

Vedere e disegnare con gli atomi

16 Marzo 2021

Gianangelo Bracco

Letizia Savio



Università
di Genova



DIFI
2018-2022

DIPARTIMENTO
DI ECCELLENZA
MIUR



Istituto dei Materiali per l'Electronica e il
Magnetismo del CNR

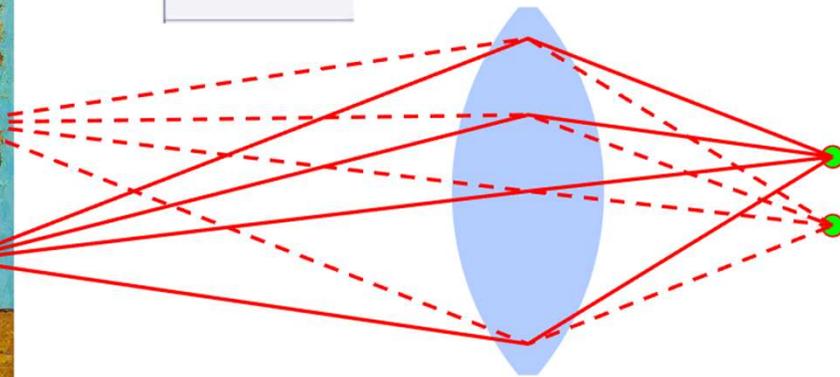
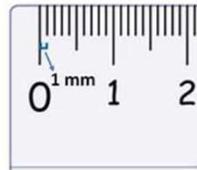
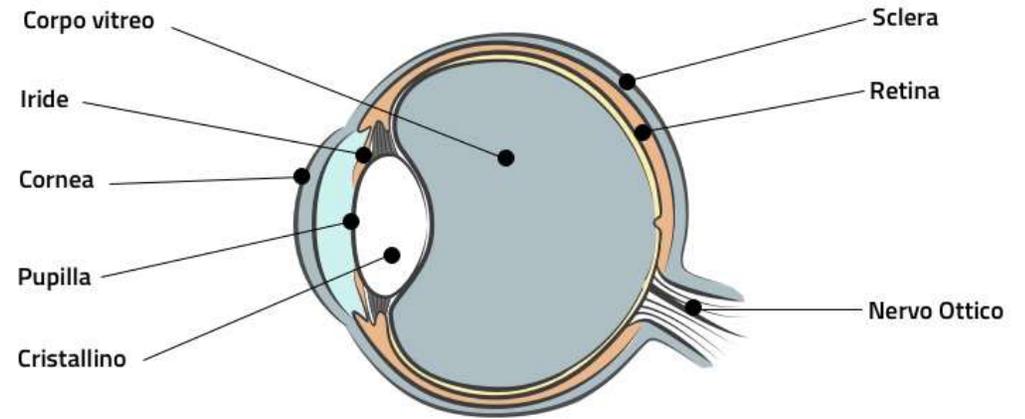
*Perché vediamo
gli oggetti?*

*Perché c'è luce....
...e perché abbiamo gli occhi.*



Occhio: come funziona?

- Il cristallino è una lente che focalizza la luce sulla retina.
- Due oggetti separati daranno luogo a due punti sulla retina.
- Possiamo distinguerli se distano fra loro più di 0.1 mm.



E per vedere oggetti più piccoli e vicini?

Possiamo farci aiutare da un microscopio

La microscopia ottica dal medioevo a oggi

721 a.C
Lente di
Nimrud
(Assiria)



Medioevo:
lenti da vista



1595: Hans e Zackarias Jansen (costruttori di lenti olandesi) costruiscono il primo microscopio assemblando lenti diverse in serie.

1609: Galileo perfeziona l'idea di usare più lenti
Telescopio



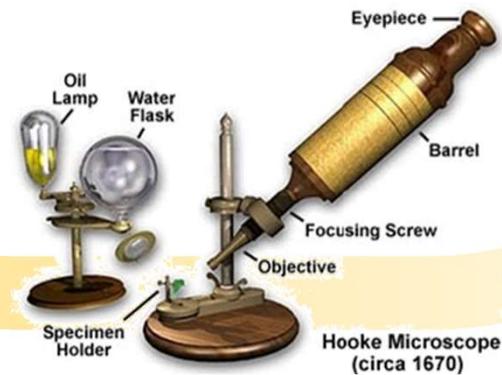
2020



1857



1850: Zeiss ed Adobe sviluppano il microscopio moderno.



1665: Hooke pubblica la **'Micrografia'**. Conia il nome «cellula».

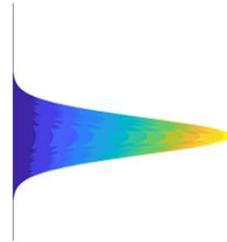
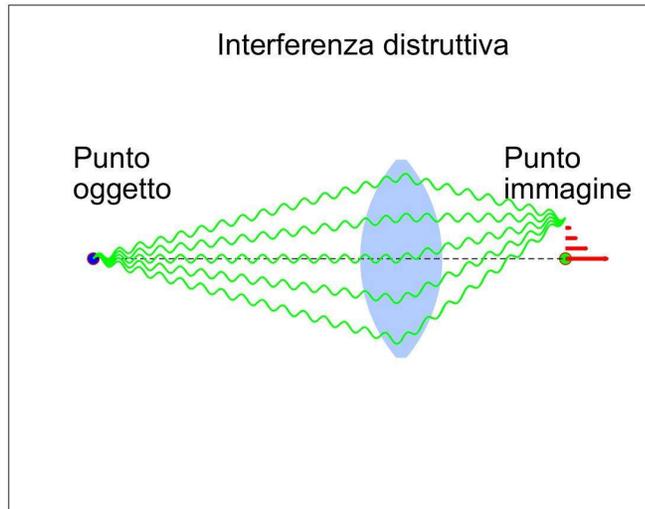
Il microscopio ottico: risoluzione

Il microscopio è formato da lenti, che hanno il compito di far convergere i raggi nel punto immagine.

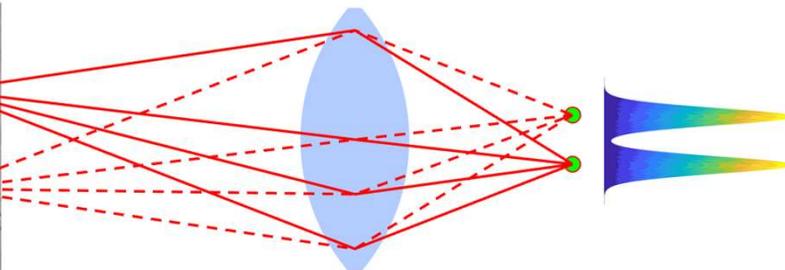
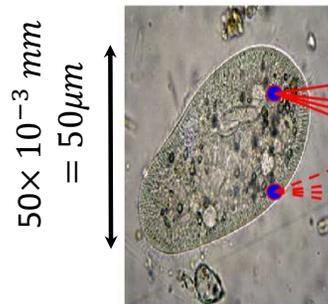
$$\lambda \sim 0.5 \times 10^{-3} \text{ mm} = 0.5 \mu\text{m}$$

Larghezza del punto immagine pari a λ .

→ **anche per un microscopio ideale, limite all'ingrandimento!**



Paramecium-caudatum



Le immagini di punti distanza $< \lambda$ indistinguibili.



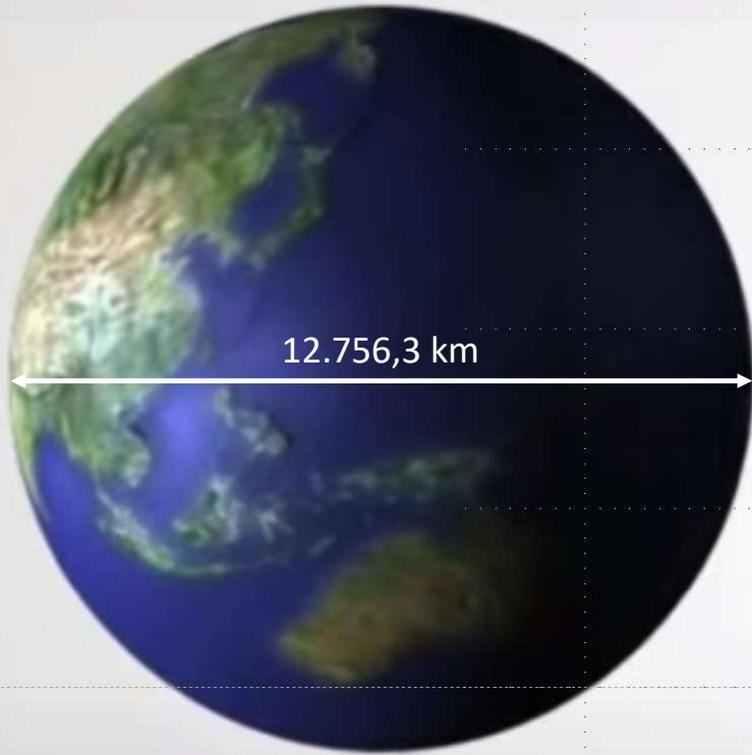
1 km = 10^3 m

1 m

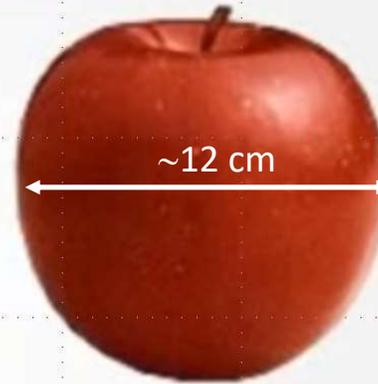
1 mm = 10^{-3} m

1 μ m = 10^{-6} m

1 nm = 10^{-9} m 1 Å = 10^{-10} m



: 100.000.000



: 100.000.000



Buckyball, C₆₀
~1nm

Ci sono cose più piccole da vedere.....

....bisogna cambiare metodo.

Occorre andare oltre la microscopia ottica

VISTA → TATTO

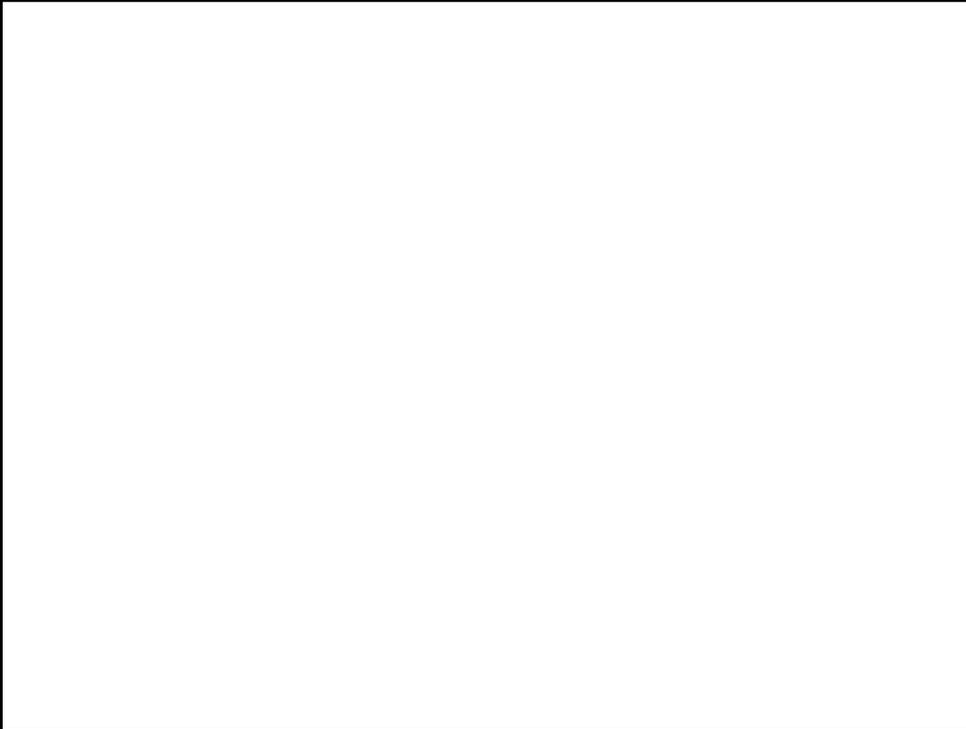
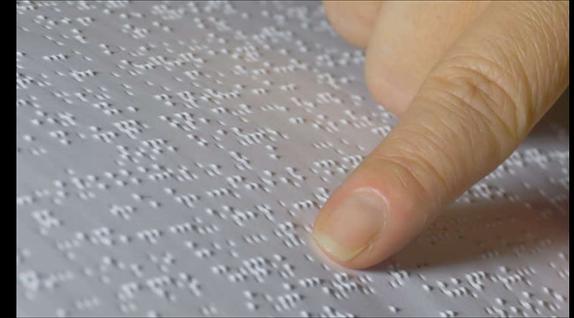


Stampa → Braille

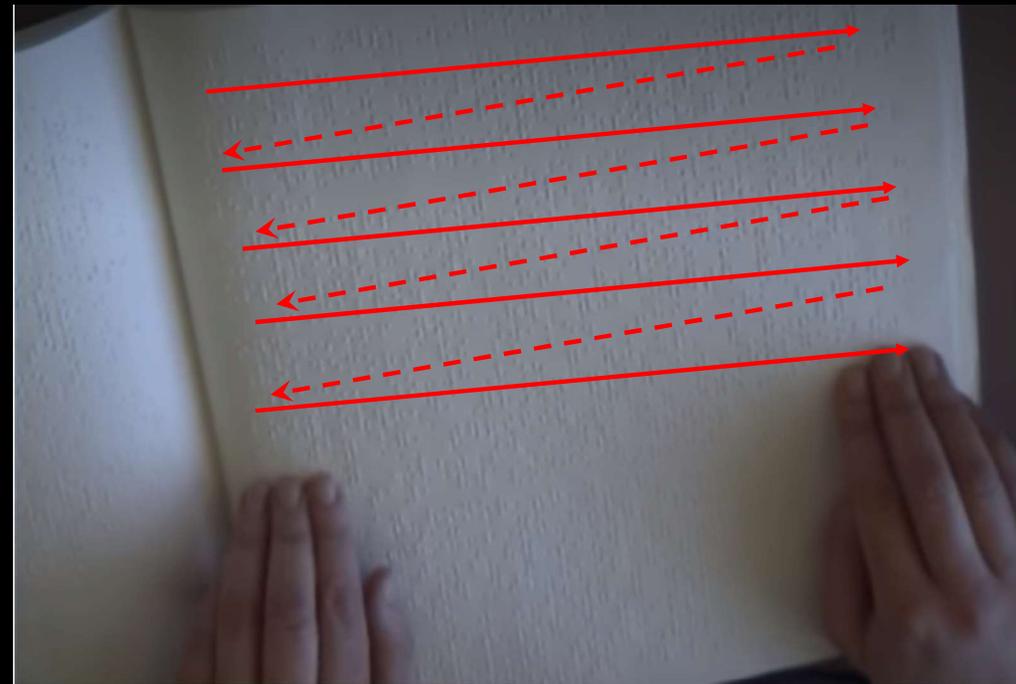


Occorre andare oltre la microscopia ottica

Sensore di topografia



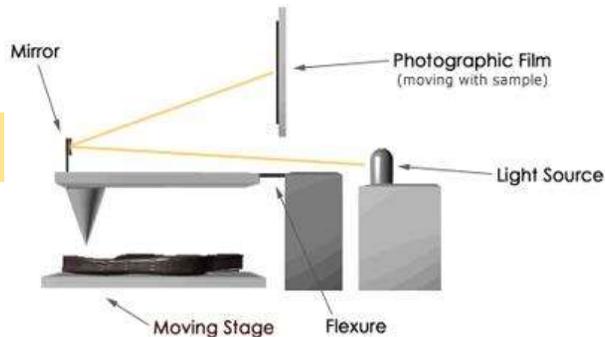
Per scrivere e leggere concentriamo l'attenzione su regioni piccole e utilizziamo la scansione della pagina



La microscopia a scansione di sonda SPM



1877: Edison inventa il fonografo



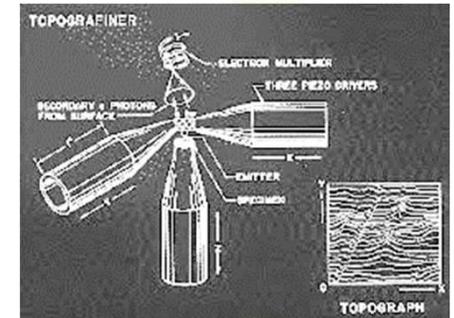
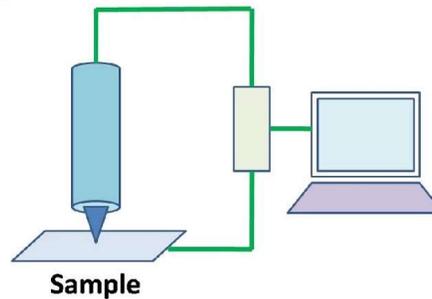
1929: Stylus profiler. Primo esempio di microscopio a scansione di sonda (Schmalz).

Microscopio a forza atomica (1986)



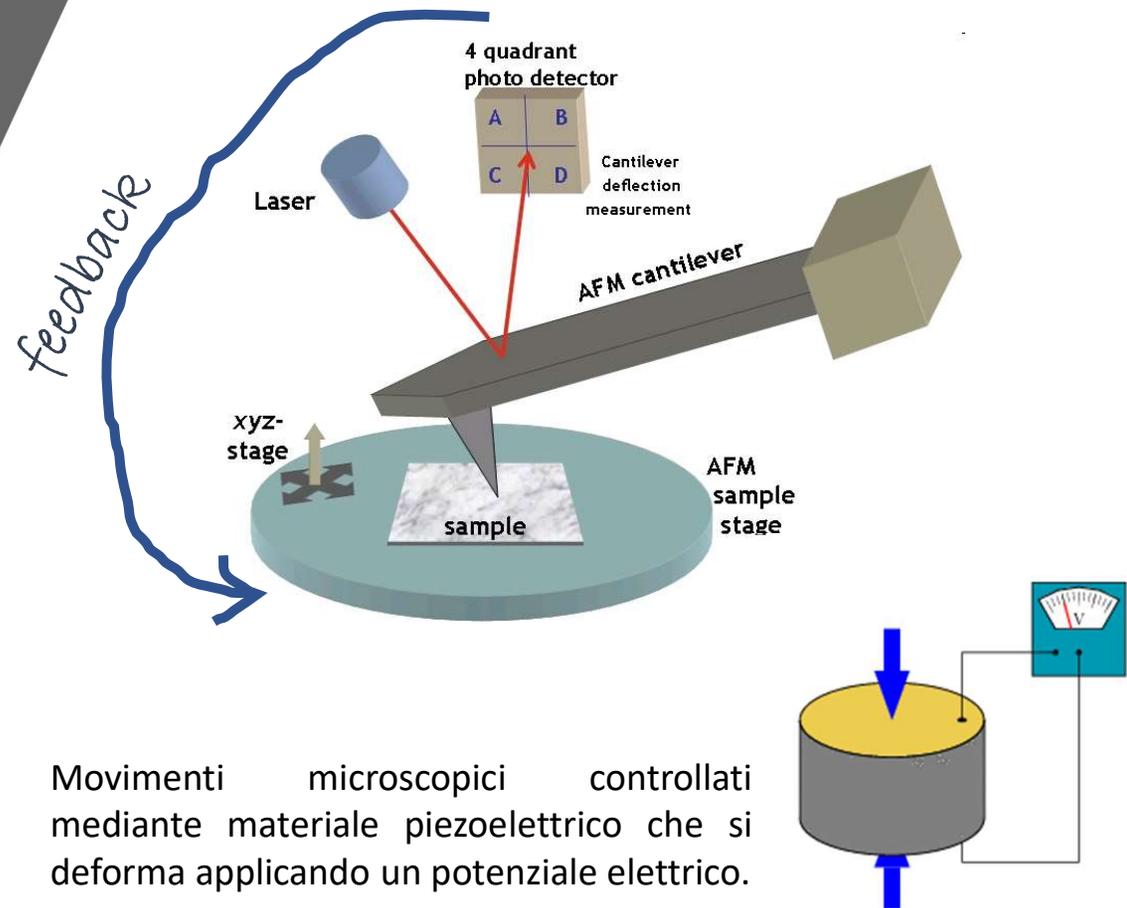
G. Binning and H. Rohrer
Nobel Prize 1986

Microscopio a effetto tunnel (1981)



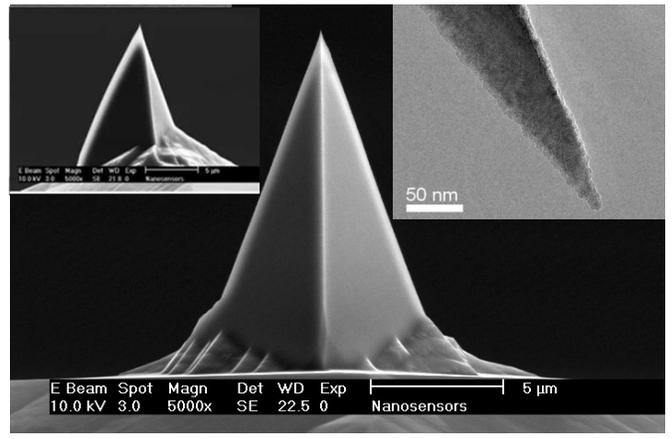
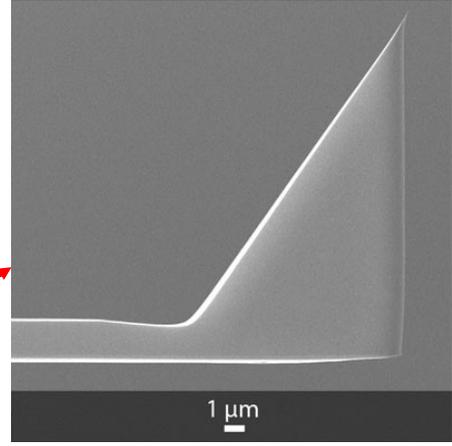
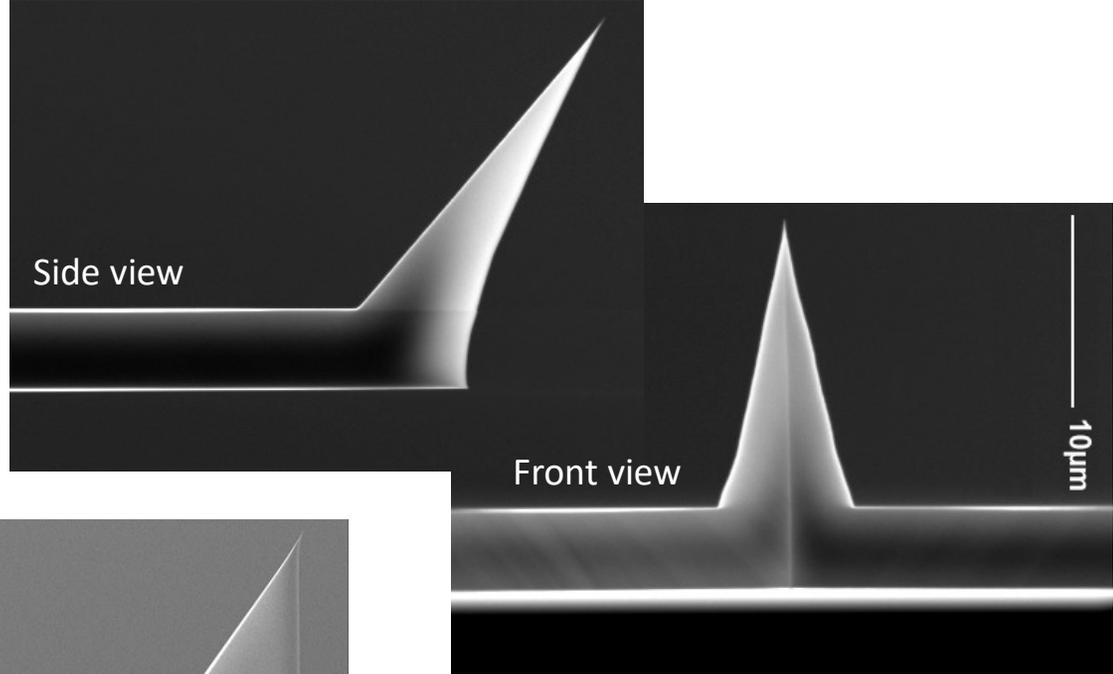
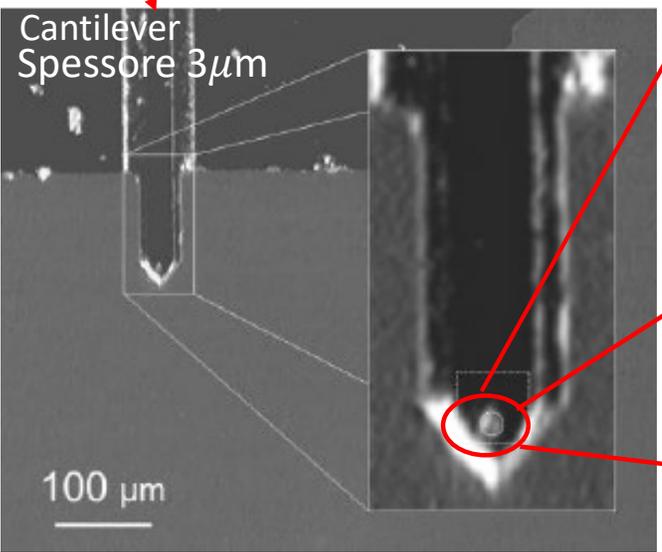
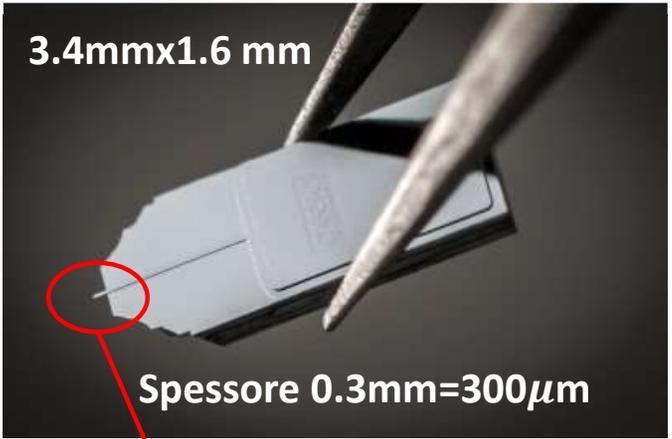
1971: Topographiner –
Non-contact stylus profiler
(Young, Ward, Scire).

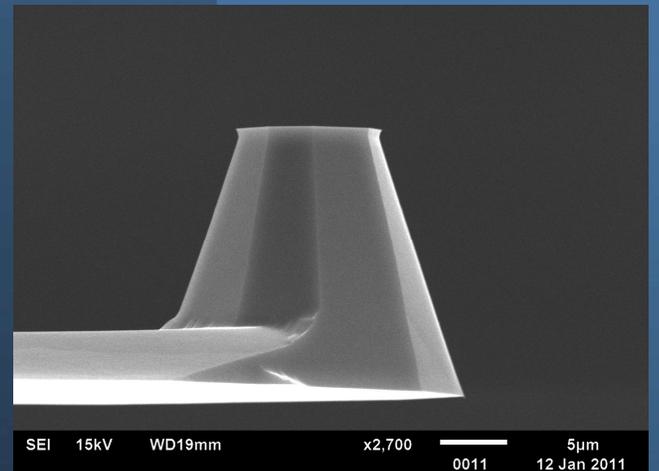
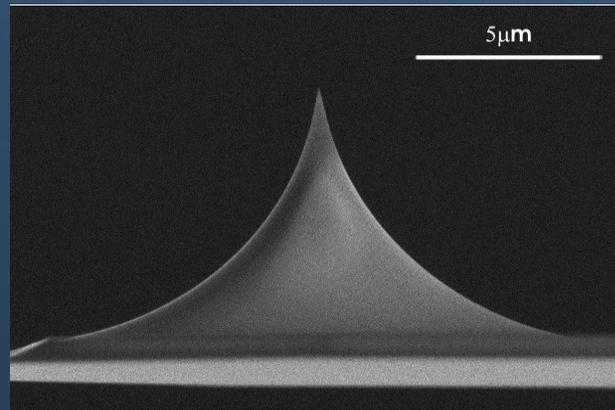
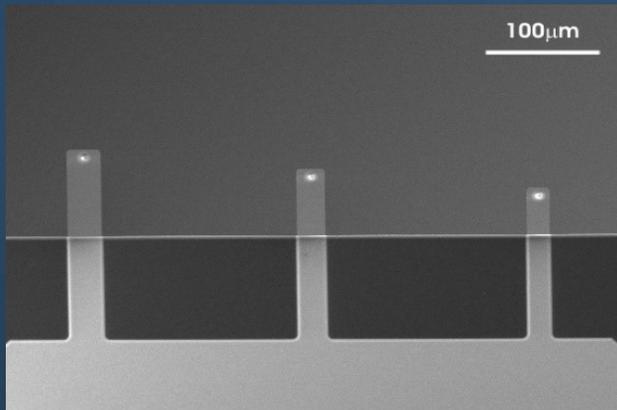
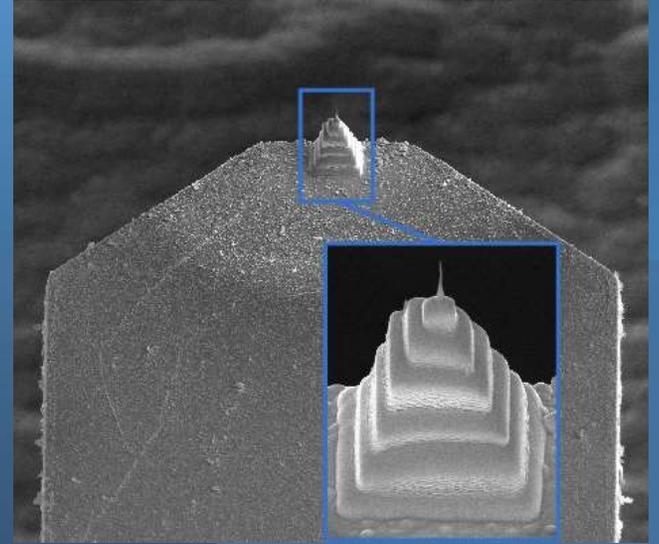
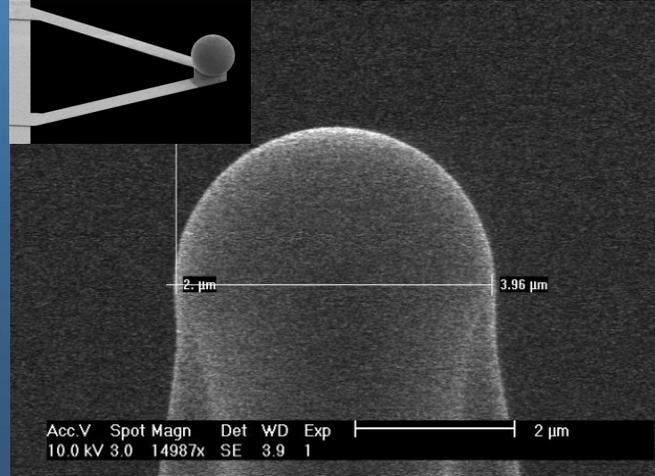
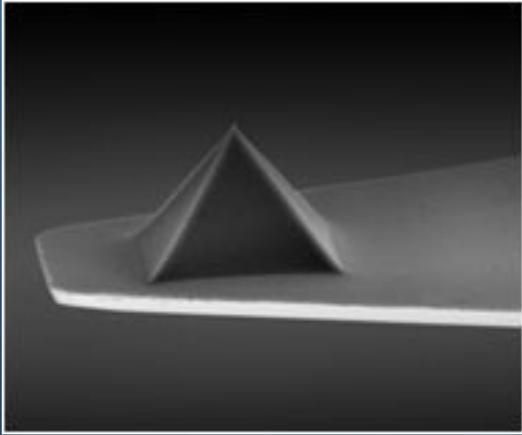
Microscopio a Forza Atomica (AFM)

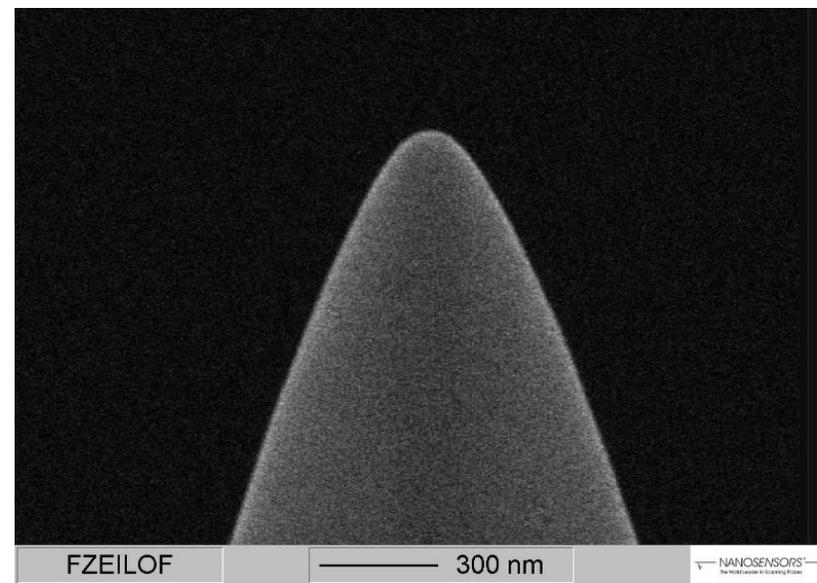
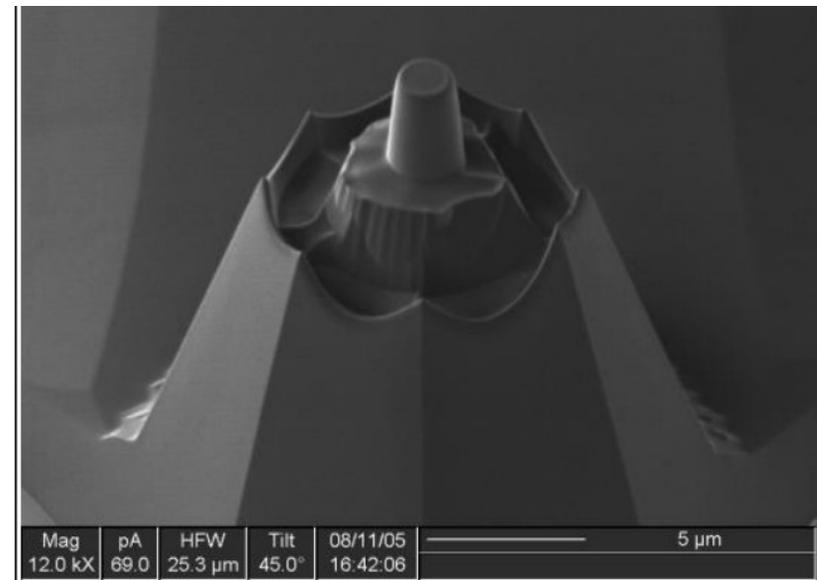
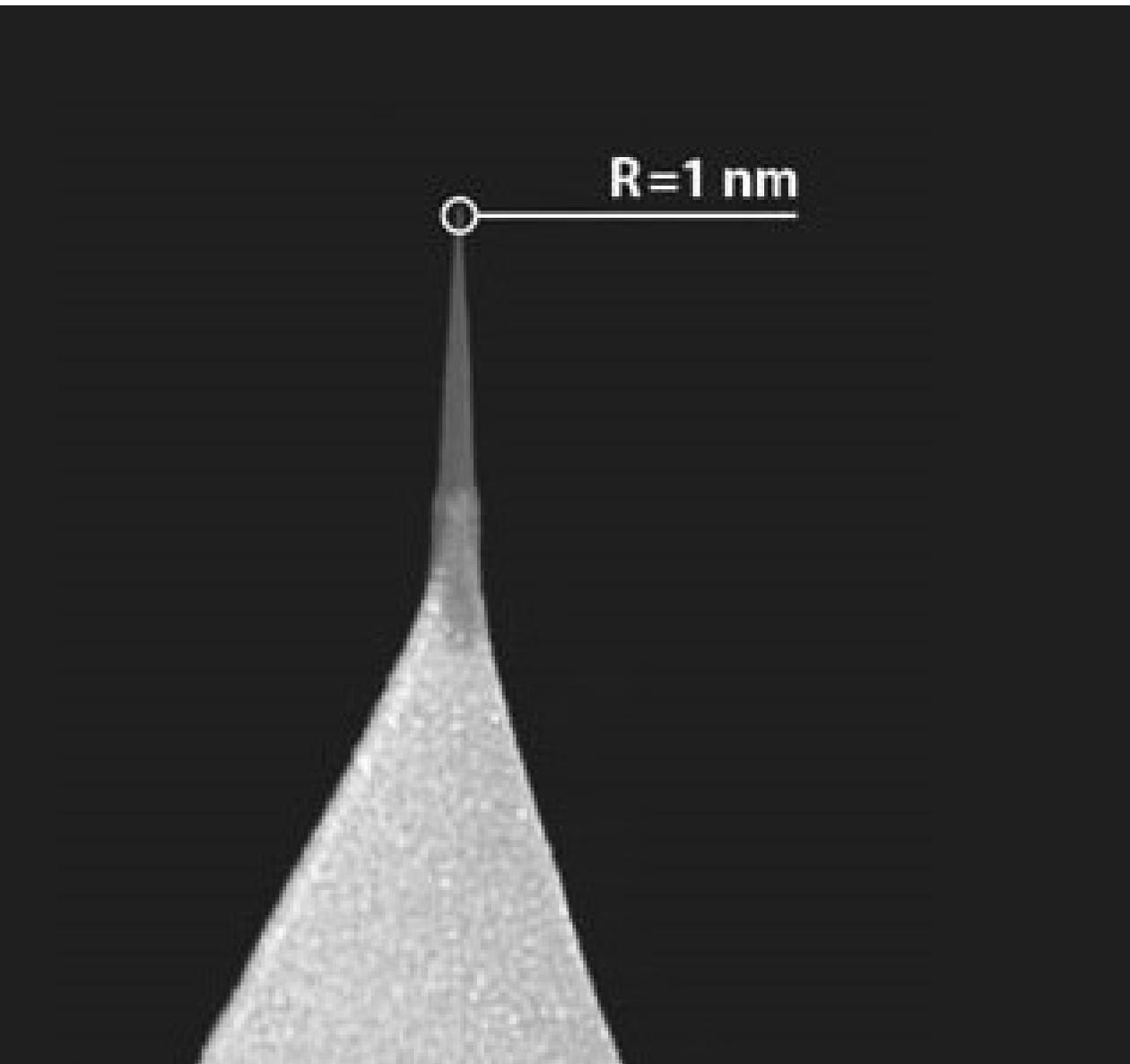


Movimenti microscopici controllati mediante materiale piezoelettrico che si deforma applicando un potenziale elettrico.

La sonda: punta e cantilever



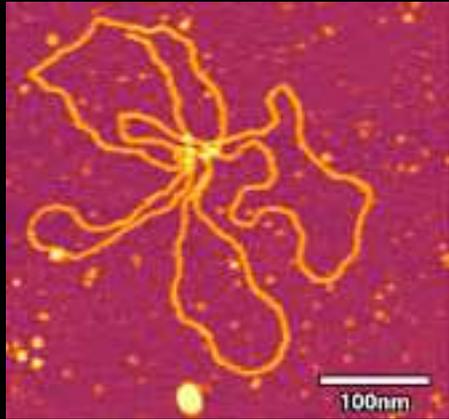




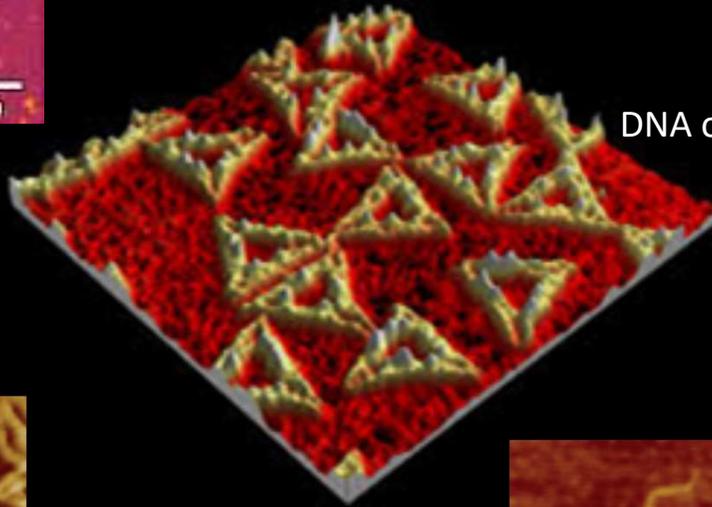
Atomic Force Microscope

AFM Gallery

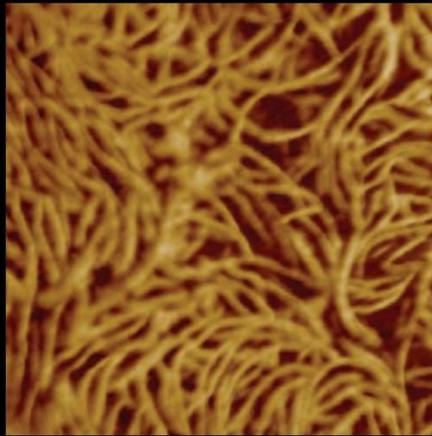
Dal micro al nano



Filamento di DNA

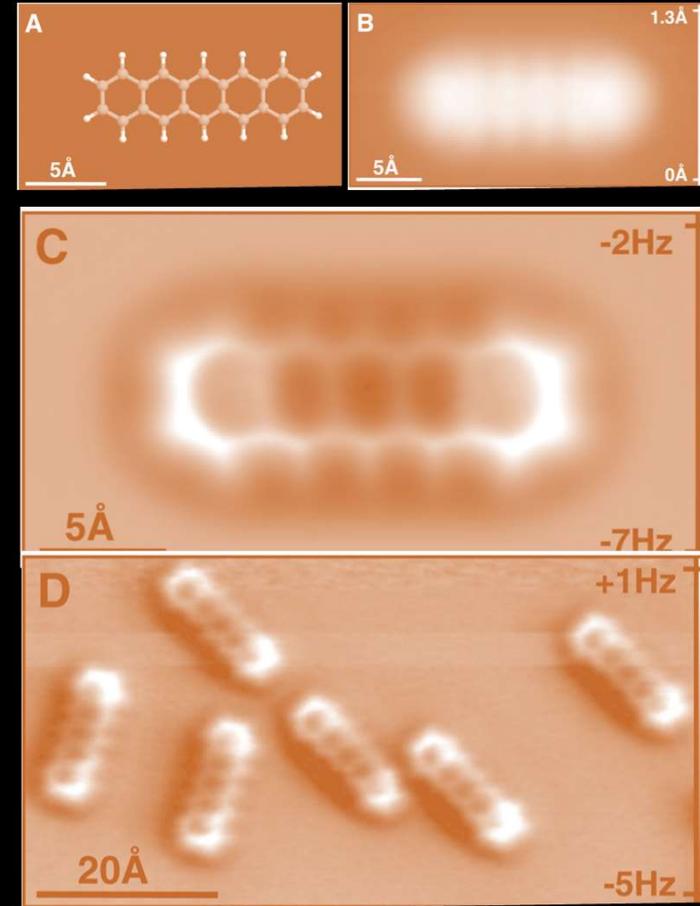
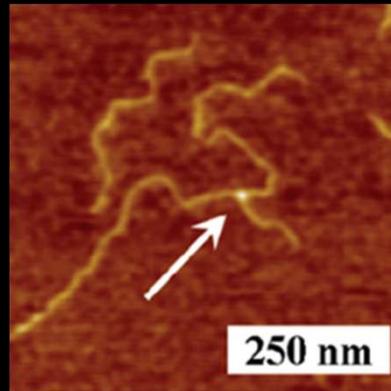


DNA origami



Polietilene lineare a bassa densità (LLDPE)

Copolimero



Molecole di Pentacene

AFM Gallery

Anche per disegnare...

- Dip pen nanolithography
- Nanoshaving e nanografting
- Anodizzazione locale
- Litografia termica
- Litografia costruttiva

Dip pen nanolithography

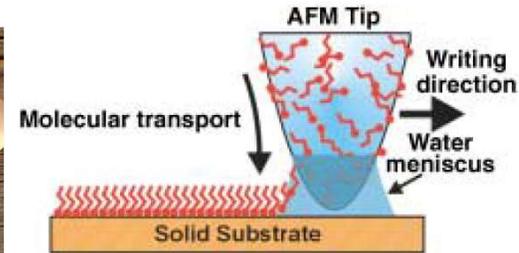
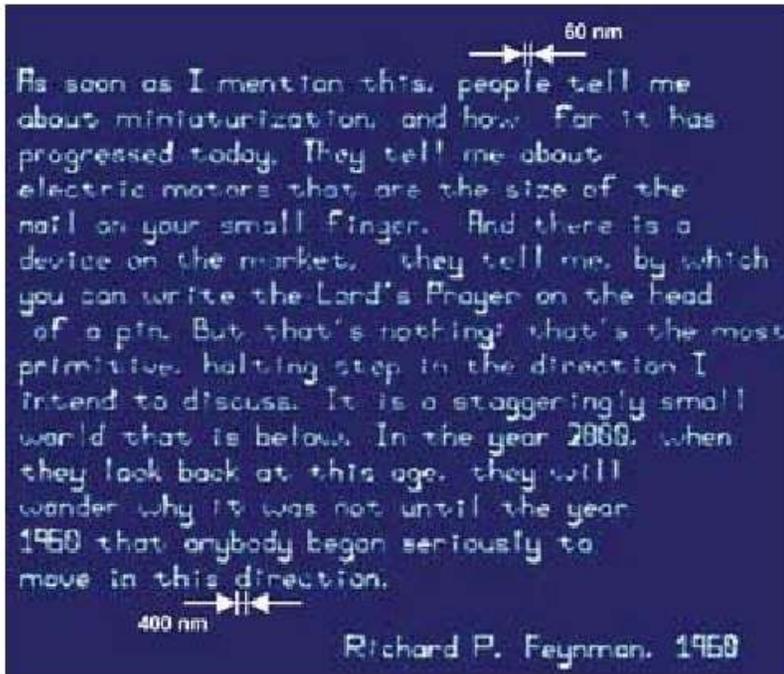
Chad Mirkin, Northwestern University

Estratto della lezione:

"There's Plenty of Room at the Bottom"

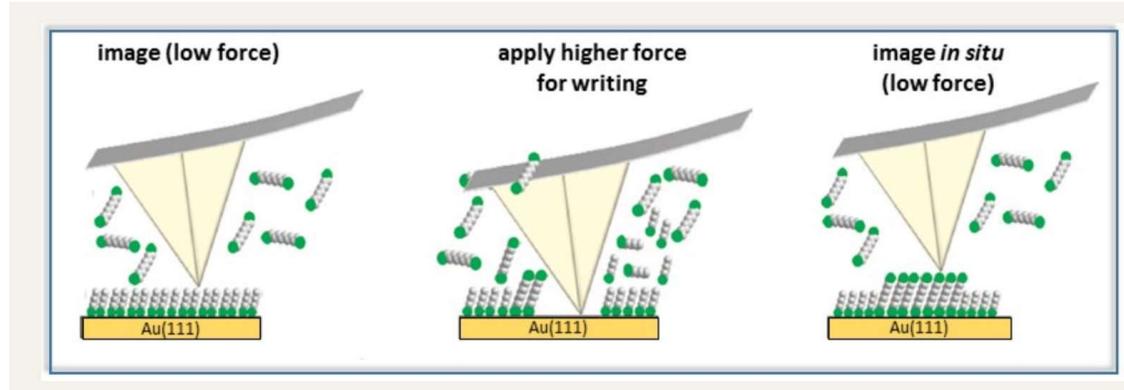
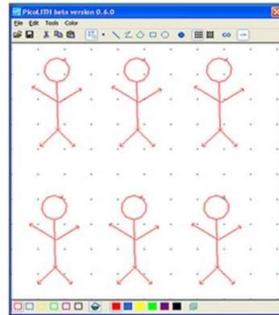
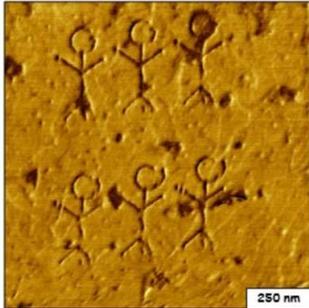
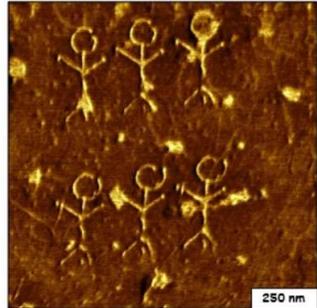
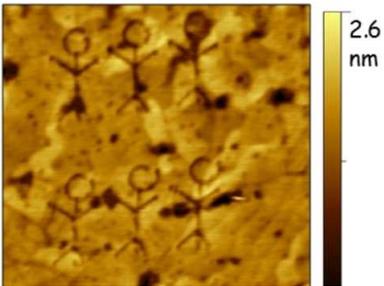
Richard P. Feynman (premio Nobel)

American Physical Society, 29 dicembre 1959.



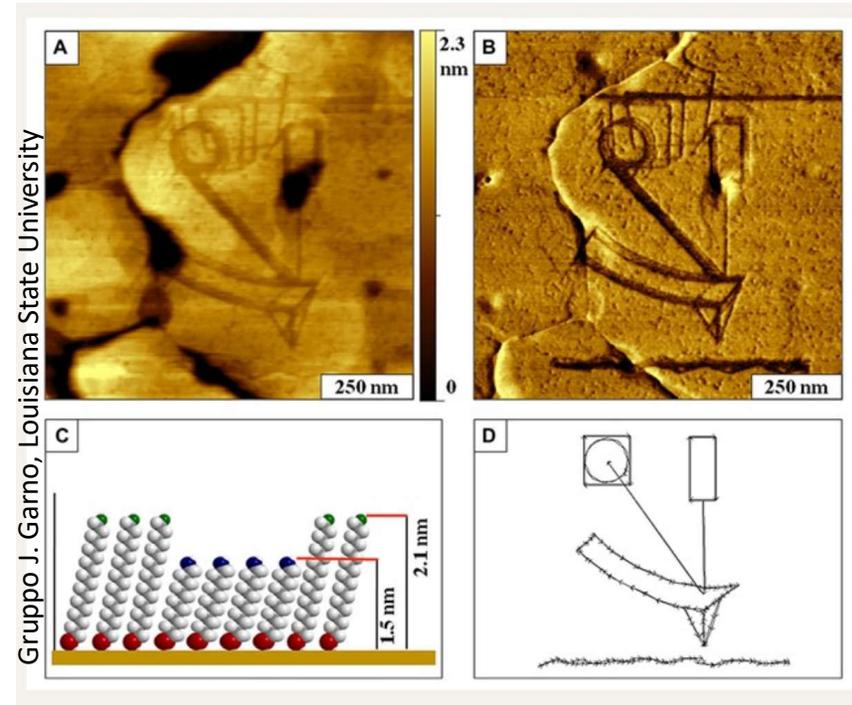
"Appena ne parlo, la gente mi parla della miniaturizzazione e di quanto sia progredita oggi. Mi parlano di motori elettrici grandi quanto un'unghia del tuo dito mignolo. E sul mercato c'è un dispositivo, mi dicono, con cui puoi scrivere la preghiera del Signore sulla testa di uno spillo. Ma non è niente; questo è il passo più primitivo ed esitante nella direzione che intendo discutere. È un mondo incredibilmente piccolo quello sotto. Nel 2000, quando guarderanno indietro a questa età, si chiederanno perché è stato solo nel 1960 che qualcuno ha cominciato seriamente a muoversi in questa direzione.

Nanoshaving Nanografting

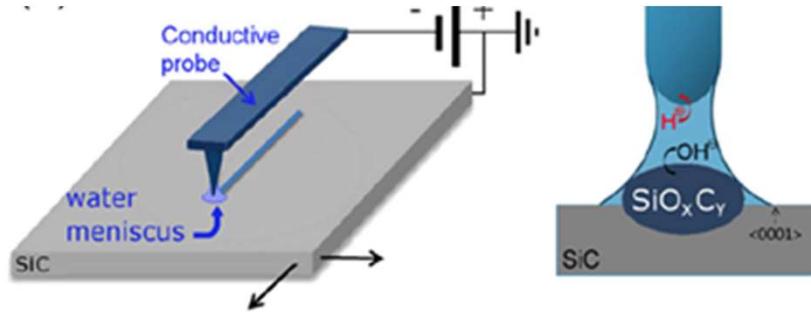


Gruppo G.-Y. Liu, University of California

- Mercapto-undecanolo (SH+11 atomi di carbonio + OH) scritto dentro uno strato di mercapto-octadecano (SH+18 atomi di carbonio con CH₃)

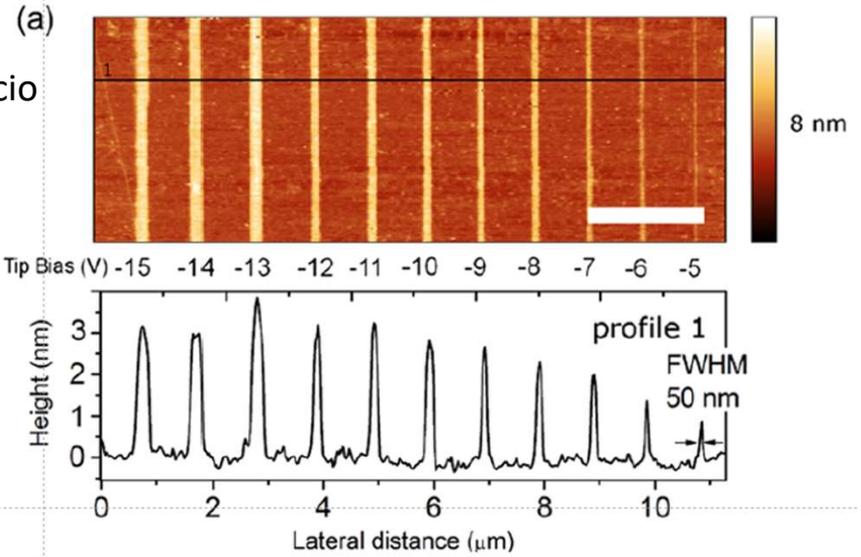


Anodizzazione locale

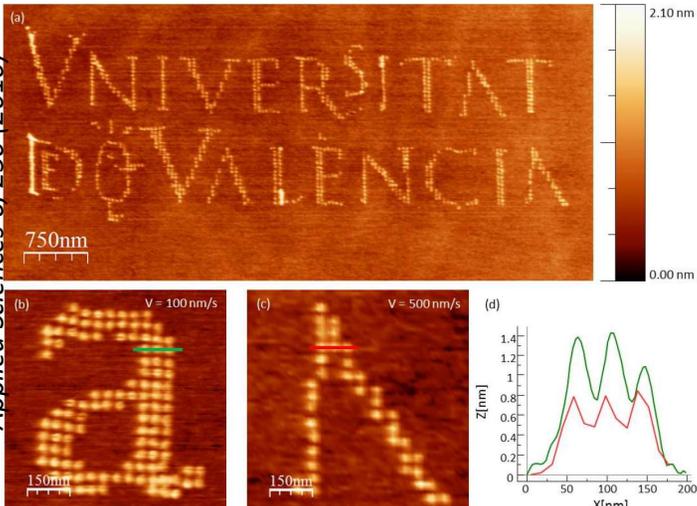


Applied Physics Letters 103, 163109 (2013)

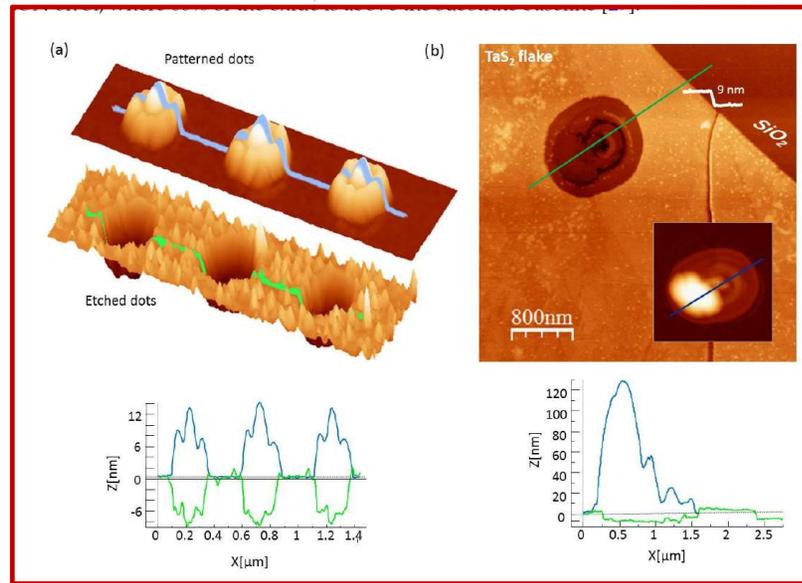
Scrittura su carburo di silicio



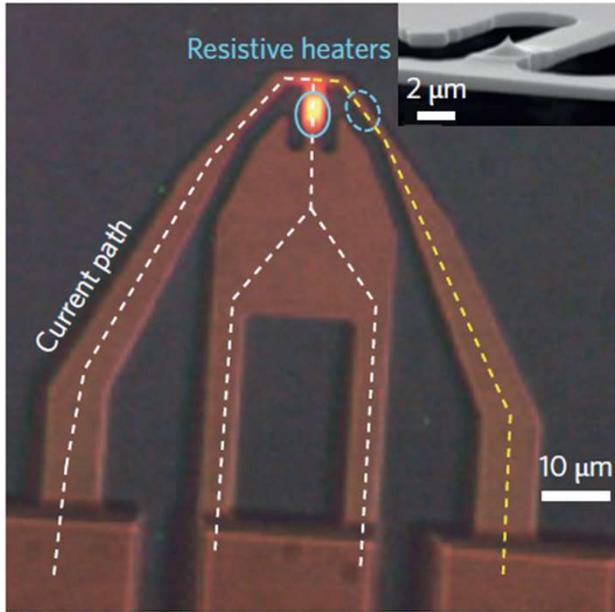
Scrittura su solfuro di tantalio



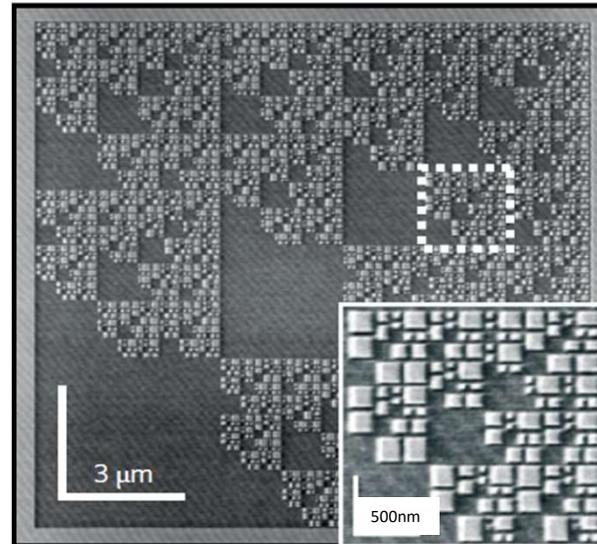
Applied Sciences 6, 250 (2016)



Litografia termica

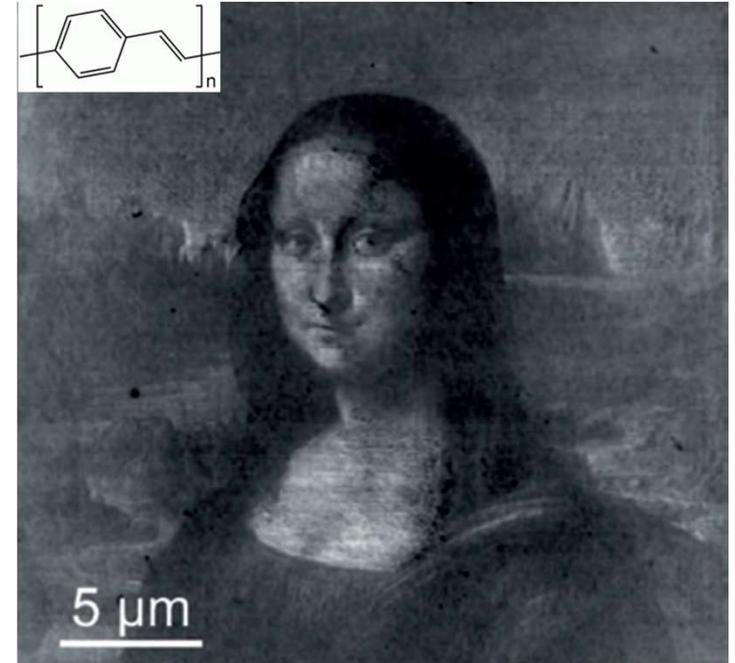


Punta riscaldata elettricamente



Frattale ripetuto in poliamide

Poly(*p*-phenylene vinylene) (PPV)

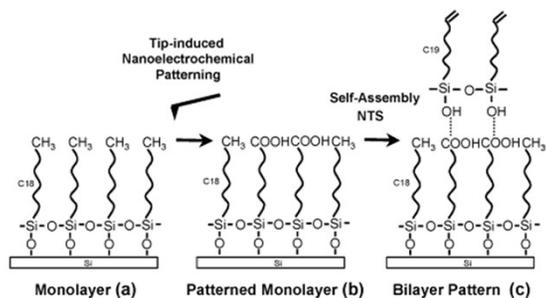


Disegno in PPV, polimero conduttivo usato per LED o elementi fotovoltaici (altezza max 20 nm).

Litografia costruttiva

Gruppo di J. Sagiv

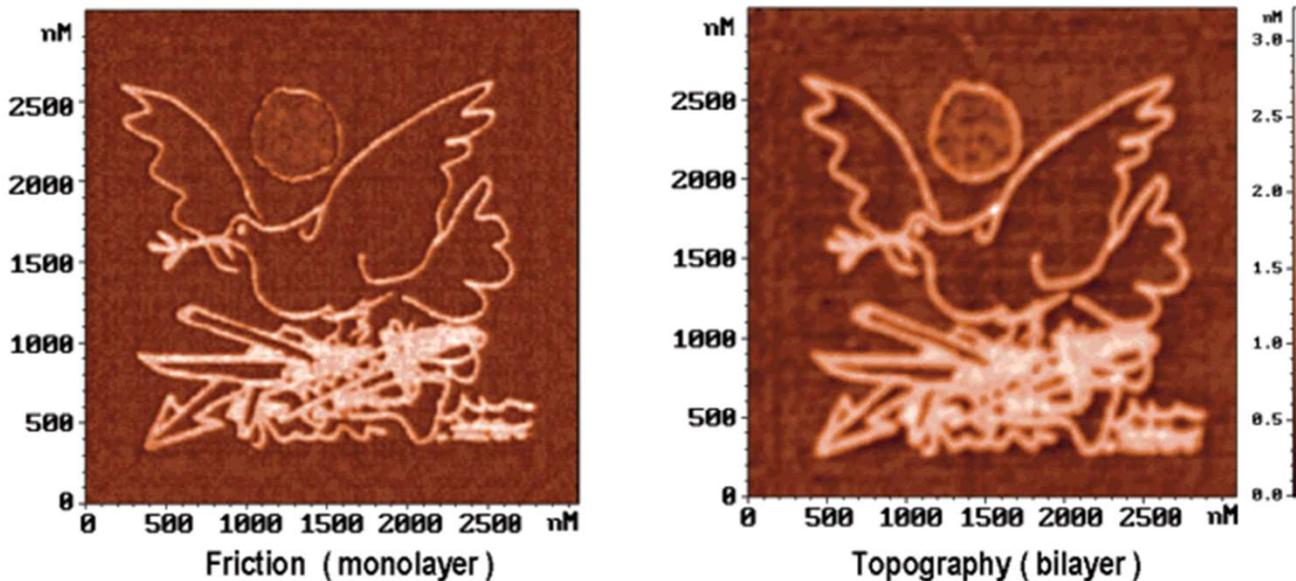
The Weizmann Institute of Science, Rehovot (Israele)



Modifica di uno strato di silani

World Without Weapons

P. Picasso, 1962



La microscopia a scansione di sonda

Per vedere una corrugazione devi usare una «sonda» di dimensioni confrontabili

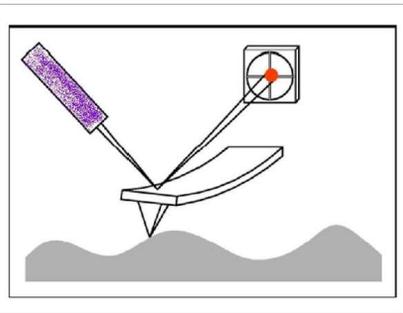


Se vuoi vedere gli atomi, devi usare un atomo!

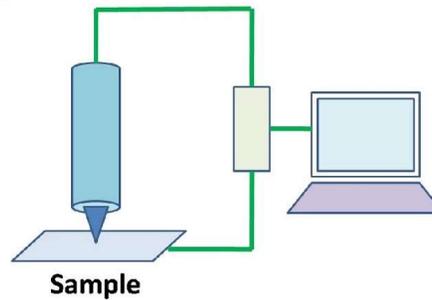
Microscopio a forza atomica (1986)



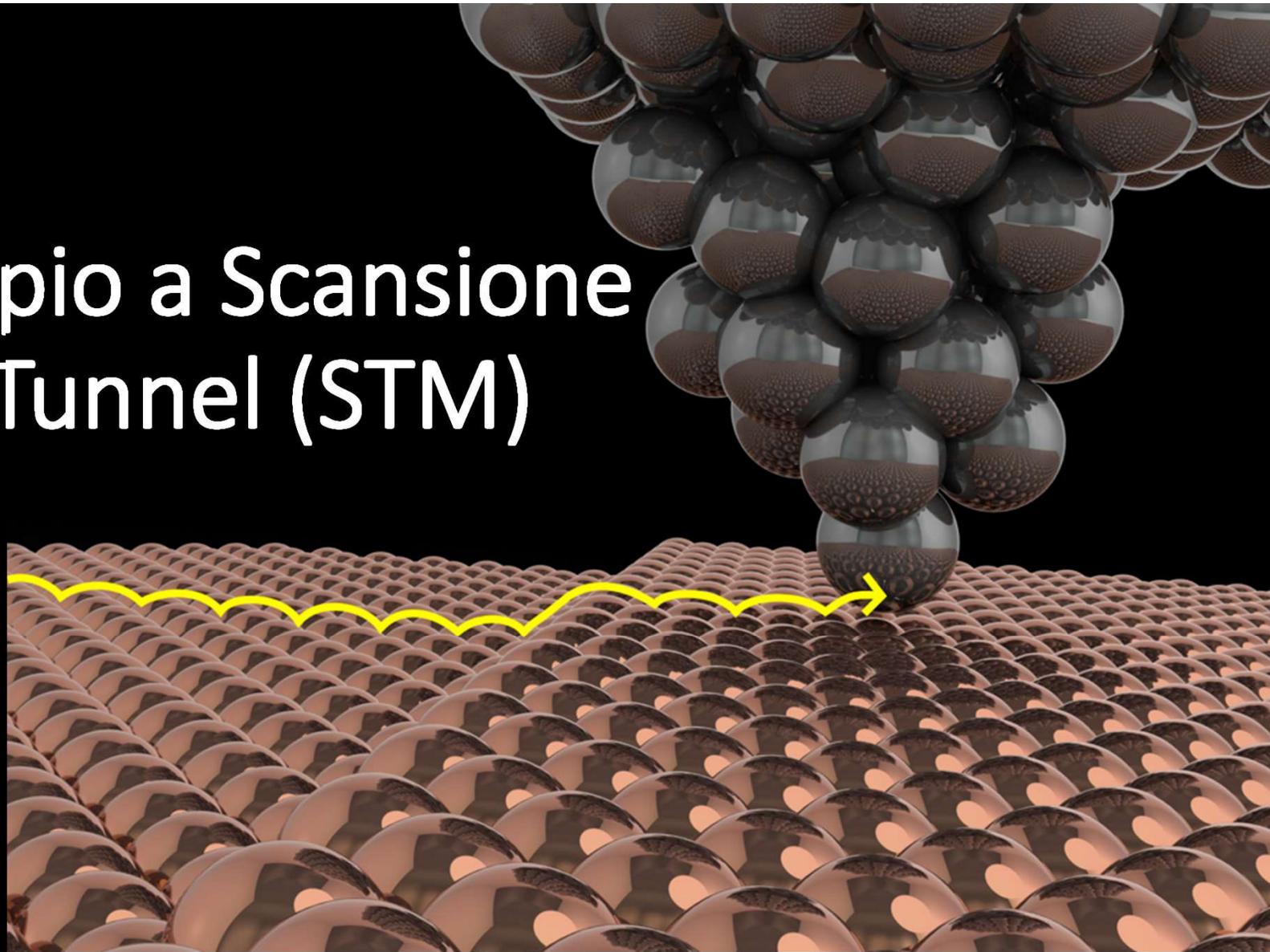
G. Binning and H. Rohrer
Nobel Prize 1986



Microscopio a effetto tunnel (1981)

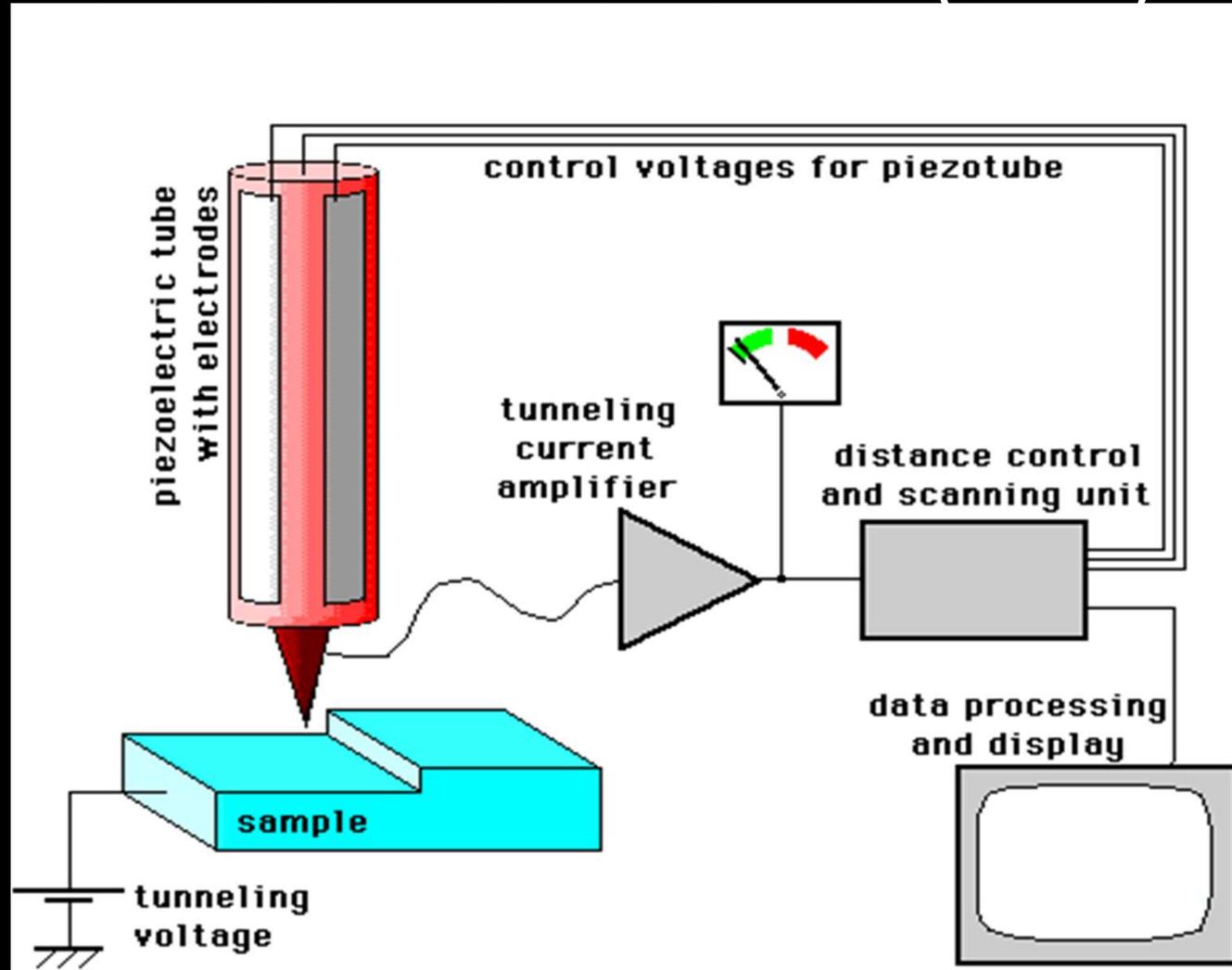


Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

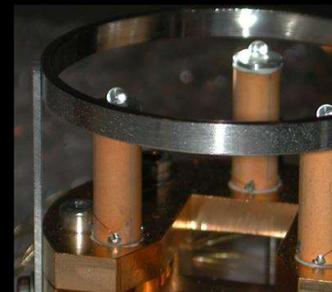
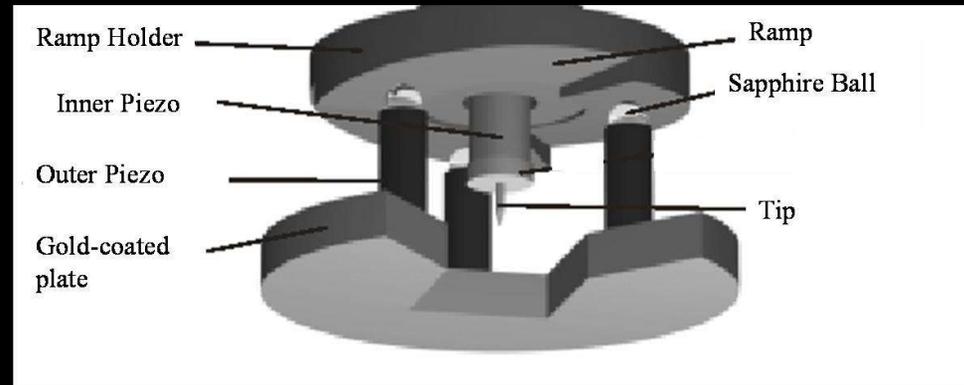
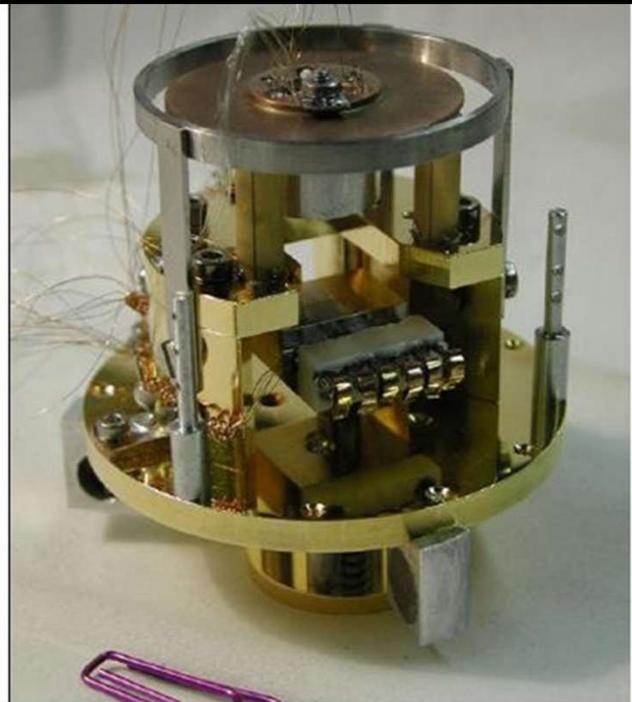


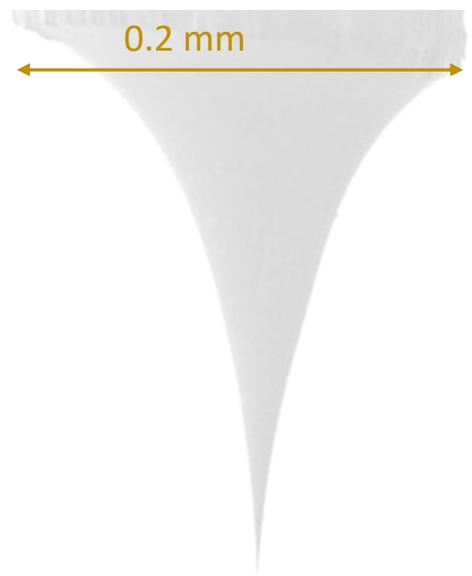
Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

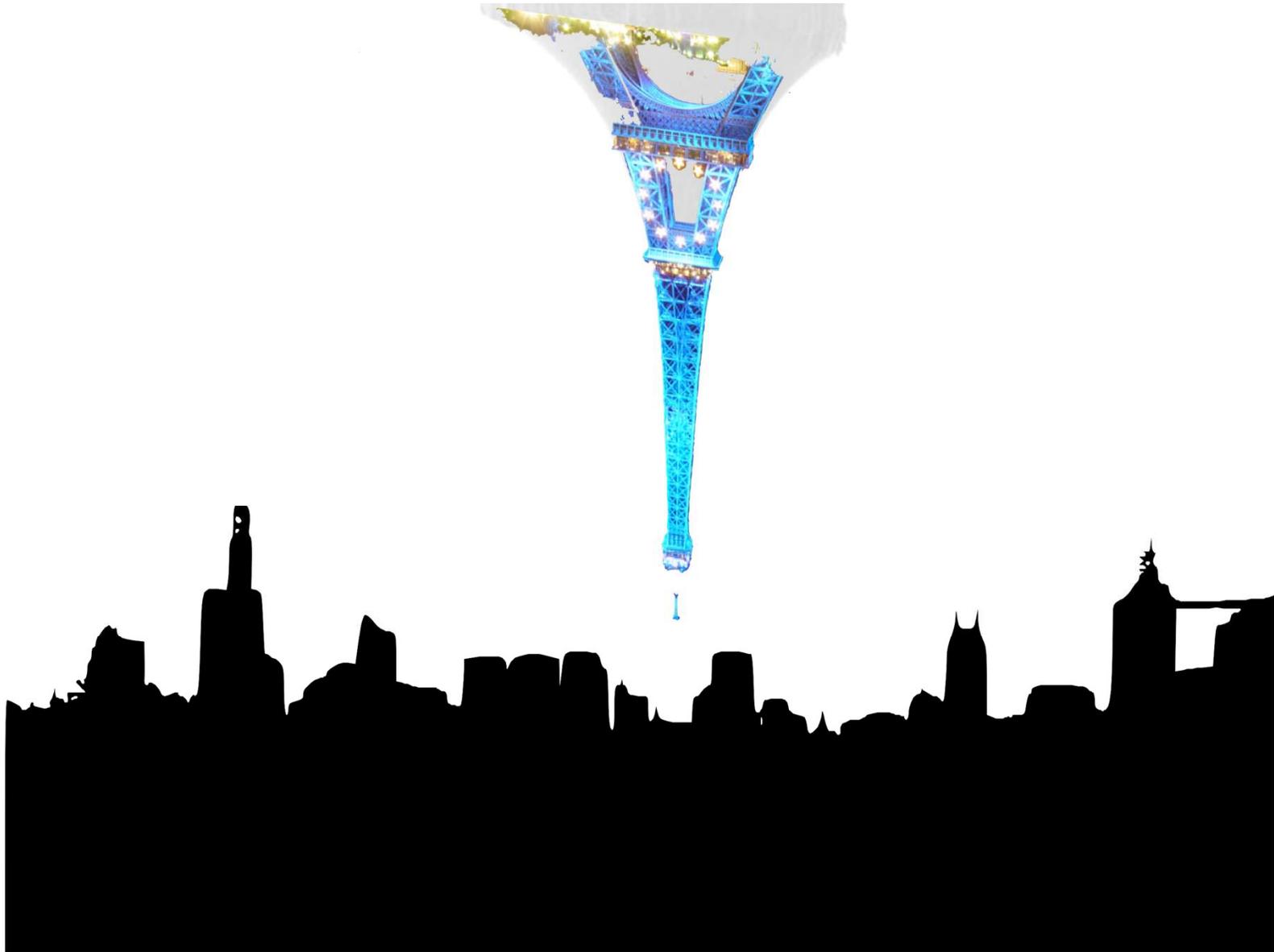
Come funziona?



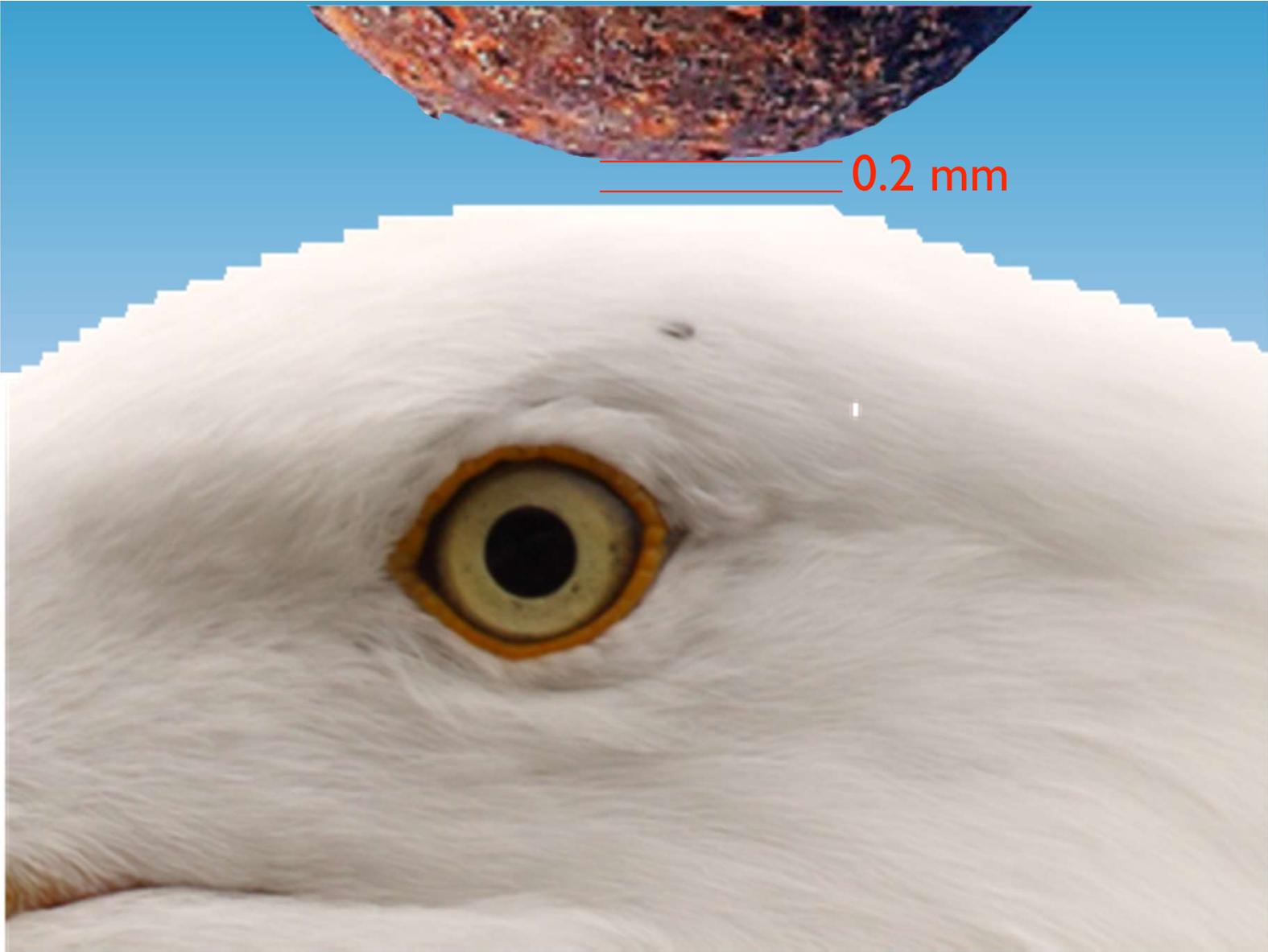
Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM) Com'è fatto?







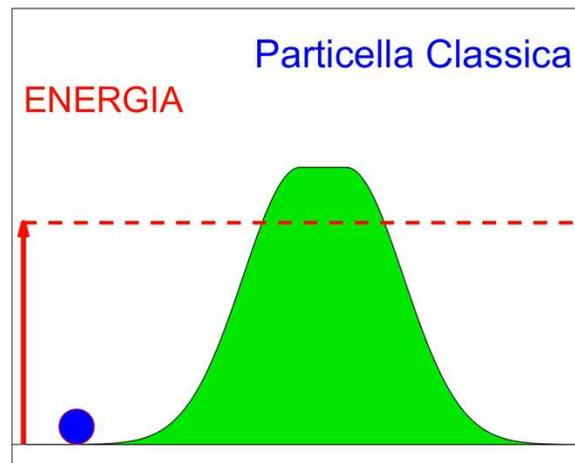
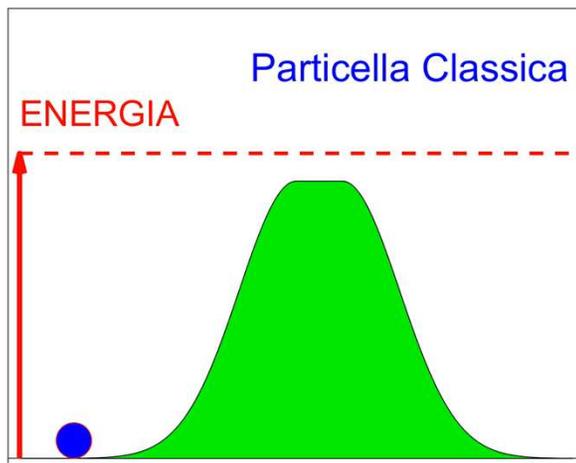




Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Che cos'è l'effetto tunnel?

Fisica classica

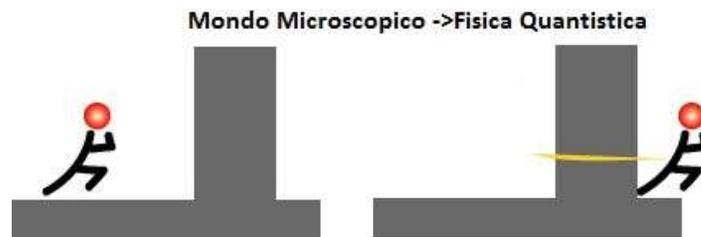
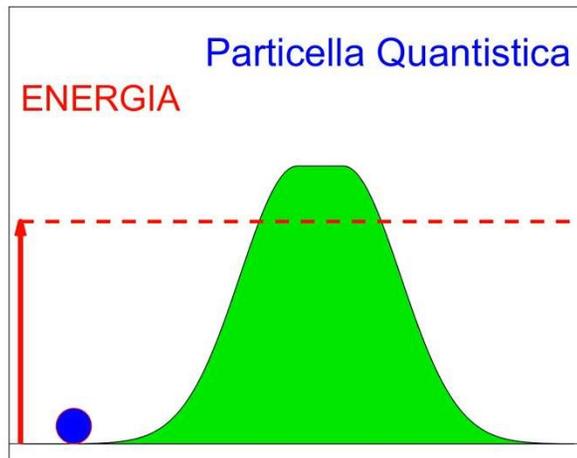


Se l'energia iniziale della particella è minore dell'altezza della barriera (energetica), la particella non può passare.

Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Che cos'è l'effetto tunnel?

Fisica quantistica

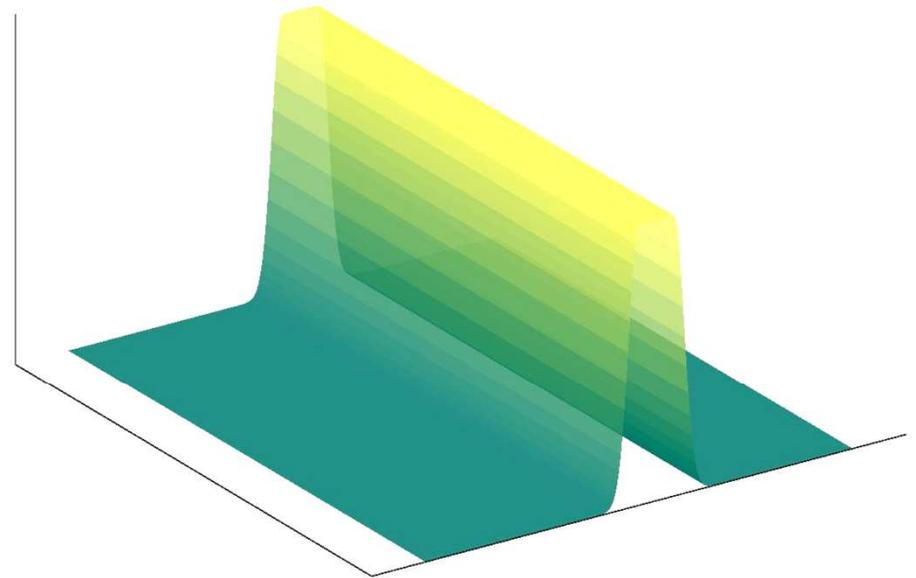
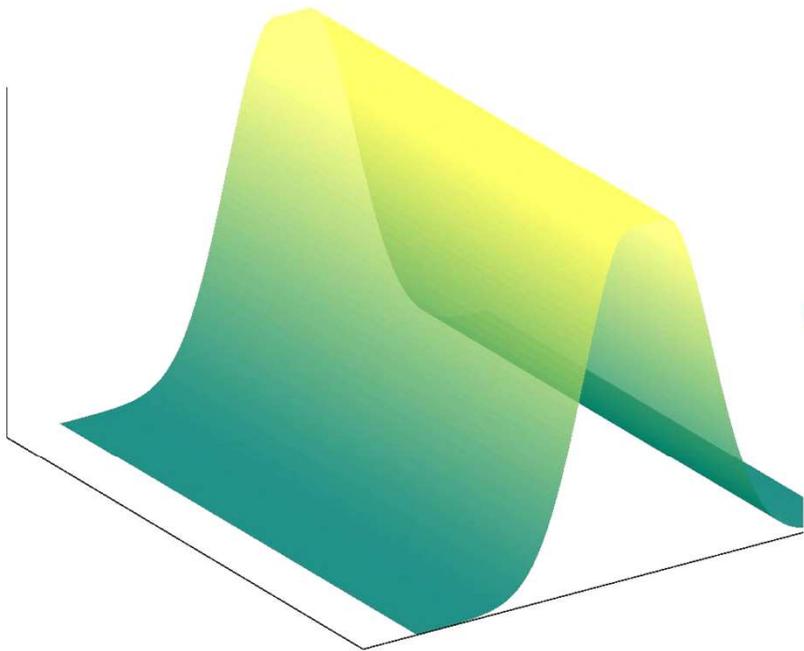


- Anche se l'energia iniziale della particella è minore dell'altezza della barriera (energetica), c'è una probabilità non nulla che la particella passi dall'altra parte. Non supera la barriera ma ci passa attraverso (in un tunnel).

Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Che cos'è l'effetto tunnel?

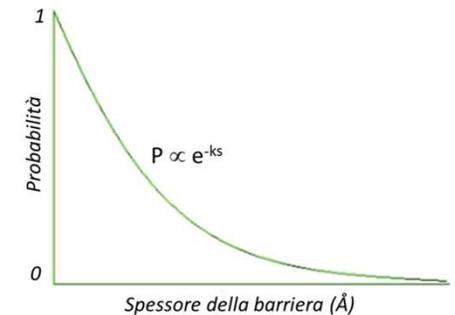
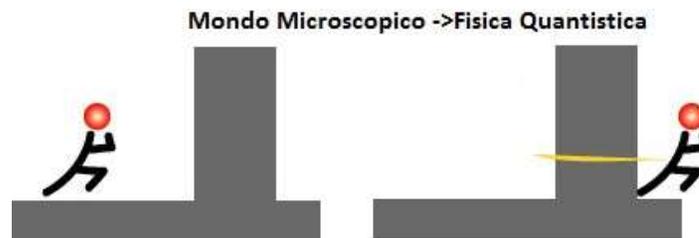
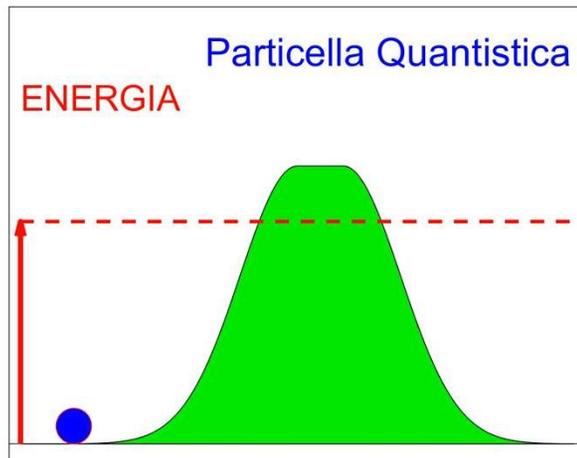
- Non tutte le particelle passano dall'altra parte.



Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Che cos'è l'effetto tunnel?

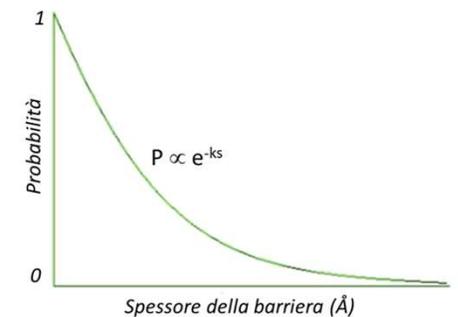
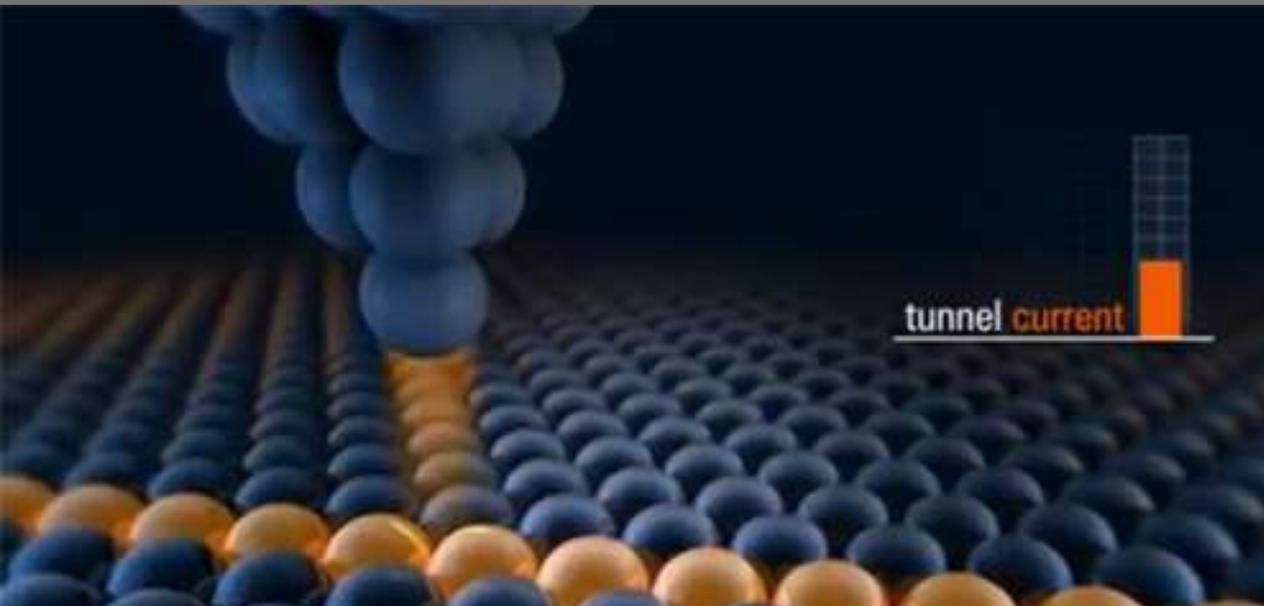
Fisica quantistica



- Anche se l'energia iniziale della particella è minore dell'altezza della barriera (energetica), c'è una probabilità non nulla che essa passi dall'altra parte. Non supera la barriera ma ci passa attraverso (in un tunnel).
- La probabilità che ciò accada decresce molto velocemente all'aumentare dello spessore della barriera.
- La barriera è rappresentata dallo spazio tra punta e superficie campione.

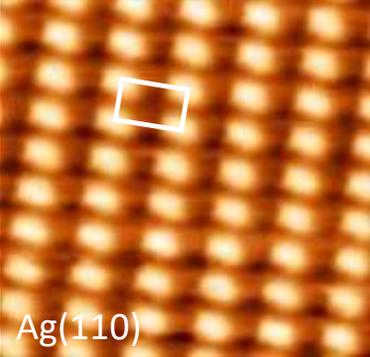
Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Che cos'è l'effetto tunnel?

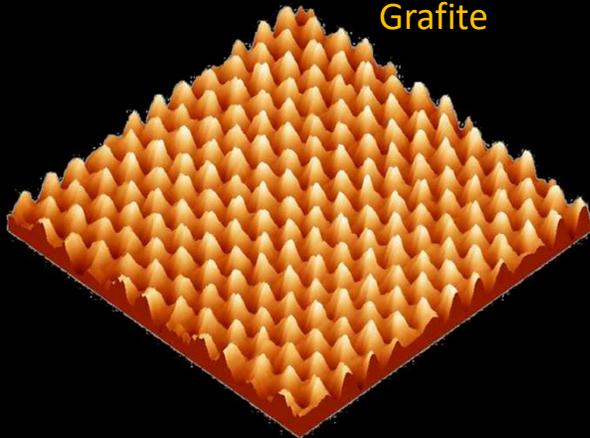
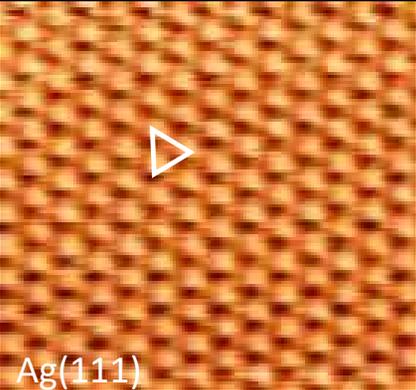


- Anche se l'energia iniziale della particella è minore dell'altezza della barriera (energetica), c'è una probabilità non nulla che essa passi dall'altra parte. Non supera la barriera ma ci passa attraverso (in un tunnel).
- La probabilità che ciò accada decresce molto velocemente all'aumentare dello spessore della barriera.
- Quindi posso misurare una corrente di elettroni fra punta e campione che decresce esponenzialmente con la loro distanza.

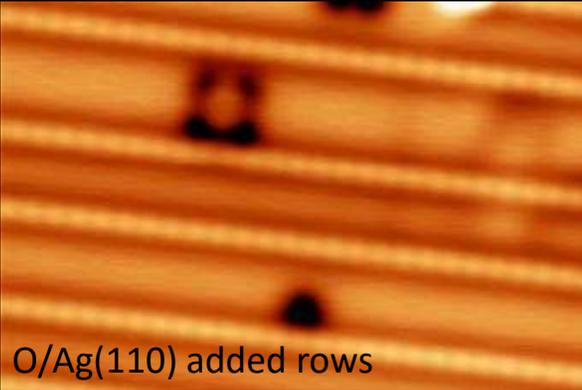
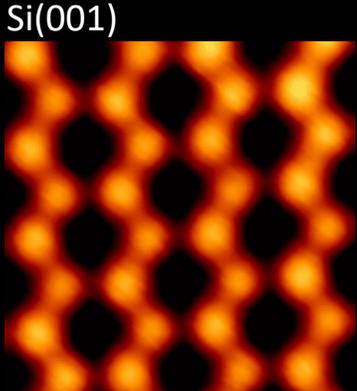
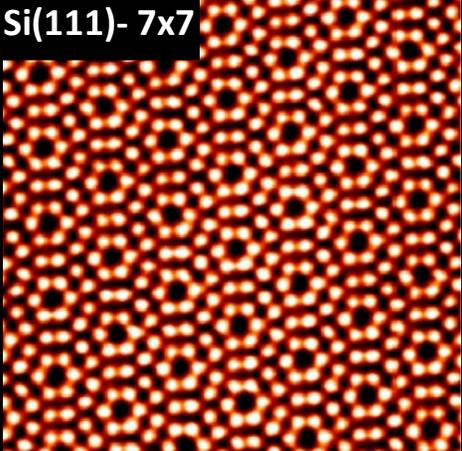
Vediamo gli atomi di una superficie...



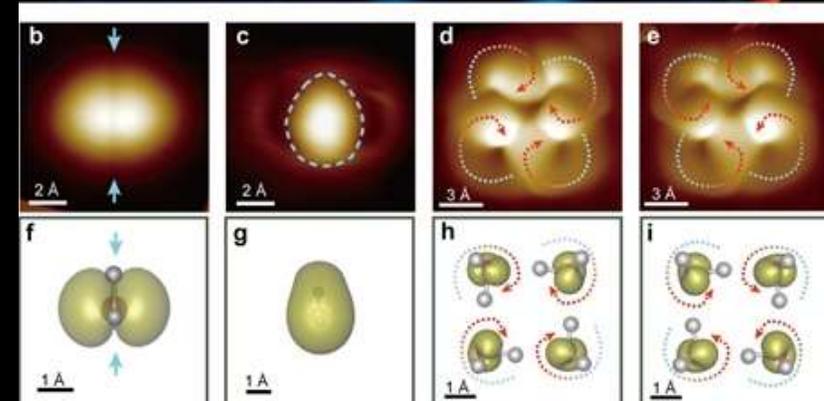
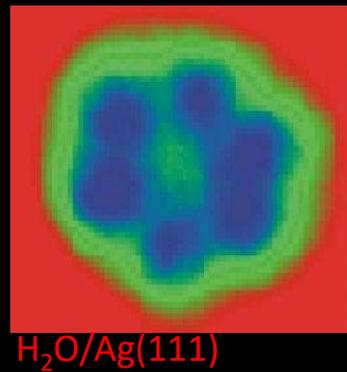
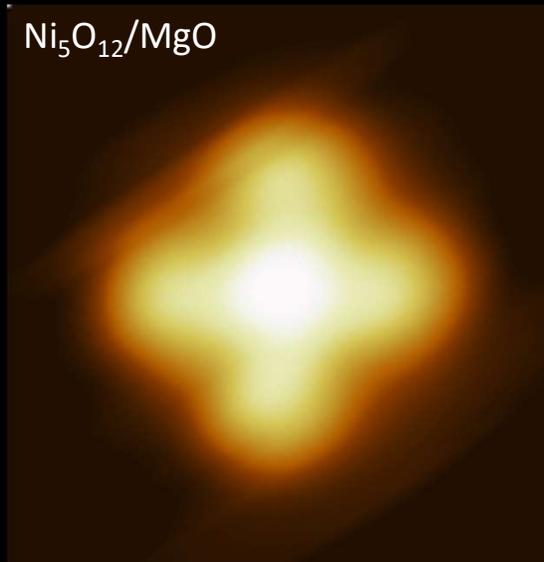
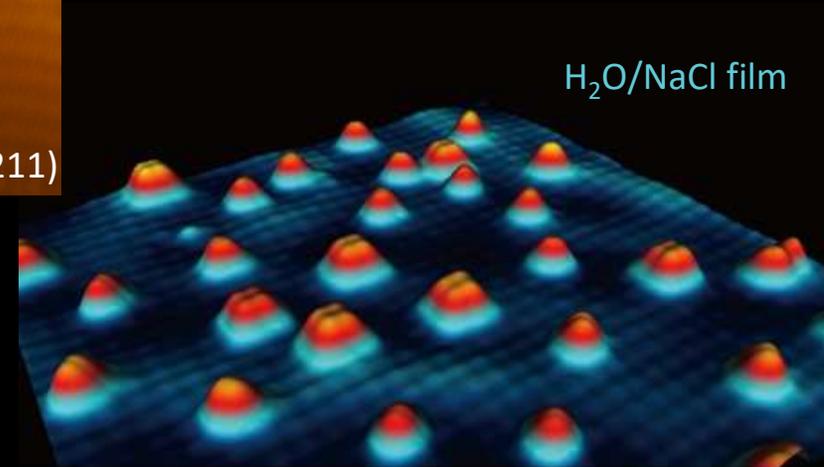
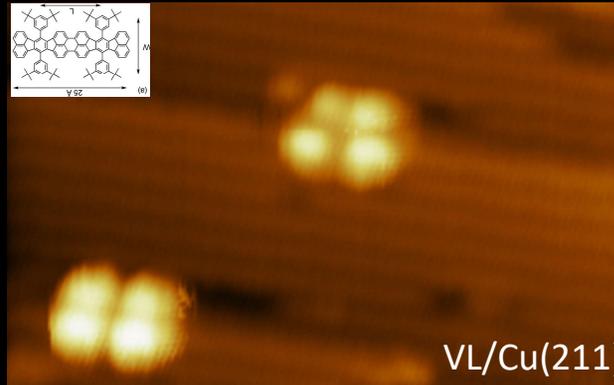
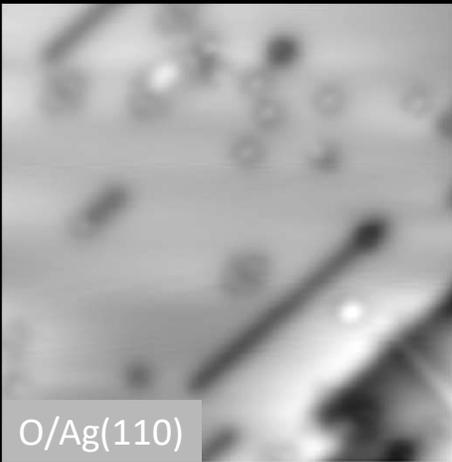
Diversa disposizione degli atomi



Ricostruzione superficiale

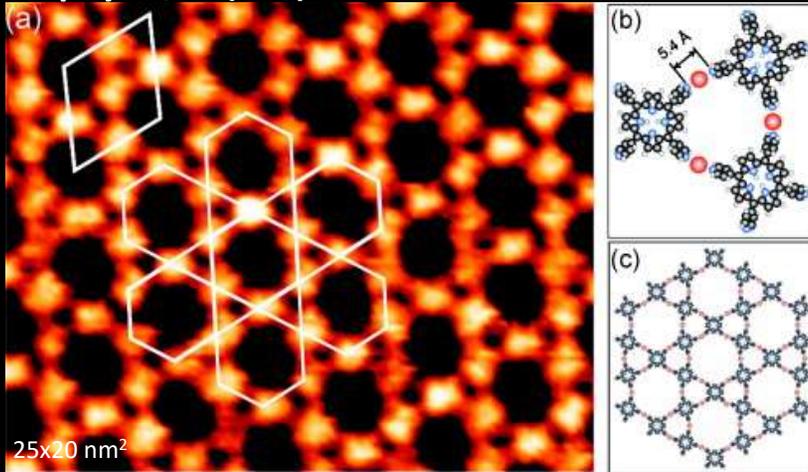


... gli atomi o le molecole depositati su di essa

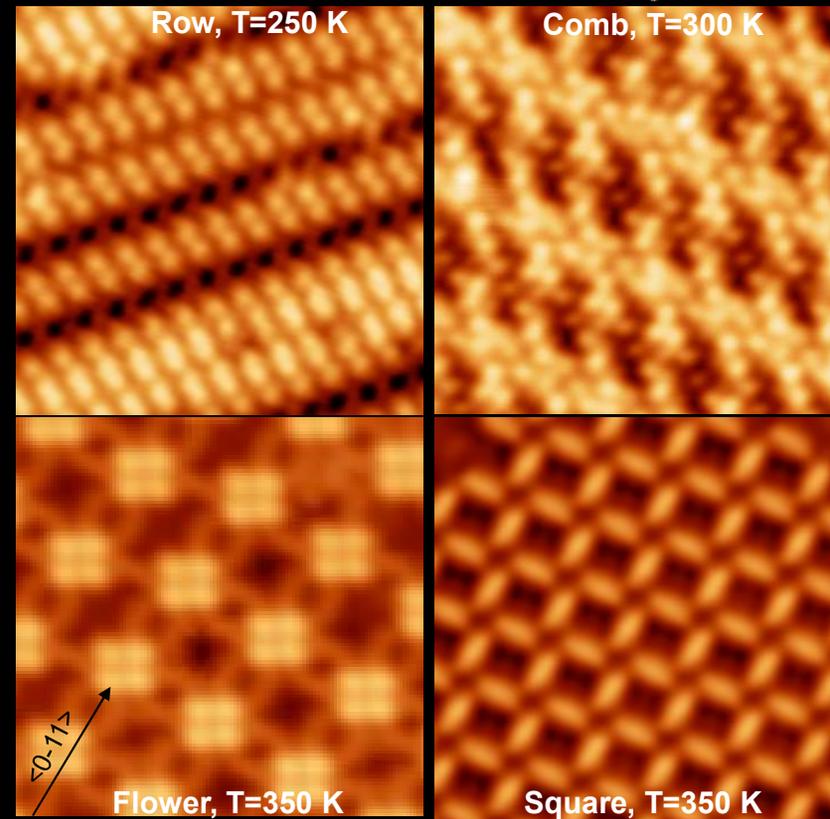
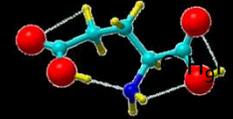


... e le nanostrutture che si possono formare.

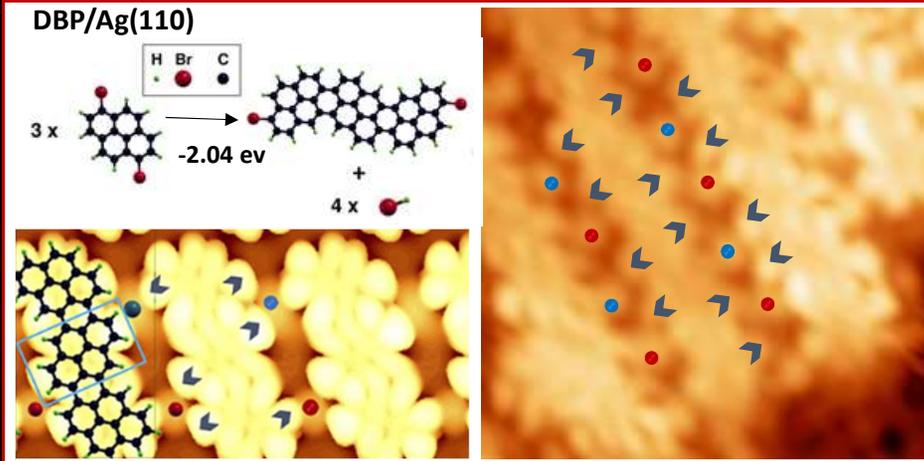
Porphyrin/Au(111)



Glu/Ag(100)



DBP/Ag(110)

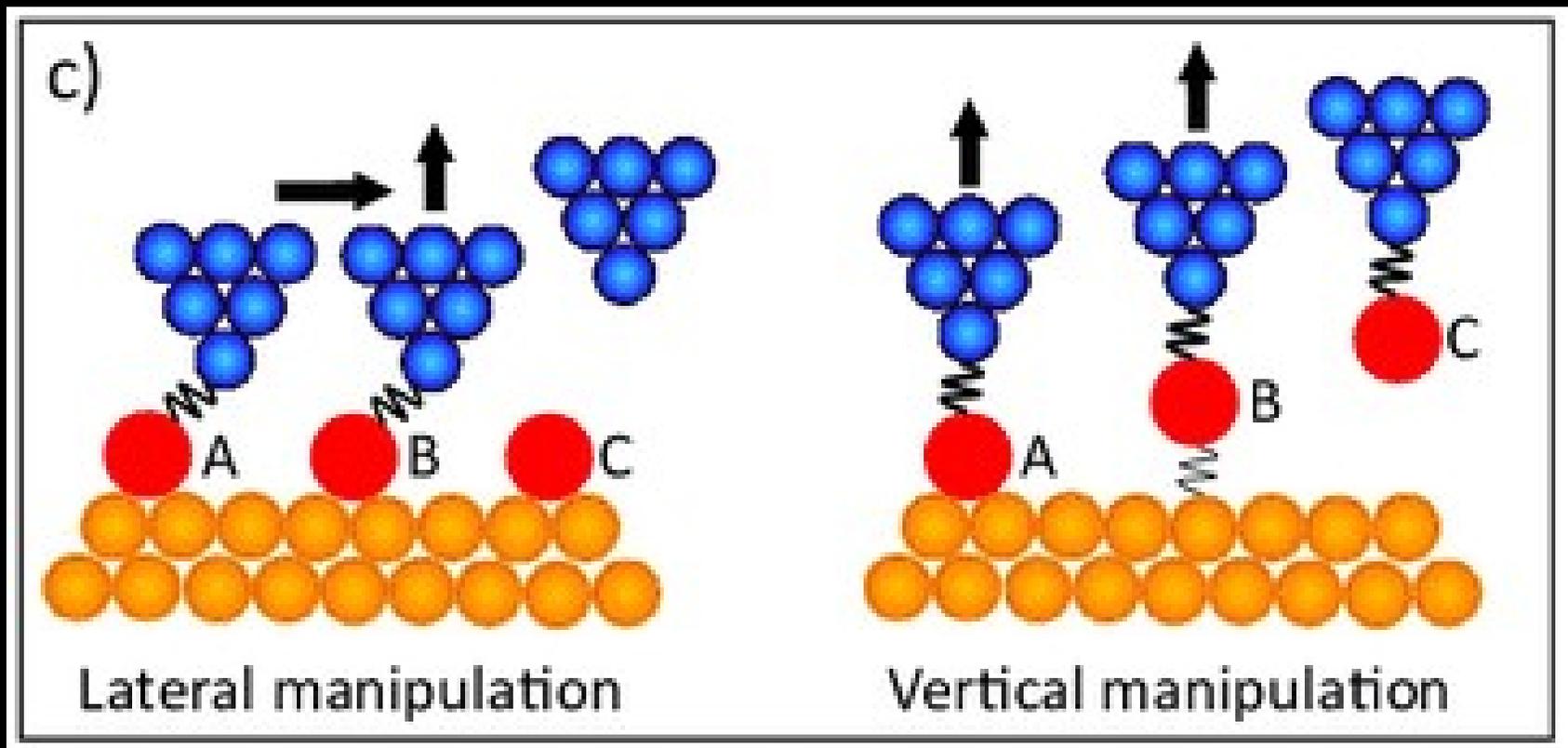


Disegnare con gli atomi

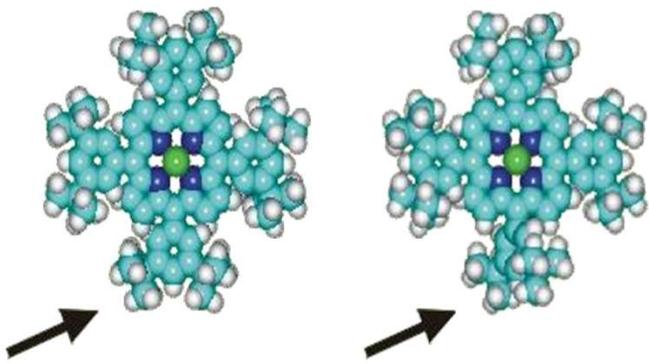
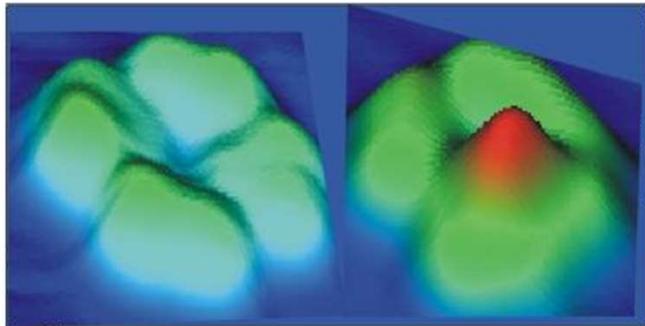


Microscopio a Scansione a Effetto Tunnel (STM)

Usiamo la punta per spostare gli atomi/molecole

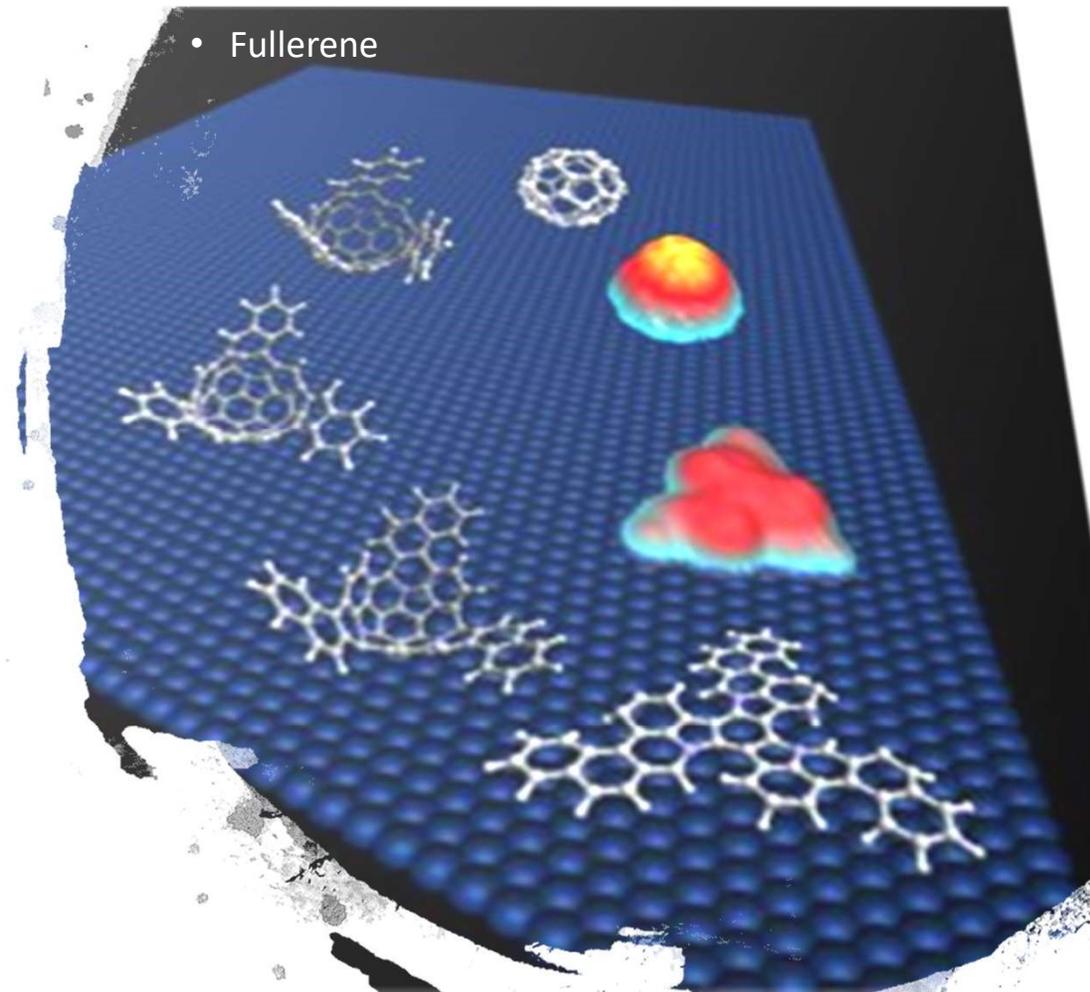


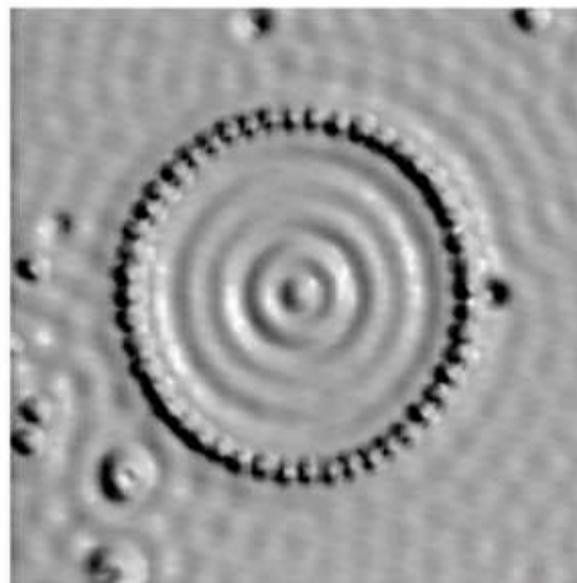
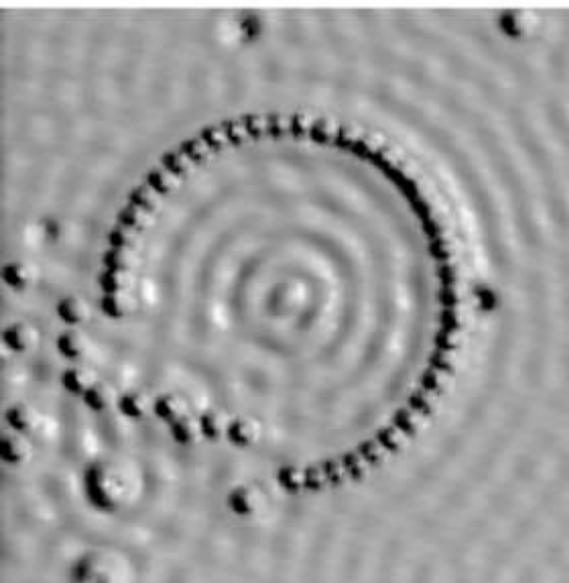
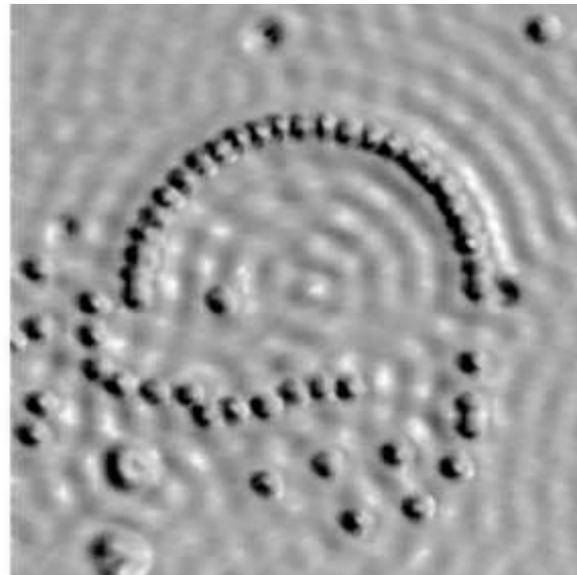
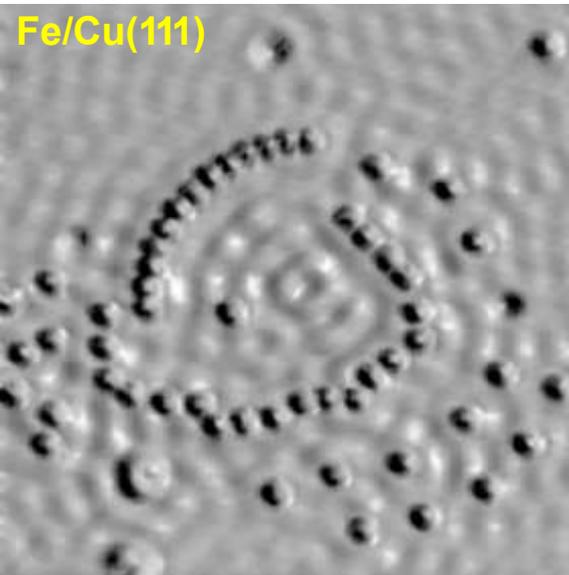
Usiamo la punta per spostare gli atomi/molecole....o modificarne la conformazione



Porfirina/Cu(111): si comporta come uno switch molecolare se sollecitata mediante opportune tensioni applicate tramite la punta dell'STM.

F. Moresco et al., PRL 86, 672 (2001)



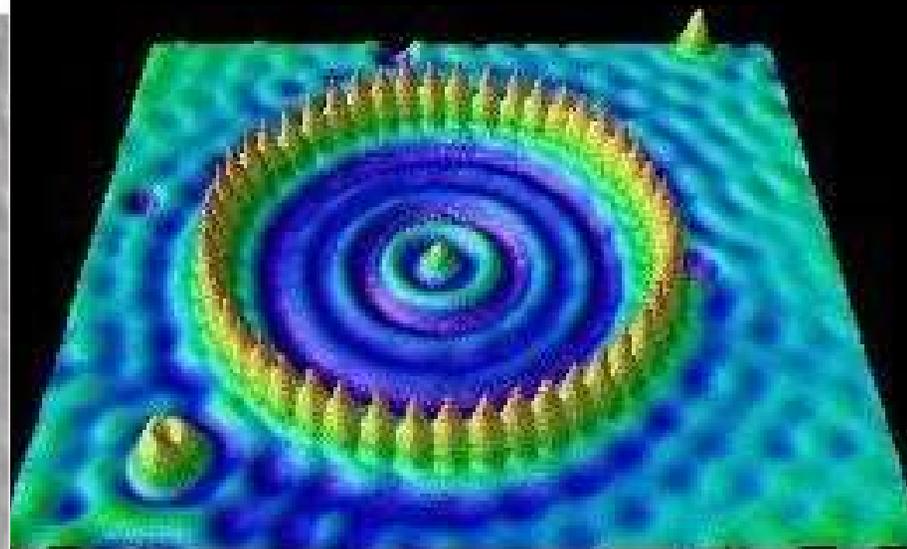


E possiamo disegnare con gli atomi....

Manipolazione con la punta dell'STM

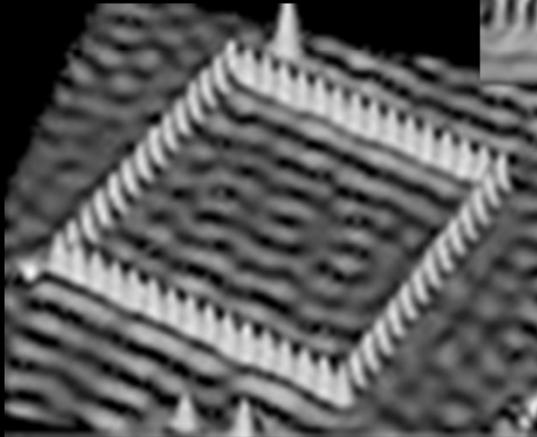
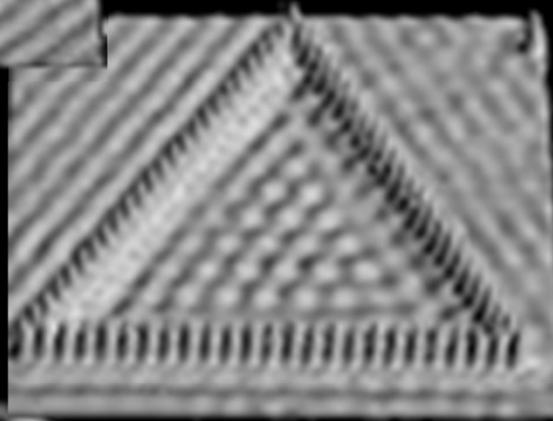
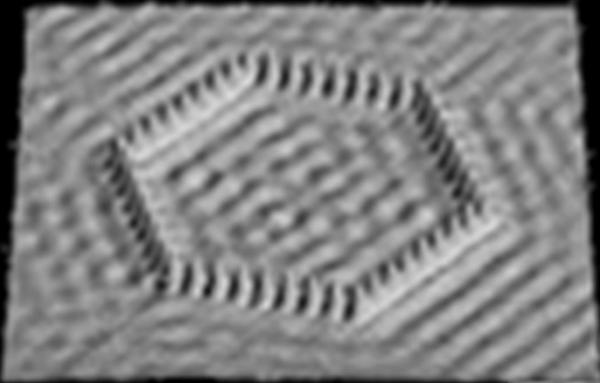
Si possono spostare atomi o molecole «appoggiati» sulla superficie in maniera controllata.

A volte ciò genera onde di interferenza degli elettroni liberi della superficie (onde stazionarie— quantum corrals), che vengono confinati.



M.F. Crommie et al., Surf. Rev. Lett. 2, 127 (1995)

Fe/Cu(111)

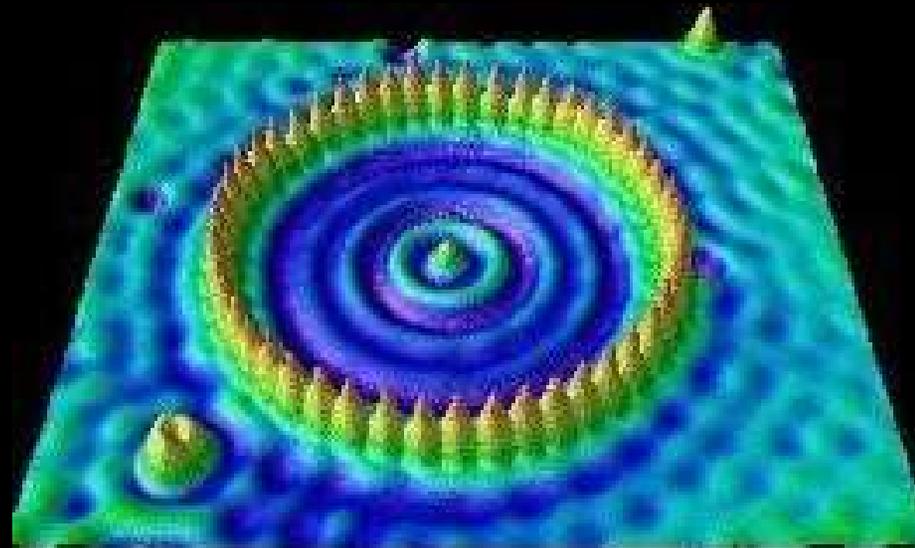


E possiamo disegnare con gli atomi....

Manipolazione con la punta dell'STM

Si possono spostare atomi o molecole «appoggiati» sulla superficie in maniera controllata.

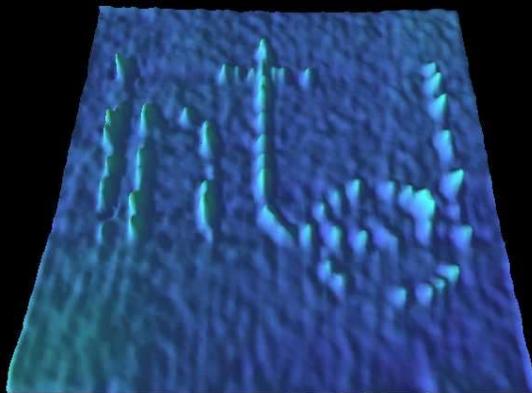
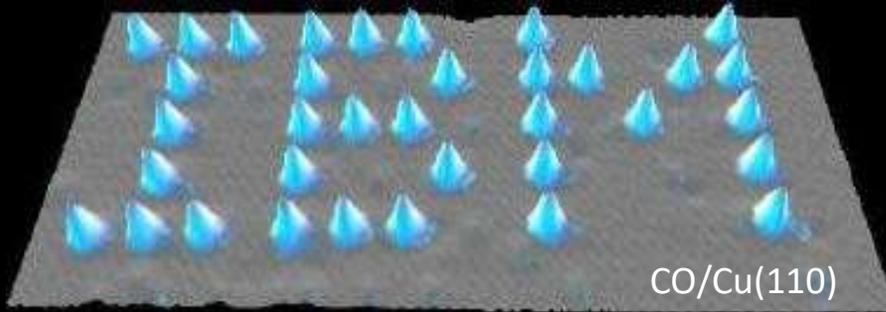
A volte ciò genera onde di interferenza degli elettroni liberi della superficie (onde stazionarie– quantum corrals), che vengono confinati.



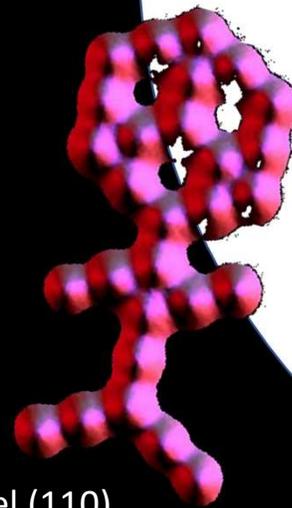
M.F. Crommie et al., Surf. Rev. Lett. 2, 127 (1995)

E possiamo disegnare con gli atomi....

Manipolazione con la punta dell'STM

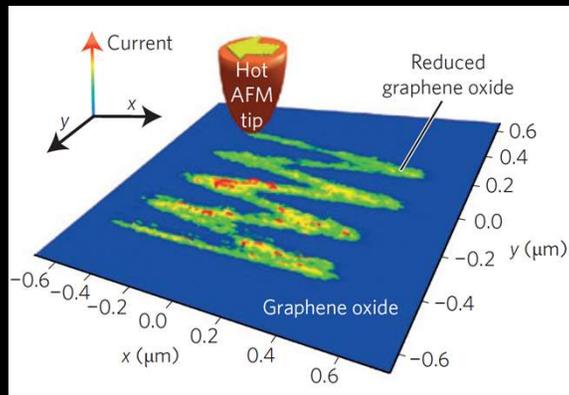
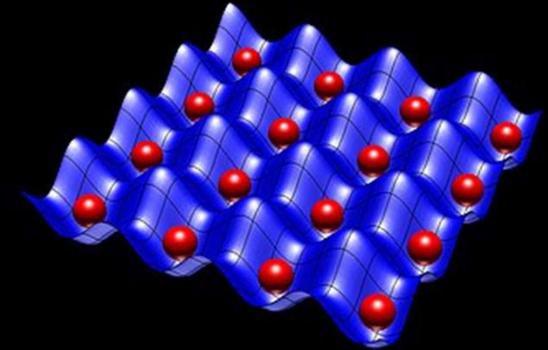


Xe on Nickel (110)



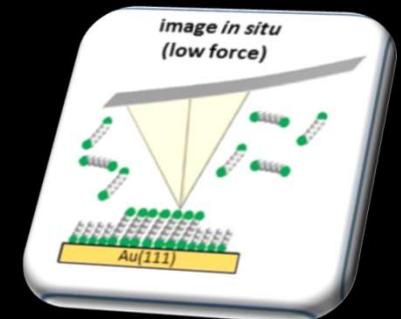
E' solo un gioco?

Se l'atomo è magnetico, posso immagazzinare 1 bit di informazione in un atomo



Se so «disegnare» con la punta, ad es. ossidando una superficie metallica, spostando oggetti o rimuovendo strati di molecole, allora so disegnare micro e nanocircuiti su quella superficie.

Se disegno una matrice di microaree con reagenti o marker biologici posso fabbricare biochip.



Vedere e disegnare con gli atomi

16 Marzo 2021

Grazie per l'attenzione



Università
di Genova



DIFI
2018-2022
DIPARTIMENTO
DI ECCELLENZA
MIUR



Istituto dei Materiali per l'Elettronica e il
Magnetismo del CNR