

Fenomeni inusuali alla nanoscala

Luciano Colombo

Dipartimento di Fisica - Università' di Cagliari

Email: luciano.colombo@dsf.unica.it



Simposio 2014 "Le frontiere e i confini della Scienza"
Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 28-29 ottobre 2014



Unione europea
Fondo sociale europeo



L'Europa è la carta
di accesso al futuro

PO FSE ABRUZZO
2007»2013 | OBIETTIVO
"competitività regionale
e occupazione"



Società Italiana di Fisica
Associazione Nazionale Fisici Italiani



Laboratori Nazionali del Gran Sasso



GRAN SASSO
SCIENCE INSTITUTE

CENTER FOR ADVANCED STUDIES
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

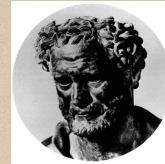
- “Nano” : ma di cosa stiamo parlando?
 - i costituenti elementari dei materiali
 - top-down vs. bottom-up
- Tre esempi paradigmatici che ... **alla nanoscala le cose sono “strane”**
 - *case-study no.1*: nanocompositi polimero-metallo: nuovi materiali per dispositivi biomedicali
 - *case-study no.2*: semiconduttori nanostrutturati: elettricità dal calore ... in modo efficiente
 - *case-study no.3*: grafene: flessibile ... ma più resistente dell'acciaio
- Conclusioni: **il paradigma “materials-by-design”**

“Nano” : ma di cosa stiamo parlando?

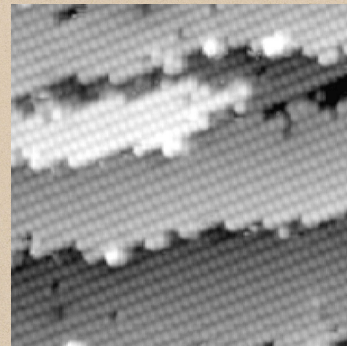
Una vecchia idea: la materia e' costituita di atomi

Oggi, pero', osservare direttamente la distribuzione discreta di massa nella materia ...

... o, addirittura, manipolarla direttamente



Democrito (460-370 a.C.)

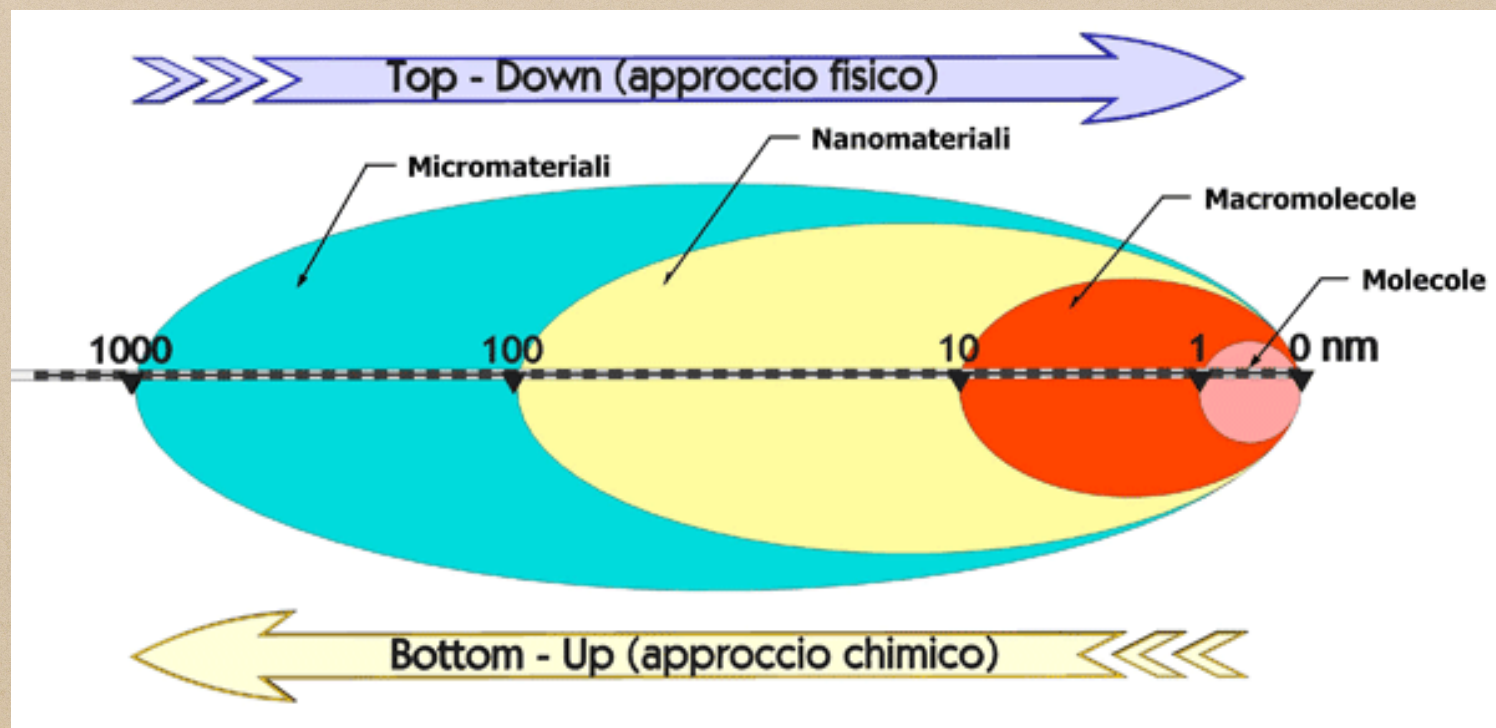


Terrazze atomiche alla superficie di un cristallo (immagine STM)

N.B. dimensioni: circa 20×10^{-9} m



Singoli atomi di Xe sulla superficie di un cristallo di nickel



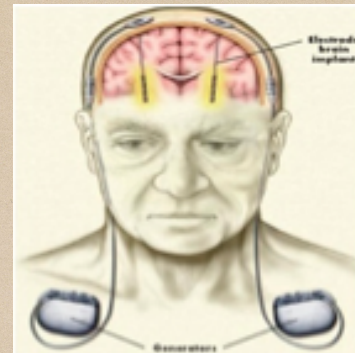
CASE-STUDY no.1 – Nanocompositi polimero-metallo: nuovi materiali per dispositivi biomedici

Stimolatori cerebrali (DBS) – dispositivi che:

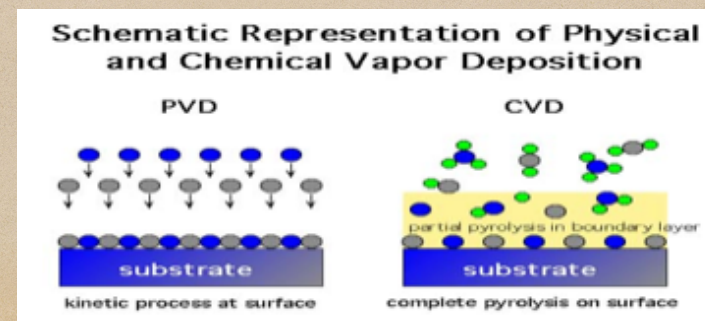
- mandano segnali elettrici in specifiche regioni del cervello
- sono utili per trattare disturbi neurologici
- devono essere impiantati nel cervello del paziente

Problema-chiave: durata

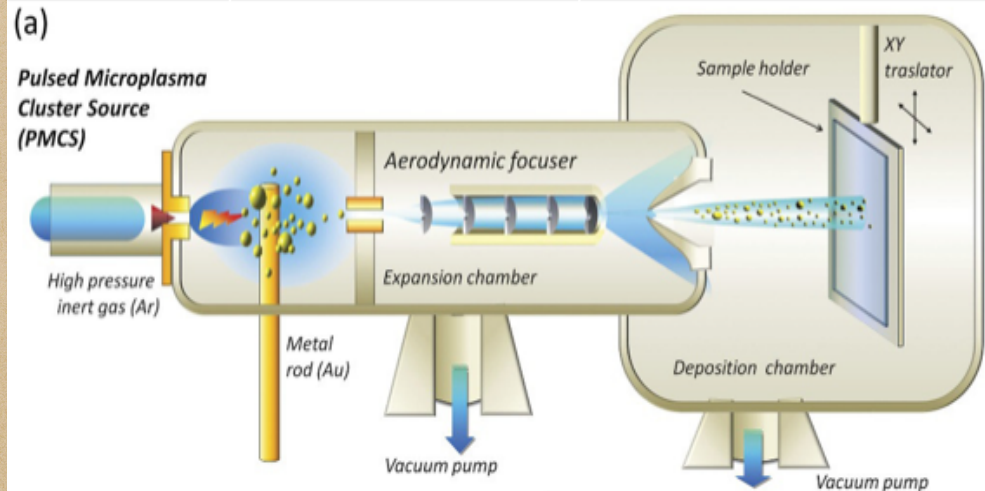
- soggetti a frequente rottura
- bisogno di sostituzione: operazione costosa e penosa



La sfida: realizzare DBS piu' affidabili



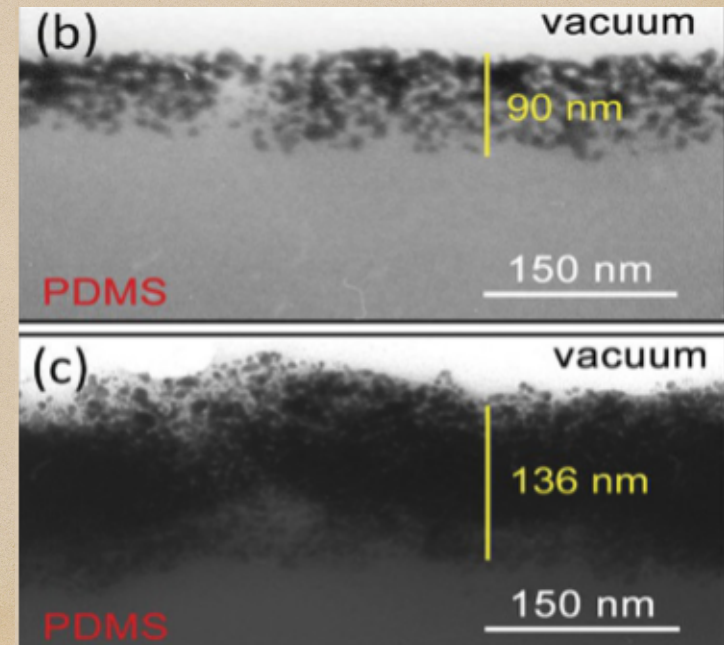
Supersonic Cluster-Beam Implantation (SCBI)



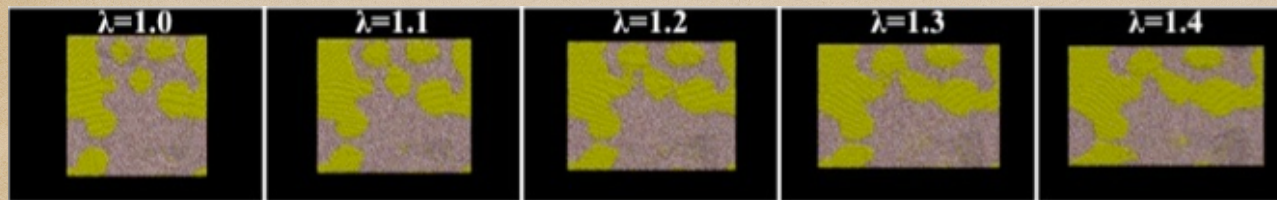
Corbelli et al., Adv. Mater. 23, 4504 (2011)

SCBI: si impiantano cluster neutri di Au
in polimero PDMS → PDMS:Au

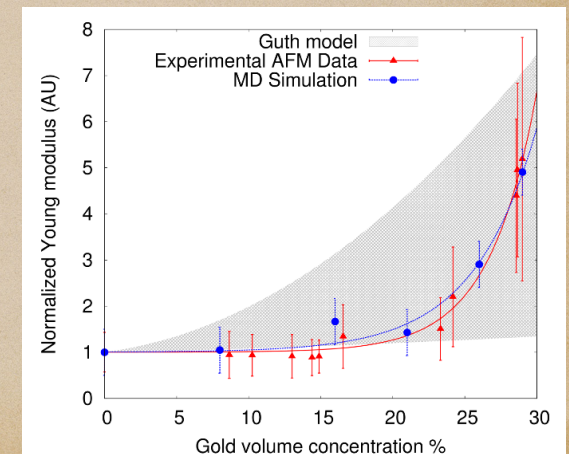
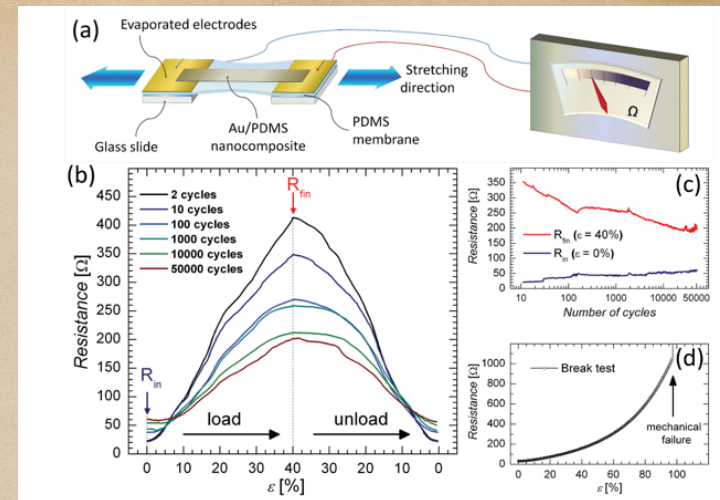
PDMS:Au un nano-composito con proprietà inusuali
... e molto utili!



1. PDMS: Au conduce elettricità'
2. Più' viene sollecitato meccanicamente...
... meglio conduce !



3. Si può prevedere la massima quantità di Au che si può impiantare senza rendere troppo rigido il substrato

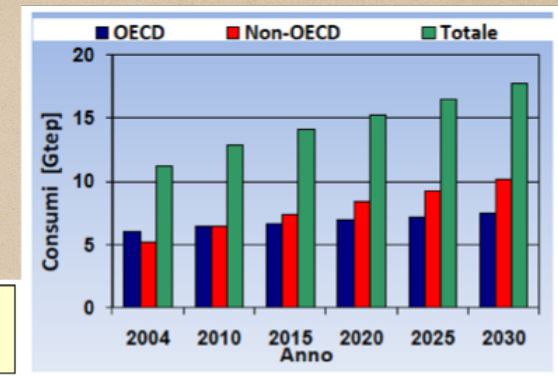


CASE-STUDY no.2 - Semiconduttori nanostrutturati: elettricità dal calore ... in modo efficiente

Lo scenario

- viviamo in una società estremamente onnivora
- stiamo consumando combustibili fossili a ritmo accelerato ...
- ... e stiamo similmente producendo gas serra

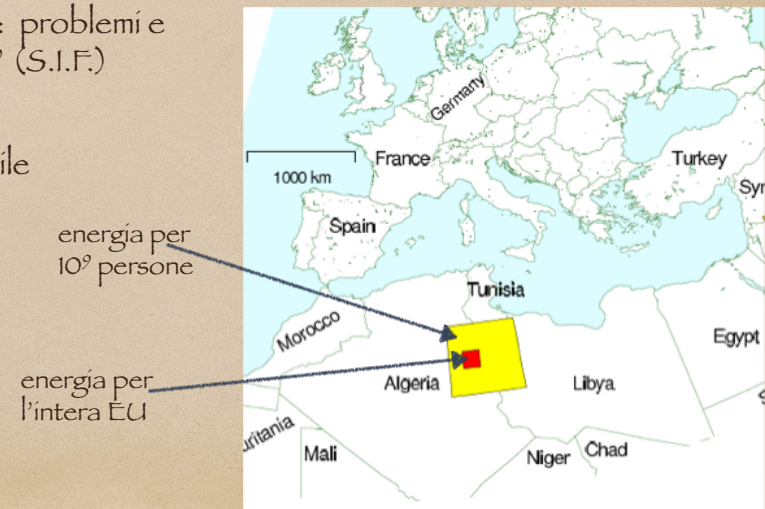
Emissioni 1990	519,5 Mt-CO ₂ -eq
Emissioni 2006	574,1 Mt-CO ₂ -eq
Obiettivo Kyoto (93,5% delle emissioni 1990)	485,7 Mt-CO ₂ -eq
Distanza Obiettivo (Emissioni 2006 - Obiettivo)	88,4 Mt-CO ₂ -eq



Fonte: "Energia in Italia: problemi e prospettive 1990-2020" (S.I.F.)

- Risposte possibili (.. e necessarie!):
 - ottimizzare i consumi
 - ottimizzare l'efficienza energetica di fonti non a combustibile fossile
 - trovare metodi alternativi di produzione

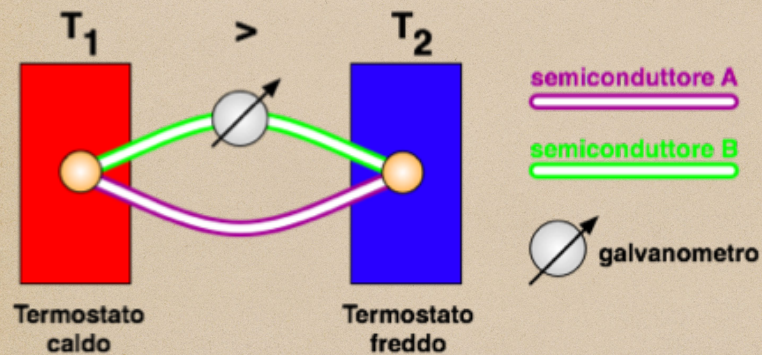
Nuovi nanomateriali per produzione energetica



Termoelettricità' ~ primo resoconto scientifico di A. Volta il 10 febbraio 1794



Capacità' di alcuni materiali di sviluppare tensione elettrica se opportunamente termostati



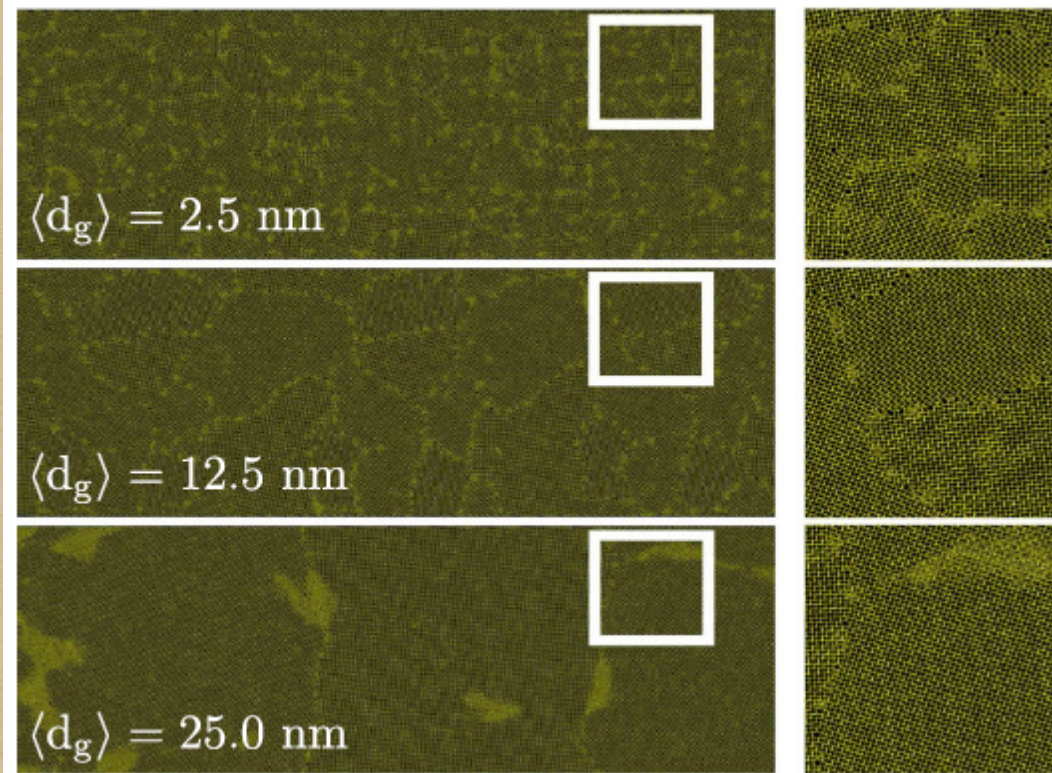
- Generazione di corrente da sorgenti termiche
- Produrre energia elettrica da calore dissipato

Efficienza di conversione termoelettrica

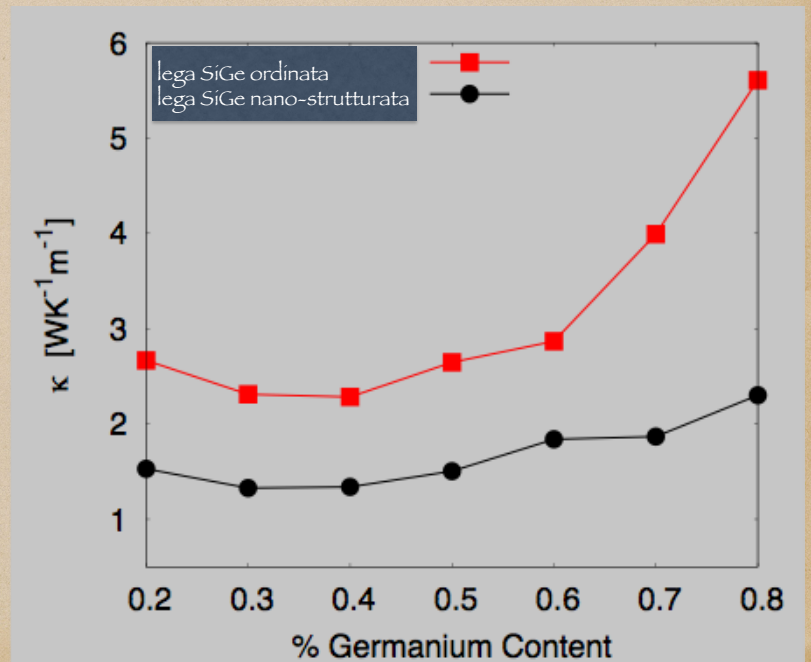
$$ZT = S^2 \frac{\sigma}{\kappa} T$$

- I materiali ordinari o sono sempre buoni conduttori o sono sempre cattivi conduttori
- Il termoelettrico ideale non esiste in Natura !

Idea: modifichiamo il reticolo atomico inserendo una **RAGNATELA DI DIFETTI**

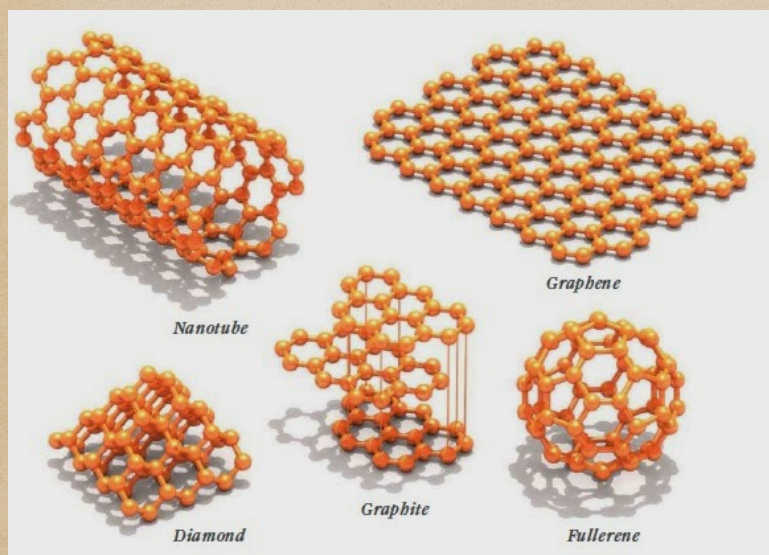


Si RADDOPPIA L'EFFICIENZA
di conversione termoelettrica !



CASE-STUDY no.3 - Grafene: flessibile ... ma più resistente dell'acciaio

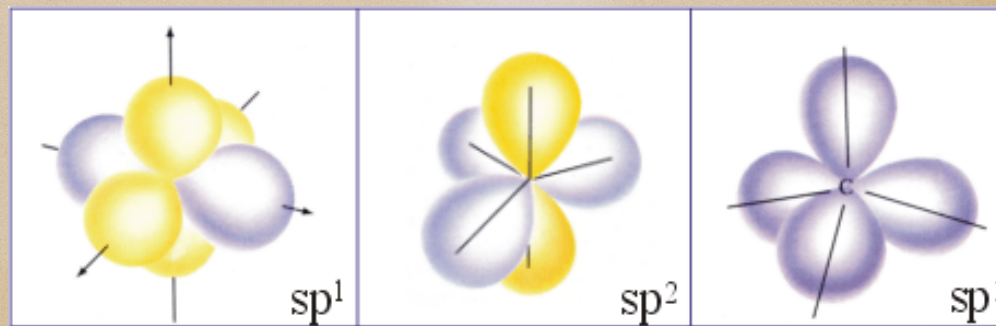
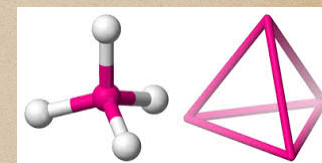
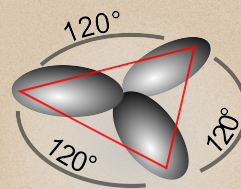
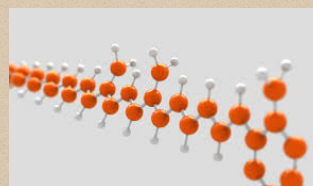
Carbonio ... un "wonder element"



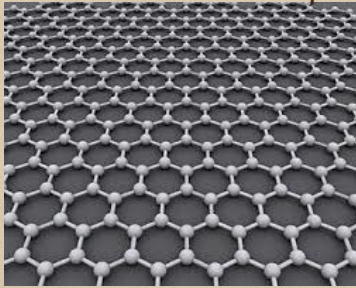
allotropia del carbonio

- strutture 1D (polimeri): legami sp^1
- strutture 2D (grafene & Co.): legami sp^2
- strutture 3D (diamante): legame sp^3

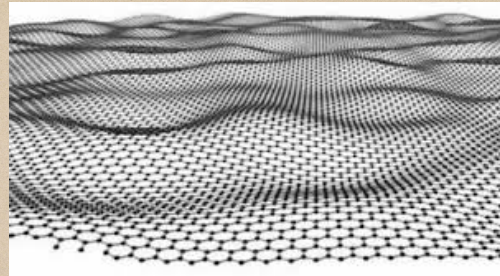
Il grafene è presente dalla fuliggine ... al mezzo interstellare !



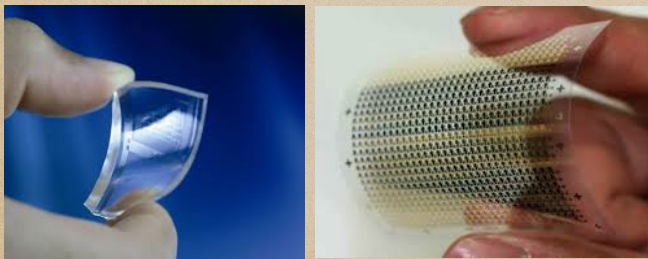
Il grafene non e' esattamente piatto...



... bensì spontaneamente corrugato ...



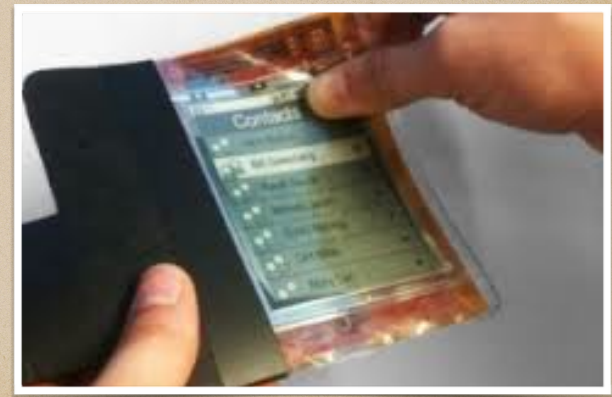
... ed estremamente flessibile !



Stretchable electronics

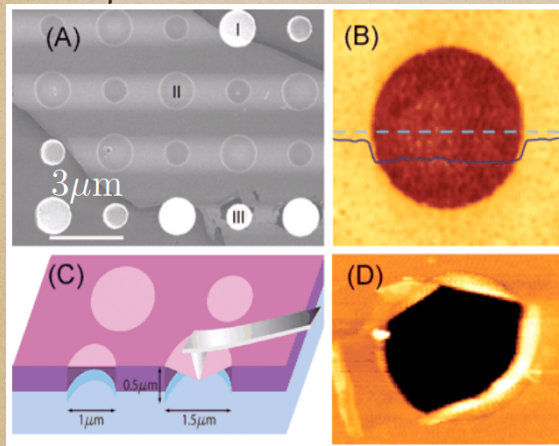


Touch-display flessibili

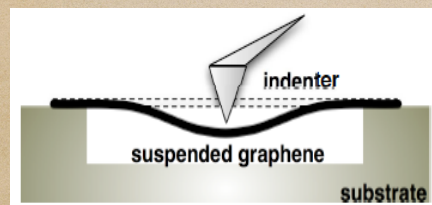
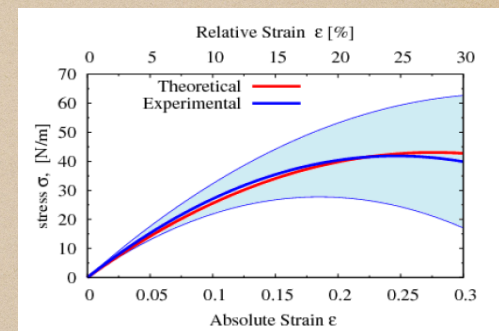


Pero' ... il grafene e' anche **molto** duro e resistente al cedimento meccanico

Un esperimento fantastico di nano-manipolazione



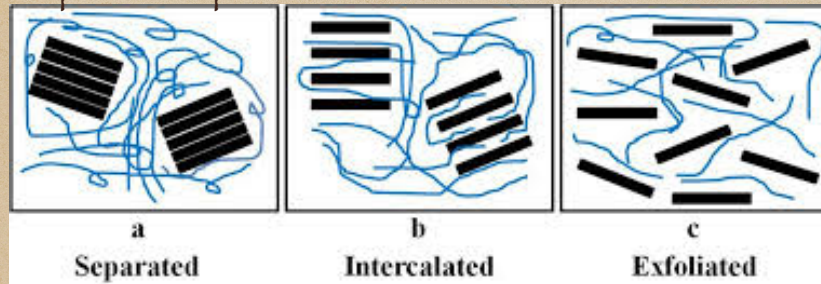
- La punta di un microscopio a forza atomica viene “calcata” su un campione di grafene
- Vengono misurata la forza applicata e la deformazione osservata
- Si ricavano informazioni quantitative sulla durezza e sulla resistenza a rottura



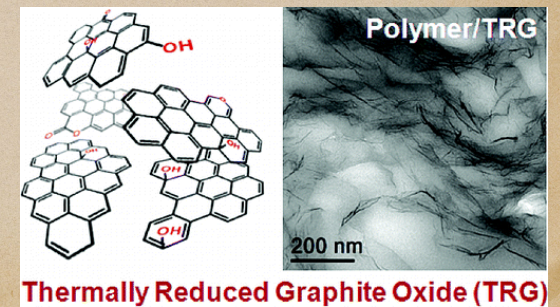
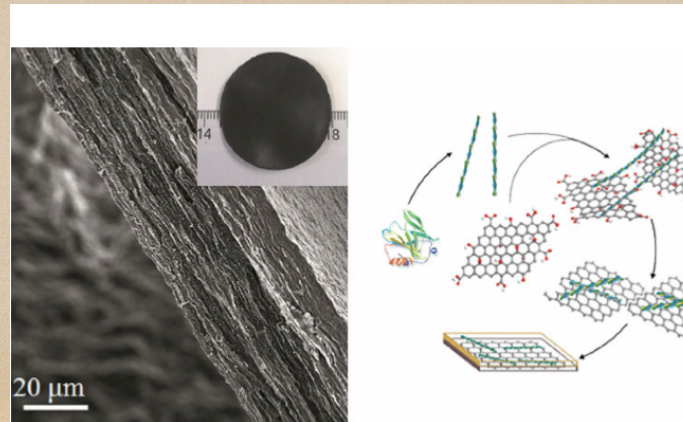
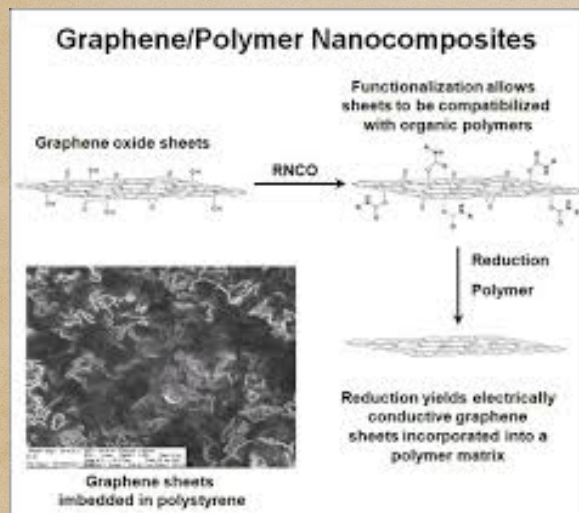
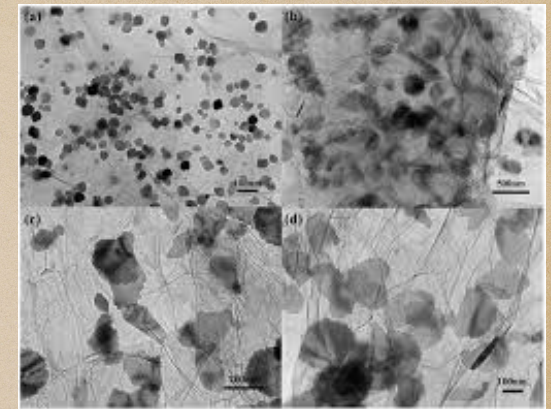
Valori dello sforzo di cedimento:
più grande nel grafene che
nei migliori acciai temprati !



E' possibile produrre una nuova classe di materiali: **nanocompositi rinforzati al grafene**

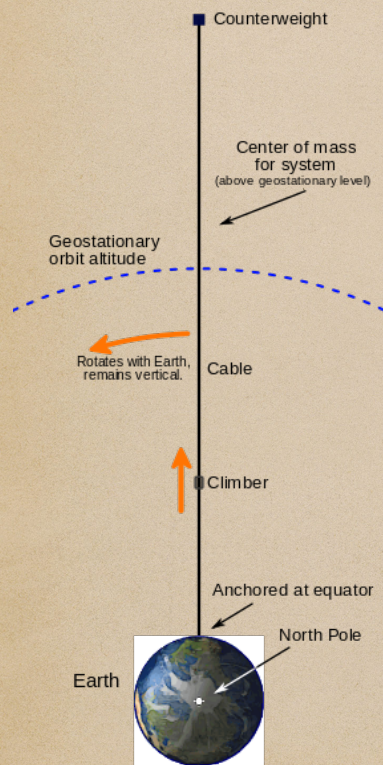


Compromesso ottimale tra **flessibilità** e **resistenza meccanica**



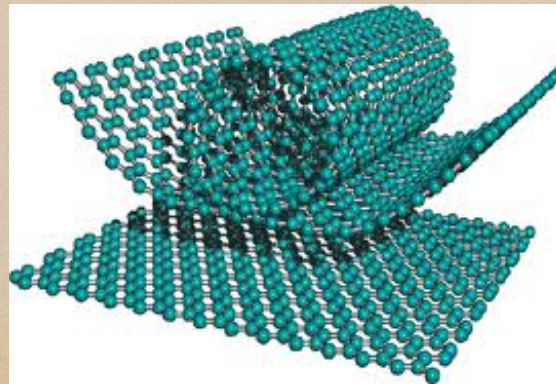
... o, addirittura, si può studiare una ipotesi fantascientifica: l'**ascensore spaziale**

Space Elevator



- sistema di trasporto extra-terrestre
- permette il trasporto di veicoli dalla superficie allo spazio orbitale
- ipotizzato da K. Tsiolkovsky nel 1885
- ha bisogno di un materiale **forte** e **leggero**

Detto ... fatto!! Basta arrotolare un foglio di grafene e formare un **nanotubo di carbonio**



“Materials-by-design” : un nuovo paradigma

- approccio tradizionale: si cerca in Natura il materiale con le proprietà ottimali per l'applicazione target
- **materials-by-design**: si definisce la necessità e si progetta di conseguenza in nuovo materiale
- è necessario un approccio inter-disciplinare
- si opera alla frontiera della conoscenza: “**molecular engineering**”