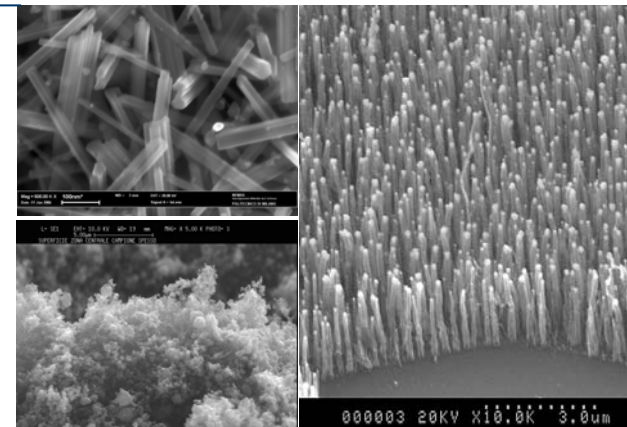
## Evolutionary nanotechnology

- filosofia: partendo dalle strutture esistenti  
-> *smaller, better, cheaper*
- tecnologie top-down
- mercato prevedibile:  
1500 miliardi di dollari nel 2010



## Revolutionary nanotechnology

- filosofia: nuovi materiali assemblati  
*atomo per atomo o nanostruttura per nanostruttura*
- tecnologie bottom-up
- mercato non prevedibile



Al livello della ricerca di base, cruciale sarà la fusione sinergica delle *nanotecnologie* e della più matura *scienza delle superfici*.

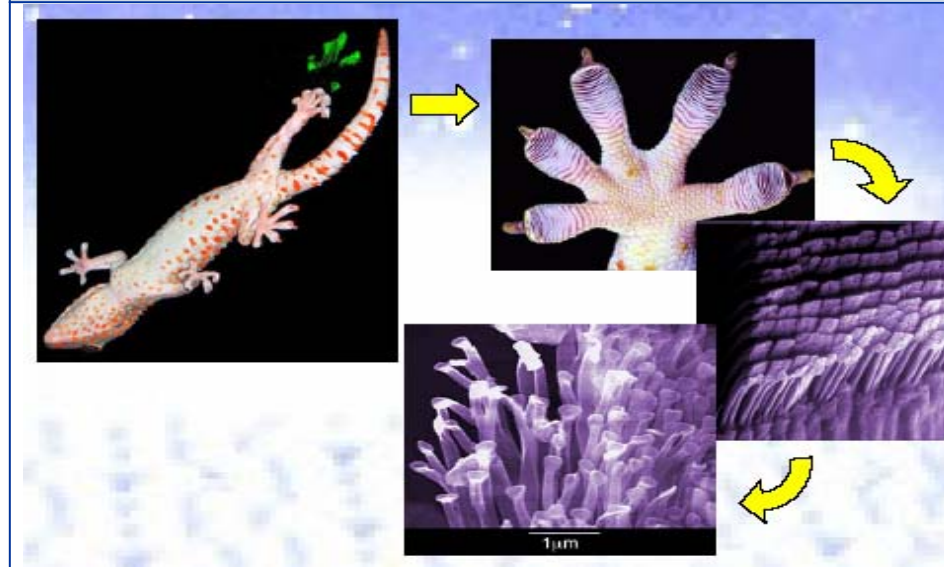
Le aree più promettenti:

- *light harvesting* (solare fotovoltaico e dissociazione dell'acqua)
- celle a combustibile
- fotocatalisi
- catalisi eterogenea e catalisi degli enzimi
- stoccaggio dell'idrogeno (idruri metallici ?)
- materiali nanocristallini in genere, con eccezionali caratteristiche tribologiche e di duttilità

Sfuma la distinzione tra materiali strutturali e materiali funzionali

Il materiale deve autodiagnosticarsi e, ove possibile, autoripararsi (connubio scienza dei materiali-sensoristica-elettronica)

La natura ha prodotto superfici e materiali nanostrutturati con proprietà eccezionali: imitiamola



**Il Rettore Gino Cassinis ed Ercole Bottani fondano il primo centro di calcolo elettronico in Europa.**

**E' l'inizio dell'informatica in Italia (1954)**

***“L'insegnamento della struttura atomica della materia non è particolarmente utile per l'elettrotecnica e, in generale, per l'ingegneria. Solo i modelli basati sulle grandezze macroscopiche, le uniche direttamente misurabili, sono di utilità pratica”***  
***(dal ricordo di un colloquio privato, 1976)***



## Ombre

- Parte in ritardo
- Il finanziamento pubblico è modesto in assoluto e rispetto ad altre nazioni europee (1/4 di quello tedesco)
- Frammentazione (problemi di massa critica)
- Limitata capacità di produrre i nuovi materiali e costruire con essi dispositivi
- Insufficiente osmosi tra ricerca pubblica e privata

## Luci

- Ottima produttività scientifica dei ricercatori
- Notevole miglioramento negli ultimi dieci anni nella capacità di fabbricazione/sintesi (potenziamento dei laboratori e delle *facilities*)
- Aumento del grado di interdisciplinarietà
- Ruolo positivo di CNR, CNR-INFN, INSTM, CNISM e Centri di Eccellenza MIUR nelle università



Sono ancora valide le raccomandazioni del 2001 dell' *European White Book on Fundamental Research in Materials Science* pubblicato a cura del Max Planck Institute für Metallforschung di Stuttgart.

Poiché la ricerca pubblica dev'essere prevalentemente di tipo *revolutionary*,

- la priorità n. 1: la scoperta e il progetto di **nuovi materiali**
- la priorità n. 2: i materiali speciali ad alto potenziale di innovazione, quali i **materiali intelligenti** (smart and self repairing materials), i **biomateriali**, i **nano-materiali** e i **materiali per le sorgenti alternative di energia**.
- Andrebbero rifondati i **laboratori di ricerca congiunti università - imprese** (quali negli USA sono stati i gloriosi esempi di IBM, AT&T, Dupont, Corning e EXXON): hanno rappresentato la migliore modalità di collaborazione università-imprese mai sperimentata. **Come riproporla oggi in un contesto globale radicalmente mutato?**