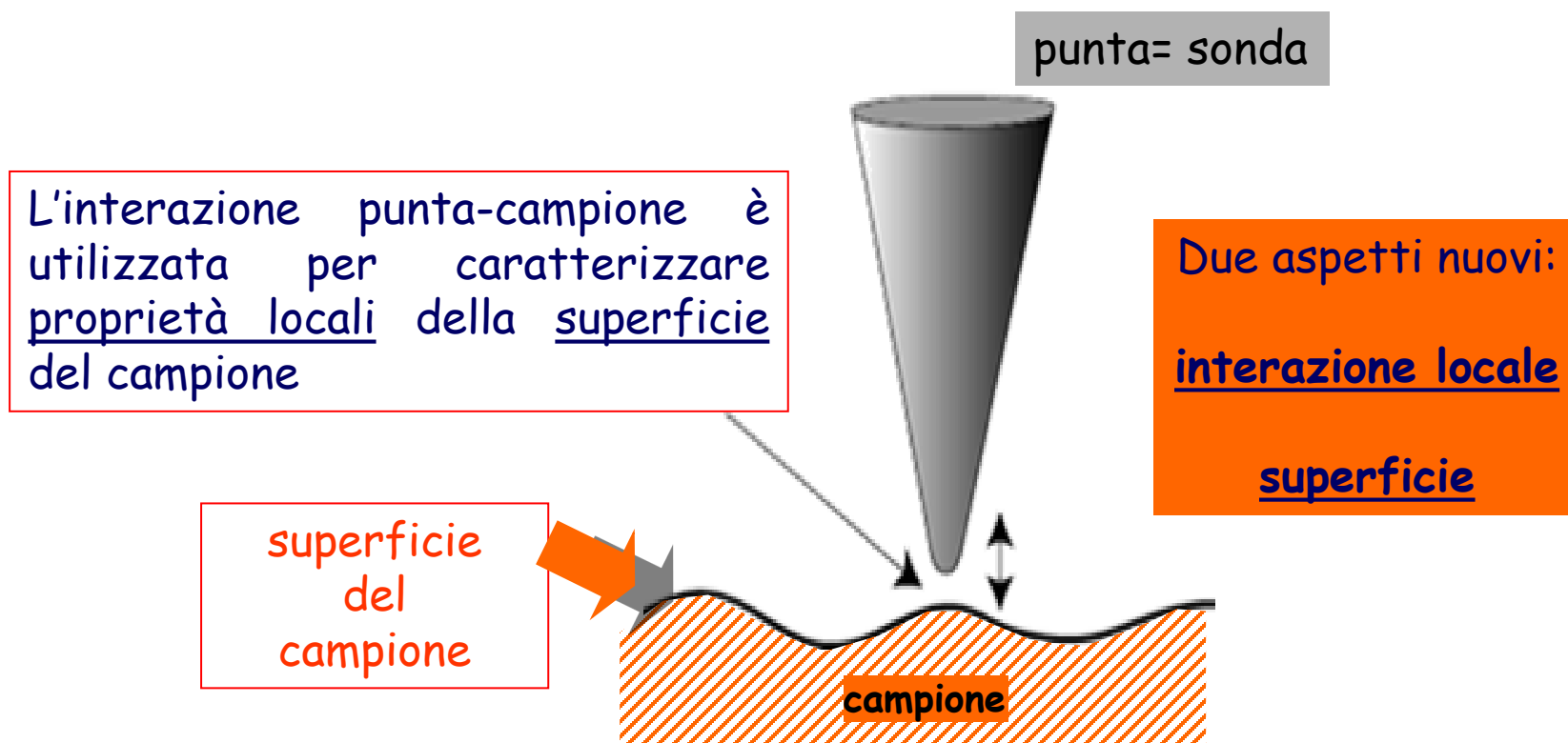
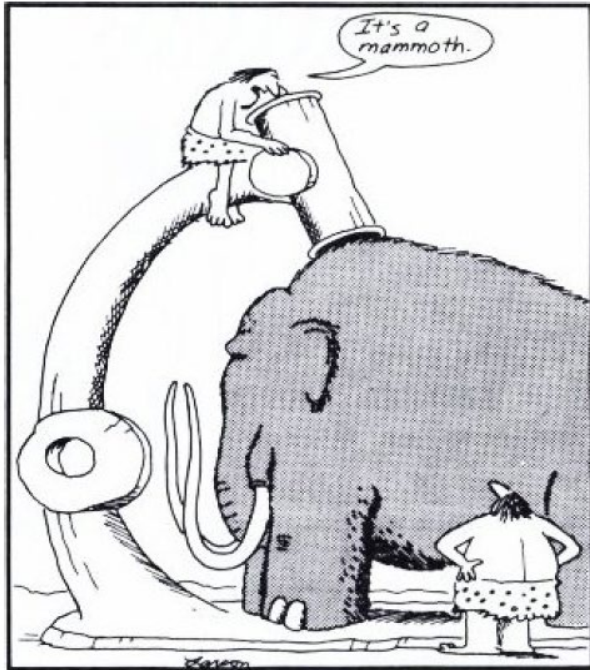


Principi generali delle tecniche a scansione di sonda

Una sonda a terminazione atomica (punta) viene avvicinata ad un campione in modo 'interrogarne' la superficie.



Studio delle proprietà strutturali ed elettroniche dei materiali nanometrici: nuove tecniche sperimentali, quali vantaggi?



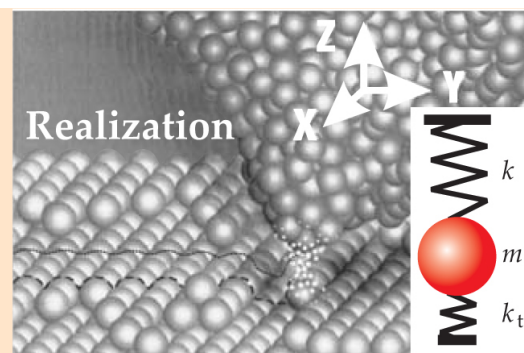
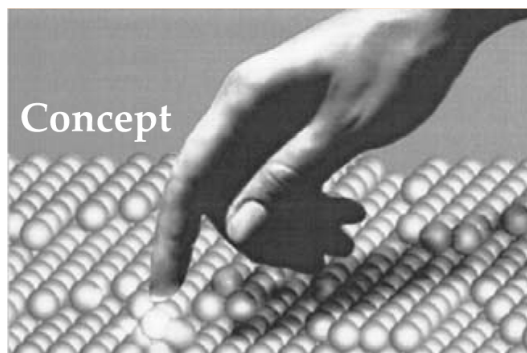
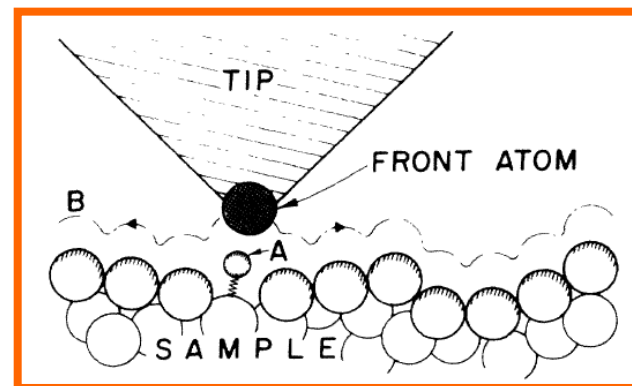
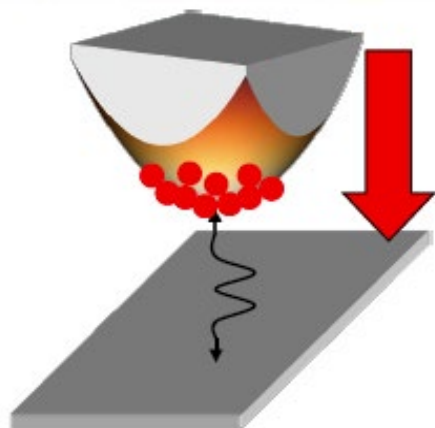
Early microscope
Gary Larson

Dopo il 1981.....

Principi generali delle microscopie a scansione di sonda (SPM)

- STM
- AFM
- La famiglia delle tecniche SPM

..... E se l'interazione punta- campione fosse una forza ...atomica?



microscopia a forza atomica → Atomic Force Microscope (AFM)

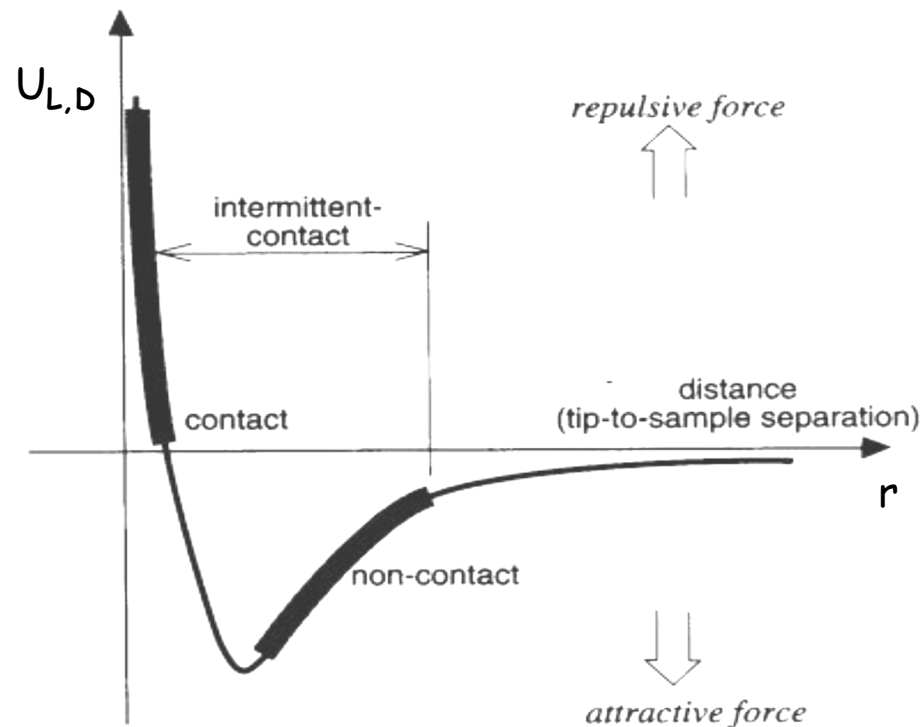
G. Binnig, et al., *Scientific American*, 253 (1985) 40
C. F. Quate, *Physics Today*, 39 (1986) 26
G. Binnig, et al., *Phys. Rev. Lett.* 56 (1986) 930

-
- ☺ Misurare
 - ☺ Modificare
 - ☺ Manipolare

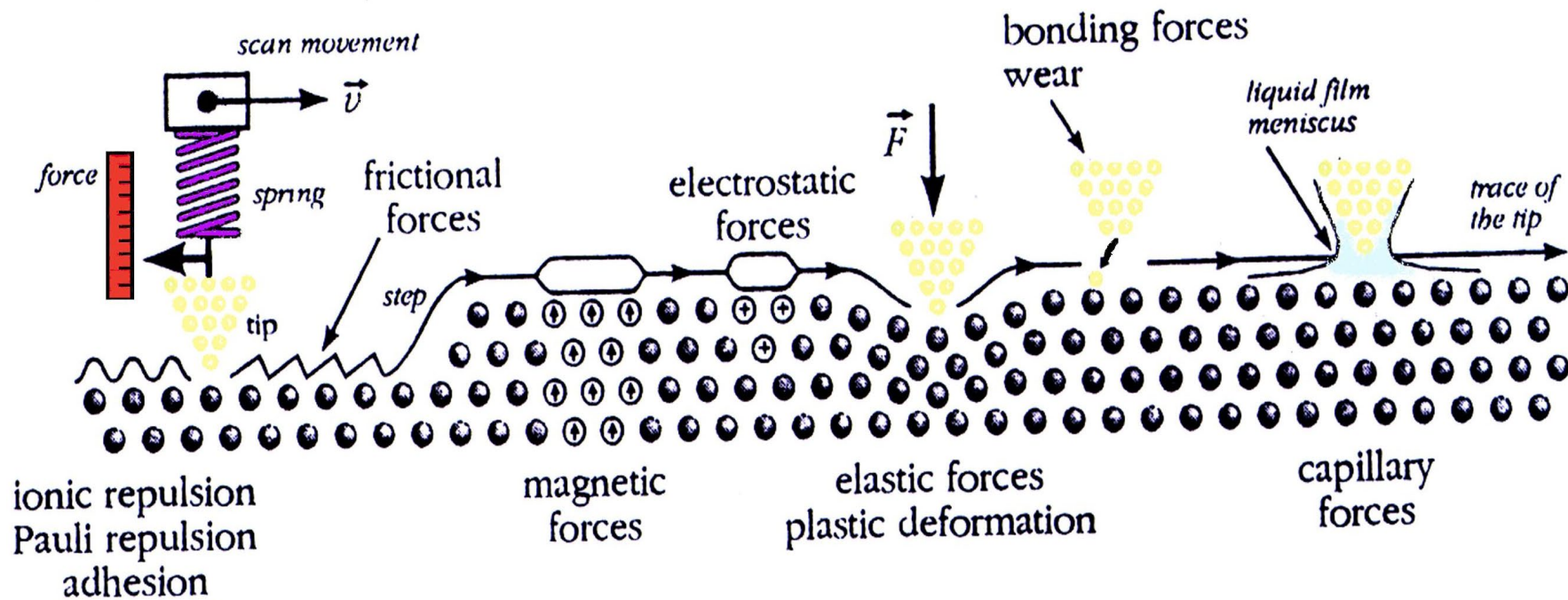
Nel caso della microscopia AFM ci si aspetta che se la punta :

è molto vicina o in contatto con il campione sia soggetta a forze di tipo repulsivo

se si trova ad una certa distanza dalla superficie del campione sia soggetta a forze attrattive a lungo raggio di tipo elettrico o magnetico.



Manuela



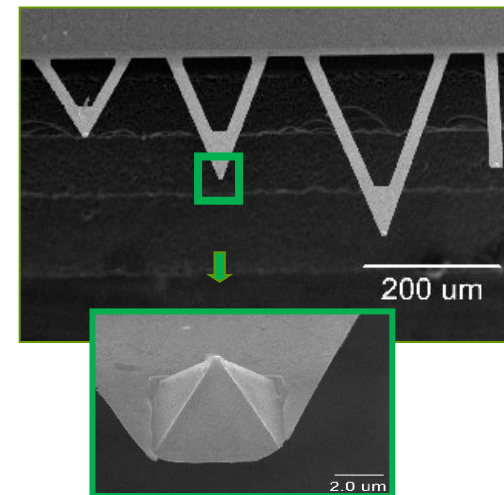
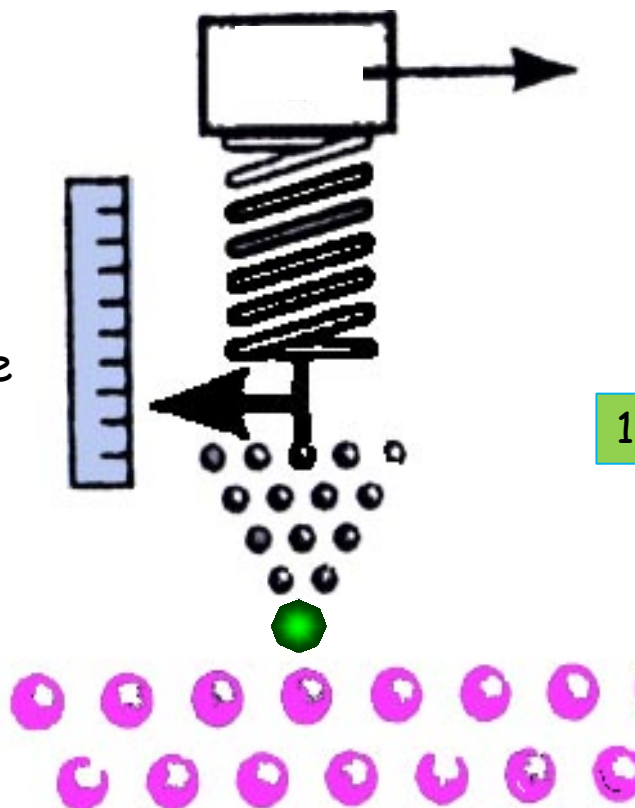
Nella microscopia a forza atomica le interazioni fra punta e campione possono essere molto diverse.

Sulla scala di atomi e molecole le interazioni elettromagnetiche prevalgono su altri tipi di interazioni, e danno luogo a forze differenti che possono complicare l'interpretazione delle immagini, ma offrono la possibilità di misurare **localmente** molte proprietà fisiche.

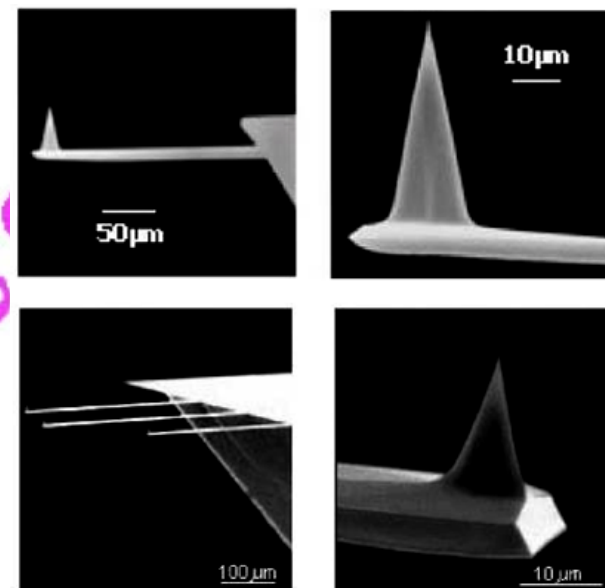
La microscopia AFM si basa sul principio di misurare la forza che si instaura tra una punta e il campione.

Due aspetti fondamentali della tecnica:

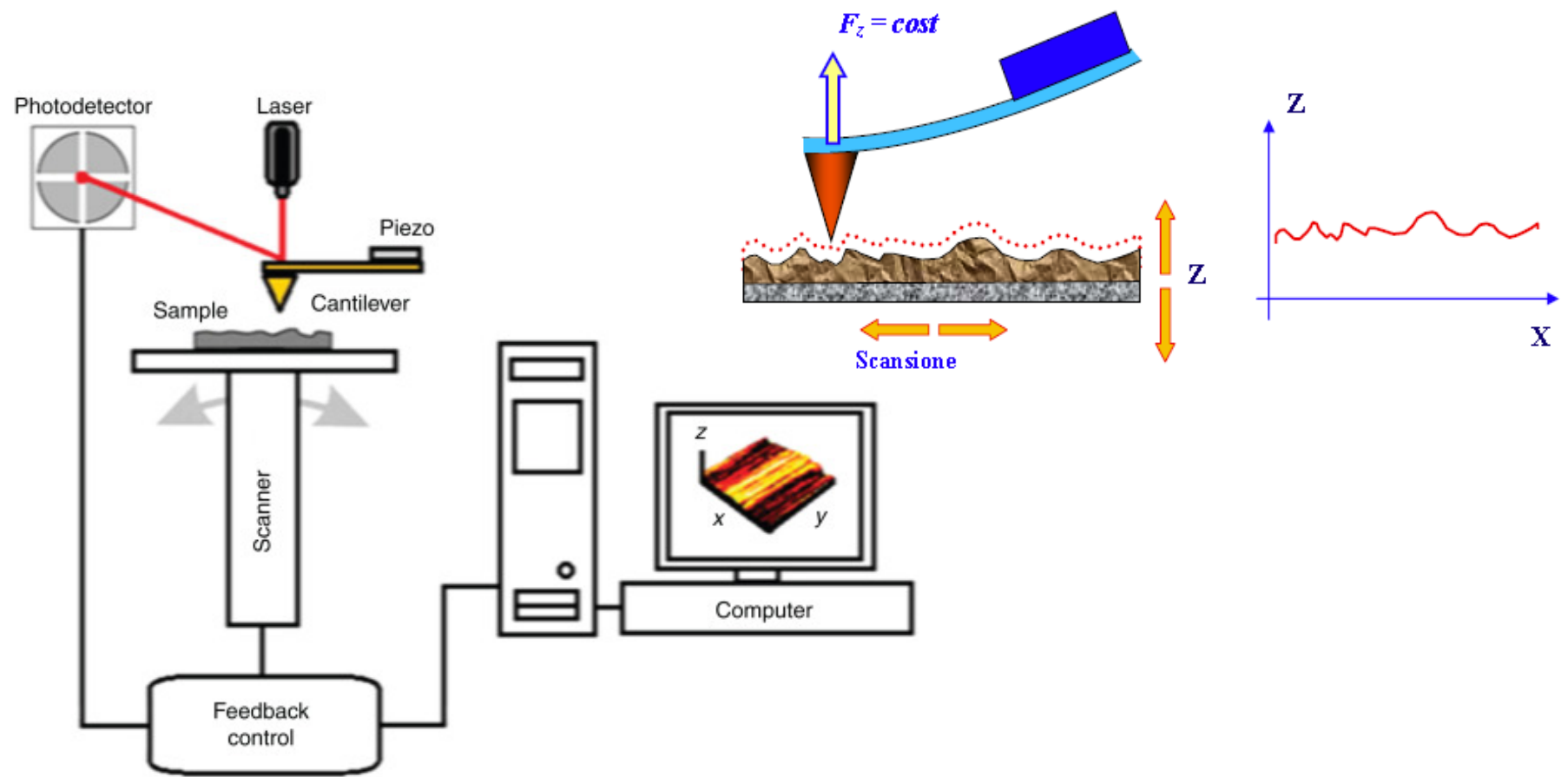
1. Preparazione di punte adatte.
2. Misura della deflessione dell'elemento elastico => Forza.



1. Preparazione di punte adatte.

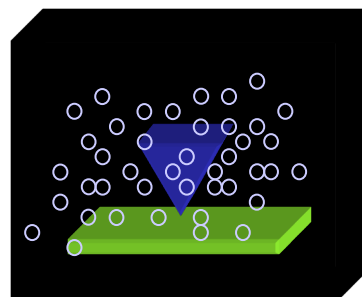


La microscopia a forza atomica è una tecnica di profilatura meccanica che genera mappe tridimensionali di superfici da scansione di una sonda attaccata a un elemento elastico su a superficie. Le forze che agiscono tra la punta e l'elemento elastico e il campione sono utilizzate per controllare il distanza verticale

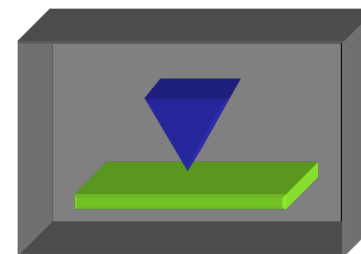


Potenzialità delle tecniche di microscopia STM e AFM

- I microscopi possono operare in ambienti diversi: liquido, aria o atmosfera controllata, ultra alto vuoto (UHV), con un buon rapporto segnale/rumore

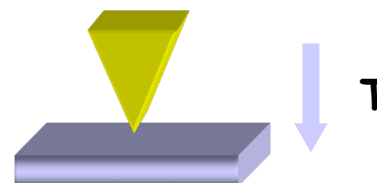
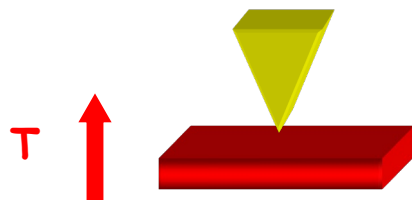


atmosfera controllata

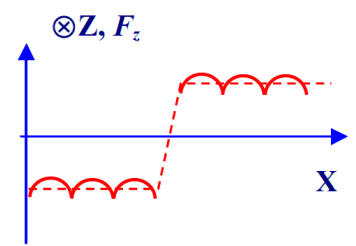
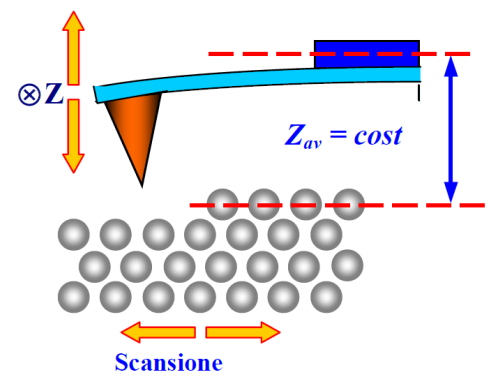
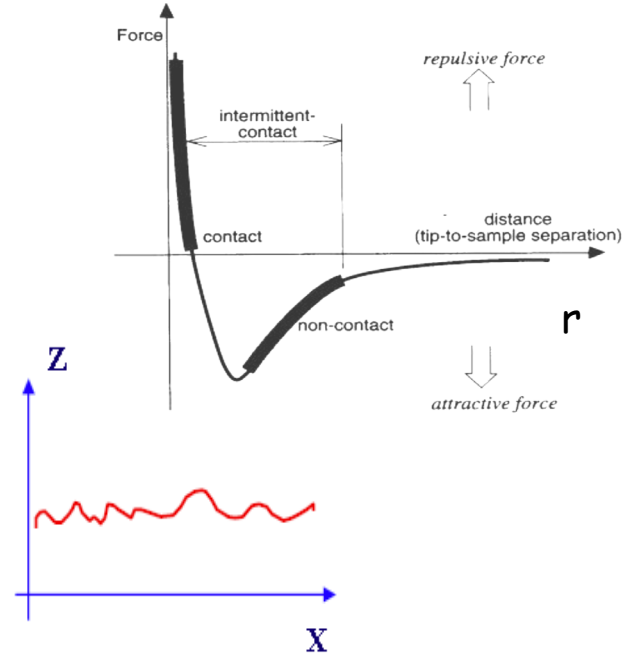
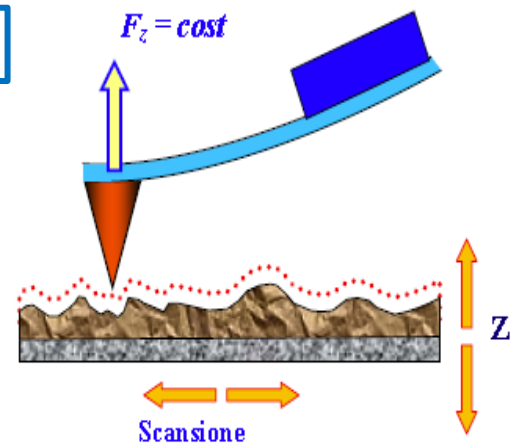
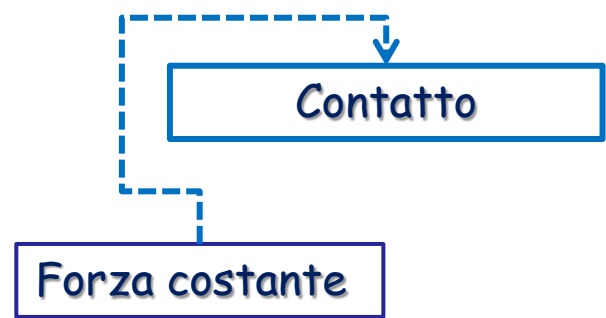


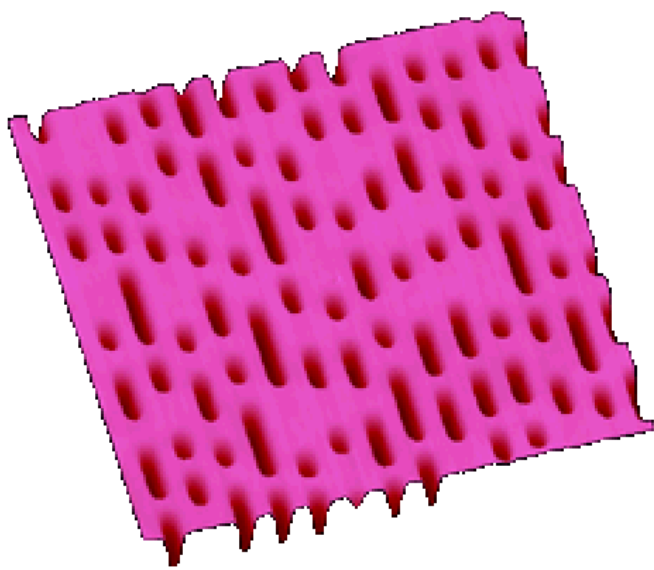
ultra-alto vuoto (UHV)

- mantenendo il campione a alta o bassa temperatura

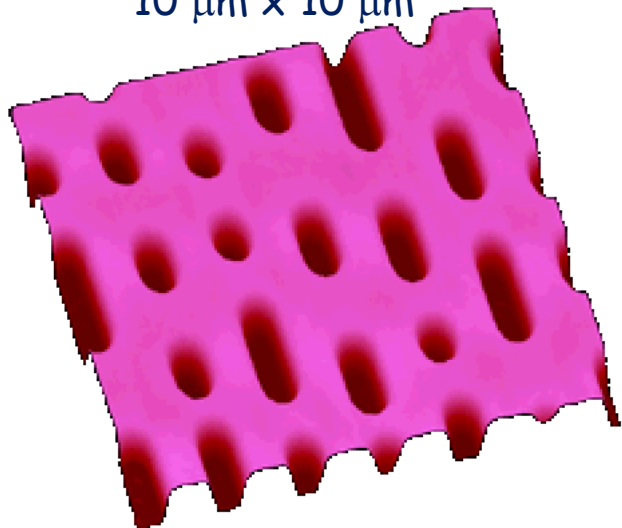


Modalità di acquisizione dei dati

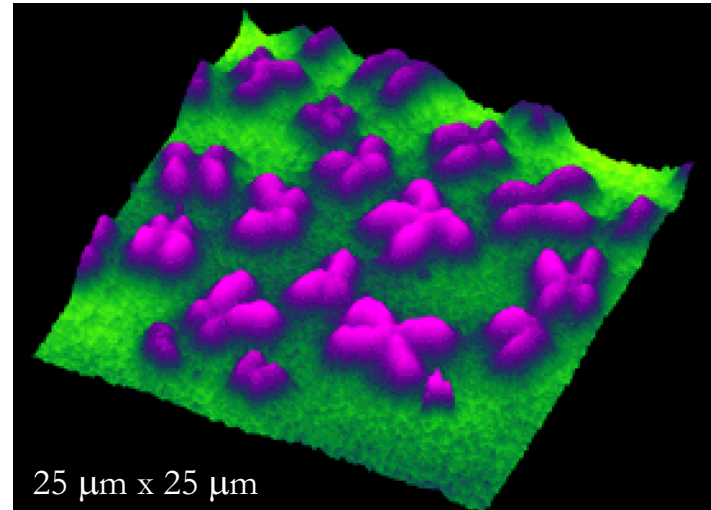




Superficie di un DVD
 $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$



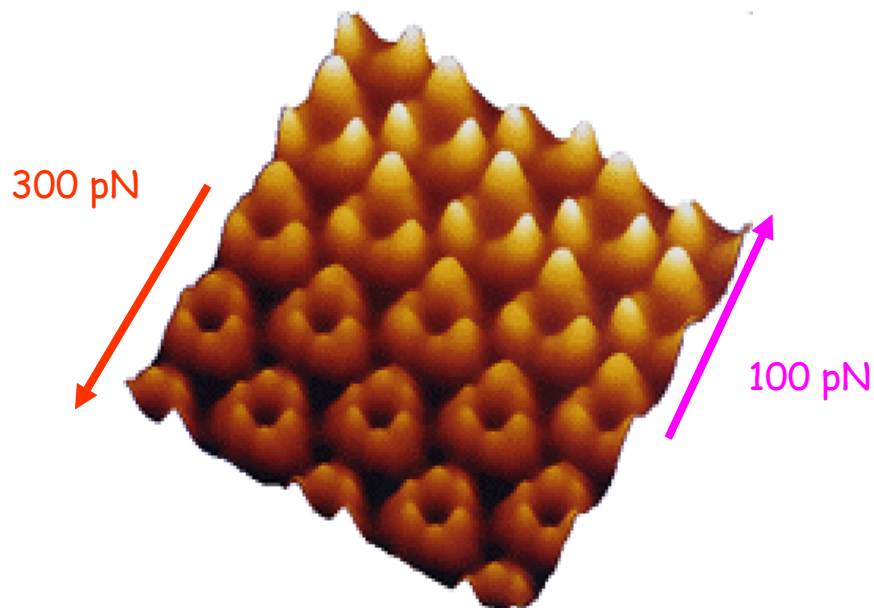
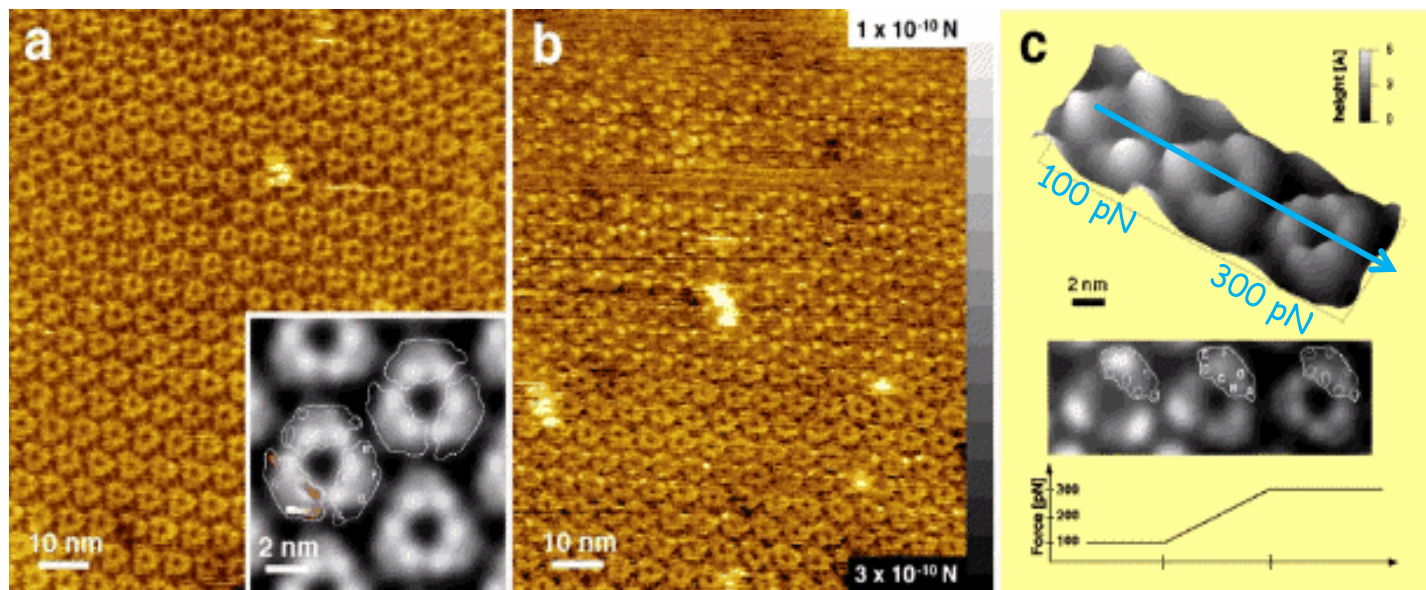
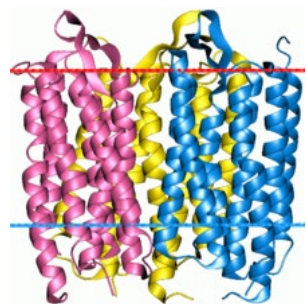
Superficie di un CD
 $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$



$25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$

www.di.com

Superficie citoplasmatica della membrana purpurea depositata su mica e masticata in soluzione acquosa.



L'immagine topografica della superficie citoplasmatica della membrana purpurea in funzione della forza applicata. I trimeri a forma di ciambella risultanti si trasformano in modo reversibile in strutture che mostrano tre sporgenze prominenti quando vengono scansionati a 100 pN. Le immagini a 300 pN, mostrano le singole molecole costituite da due domini. Parallelamente, l'altezza della porzione proteica sopra lo strato lipidico aumenta da 0.4 nm a 0.6 nm.

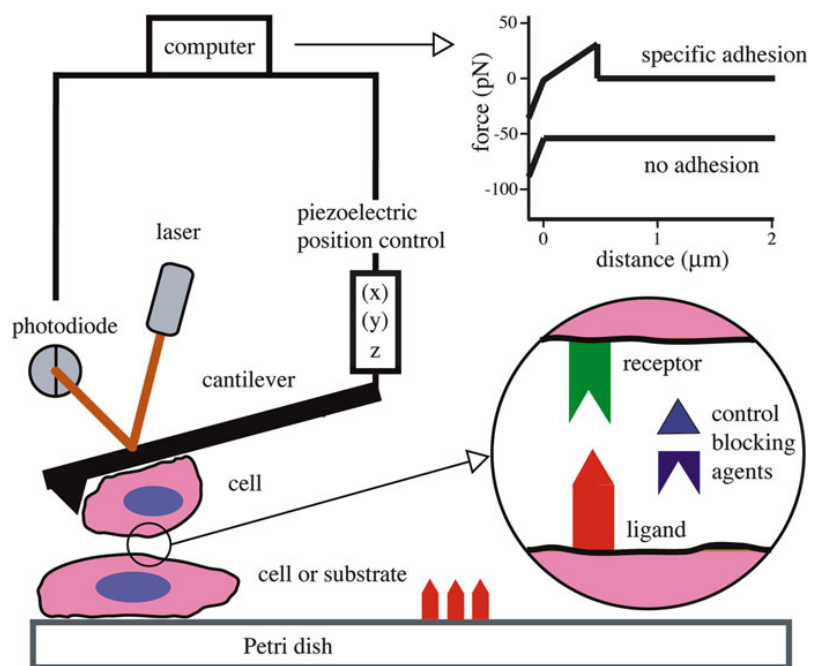
Müller DJ, et al., *J. Mol. Biol.*, 249 (1995) 239

Spettroscopia di forza a molecola singola per lo studio dell'adesione cellulare a recettori

I recettori di adesione cellulare sono espressi sulla superficie delle cellule e possono mediare il legame specifico con altre cellule e con la matrice extracellulare

AFM per rilevare forze attrattive o repulsive deboli 100-200 pN.

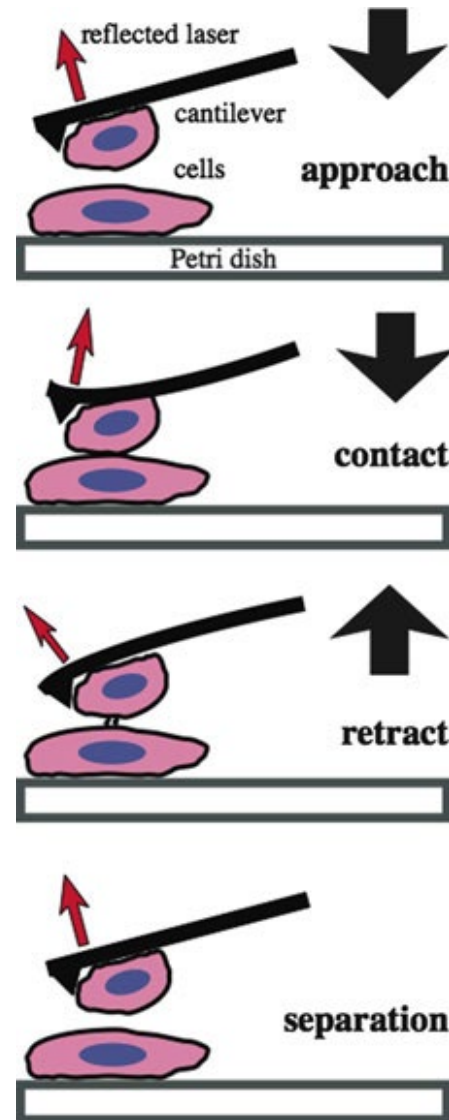
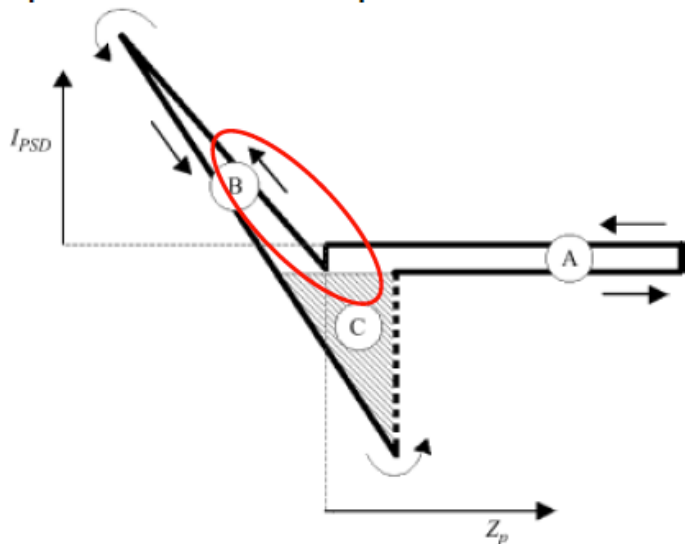
Tali forze sono necessarie per 'stirare' le molecole biologiche e permettere la rottura di legami.



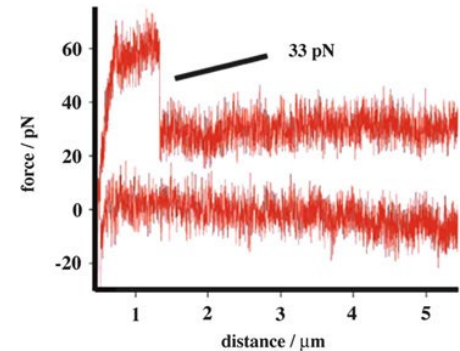
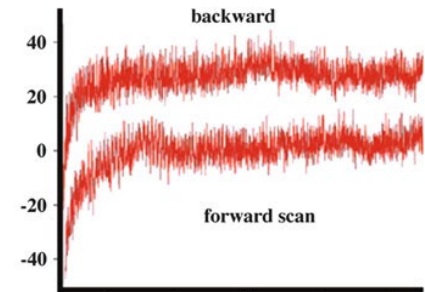
Per ottenere informazioni da una curva forza-distanza occorre ==> avere un giusto modello

Ve ne sono molti che differiscono per:

- raggio di contatto
- forza di adesione
- deformazione del substrato
- pressione



assenza di adesione



adesione a 33 pN

Mentre la realizzazione sperimentale della modalità di acquisizione statica è complessa, l'interpretazione fisica delle immagini ottenute è semplice:

L'immagine rappresenta una mappa $z(x,y, F_{pc} = \text{costante})$

KBr (001)

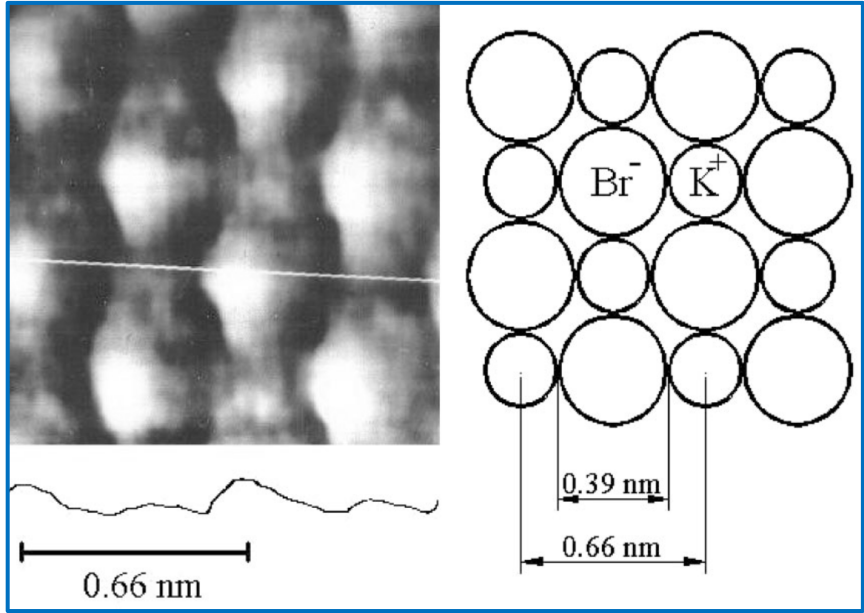
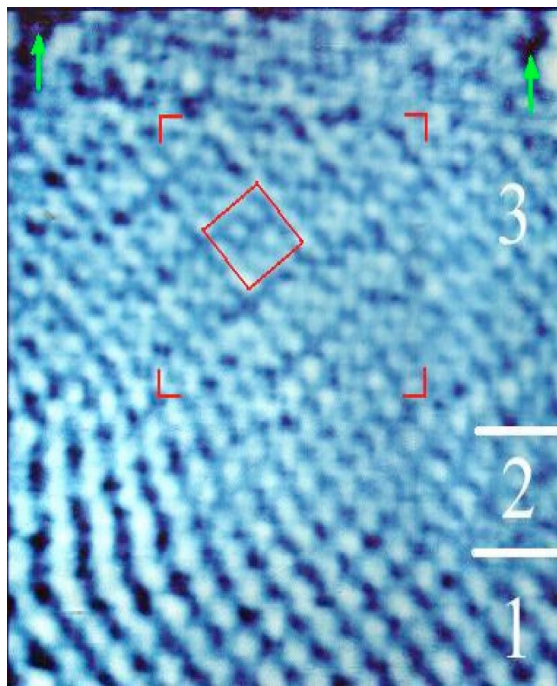
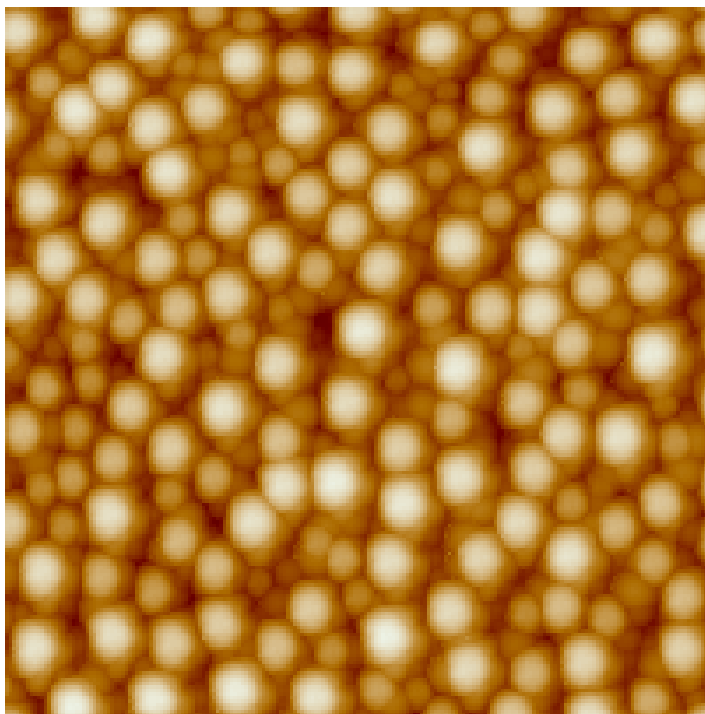


Immagine a risoluzione atomica del campione di KBr (001) ottenuta in modalità di contatto. Le strutture emergenti di diversa dimensione sono attribuite agli ioni K^+ e Br^{+2}

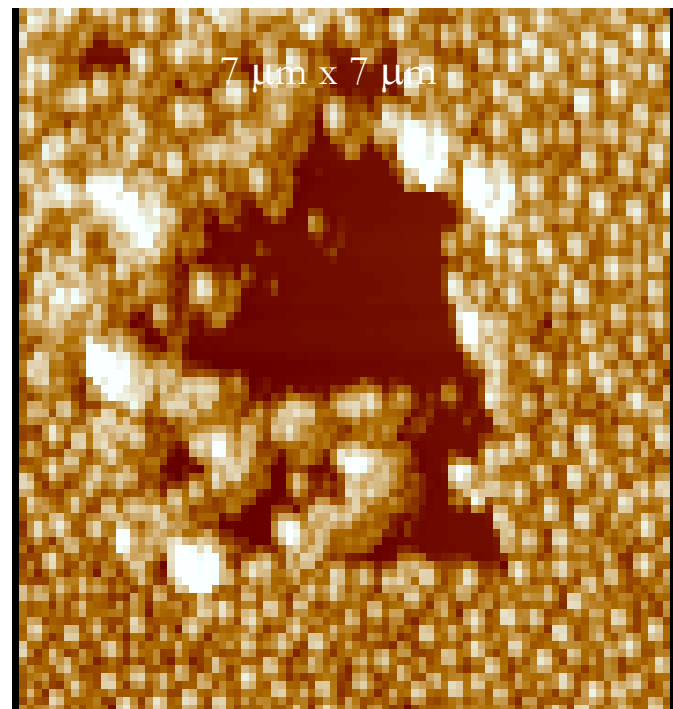
F.J. Giessibl, G. Binnig, Ultramicroscopy 42 (1992) 281

Manuela Scarselli - Microscopia a Forza Atomica

Quando NON è possibile utilizzare il contact-mode

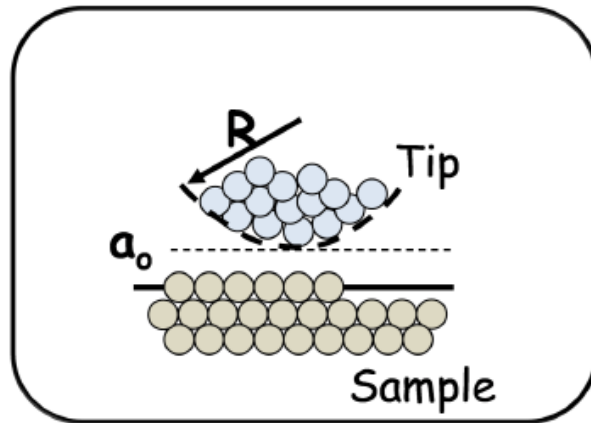
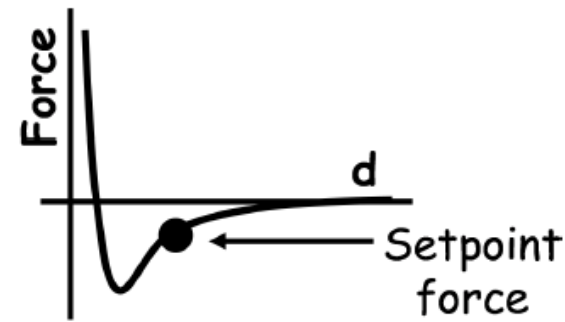
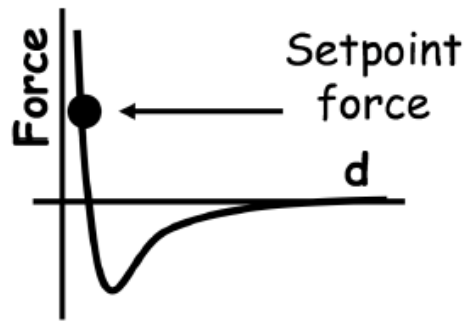


3 μm x 3 μm

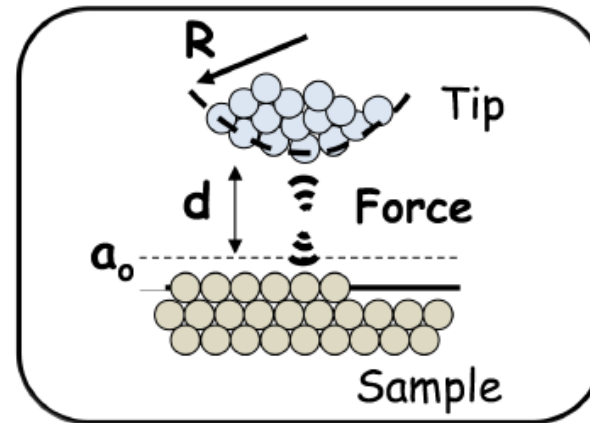


7 μm x 7 μm

☹☹☹: punta o campione possono essere danneggiati per campioni 'soffici'



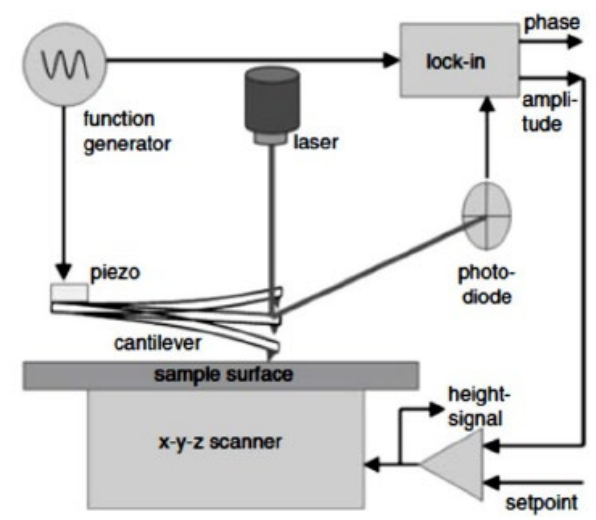
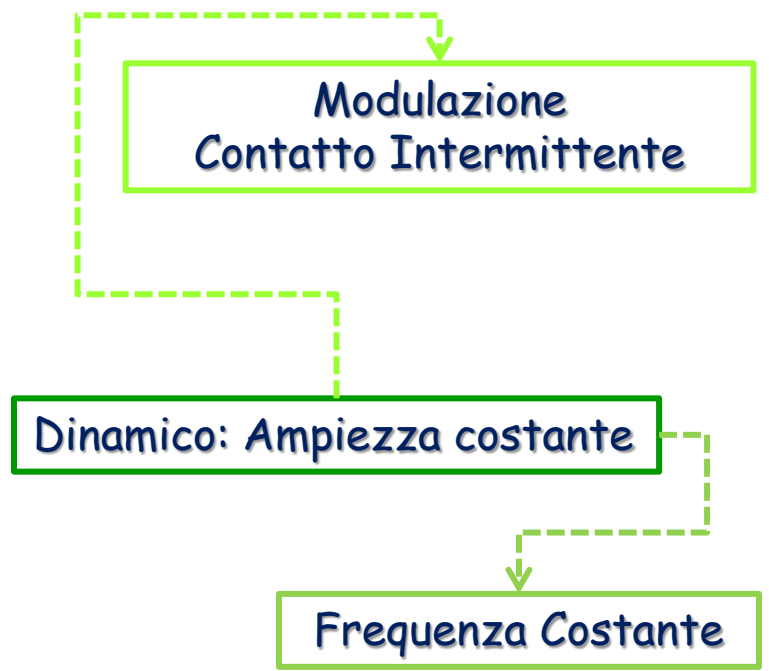
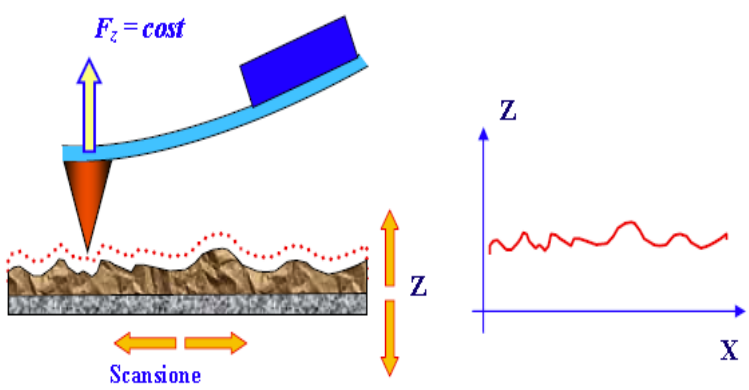
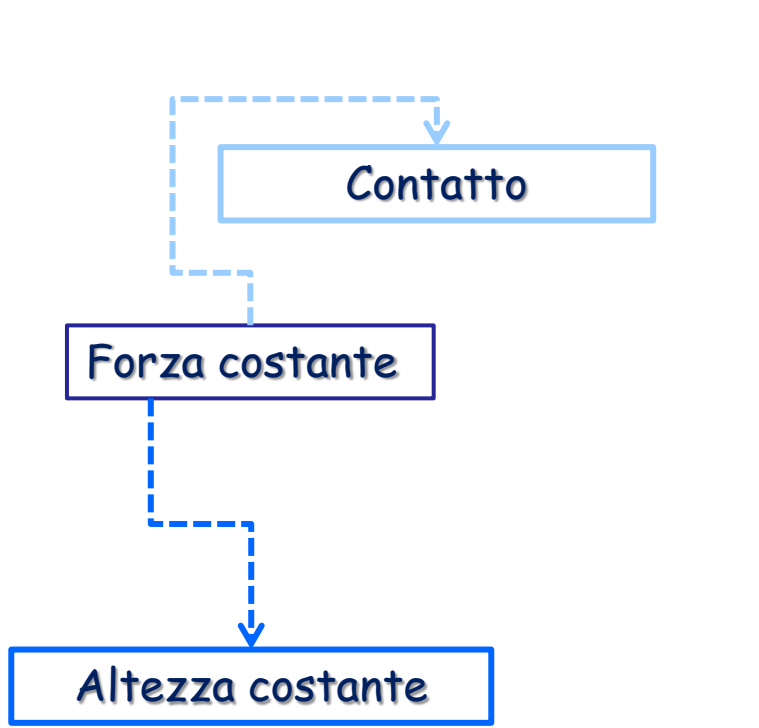
Contatto



NON contatto

L'AFM condivide le sfide già note in STM e utilizza molte delle sue caratteristiche di progettazione (attuatori, isolamento dalle vibrazioni, elettronica, ecc.), ma la natura ha posto quattro problemi in più per AFM a risoluzione atomica: (i) jump-to-contact; (ii) forze non monotone a corto raggio; (iii) forze a lungo raggio; e (iv) rumore strumentale durante le misurazioni.

Modalità di acquisizione dei dati



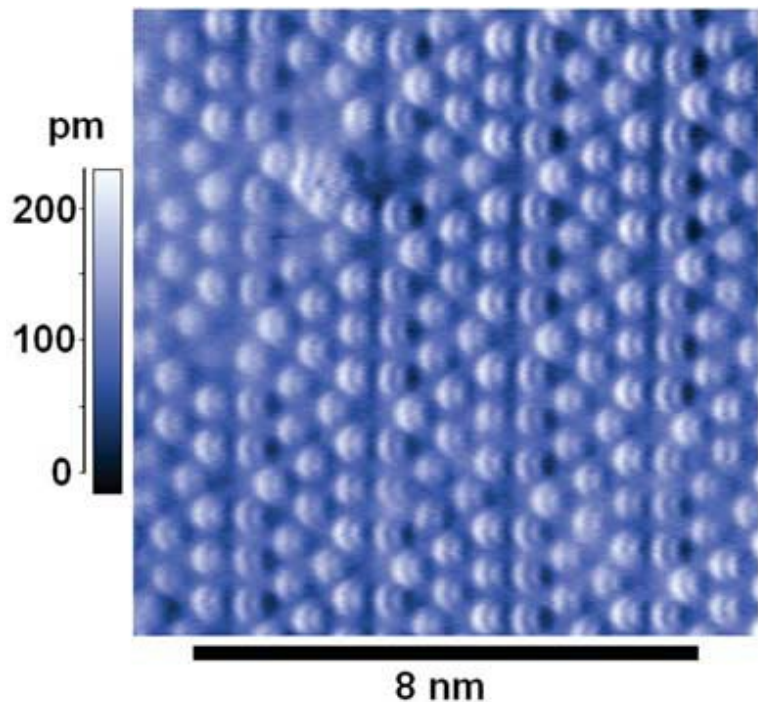
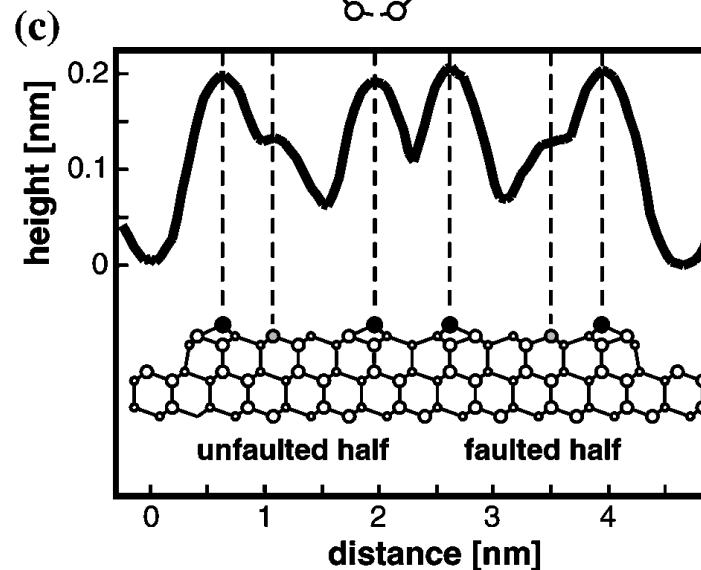
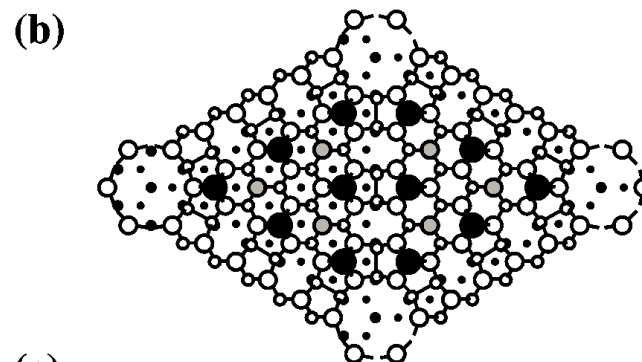
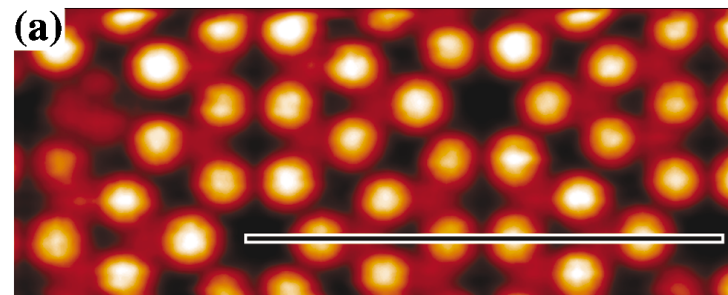


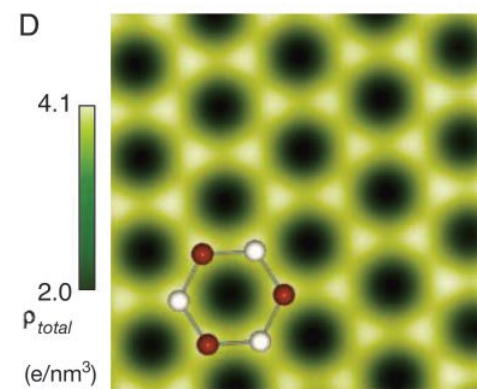
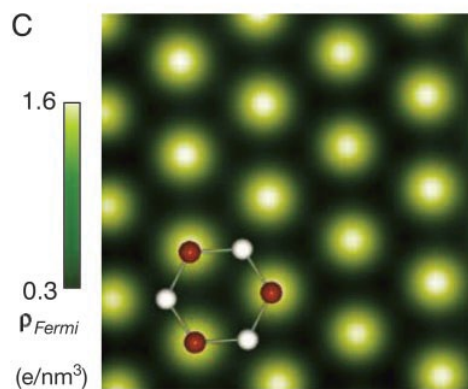
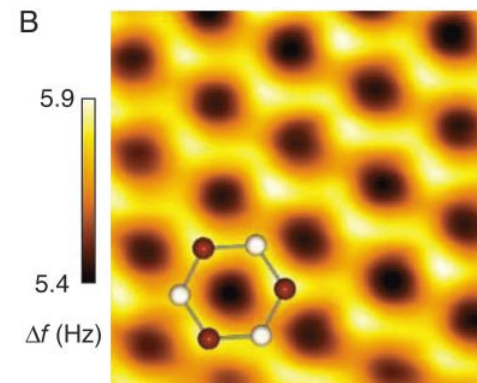
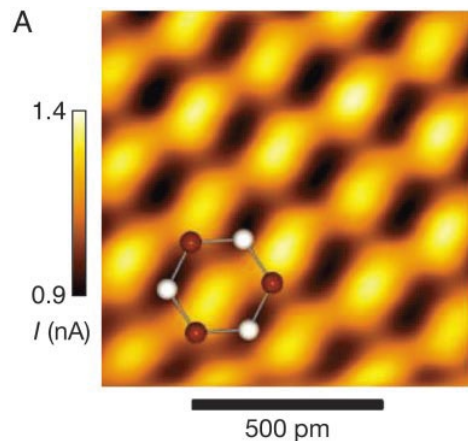
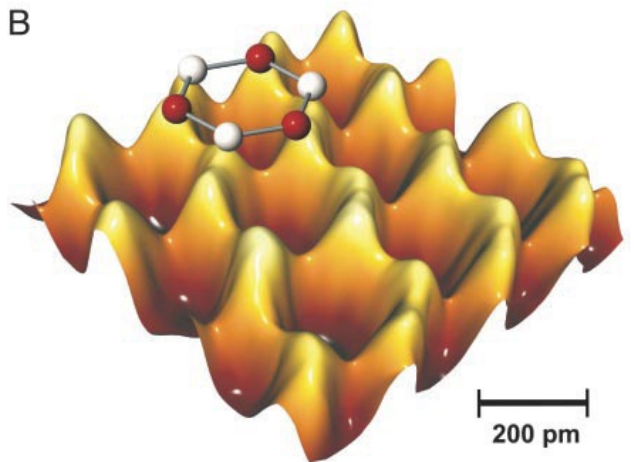
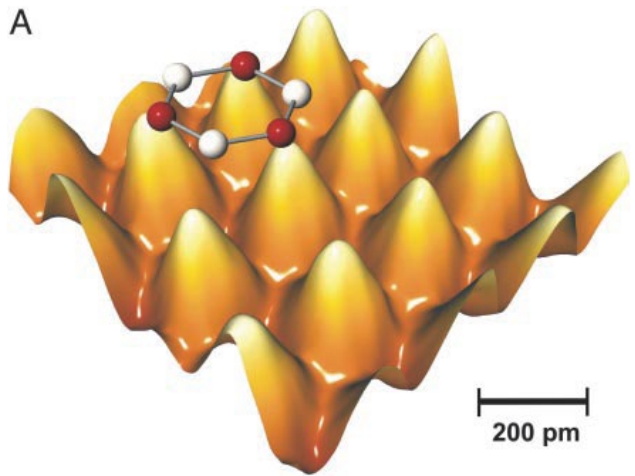
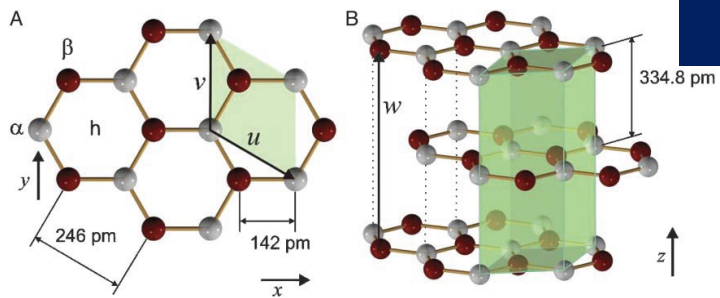
Immagine AFM della superficie del Si(111) 7x7 ottenuta in UHV a T ambiente.

Giessibl, Science (00)



Eguchi, PRL (2002)

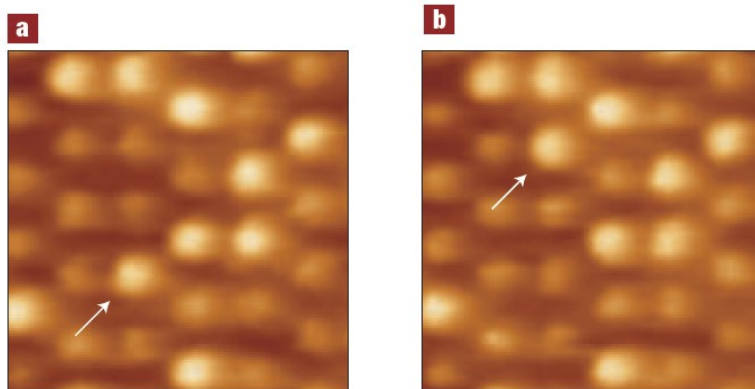
Immagini STM e AFM a confronto su grafite



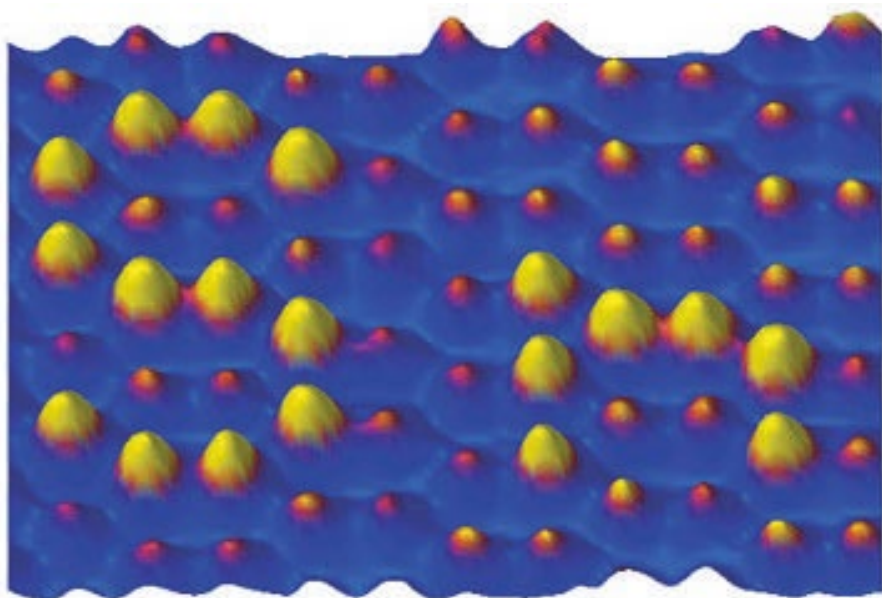
Immagini della grafite ottenute da A) STM, B) AFM. C) e D) simulazioni numeriche.

Hembacher, PNAS (2003)

MANIPOLAZIONE di ATOMI CON AFM



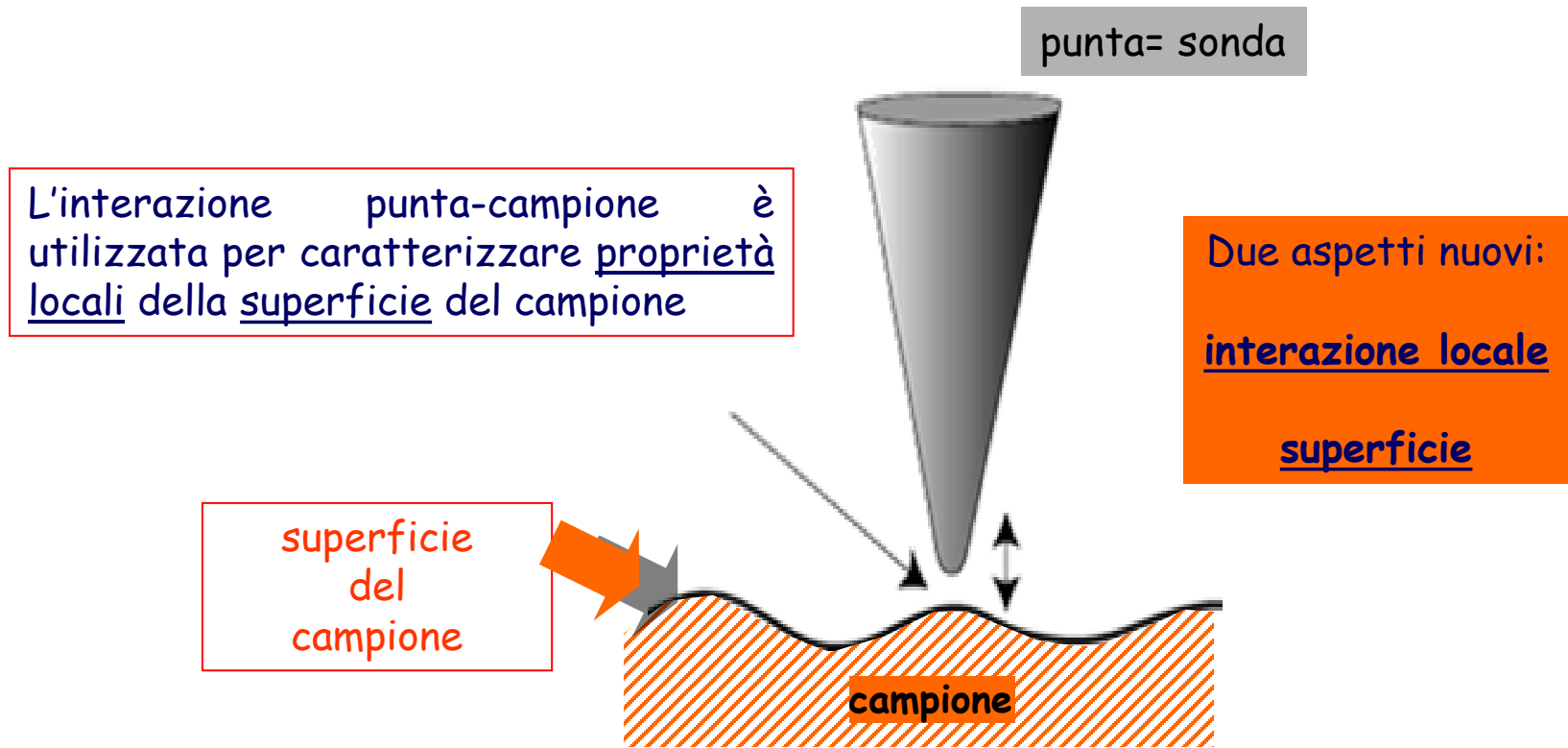
Immagini topografiche NC-AFM che mostrano la manipolazione laterale di un adatomo sostituzionale di Sn dalla posizione in a) a quella finale in b) sulla superficie di Ge(111)c2x8.



La tecnica NC-AFM può manipolare lateralmente atomi singoli sulle superfici usando la forza di interazione a corto raggio tra la punta e la superficie del campione a temperatura ambiente.

La maggior parte delle applicazioni della microscopia AFM non sono rivolte ad ottenere il regime di risoluzione atomica.

Tuttavia il miglioramento della risoluzione spaziale che si può ottenere con i nuovi apparati anche in liquido, atmosfera controllata ottenuto negli ultimi anni amplia gli studi AFM in fisica, chimica, biologia e scienza dei materiali.

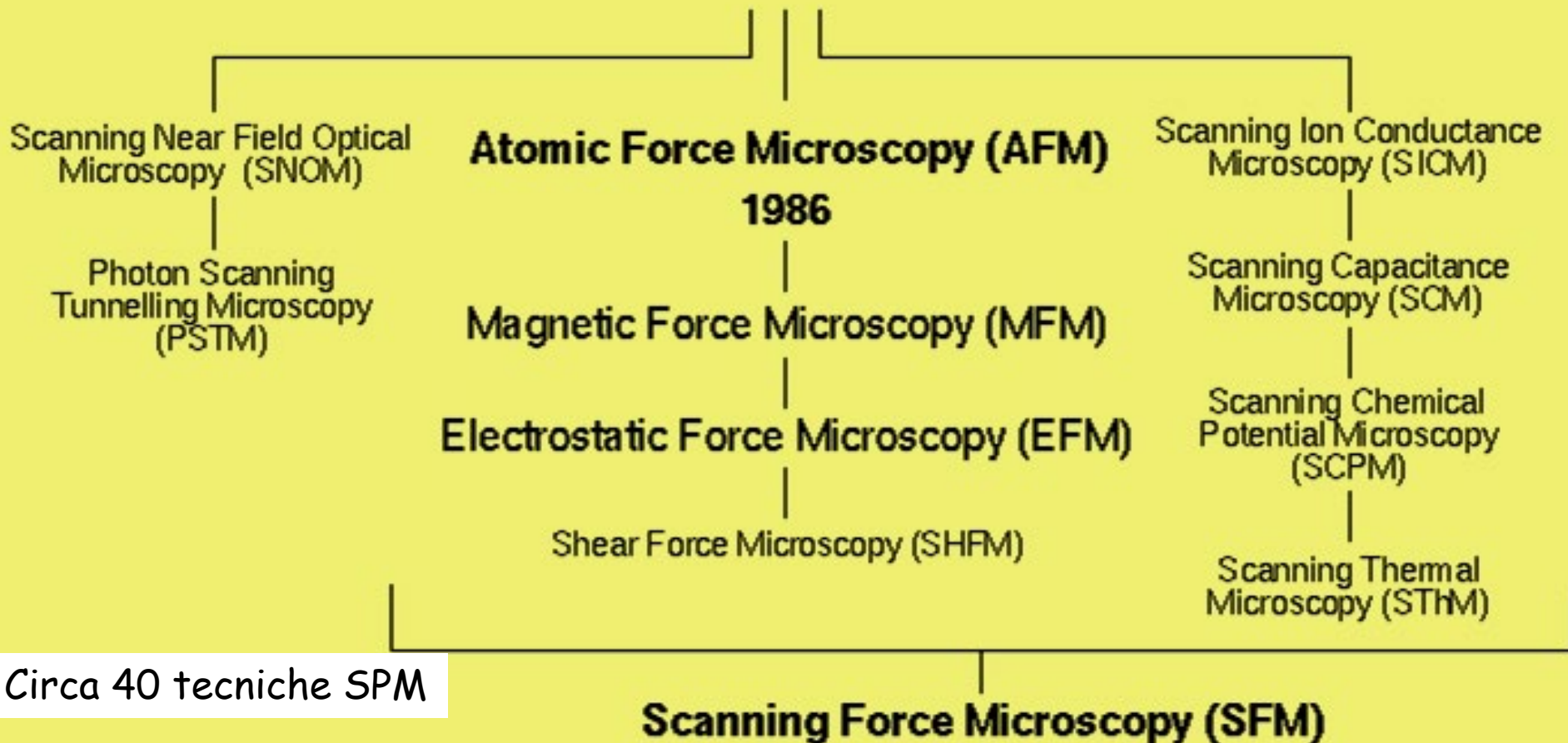


Circa 40 tecniche SPM

Scanning Probe Microscopy "Family Tree" (SPM)

Scanning Tunnelling Microscopy (STM)

1981-2



Siti web interessanti

<https://www.nanoandmore.com/what-is-atomic-force-microscopy>

<https://www.nanosurf.com/en/support/afm-operating-principle>

<https://www.parksystems.com/medias/nano-academy/how-afm-works>
(video interessante)

Alcuni articoli sulla risoluzione atomica con AFM

Sugimoto, et al., *Atom inlays performed at room temperature using atomic force microscopy*, Nature materials 4 (2005) 156

Franz J. Giessibl, *AFM's path to atomic resolution*, Materials Today, Maggio 2005

Libri

B. Voigtländer, *Scanning Probe Microscopy* - Ed. Springer

S. Morita, R. Wiesendanger E. Meyer, *Noncontact Atomic Force Microscopy*, Springer

W. C. Sanders, *Atomic Force Microscopy*, CRC Press