

BENVENUTI AGLI STUDENTI DI LAB2GO



VEDERE E MANIPOLARE GLI ATOMI: DAL SOGNO DI FEYNMAN
AI MATERIALI DEL FUTURO: UNA LEZIONE DAL LABORATORIO
DI SCIENZA DEI MATERIALI DI TOR VERGATA PER VEDERE UN
MICROSCOPIO A FORZA ATOMICA IN MISURA



Laboratorio di Didattica
della Fisica e della Matematica

UNIVERSITA
DEGLI STUDI
DI ROMA
TOR VERGATA



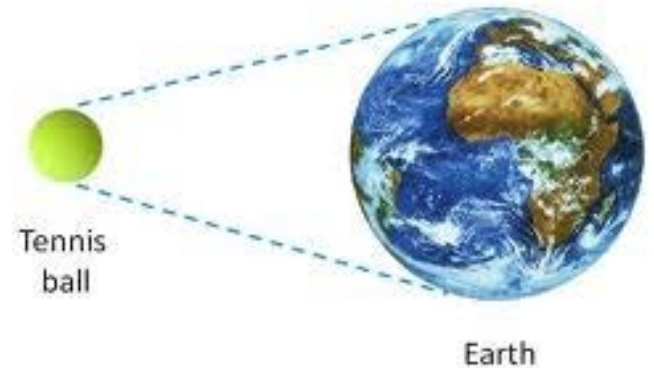
Anna Sgarlata
Giovanni Casini

Roberto Martini
Alessio Spaziani

<http://ldfm.roma2.infn.it/>

SOMMARIO

One nanometer is to a tennis ball
what a tennis ball is to the Earth



1. Una delle sfide attuali che la scienza dei materiali sta giocando riguarda lo sviluppo di nuovi materiali costruiti su una scala inferiore *ai miliardesimi di metro* (nanometro)



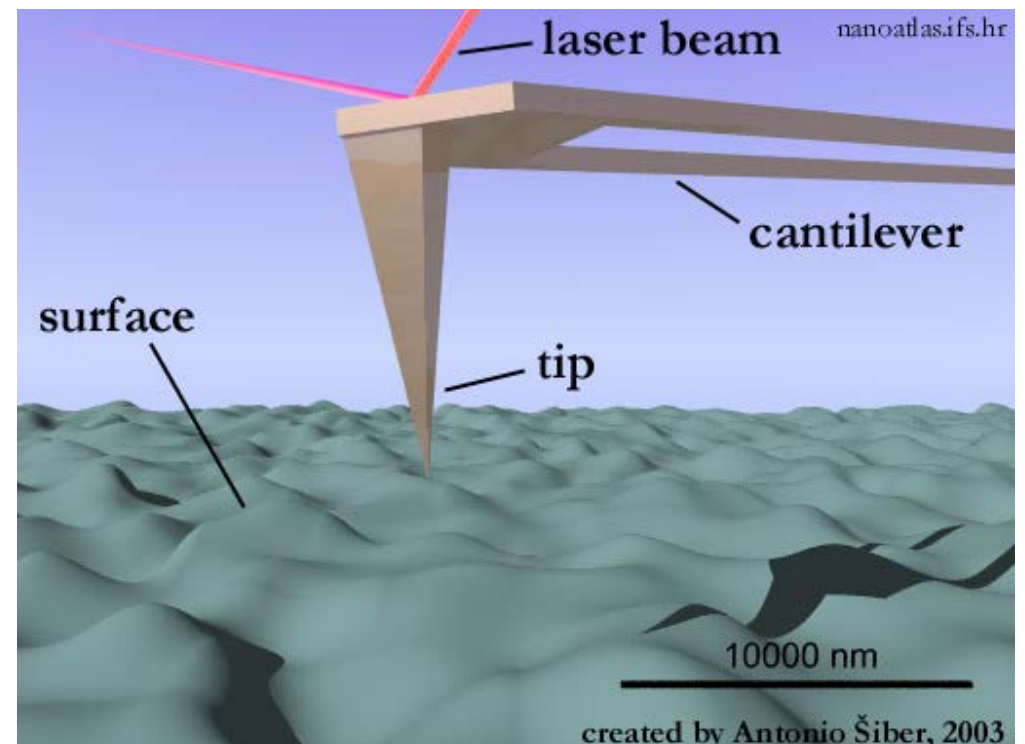
2. Come si possono studiare le proprietà dei materiali su una scala così piccola?

con un microscopio molto potente!

SOMMARIO

3. Gli studenti che studiano **SCIENZA DEI MATERIALI A TOR VERGATA** hanno uno di questi microscopi a disposizione in funzione presso il Laboratorio Didattico

Oggi vi faremo vedere alcune misure acquisite con il nuovo microscopio AFM recentemente acquistato dal Dipartimento di Fisica

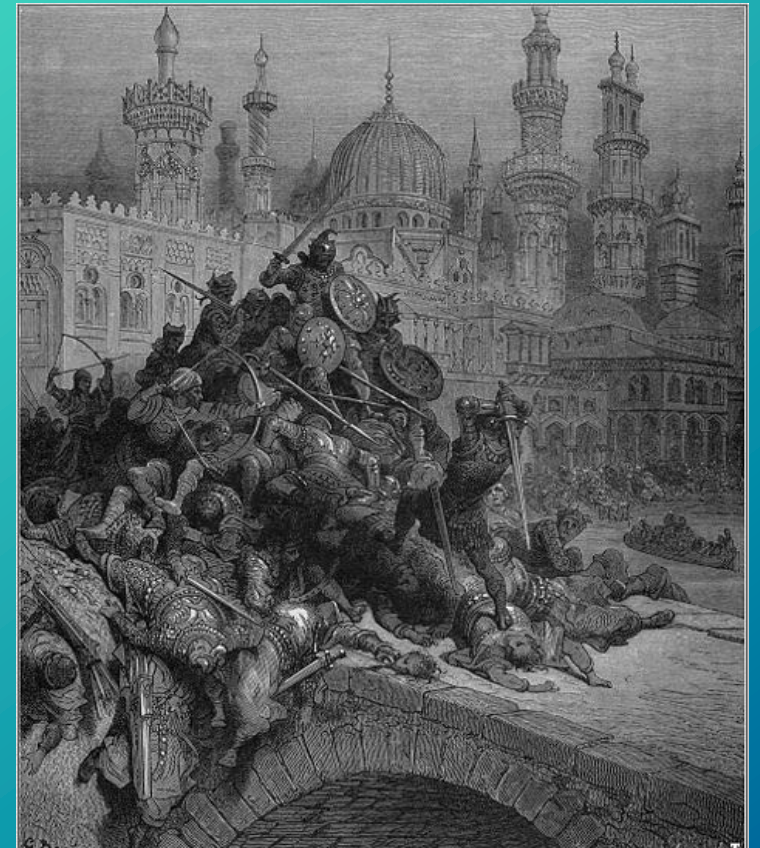


LA SCIENZA DEI MATERIALI HA UNA STORIA
MOLTO ANTICA MA DA SEMPRE LE PROPRIETA'
DEI MATERIALI SONO LEGATE ALLA LORO
NATURA MICROSCOPICA

DUE ESEMPI DAL PASSATO....

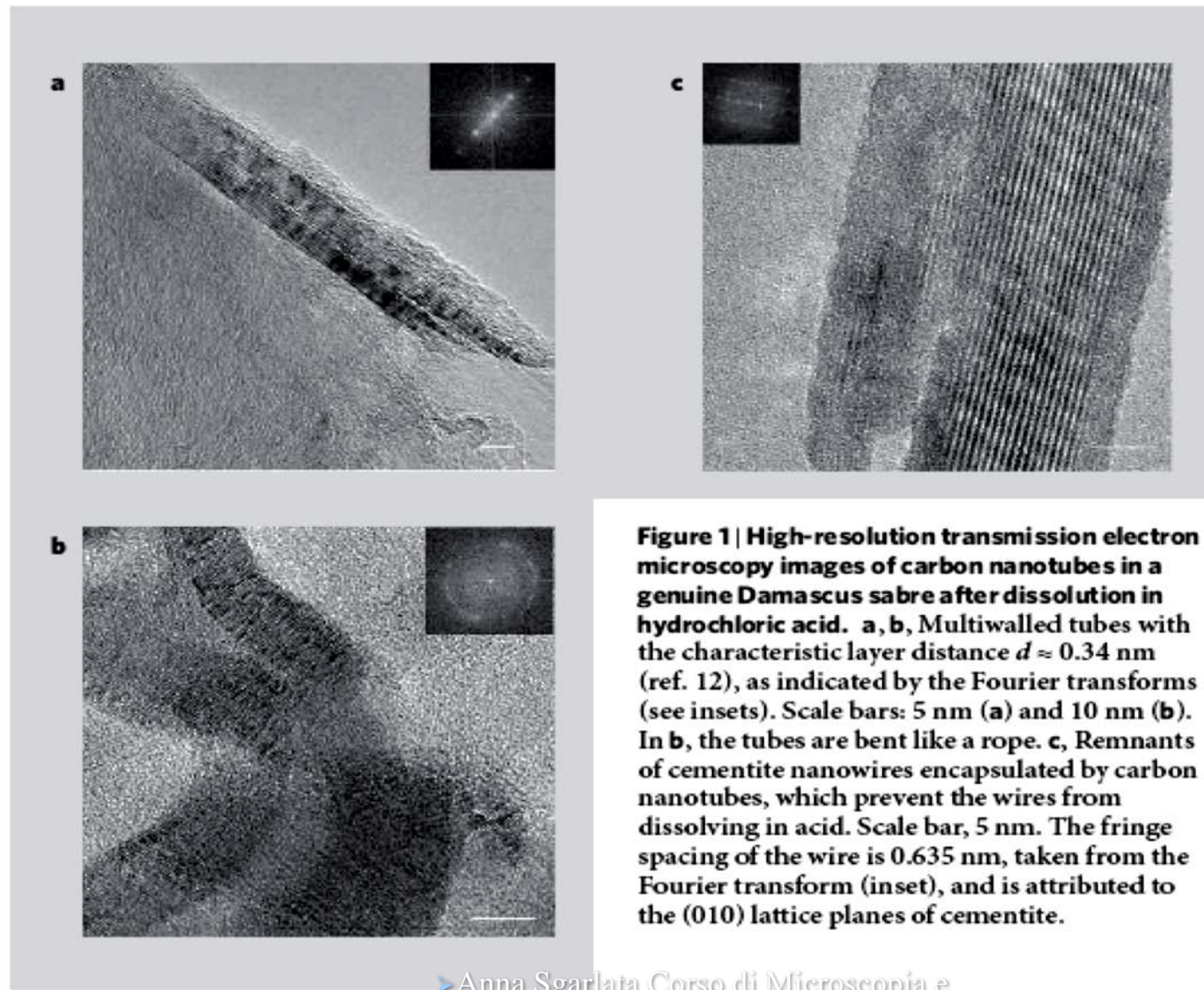


IV sec dc



MATERIALS

Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre



Oggi la Scienza dei Materiali

Oggi la sfida della Scienza dei Materiali si gioca sulla scala degli atomi.

Un esempio per tutti
IL GRAFENE

l'ultimo materiale che è stato scoperto tra le cosiddette forme allotropiche del

Carbonio

➤ Anna Sgarlata Corso di Microscopia e Nanoscopia

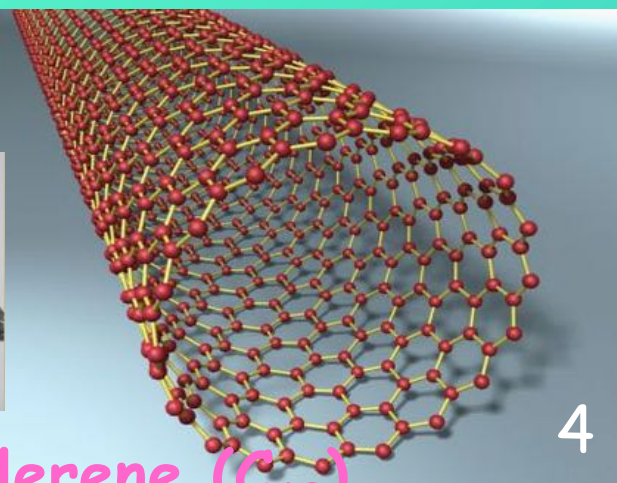
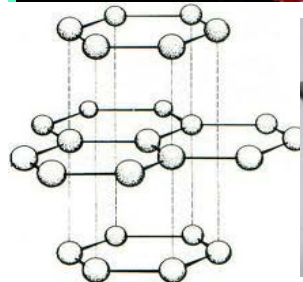
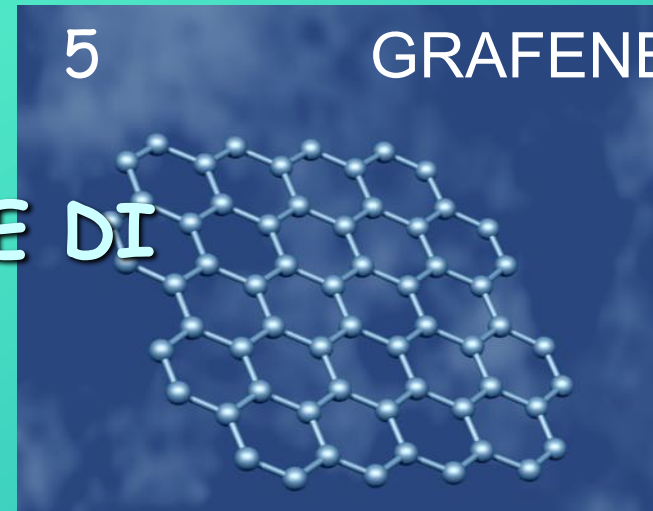
3



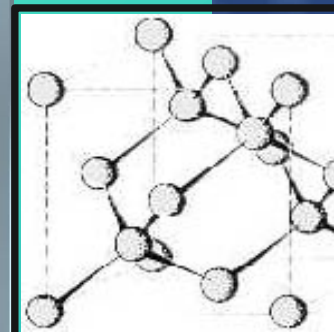
LA RIVOLUZIONE NANOTECNOLOGICA : I NUOVI MATERIALI A BASE DI CARBONIO

5

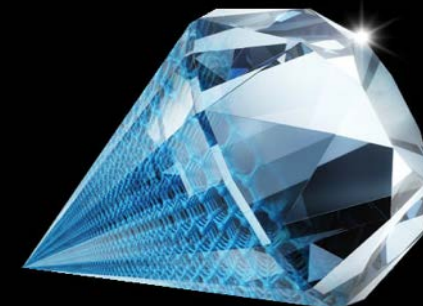
GRAFENE



4



1



3. **Molecola di Fullerene (C_{60})**

4. I **nanotubi di carbonio** sono strutture basate sui fullereni che consistono di cilindri di grafene. Furono scoperti nel 1991 da S. Iijima quasi per caso durante la sintesi di fullereni per evaporazione ad arco.

5. Il **Grafene** è una molecola bidimensionale di atomi di carbonio ibridizzati nella forma sp^2 che si dispongono a formare esagoni con angoli di 120° .

Immagine STM di uno strato di Grafene cresciuto su una superficie di Ge(001) misurato a Tor Vergata

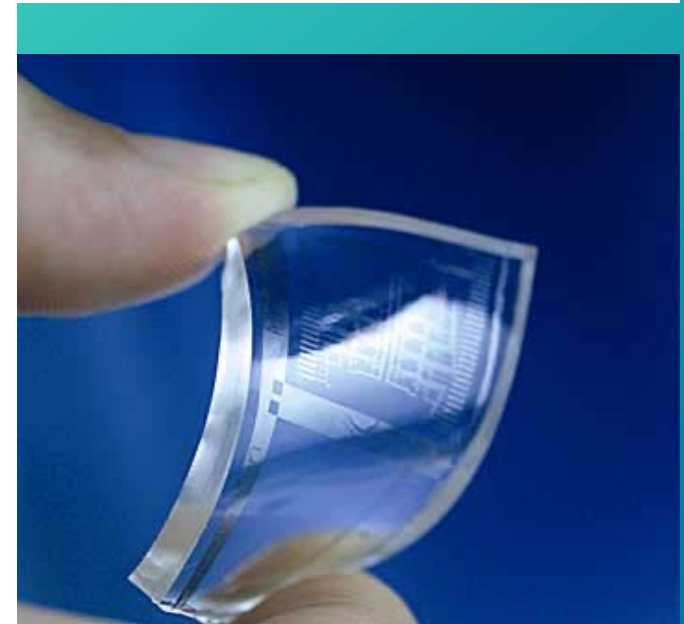
9.3 Å



IL GRAFENE : un vero materiale 2D.

ECCEZIONALI PROPRIETA':

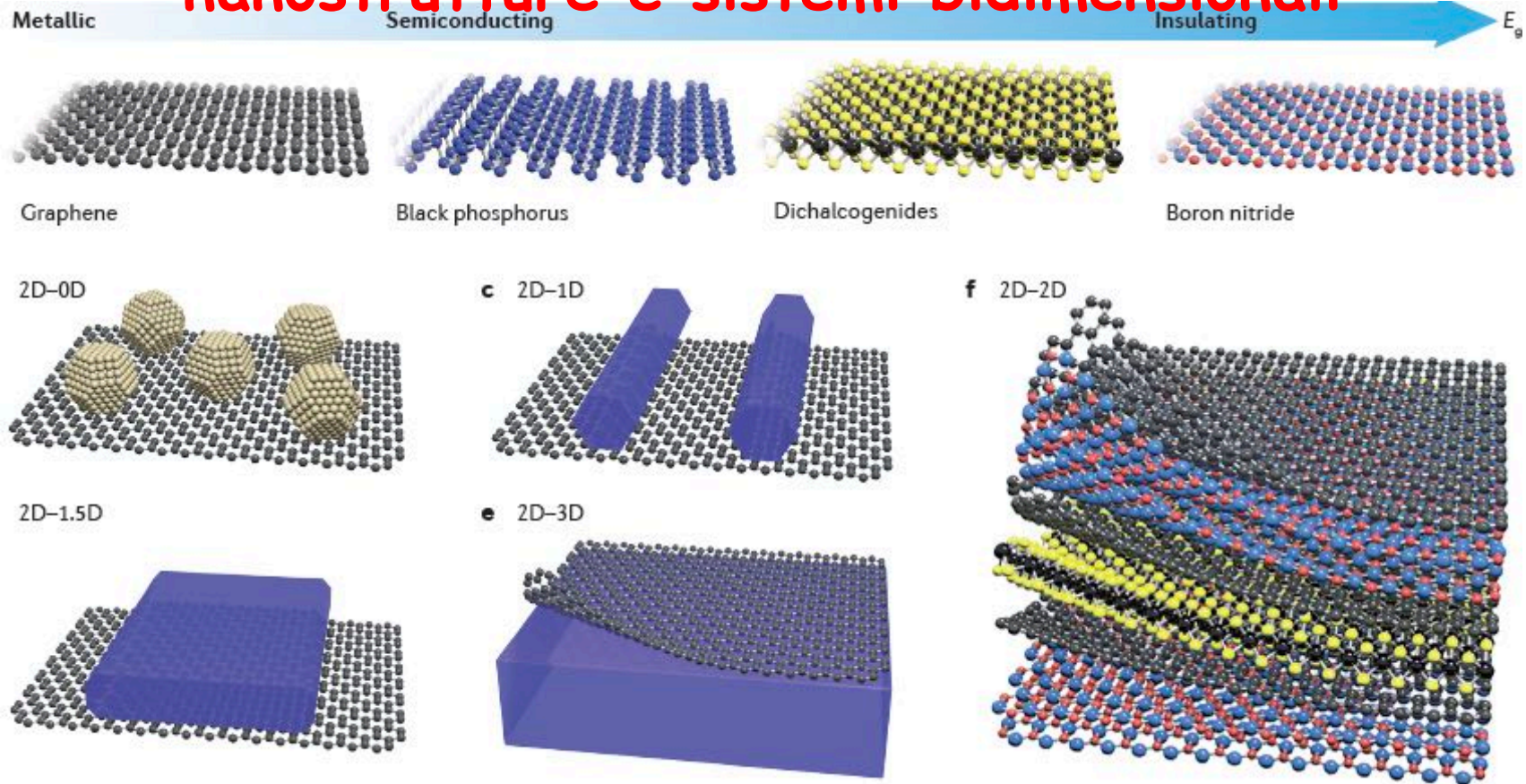
- * elettroniche (particolarissime bande elettroniche, elevata mobilità, massa nulla degli elettroni e delle lacune, ecc.)
- * meccaniche (il materiale centinaia di volte più resistente dell'acciaio, ma anche 1000 volte più leggero della carta-, estremamente flessibile)
- * ottiche (quasi trasparente)
- * ...e non solo.



Fisica della materia sperimentale a Tor Vergata

Nuovi materiali semiconduttori a bassa dimensionalità:

nanostrutture e sistemi bidimensionali



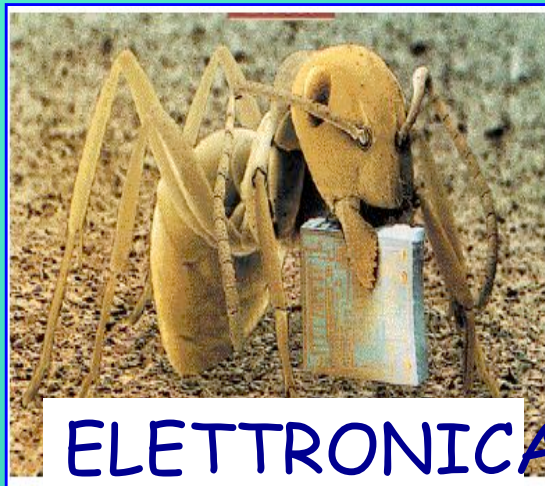
van der Waals heterostructures

Oggi la sfida della Scienza dei Materiali si gioca sulla scala degli atomi e riguarda campi molto diversi della vita di ogni giorno...:

MUSICA



AMBIENTE



ELETTRONICA

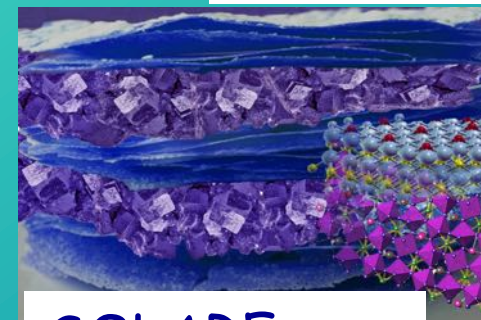


ARTE

SPORT



SOLARE



BIOMIMETICA



MEMORIE

"Nel campo dell'elettronica"

Lo scopo è realizzare computer/cellulari/satelliti sempre più veloci ed efficienti nella trasmissione e immagazzinamento dei dati /compatti/leggeri.

Come fare?

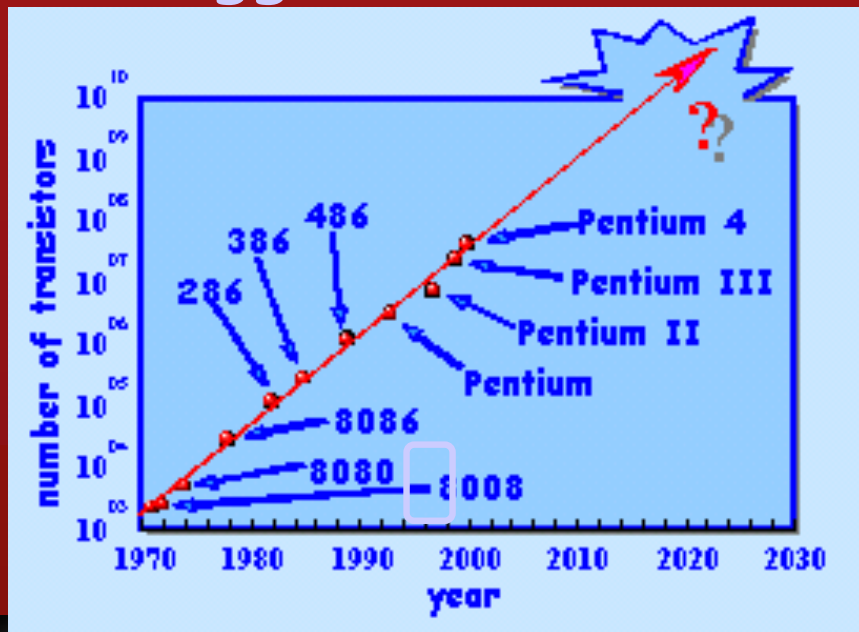
Realizzando circuiti sempre più piccoli con *nuovi materiali* dalle prestazioni sempre più spinte



Anni '90: Una formica ha catturato un microchip di 1mm^2 . Il più piccolo circuito in esso contenuto misura 300nm . Si prevede che le dimensioni dei microchip si ridurranno fino a dimensioni dell'ordine di una cellula.

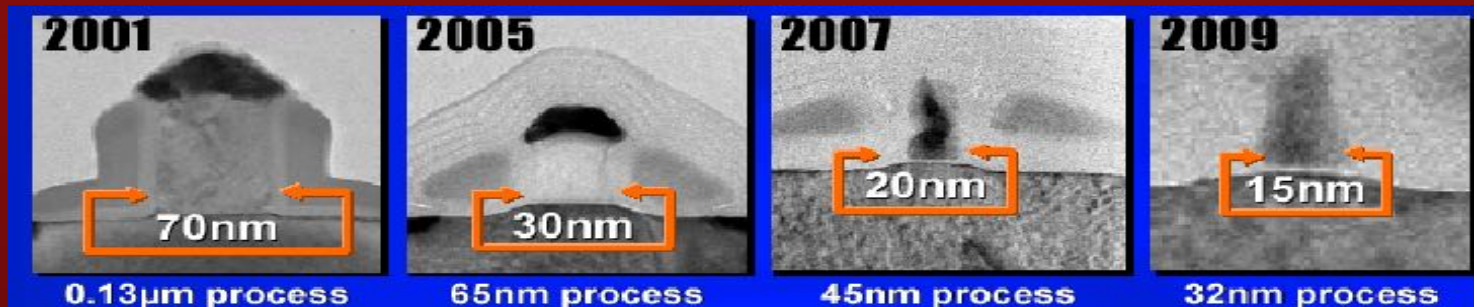
"La rivoluzione nanotecnologica" (1): La legge di Moore

Legge di Moore



Moore è riuscito a predire la straordinaria crescita nella potenza di calcolo e nella capacità di immagazzinamento dati nell'industria microelettronica.

Intel Nanotransistors

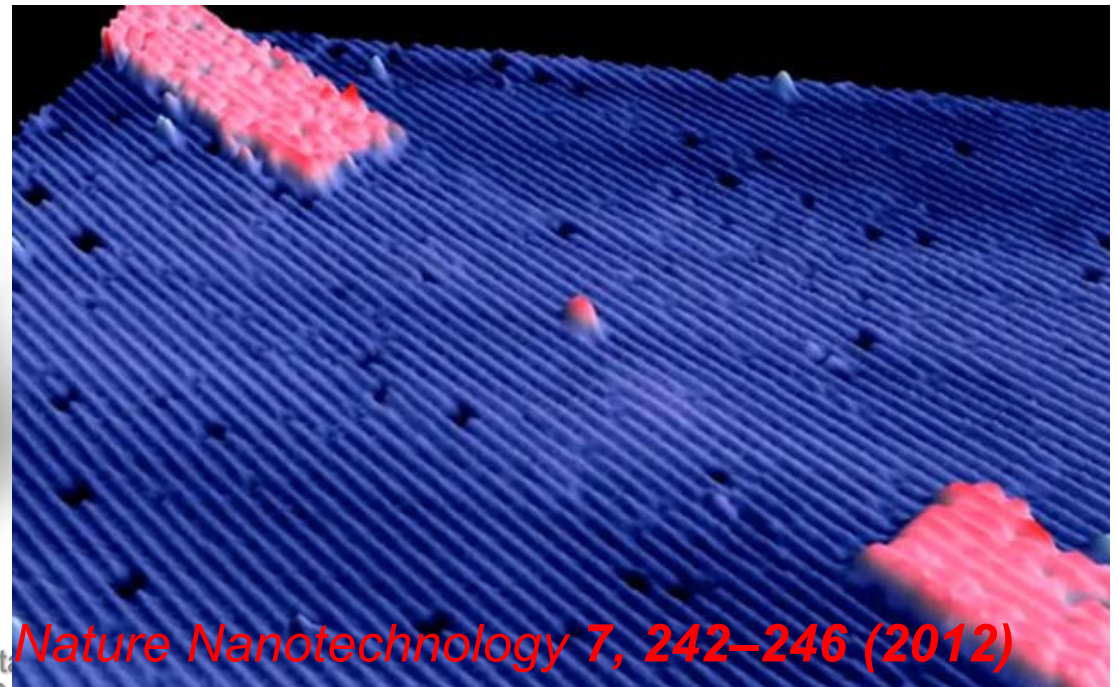
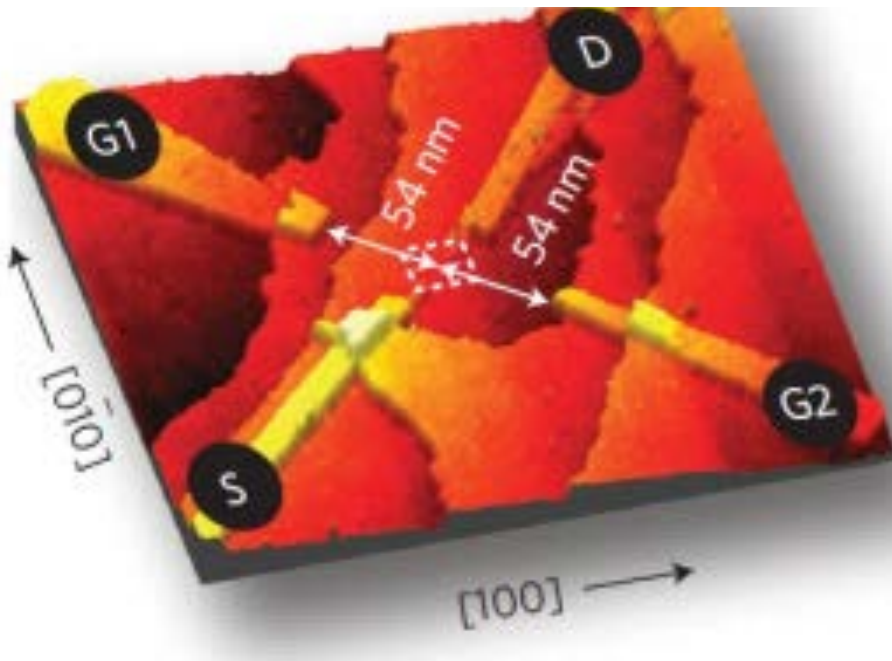


"Introduction to Nanoscale Science and Technology, Ed by M. Di Ventra et al.

IL TRANSISTOR PIU' PICCOLO AL MONDO.....

Maggio 2012 In un laboratorio di Sidney presso il Quantum Computing Center viene costruito il primo SED (Single Electron Devices) usando un STM

Un singolo atomo di P e' impiantato in uno specifico sito di una superficie di Si(001)



>Anna Sgarlati

Nanoscopia

Nature Nanotechnology 7, 242–246 (2012)

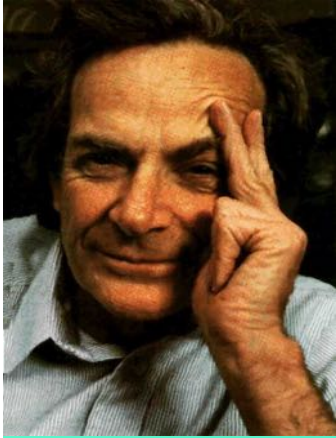
IL COMPUTER QUANTISTICO di Google: UNA REALTA'?

Tempo fa è apparso su sito della Nasa un paper dal titolo **Quantum supremacy using a programmable superconducting processor**. L'articolo è rimasto online per poche ore, ma tanto è bastato a generare una valanga di commenti, controversie, polemiche, supposizioni e speranze tra la comunità degli addetti ai lavori.

The Future of Search
Quantum Computing + You
Google



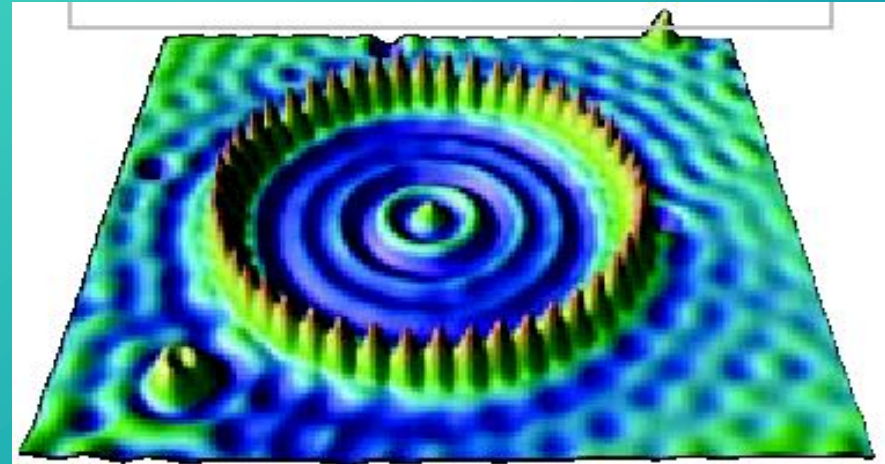
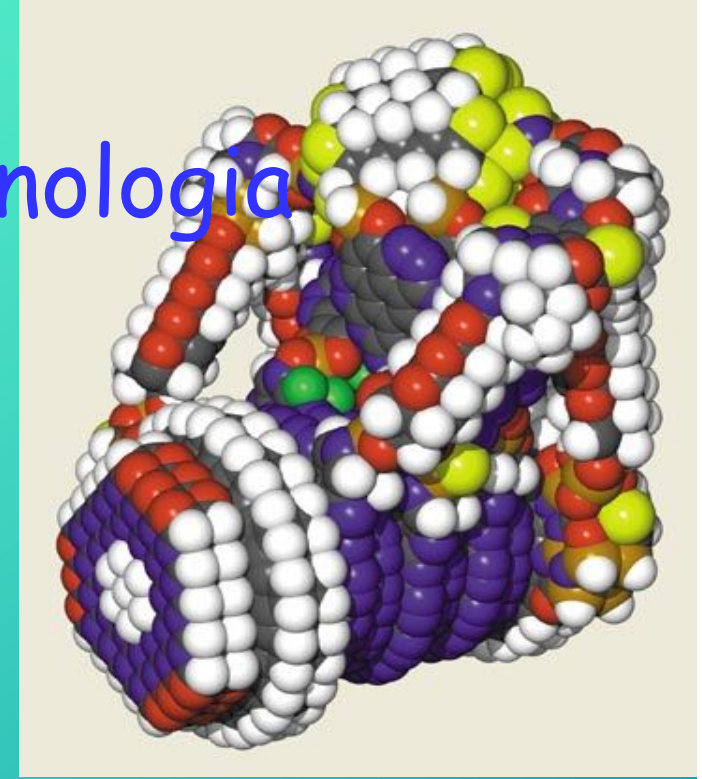
In poche parole: **Sycamore**, il computer quantistico di Google, sarebbe riuscito a conseguire la cosiddetta **supremazia quantistica**, ossia a svolgere nel giro di pochi minuti, e per la prima volta al mondo, una serie di operazioni che i computer tradizionali impiegherebbero **decine di migliaia di anni** a svolgere.



Richard Feynman: il Padre della Nanotecnologia

IL 29 DICEMBRE 1959 FEYNMAN TENNE UN FAMOSO DISCORSO:

"Ciò di cui voglio parlare è il problema di manipolare e controllare le cose su una piccola scala. [...] Ma non mi spaventa affrontare anche la questione finale, cioè se - in un lontano futuro - potremo sistemare gli atomi nel modo in cui vogliamo; proprio i singoli atomi, al fondo della scala! [...] Per quanto ne so, i principi della fisica non impediscono di manipolare le cose atomo per atomo. Non è un tentativo di violare alcuna legge; è qualcosa che in principio può essere fatto, ma in pratica non è successo perché siamo troppo grandi".



**Quantum Corral
(Atomi di Fe su Cu)**

Nanotechnology founding speech

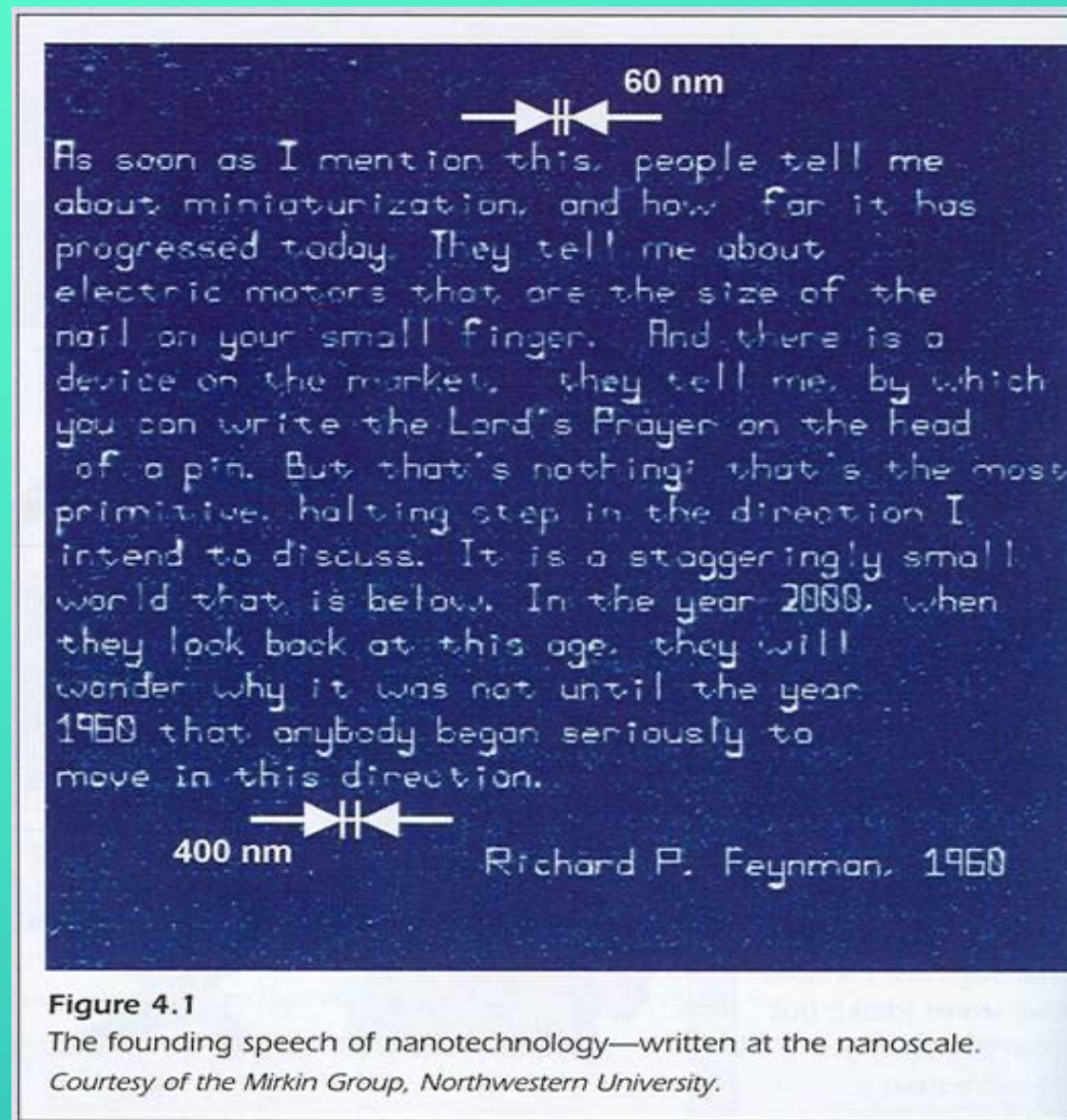
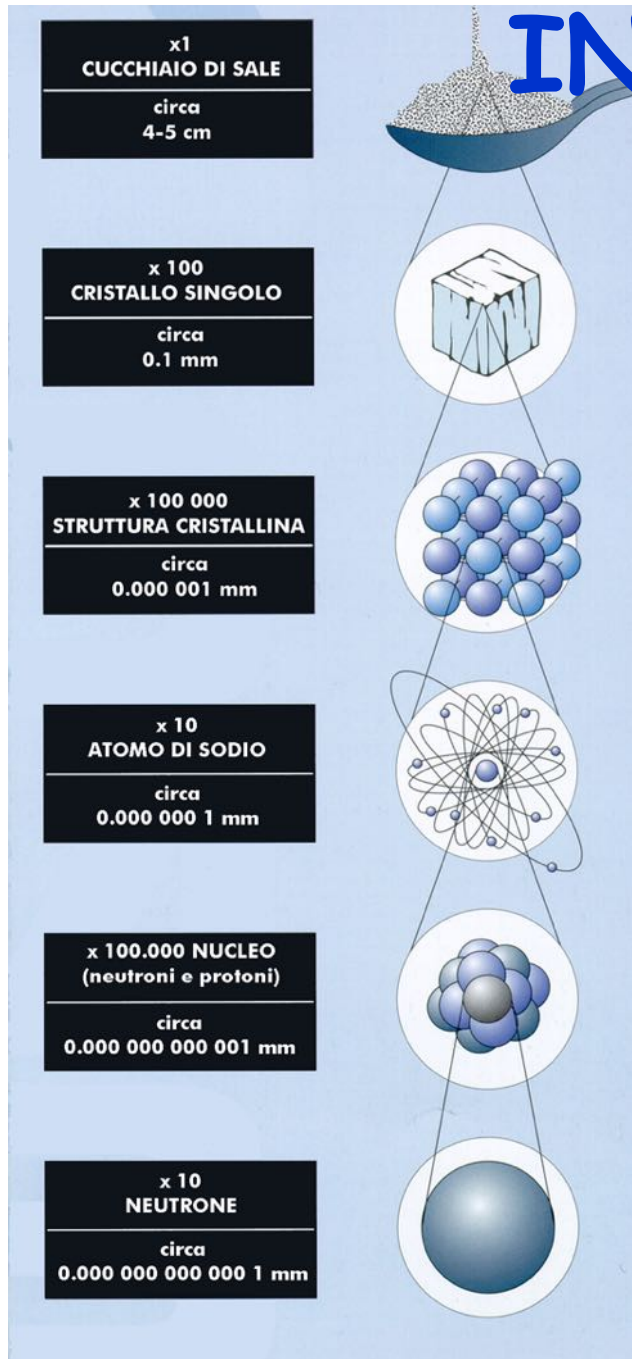


Figure 4.1

The founding speech of nanotechnology—written at the nanoscale.

Courtesy of the Mirkin Group, Northwestern University.

INTRODUZIONE AL MONDO MICROSCOPICO



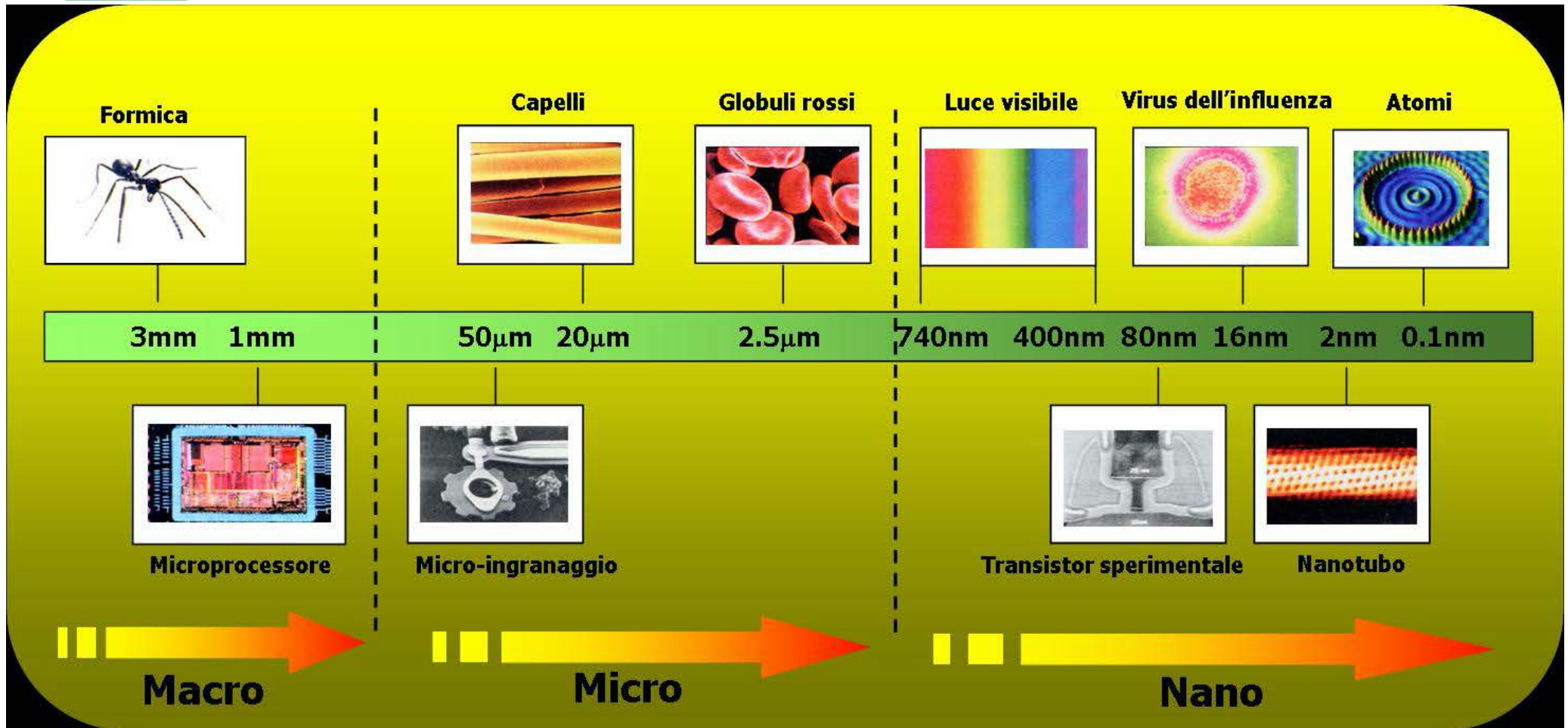
Il mondo
Microscopico e
Nanoscopico



Come si può studiare il
mondo nano ?

CON UN MICROSCOPIO
MOLTO MOLTO POTENTE

L'Infinitamente Piccolo

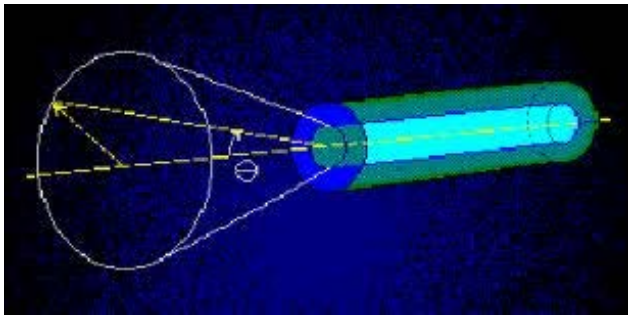


**Quali sono le dimensioni
degli atomi?
E' possibile "vederli" ?**

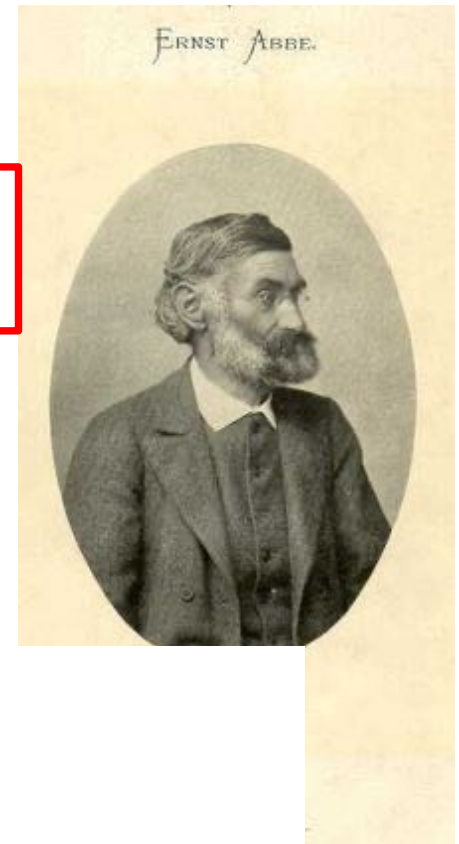
?

Quali sono le dimensioni degli atomi? Si può "vederli" ?

Teoria di E. Abbè
1872



$$D = \frac{\lambda}{2n \sin(\vartheta)}$$



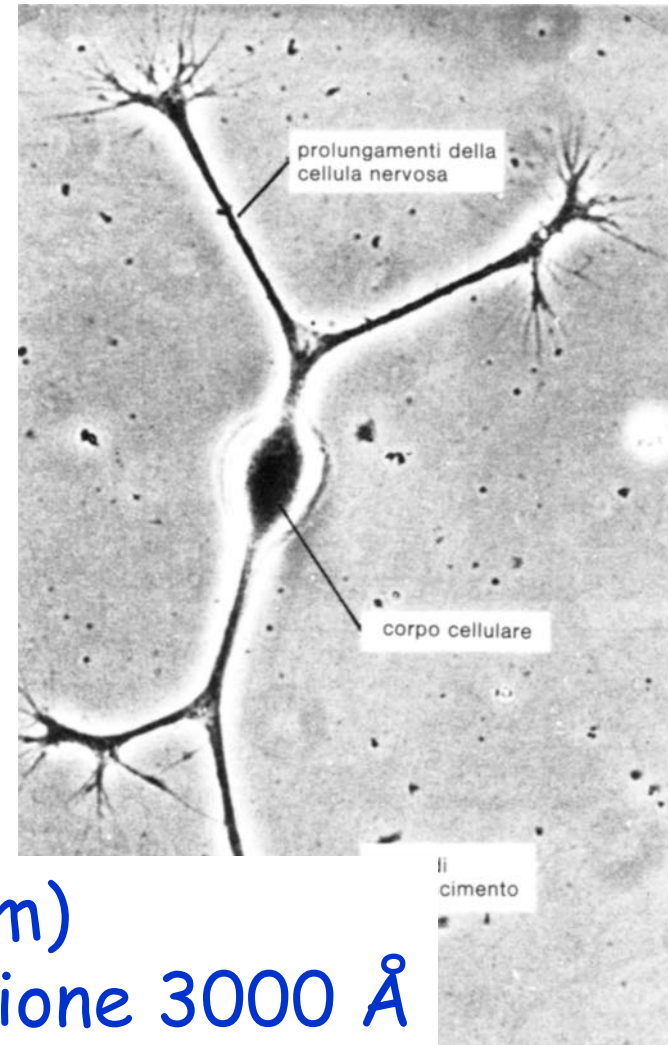
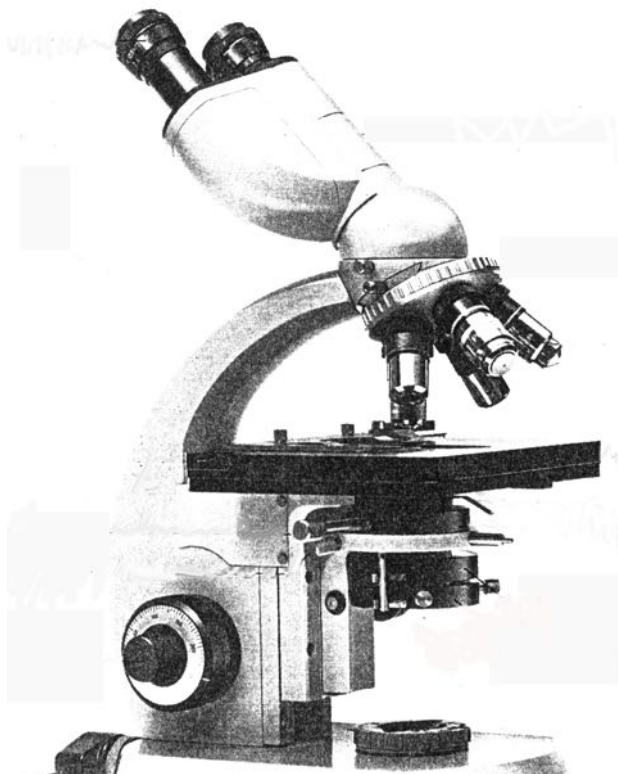
D = limite di risoluzione

Per migliorare la risoluzione due possibilità:

1. Diminuire λ
2. Aumentare n

Il mondo Microscopico e la sua evoluzione:

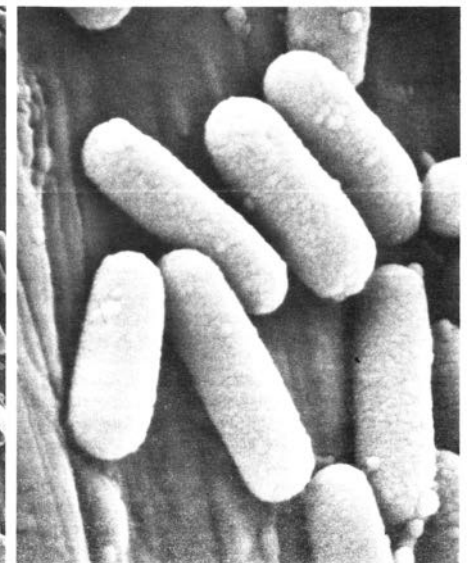
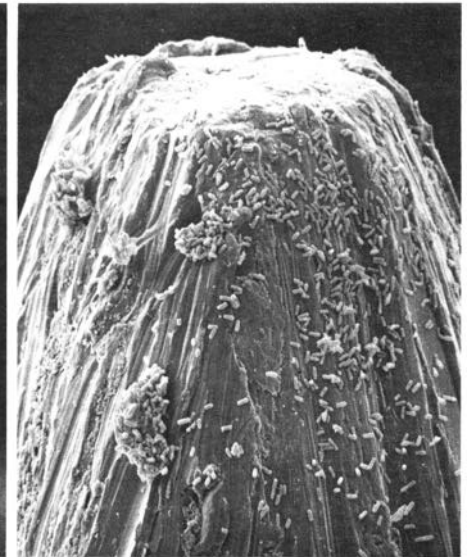
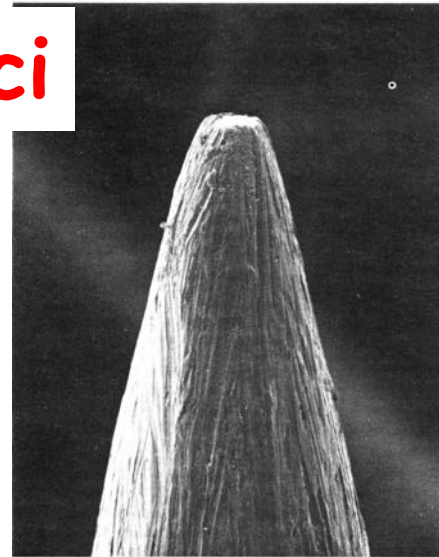
Microscopi Ottici



Sorg.=Luce ($\lambda \sim 0.5 \mu\text{m}$)
Lenti=ottiche ($n \sim 1.5$)-Risoluzione 3000 \AA

Il mondo Microscopico e la sua evoluzione:

Microscopi Elettronici



Sorg.=elettroni($\lambda=h/mv\sim 0.04\text{\AA}$)
Lenti=magnetiche-Risoluzione 2-5 \AA

1982: qualcosa di nuovo...

**Scoperta di uno strumento che supera
tale limite...**

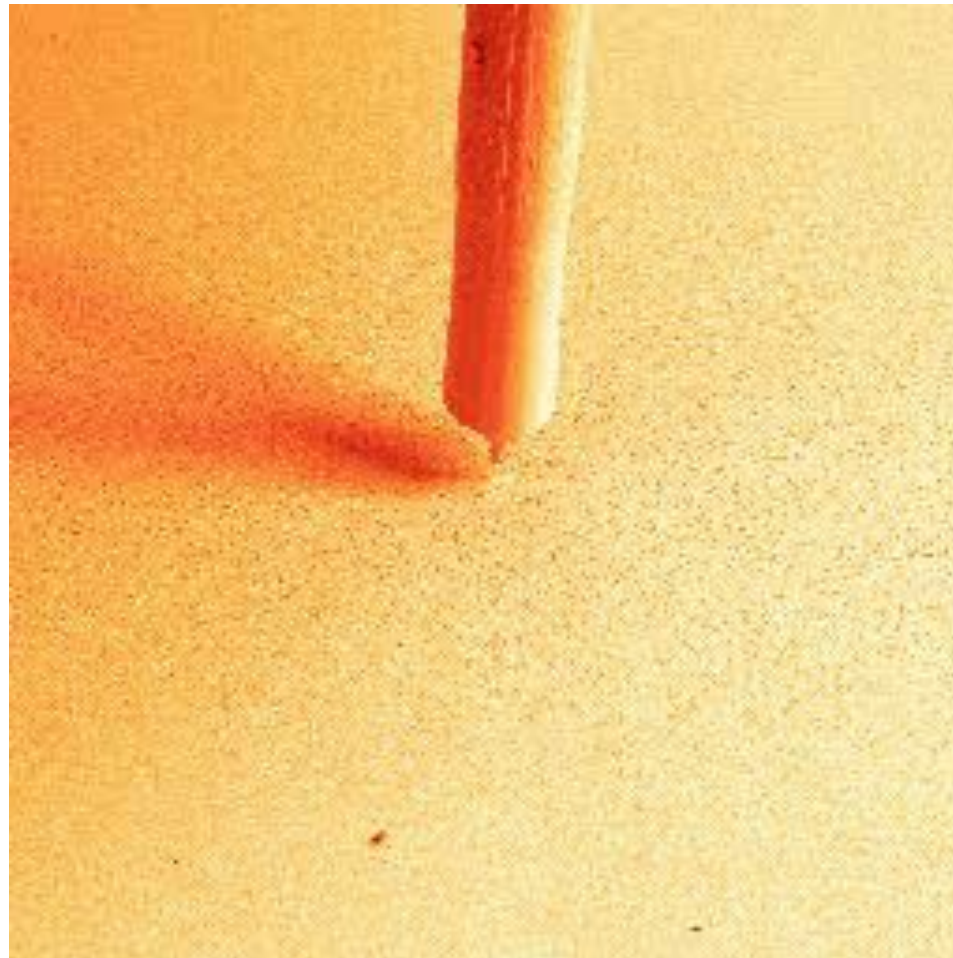
IL MICROSCOPIO STM

STM

IL NOME...

- S** ● **Scanning** Perché la punta 'spazza' letteralmente la superficie del campione
- T** ● **Tunneling** Perché il principio di funzionamento si basa sull'effetto tunnel
- M** ● **Microscopy** Perché permette di ottenere immagini della superficie con una risoluzione inferiore agli Å

Il Microscopio STM in misura...



SEM-movie during the STM measurement of
a small Pb particle on Ru(001) (Voigtlaender - Juelich)

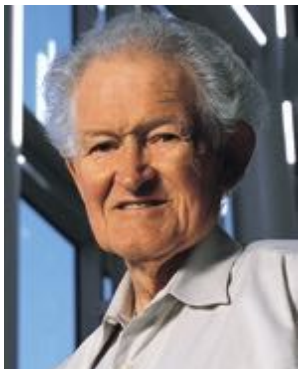
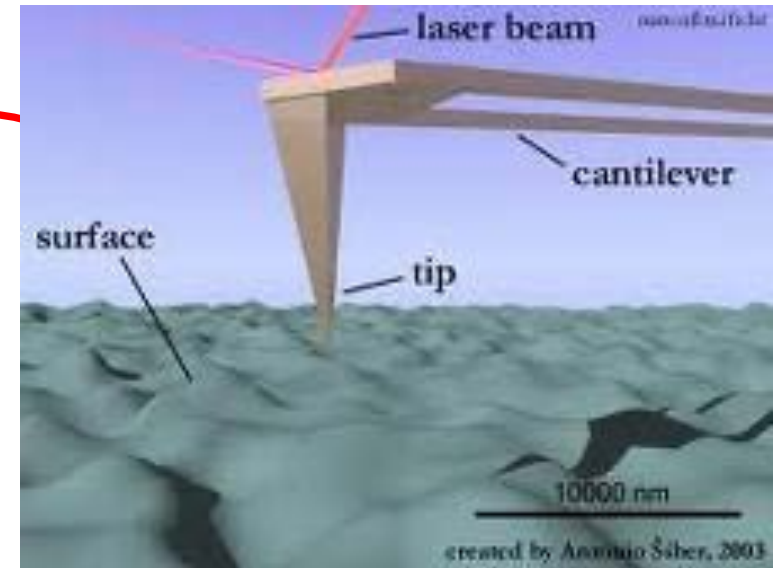
I LIMITI del microscopio STM:

**SI PUO' APPLICARE
SOLO A CAMPIONI
CONDUTTORI O
SEMICONDUCTORI**



Idea

Se usassimo una punta che passa sopra gli atomi di superficie...????



Calvin Quate(1923)

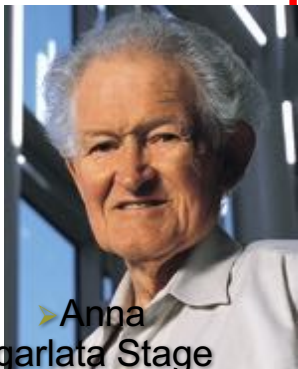
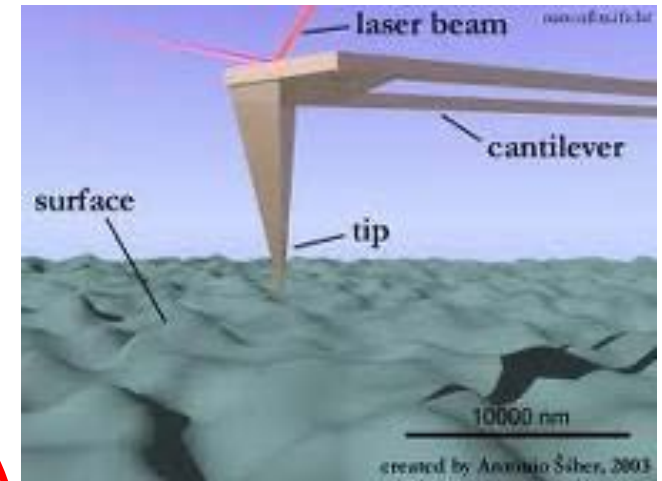


Gerd Binnig (1947)



Christoph Gerber (1942)

Quanto deve essere la
Forza per interagire
con gli atomi
superficiali senza
danneggiarli ...????



Anna Sgarlata Stage
in Scienza dei
Materiali 2014
Calvin Quate (1923)

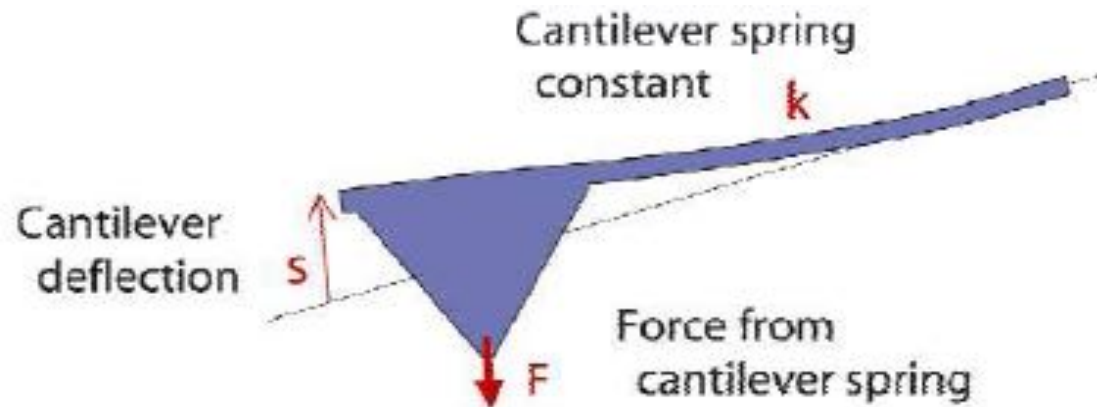


Gerd Binnig (1947)



Christoph Gerber (1942)

Atomic Force Microscopy Le Forze in gioco



La Forza Elastica (legge di Hooke):

K = costante elastica della molla legata alla frequenza di vibrazione ω dalla relazione:

Per gli atomi in un solido $\omega = 10^{13}$ Hz ovvero $k_{AT} = 10 \text{ N/m}$

Un pezzo di Alluminio lungo 4mm ha una $k = 1 \text{ N/m} < k_{AT}$



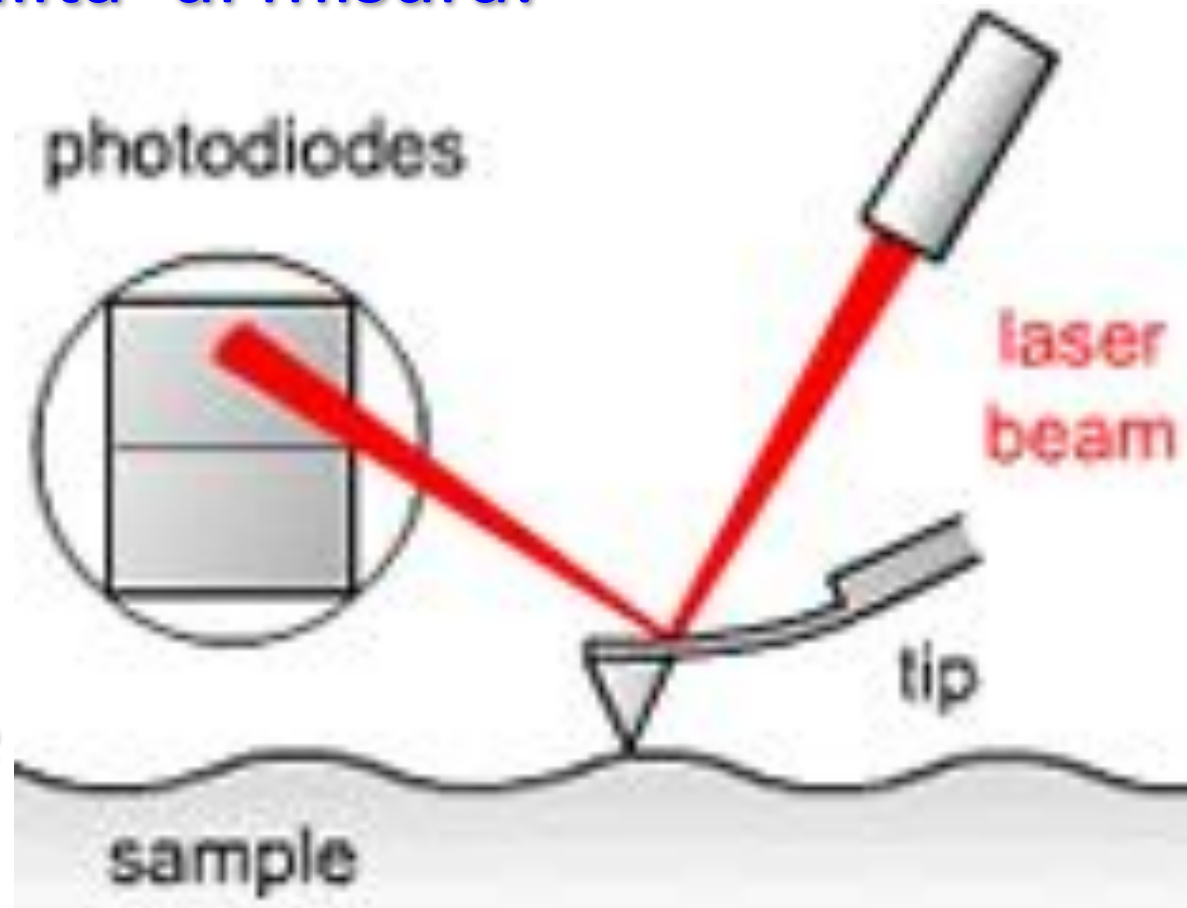
**NEL 1986 IL PRIMO MICROSCOPIO
A FORZA ATOMICA**

Come funziona l'AFM?

Due possibili modalita' di misura:

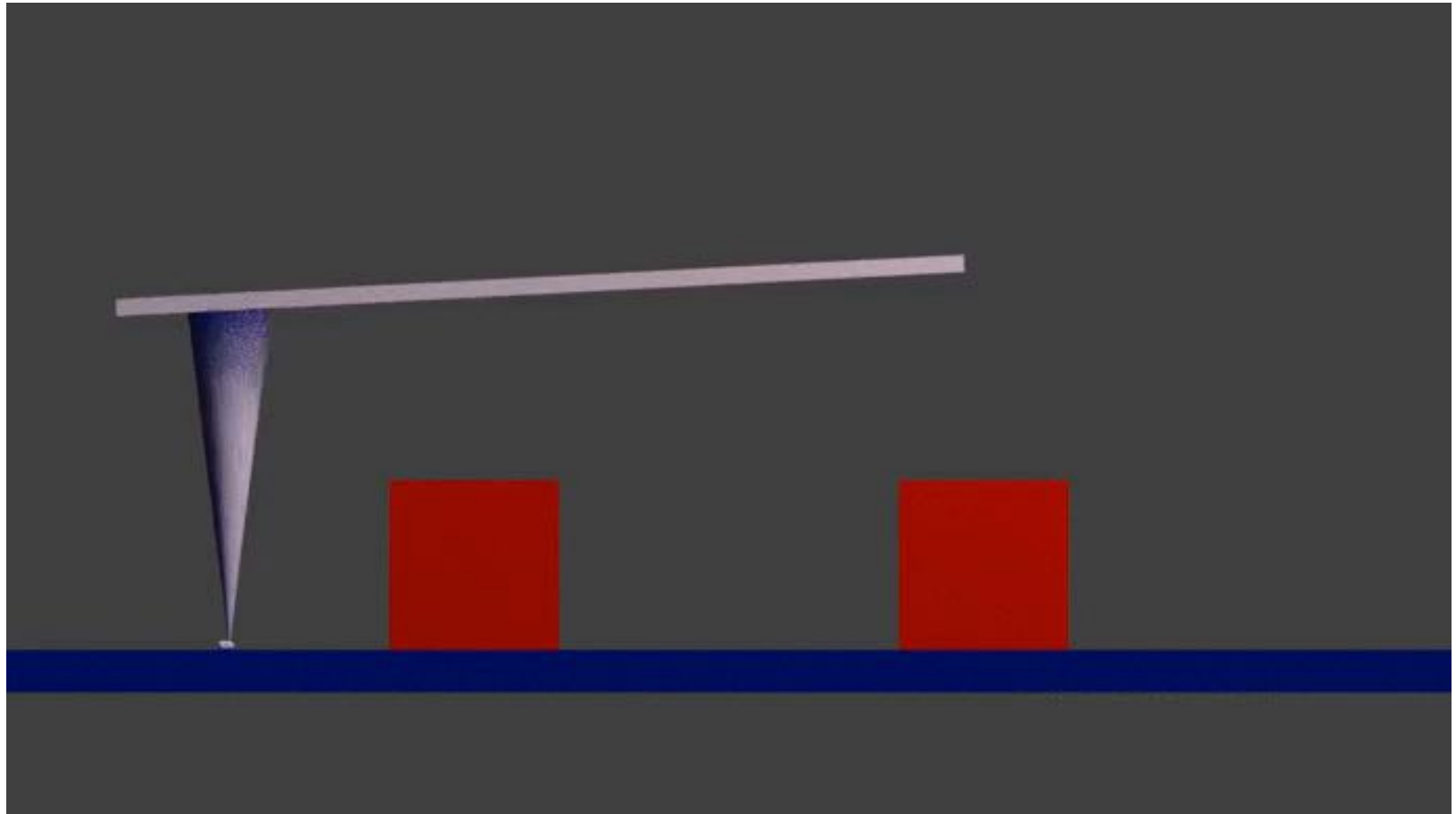
1. Si misura la deflessione del cantilever mentre la punta si sposta sulla superficie.

In questo modo si misura *la forza* che interagisce tra punta e campione



MODALITÀ DI MISURA AD *ALTEZZA COSTANTE*

Come funziona l'AFM?



Due possibili modalita' di misura:

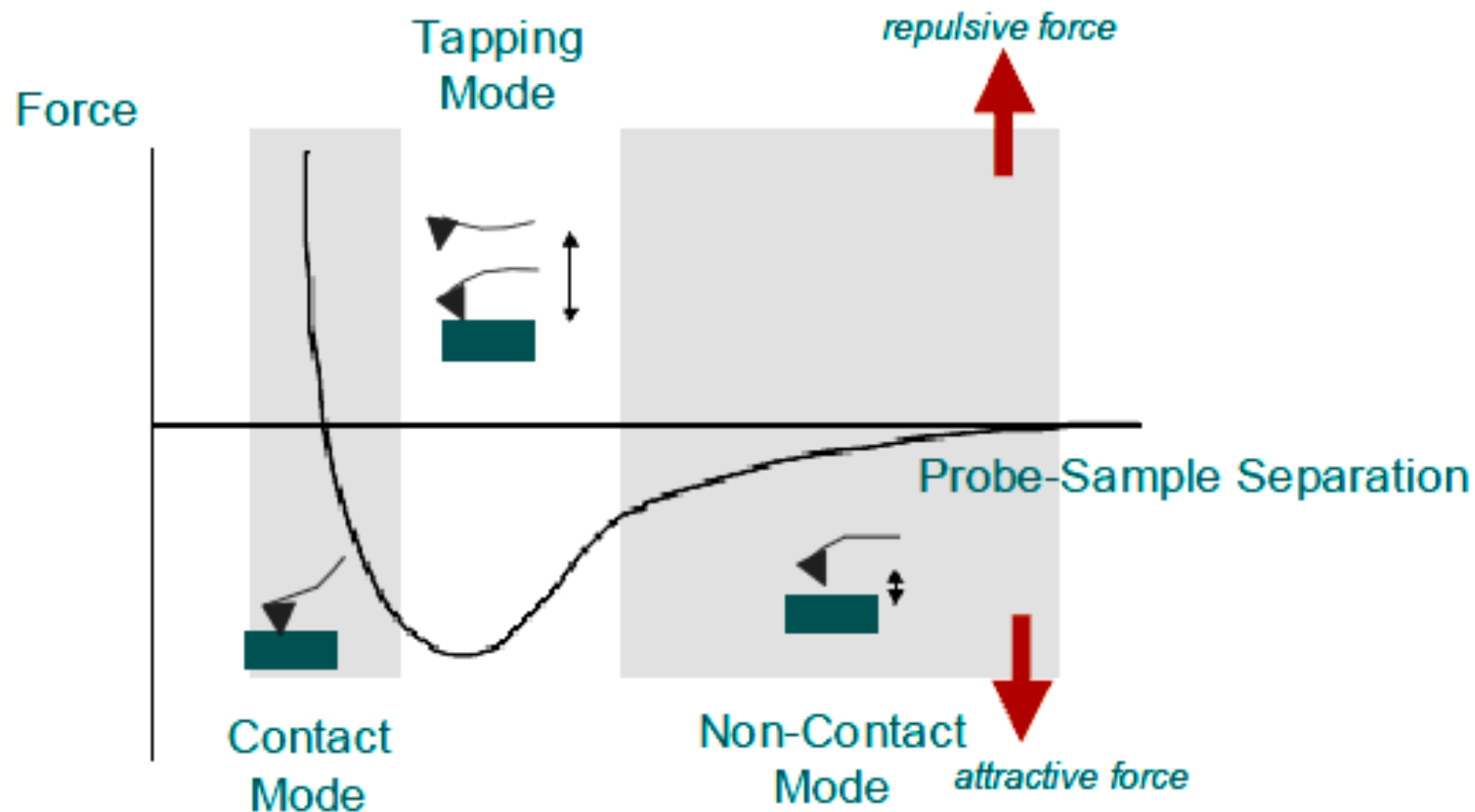
2. Oppure si misura lo spostamento affinché la punta non sia deflessa

MODALITÀ DI MISURA A *FORZA COSTANTE*

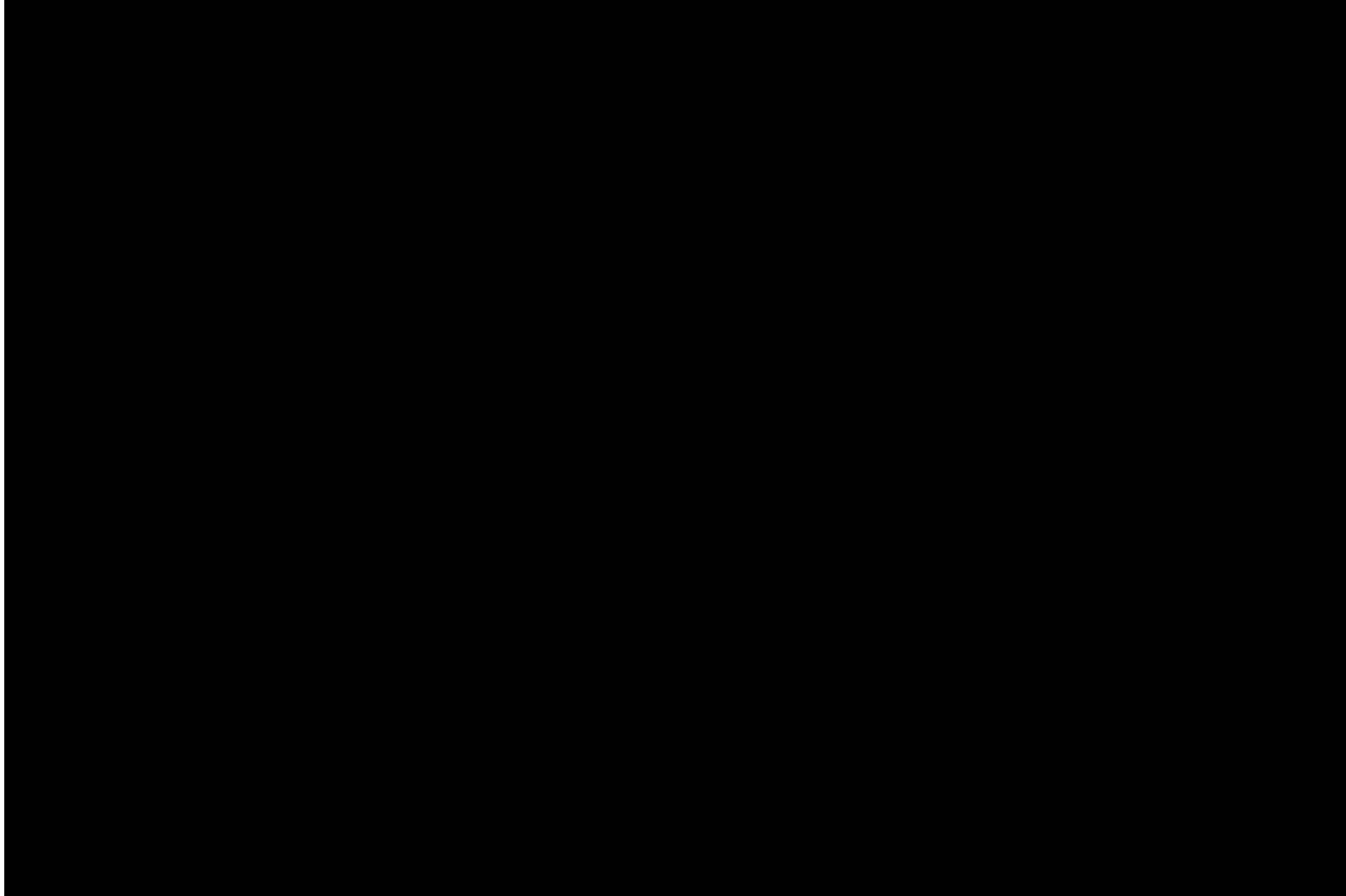
Modo a FORZA COSTANTE:

3 modalita' operative

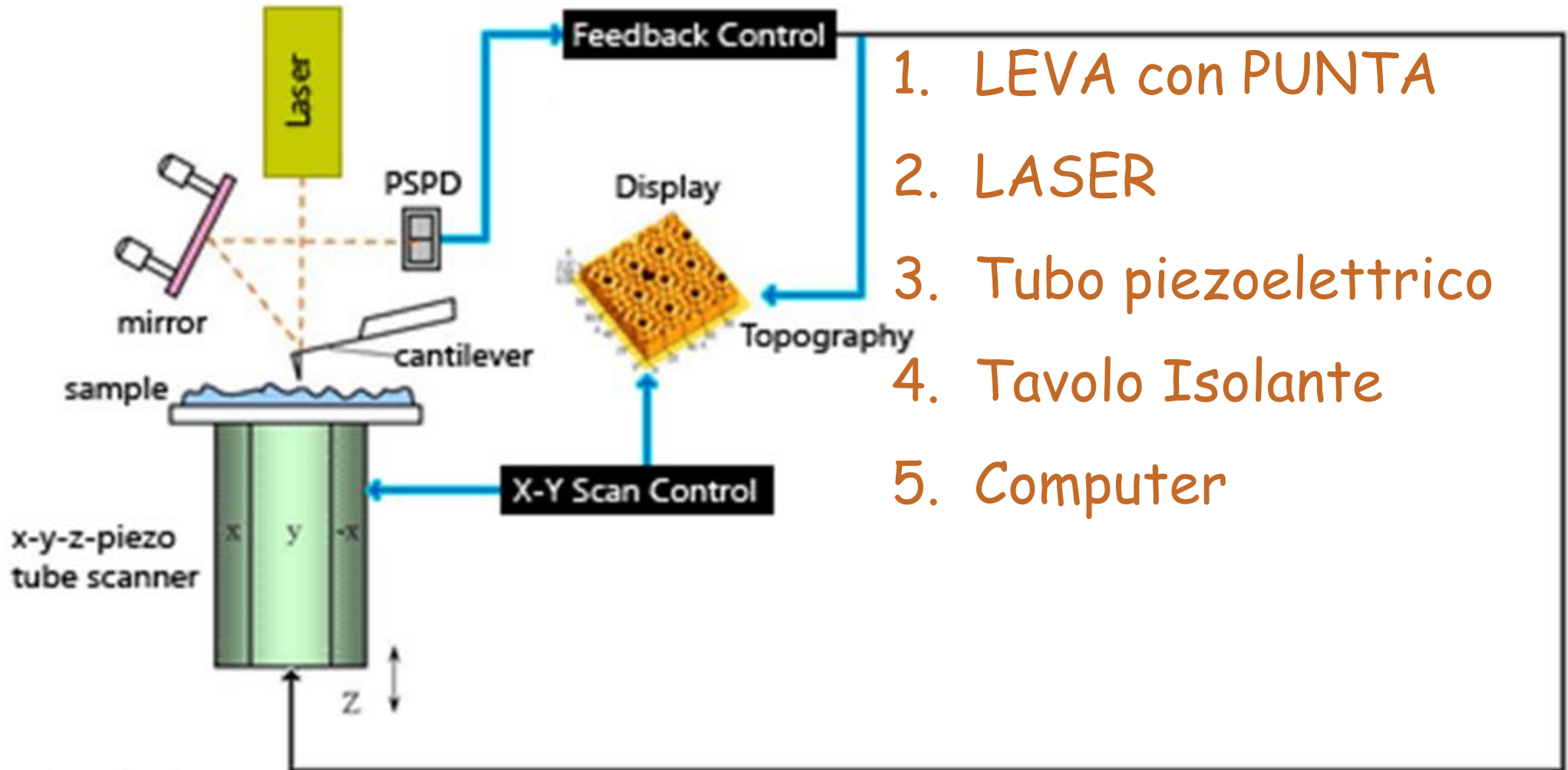
- **MODO CONTATTO** ($d < 0.5 \text{ nm}$) Forza repulsiva
- **MODO TAPPING** ($0.5 \text{ nm} < d < 2 \text{ nm}$)
- **MODO NON-CONTATTO** ($0.1 \text{ nm} < d < 10 \text{ nm}$) Forza Attrattiva



AFM – TAPPING MODE



Componenti principali di un AFM



AFM - IL NOSTRO STRUMENTO



AFM - IL NOSTRO STRUMENTO

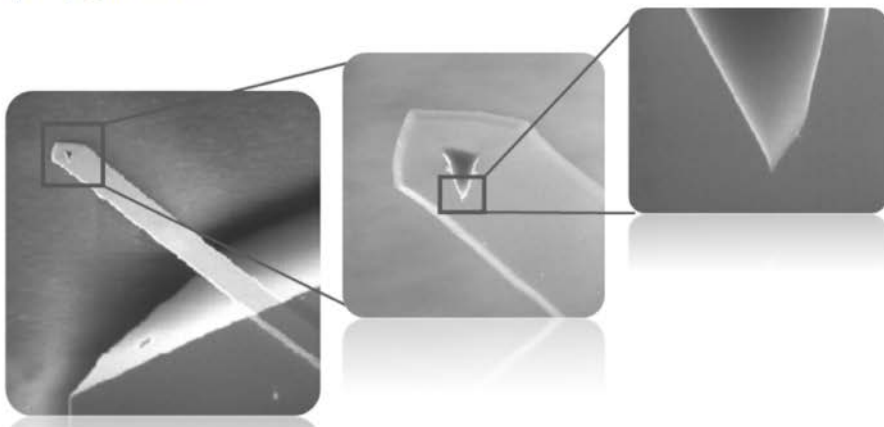


NaioAFM system overview: connected and ready to measure

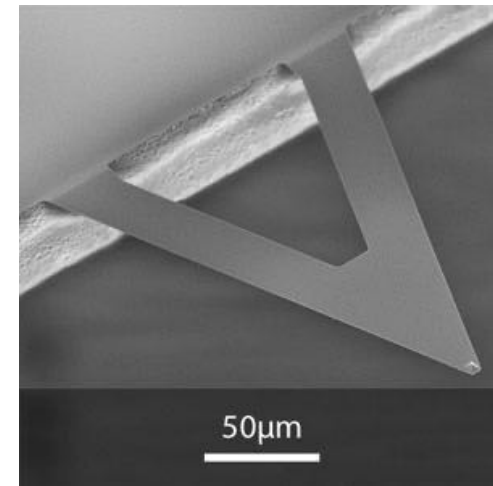


AFM - IL NOSTRO STRUMENTO

Il sistema punta-cantilever



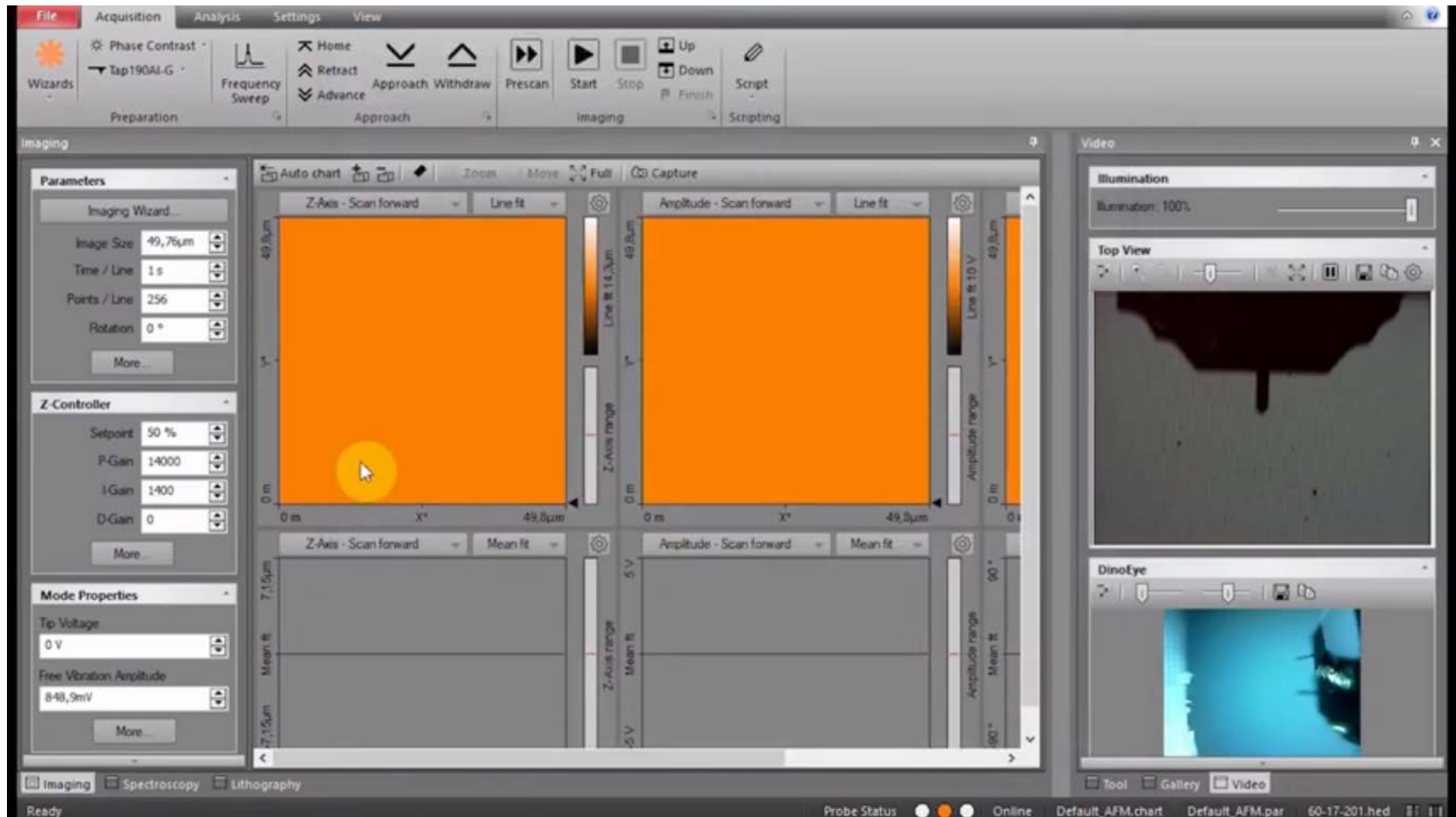
Cantilever "a trampolino"



Cantilever triangolare

AFM - IL NOSTRO STRUMENTO

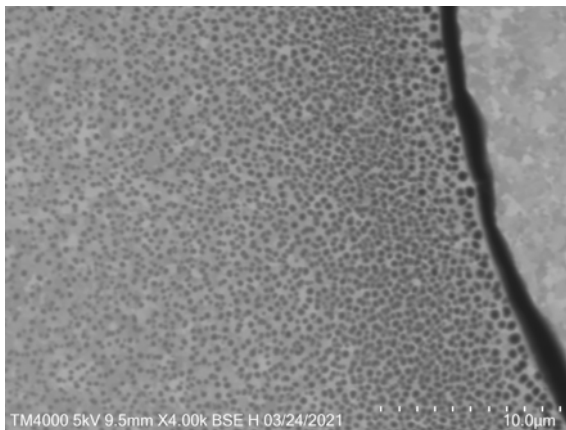
Il software



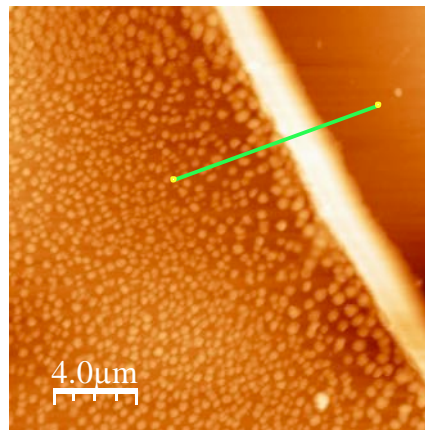
AFM - UN NOSTRO ESEMPIO

Film di molecole su oro

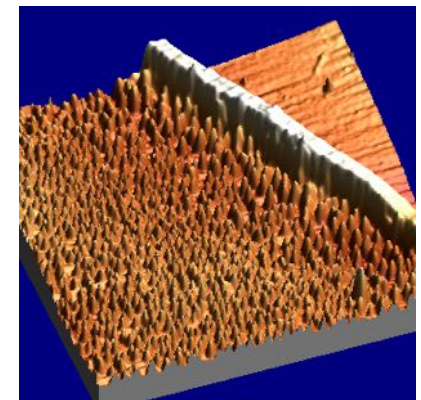
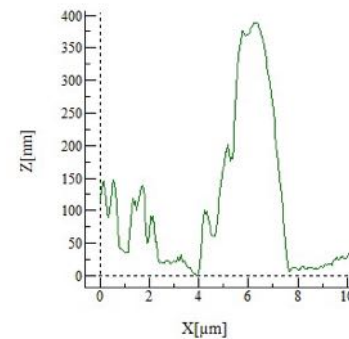
Microscopio a Scansione Elettronica (SEM)



Microscopio a Forza Atomica (AFM)



- ✓ Maggiore risoluzione
- ✓ Informazioni sullo spessore



In 3D

AFM - UN ESEMPIO ATTUALE

Virione SARS-CoV-2

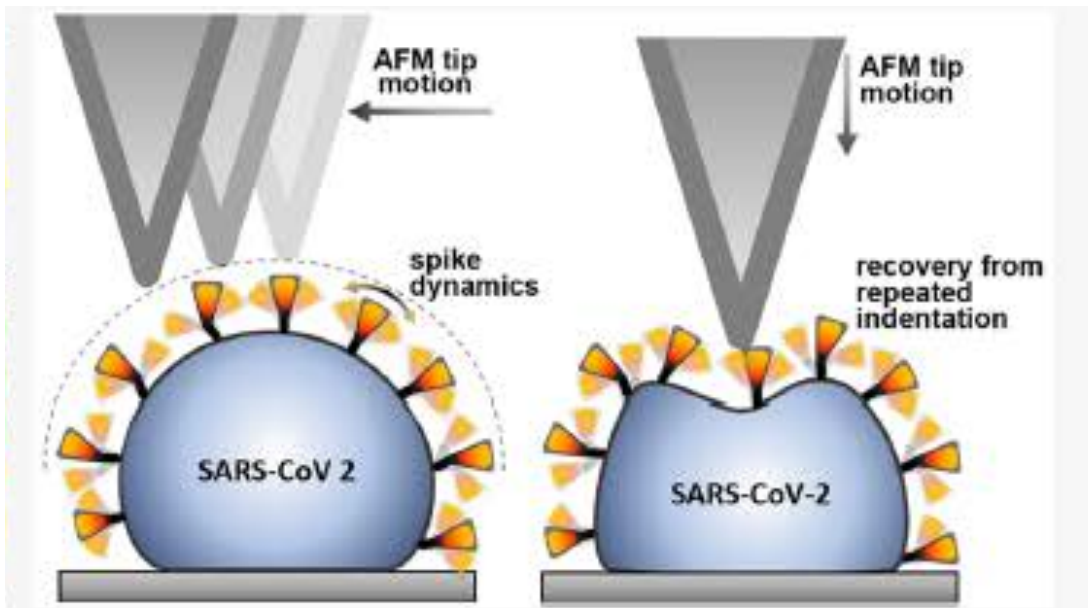
NANO LETTERS

pubs.acs.org/NanoLett

Letter

Topography, Spike Dynamics, and Nanomechanics of Individual Native SARS-CoV-2 Virions

Bálint Kiss, Zoltán Kis, Bernadett Pályi, and Miklós S. Z. Keller Mayer*



Caratterizzazione **morfologica** della struttura (dimensione e numero medio di proteine spike che ricoprono la superficie) e **nanomeccanica** (spettroscopia di forza del virione e studio sulla dinamica delle protein spike).

AFM - UN ESEMPIO ATTUALE

Virione SARS-CoV-2

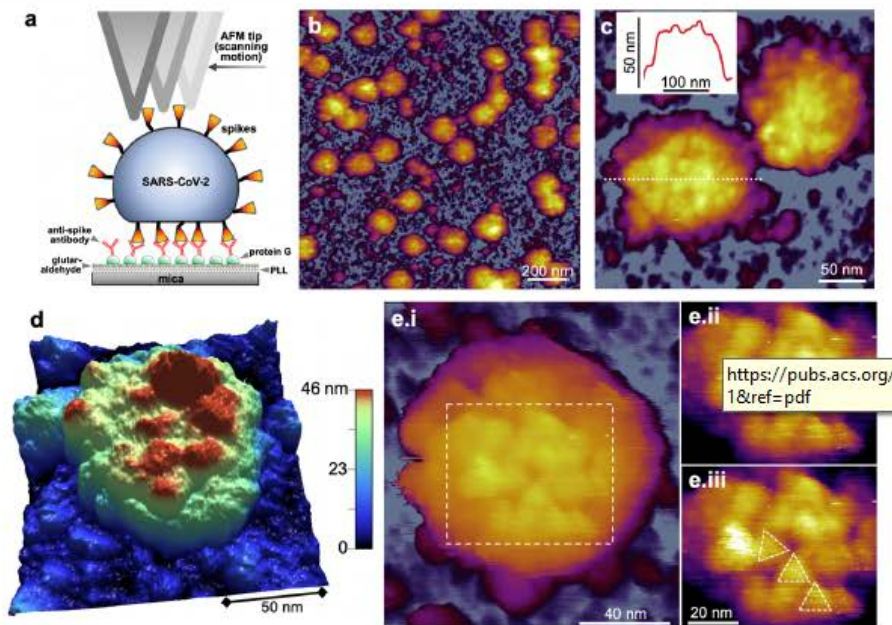
NANO LETTERS

pubs.acs.org/NanoLett

Letter

Topography, Spike Dynamics, and Nanomechanics of Individual Native SARS-CoV-2 Virions

Bálint Kiss, Zoltán Kis, Bernadett Pályi, and Miklós S. Z. Kellermayer*



Comprendere il comportamento delle proteine spike è importante per gettare luce sull'alta infettività del virus.

Le "prove meccaniche" mostrano una grande stabilità del virus, legata alla capacità di proliferare in ambienti diversi e ostili.

In conclusione...

Oggi la sfida della tecnologia e dei Nuovi Materiali si gioca sulla scala dei **Nanometri**,
La scoperta di **Nuovi Microscopi** che superano i classici limiti della teoria di Abbe' permettono di realizzare il sogno di Feynmann " quello di spostare i singoli atomi e di studiare le proprietà (morfologiche, elettroniche e strutturali_) con una risoluzione inferiore all'Angstrom

E ora vediamo il nostro microscopio in misura ed alcuni importanti risultati