

NANOSCIENZE e NANOTECNOLOGIE

una sfida per il futuro

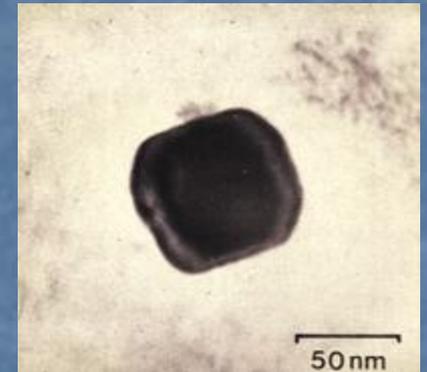
OTTAVIANI GIAMPIERO
Dipartimento di Fisica
Università di Modena e Reggio Emilia

giampiero.ottaviani@unimore.it

Tazza di Licurgo: 4 secolo DC

Verde = Luce riflessa

Rossa = Luce trasmessa



**Immagine di una
nanoparticella Ag/Au
nella tazza**

The British Museum. <http://www.thebritishmuseum.ac.uk/> (March 2004)



NANOSCIENZA

NANOTECNOLOGIA

NANOCLUSTER

NANOPARTICELLE

NANO.....

13 ottobre 2009

Nanoscienze e nanotecnologie: una sfida per il futuro

Prof. Giampiero Ottaviani

Università di Modena e Reggio E.

20 ottobre

Nanotecnologie: perché cambieranno il mondo

Prof. Gianantonio Battistuzzi

Università di Modena e Reggio E.

27 ottobre

Nanotecnologie: esperienze, esperimenti, applicazioni

Prof. Giampiero Ottaviani

3 novembre

Nanobioelettronica: un nuovo mondo tra biochimica, chimica e fisica

Prof. Gianantonio Battistuzzi

10 novembre

Zeoliti naturali e loro applicazione nella protezione ambientale

Prof. Elio Passaglia

Università di Modena e Reggio E.

17 novembre

Applicazione di nanotecnologie in ambito farmaceutico

Dott. Barbara Ruozi

Università di Modena e Reggio E.

24 novembre

Prodotti ceramici e cementizi autopulenti: le nanotecnologie per l'ambiente

Prof. Federica Bondioli

Università di Modena e Reggio E.

.....
1 dicembre

Funzionalizzazione delle superfici e materiali nanocompositi

Prof. Federica Bondioli

NANOSCIENZA

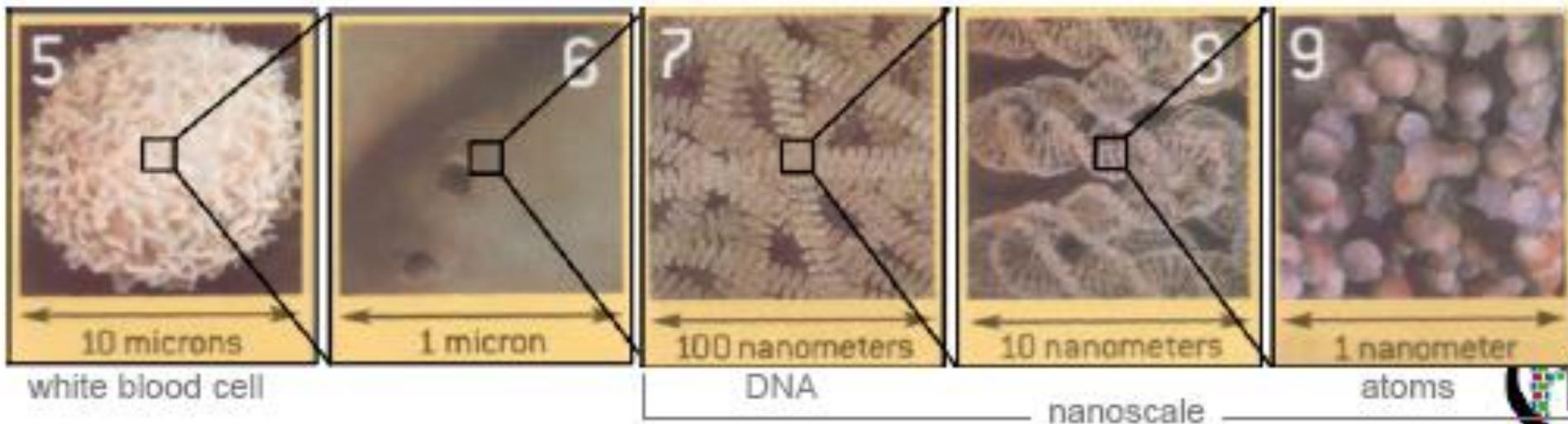
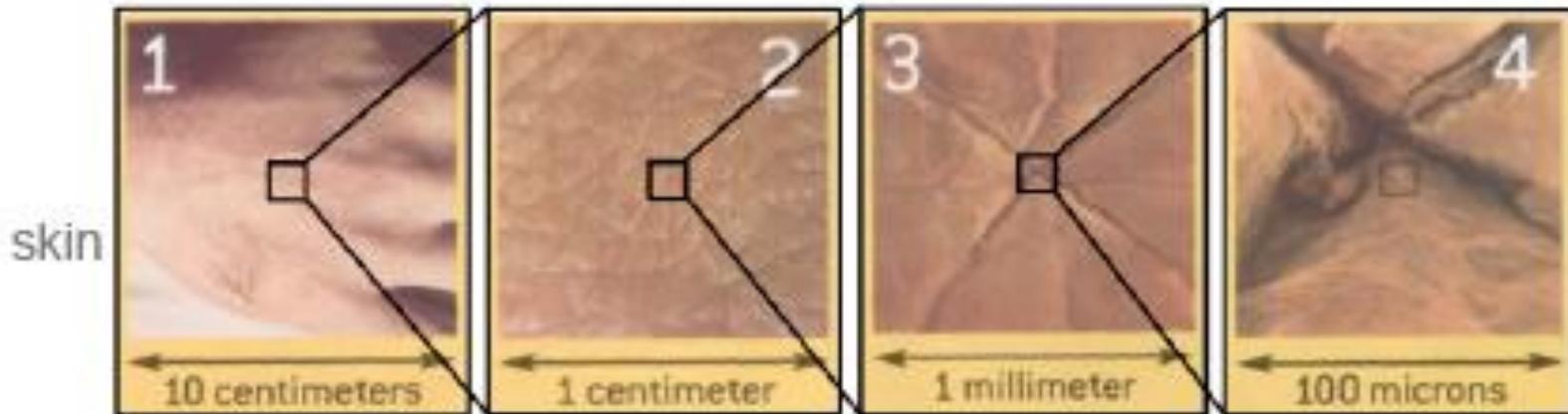
NANOTECNOLOGIA

COSA E' LA NANOSCIENZA ?

- E' lo studio di oggetti (e fenomeni) di **dimensioni** molto piccole dell'ordine di 1 a 100 nanometri (nm)
 - 10 atomi di idrogeno collegati misurano 1 nm circa
 - un granello di sabbia misura 1 milione di nm o 1 mm
- E' una scienza emergente e interdisciplinare che coinvolge:
 - Fisica
 - Chimica
 - Biologia
 - Ingegneria
 - Scienza dei Materiali
 - Computer Science

QUANTO E' GRANDE 1 NM ?

- CONSIDERIAMO UNA MANO

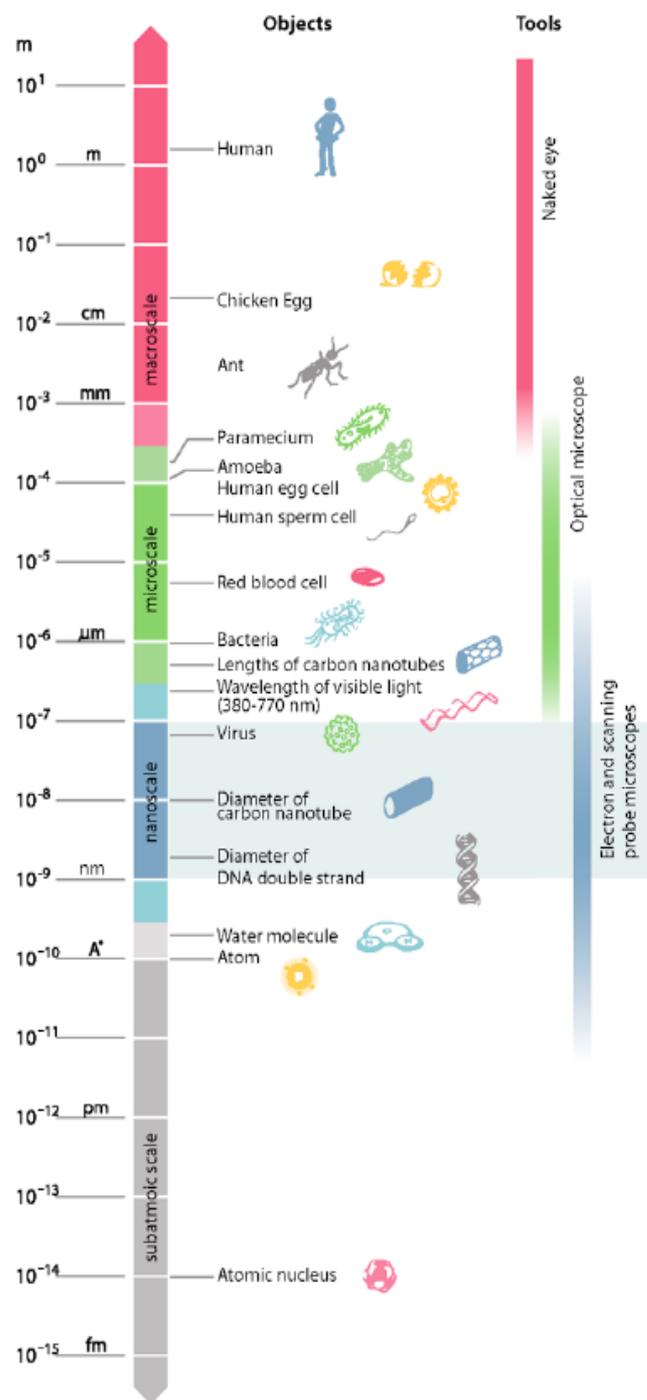


Cosa c'è di interessante negli oggetti di piccola dimensione ?

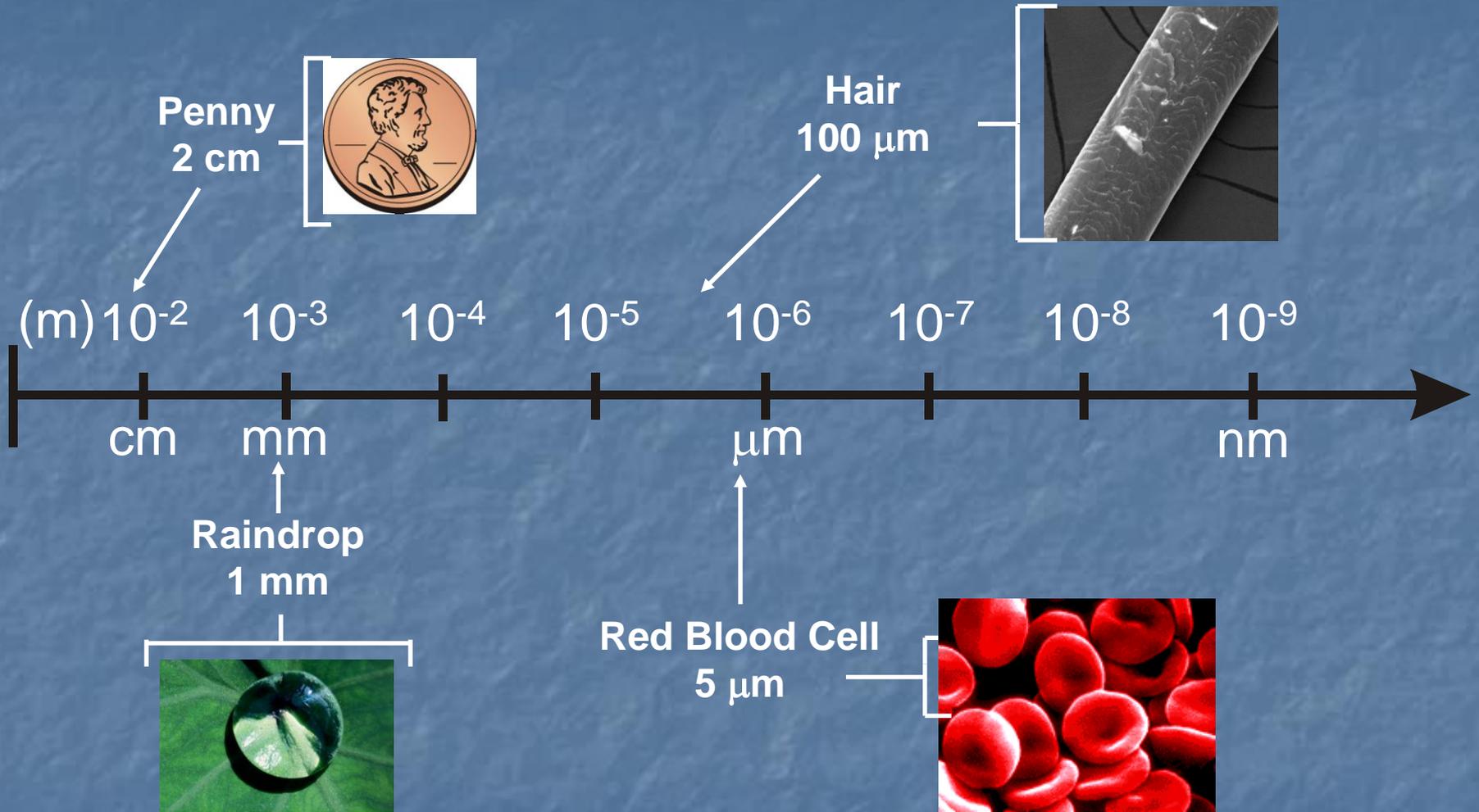
- particelle di dimensioni nano hanno proprietà molto diverse rispetto a particelle della stessa sostanza ma di maggiori dimensioni

Studiando fenomeni a scala nanometrica :

- conosciamo meglio la natura della materia
- sviluppiamo nuove teorie
- ci poniamo nuove domande e otteniamo nuove risposte in aree diverse quali salute, energia, tecnologia
- impariamo come fare nuovi prodotti e scopriamo nuove tecnologie che possono (!?!?!?) rendere migliore la vita

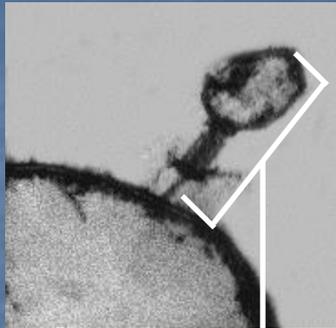


Dimensione nanometrica ?

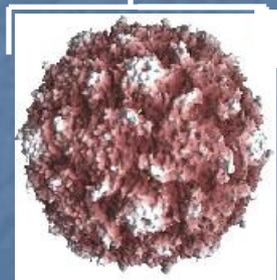
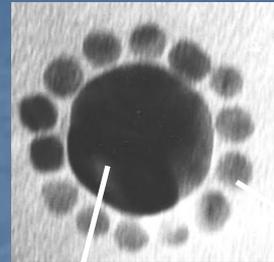


Dimensione NANO

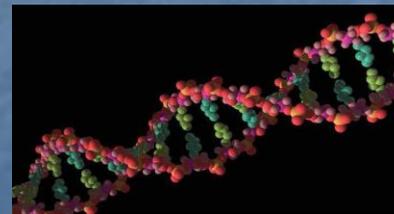
Bacteriophage
60-70 nm



Gold Particles
13 nm & 50 nm



Flu Virus
100 nm



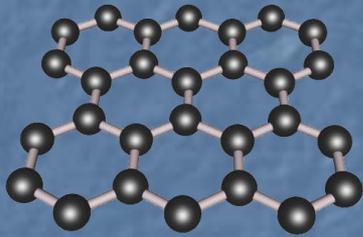
DNA
Diameter = 2 nm

Cosa è la Nanoscienza?

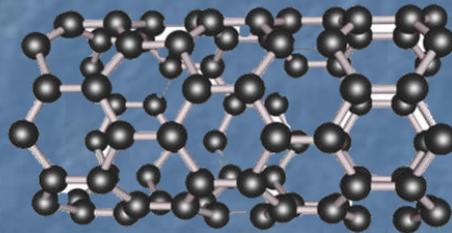
Quando si parla di Nanoscienza, in genere si inizia parlando di cose

Fisici e Material Scientists parlano di **cose** quali i nanocarbon :

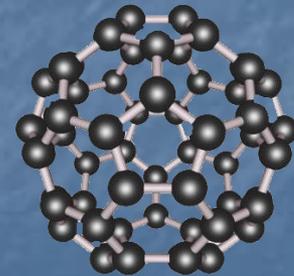
e, in particolare, si mette in evidenza resistenza e proprietà elettriche



Graphene

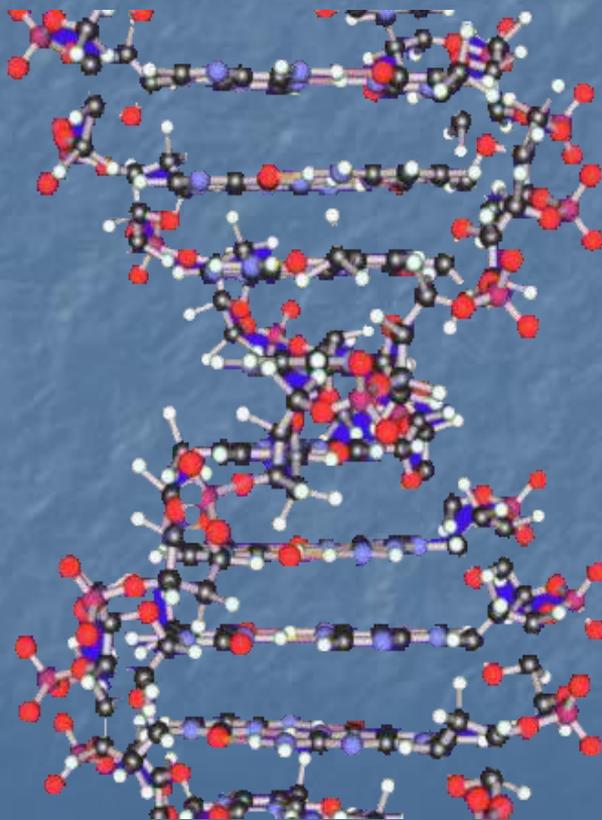


Carbon Nanotube

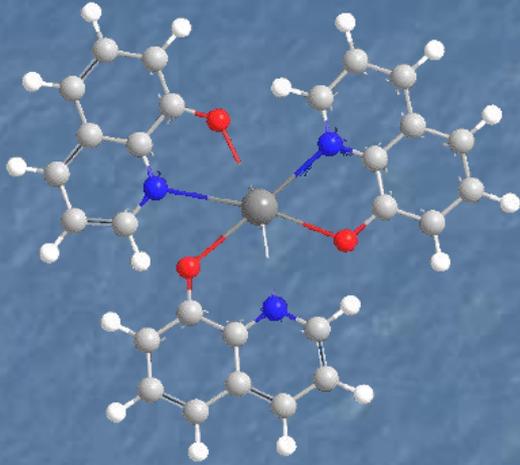


C60 Buckminster Fullerene

I BIOLOGI obbietano che nanocarbon è una scoperta recente
Loro studiano DNA and RNA da un tempo *molto* più lungo
(e li stanno usando per cambiare il mondo)

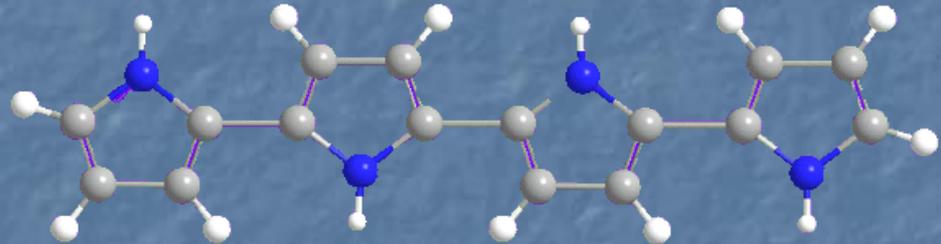


I CHIMICI rispondono che loro sintetizzano molecole da più di un secolo!

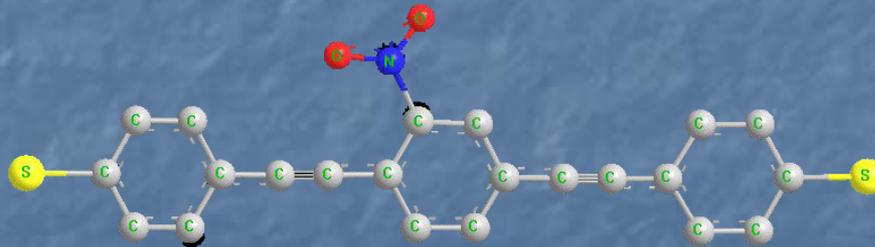


<= First OLED material: tris 8-hydroxyquinoline aluminum

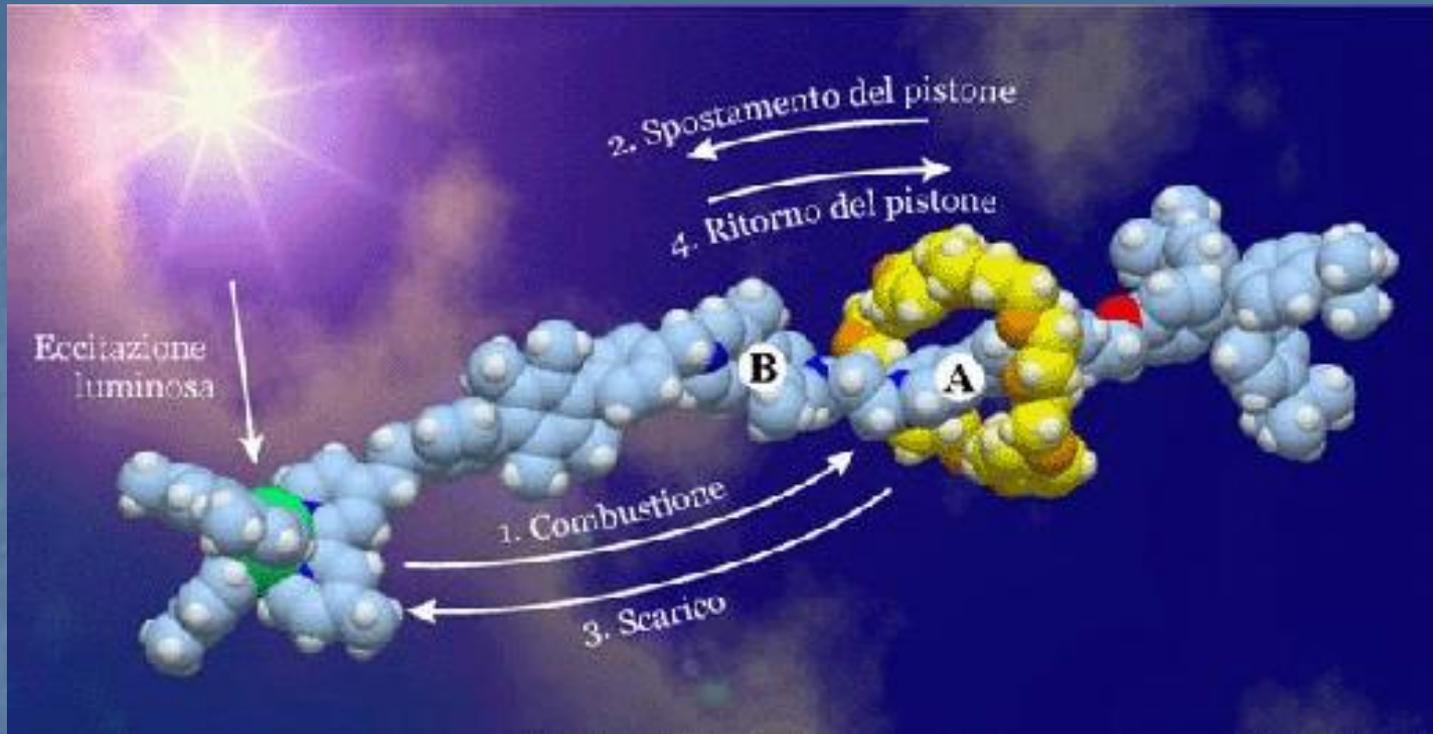
(OLED = organic light emitting diode)



Commercial OLED material: Polypyrrole



La molecola più studiata come sistema elettronico bistabile: Nitro oligo phenylene ethynylene



MOTORE MOLECOLARE

BALZANI-BOLOGNA

Tutte queste cose sono molto piccole

Infatti hanno le dimensioni di un nm:

$$\text{Nano} = 10^{-9} = 1 / 1,000,000,000 = 1 / \text{Billion}$$

Un nanometro è la dimensione di 10 atomi in fila

Questo porta alla più comune definizione di nanoscienza:

Nanoscienza è lo studio di oggetti di dimensione nanometriche?

Perché il punto interrogativo ? Cosa c'è di speciale in un nanometro?

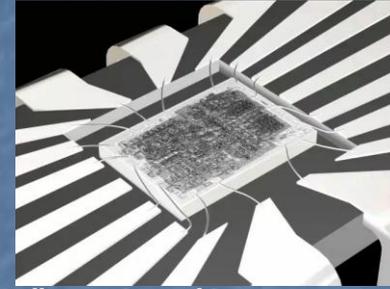
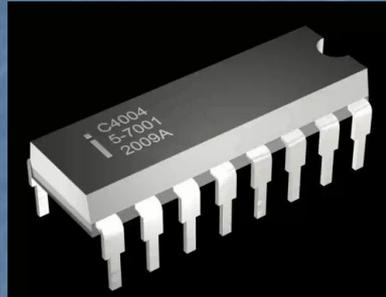
Un micrometer è anche straordinariamente piccolo:

$$\text{Micro} = 10^{-6} = 1 / 1,000,000 = 1 / \text{Million}$$

Un micrometer (o "micron") è ~ la lunghezza d'onda della luce

Ed è circa un secolo che la microtecnologia viene utilizzata!

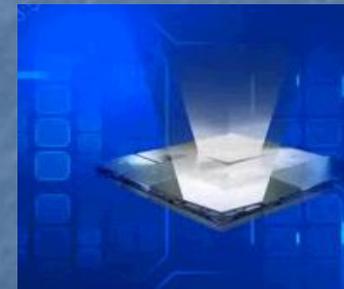
Microelettronica = Circuiti Integrati, PC's, iPods, iPhones . . .



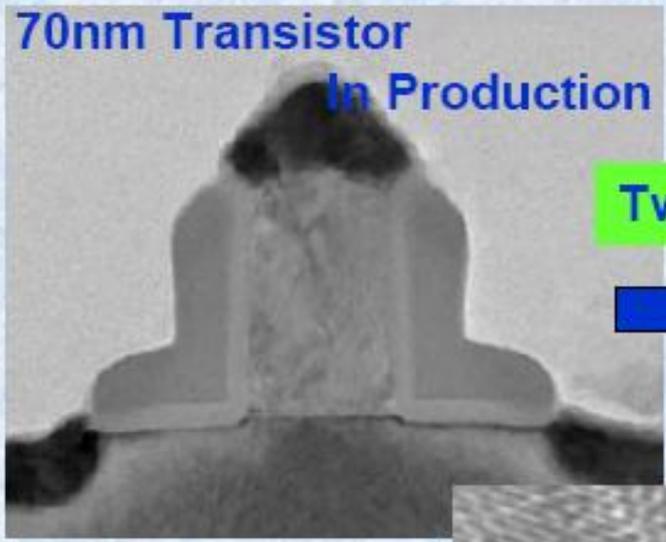
Intel 4004: The original "computer on a chip" - 1971 (Source: UVA Virtual Lab)

MEMS (Micro-electro-mechanical-systems):

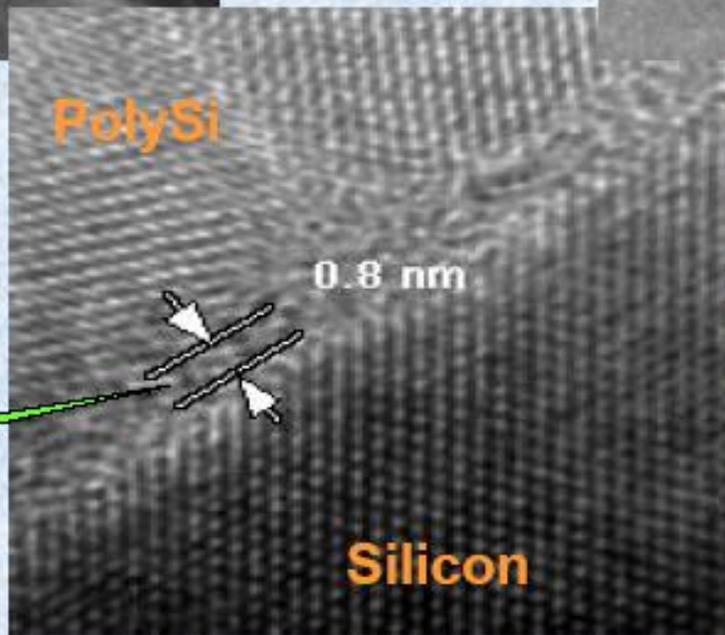
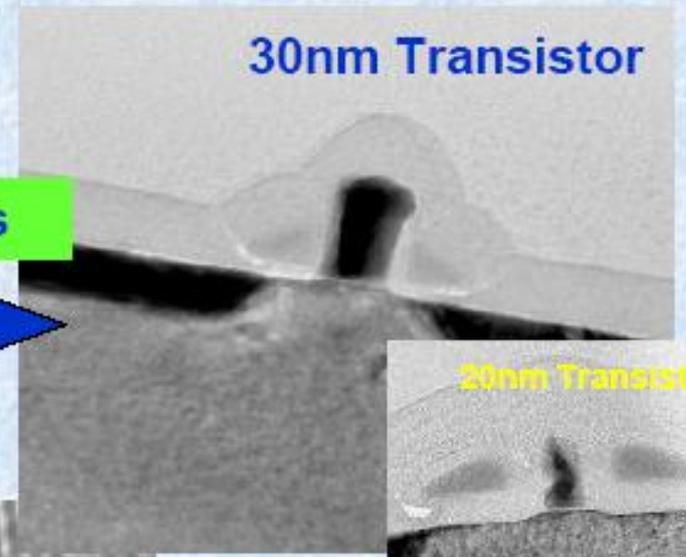
Air bag accelerometri, micro-specchi TVs & projectors . . .



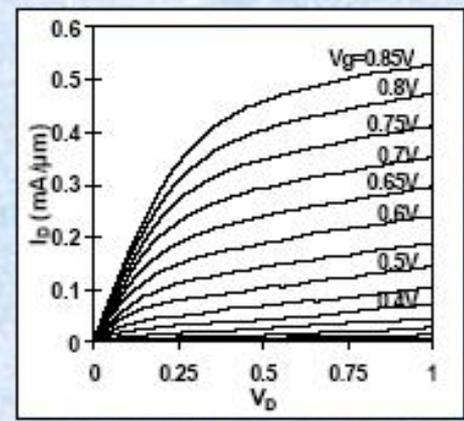
(Source: Texas Instruments DLP demo - www.dlp.com/tech/what.aspx)



Two Generations



Gate Oxide less than 3 atoms thick



*Ma allora cosa caratterizza NANOSCIENZA?
è realmente nuova e unica?*

Anche Micro è molto piccolo

Micro viene considerato da tanto tempo

Micro si sta riducendo in dimensioni può diventare nano ?

C'è una gran confusione tra micro e nano

Persino tra gli scienziati!!

Da notare che sicuramente nano verrà realizzato partendo dal micro

sia utilizzando alcune delle tecniche di costruzione

oppure sopra a strutture micro

Nano oppure Micro oppure Micro e Nano?

*Data la confusione in letteratura, è pressochè impossibile NON considerare
ENTRAMBE*

**ESISTE UNA LINEA CHE SEPARA MICRO- DA
NANOSCIENZA ?**

Esiste anche una linea che divide MICRO da NANOTECNOLOGIA ?

*Ed ENTRAMBE queste linee hanno a che fare con una lunghezza
d'onda (ONDE)!*

Linea di divisione tra MICRO e NANOSCIENZA:

La lunghezza d'ONDA associata all'ELETTRONE separa nanoScienza da microScienza

Electroni=> Onde

Come possiamo calcolare la lunghezza d'onda dell'elettrone?

$$\lambda_{\text{electron}} = h / p \quad \text{"De Broglie's Relationship"}$$

(λ = electron wavelength, h = Planck's Constant, p = electron's momentum)

Questa relazione si basa su una serie di esperimenti fatti alla fine del 1800 e all'inizio del 1900

La dualità onda-corpuscolo porta alla MECCANICA QUANTISTICA

Un modo di considerare il nano-mondo, nuovo, non intuitivo, non Newtoniano

Preso la lunghezza d'onda dell'elettrone come riferimento abbiamo:

Dimensioni delle COSE (orange = man-made things)

	Millimeters	Microns	Nanometers
Ball of a ball point pen	0.5		
Thickness of paper	0.1	100	
Human hair	0.02 - 0.2	20 – 200	
Talcum Powder		40	
Fiberglass fibers		10	
Carbon fiber		5	
Human red blood cell		4 – 6	
E-coli bacterium		1	
Size of a modern transistor		0.25	250
Size of Smallpox virus		0.2 – 0.3	200 – 300
Transistor Gate			35

Electron wavelength: ~10 nm or less

Diameter of Carbon Nanotube	3
Diameter of DNA spiral	2
Diameter of C60 Buckyball	0.7
Diameter of Benzene ring	0.7
Size of one Atom	0.1

Sotto quella linea = Nanoscienza!

Non è solo con il sistema metrico che misuriamo le **COSE** ma anche sulla base delle loro proprietà

sopra la linea le cose possono essere identificate dalla dimensione

sotto dalle proprietà;

in particolare l'elettrone deve essere considerato come una nube di dimensione $\sim \lambda_{De\ Broglie}$

Al di sopra della linea la nube è piccola e l'elettrone è un punto

AL di sotto di tale linea la natura ondulatoria dell'elettrone diventa importante

La natura ondulatoria controlla:

proprietà elettriche, ottiche, meccaniche

I legami chimici e quindi la nanostruttura

La SCIENZA cambia! Da Microscienza \neq Nanoscienza

Da un altro punto di vista

Sopra la linea :

Valgono le leggi fisiche di Sir Isaac Newton

E' il mondo di cui abbiamo esperienza

Anche se abbiamo bisogno del microscopio
e anche se le proprietà sono influenzate da
Tensione di vapore, cariche elettrostatiche etc (cose che in genere ignoriamo)

Sotto la linea:

Valgono le regole della meccanica quantistica (onde)

e il nostro istinto (Newtoniano) porta a conclusioni errate

Come cambiano le proprietà dei materiali a livello di nanoscala?

- *DEF.: Una proprietà descrive come si comporta un materiale in certe condizioni*

- **Vari tipi di proprietà:**

- ottiche (colore trasparenza etc)
- elettriche (conducibilità etc)
- fisiche (durezza, temperatura di fusione etc.)
- chimiche (reattività, velocità di reazione etc)

- **In genere queste proprietà vengono determinate considerando una grande insieme (10^{23}) di atomi e/o molecole**

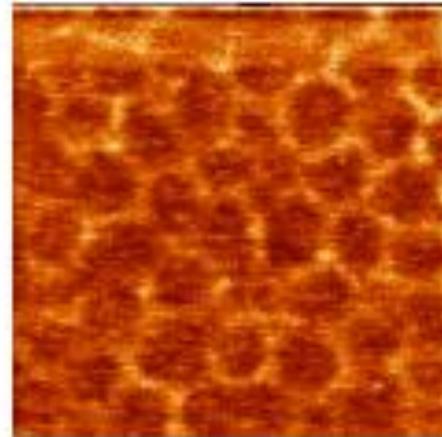
PROPRIETA' OTTICHE

(es. ORO)

- oro massivo appare giallo
- oro nanometrico appare rosso
 - le particelle sono così piccole che gli elettroni non possono muoversi liberamente come nella massa
 - poiché questo movimento è limitato le particelle reagiscono con la luce in modo diverso



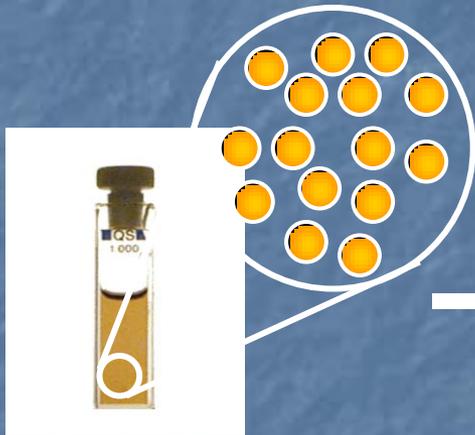
"Bulk" gold looks yellow



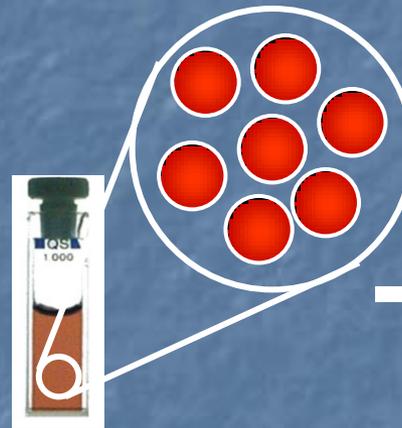
12 nanometer gold particles look red 27



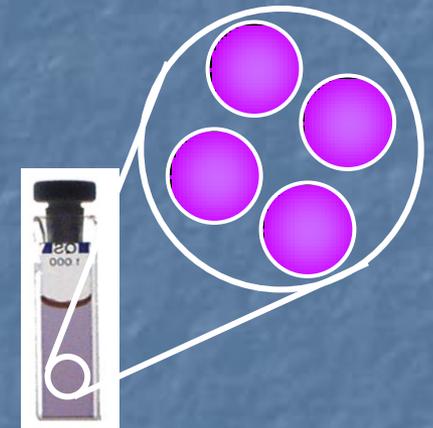
Bulk Gold
mp = 1064° C
Color = gold



1 nm gold particles
mp = 700 °C
 $\lambda_{\max} = 420 \text{ nm}$
Color = brown-yellow



20 nm gold particles
mp = ~1000 °C
 $\lambda_{\max} = 521 \text{ nm}$
Color = red



100 nm oro particelle
mp = ~1000 °C
 $\lambda_{\max} = 575 \text{ nm}$
Colore=viola-rosa

PROPRIETA' OTTICHE

EFFETTO DELLE DIMENSIONI

PARTICELLA GRANDE: blocca raggi UV, disperde la luce appare bianco

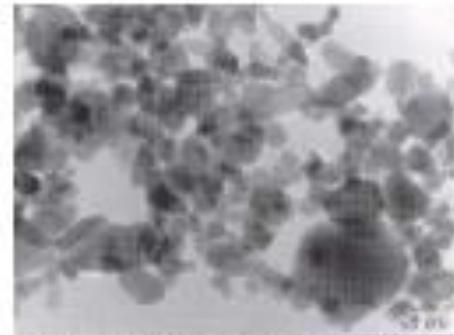
PARTICELLA NANOMETRICA: blocca raggi UV, non disperde la luce, trasparente



"Traditional" ZnO
sunscreen is white



Nanoscale ZnO
sunscreen is clear



Zinc oxide nanoparticles



PROPRIETA' ELETTRICHE

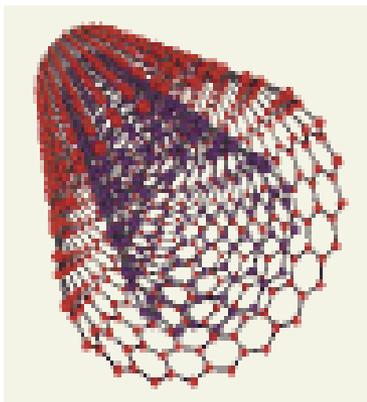
NANOTUBI

Nanotubi sono cilindri di carbone lunghi e sottili

Sono 100 volte piu resistente dell'acciaio, molto flessibili, e possiedono proprietà elettriche uniche

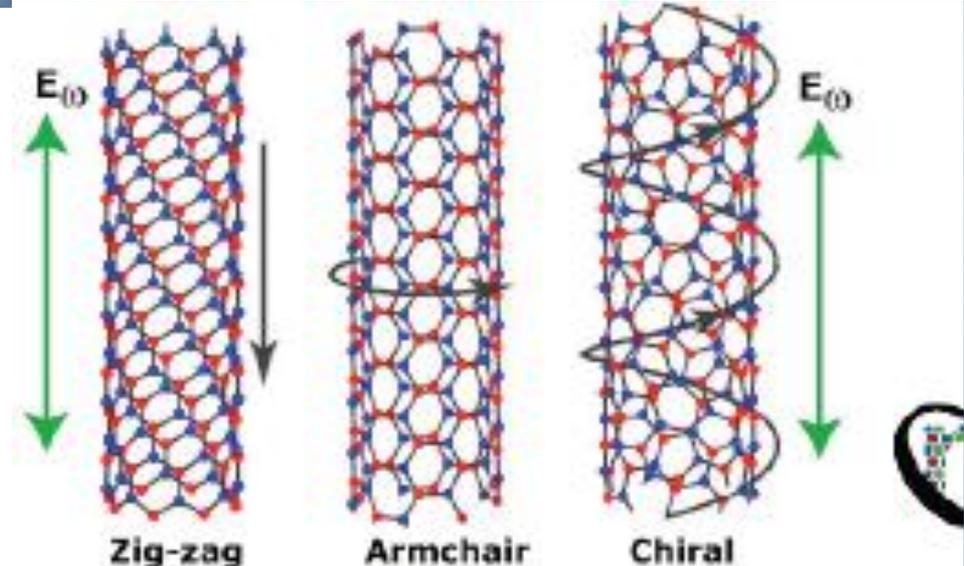
Le proprietà elettriche cambiano con il diametro, avvolgimento e numero di pareti

Possono essere sia conduttori che semiconduttori



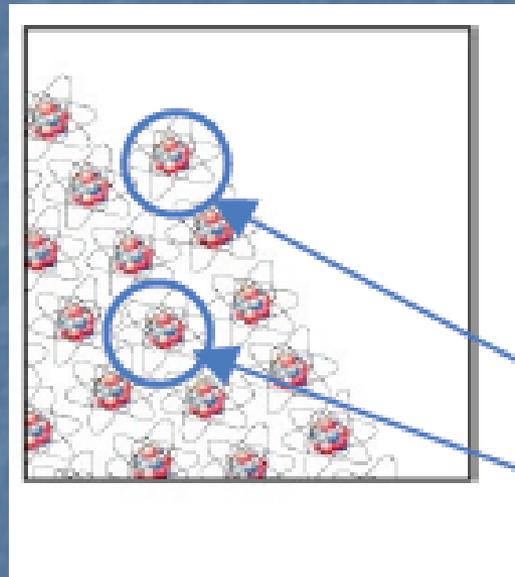
Multi-walled

Electric current
varies by tube
structure



PROPRIETA' FISICHE

Temperatura di fusione



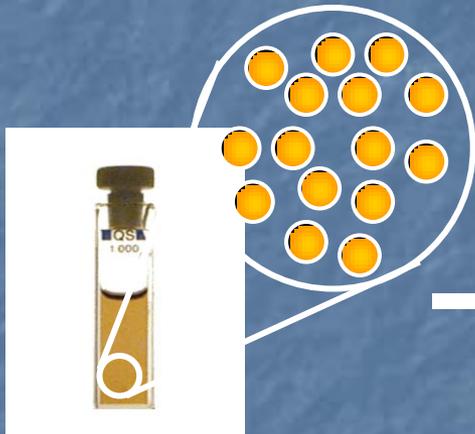
in contatto con 3 atomi

in contatto con 7 atomi

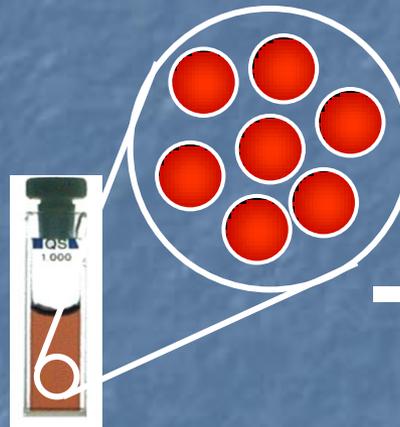
Temperatura di fusione: temperatura a cui gli atomi acquistano abbastanza energia da superare le forze intermolecolari che li tengono in posizione fissa nel solido



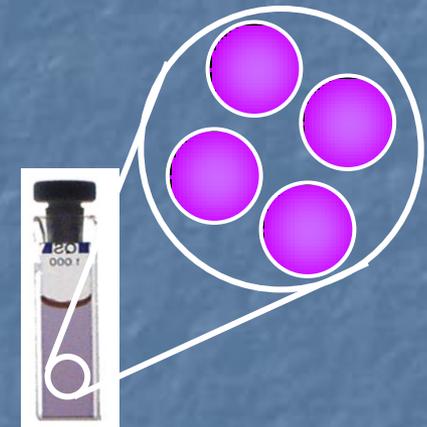
Bulk Gold
mp = 1064° C
Color = gold



1 nm gold particles
mp = 700 °C
 $\lambda_{\max} = 420 \text{ nm}$
Color = brown-yellow



20 nm gold particles
mp = ~1000 °C
 $\lambda_{\max} = 521 \text{ nm}$
Color = red



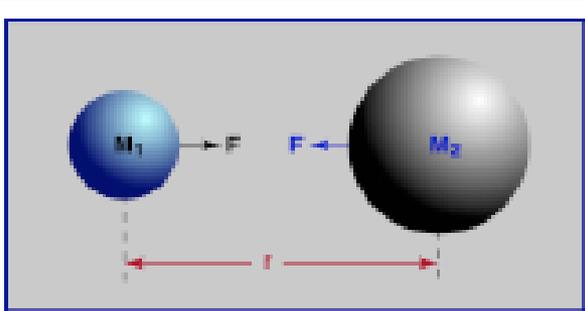
100 nm oro particelle
mp = ~1000 °C
 $\lambda_{\max} = 575 \text{ nm}$
Colore=viola-rosa

PERCHE' CAMBIANO LE PROPRIETA' ?

Quattro importanti motivi per i materiali nano differiscono da quelli micro o macro

- **le forze gravitazionali diventano trascurabili e prevalgono quelle elettromagnetiche**
- **La meccanica quantistica è il modello da usare per descrivere moto ed energia**
- **maggiore rapporto area superficiale/volume**
- **il moto molecolare casuale diventa importante**

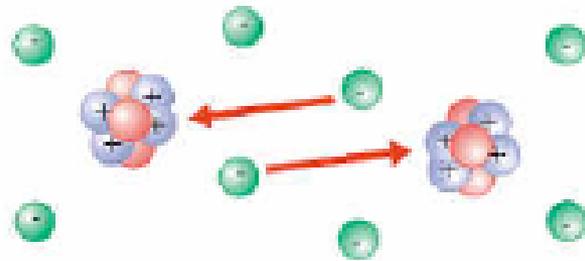
PREVALENZA DELLE INTERAZIONI ELETTROMAGNETICHE



**A CAUSA DELLA MASSA LA FORZA DI
GRAVITA' E' TRASCURABILE PER GLI
OGGETTI DI DIMENSIONE "NANO"**

La forza elettromagnetica tra due protoni è 10^{36} volte
maggiore di quella gravitazionale

(non vengono considerate le forze nucleari)



EFFETTI QUANTICI

I modelli basati sulla meccanica classica che si usano per descrivere le proprietà della materia a livello di "macro scala" non funzionano più a causa di:

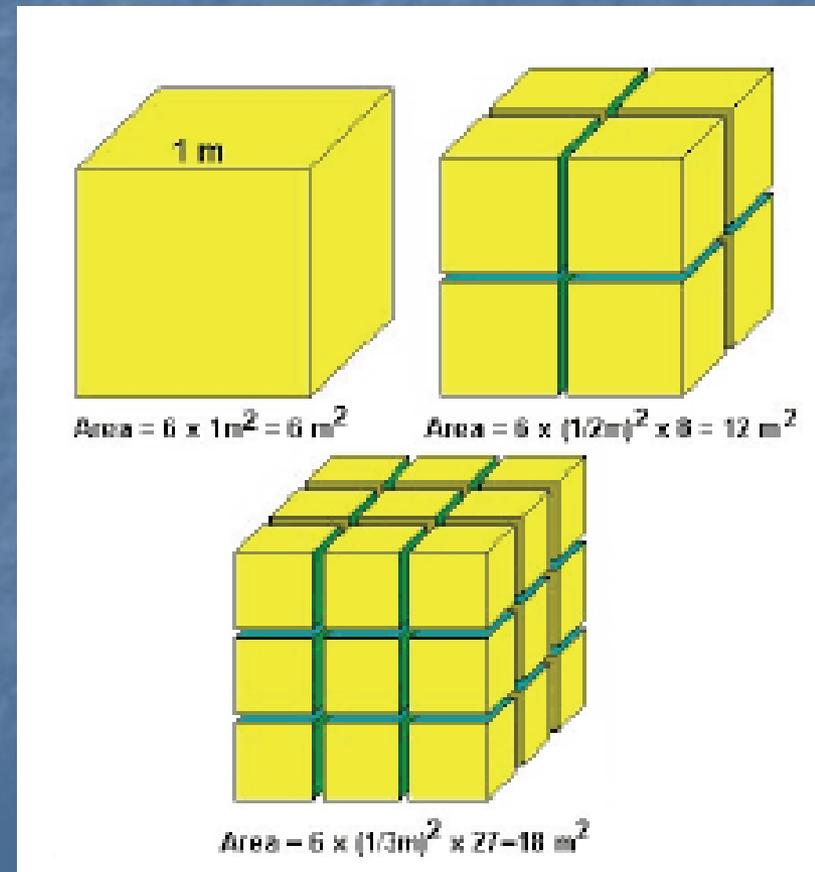
- la dimensioni "nano"
- l'alta velocità prossima a quella della luce

I modelli basati sulla meccanica quantistica descrivono fenomeni che quella classica non può quali:

- I colori di oro "nano"
- La probabilità, invece della certezza, di dove si potrebbe trovare un elettrone.

AUMENTA IL RAPPORTO AREA SUPERFICIALE –VOLUME

- LE ENERGIE DI SUPERFICIE DIVENTANO CONFRONTABILI CON QUELLE DI VOLUME
- UNA MAGGIORE QUANTITA' DI SOSTANZA E' IN CONTATTO CON ALTRI MATERIALI
- MIGLIORANO I PROCESSI DI CATALISI



E' IMPORTANTE IL MOTO CASUALE DELLE MOLECOLE

A livello di macroscala non si apprezza il movimento né le cause che lo producono

A livello di nanoscala diventa importante conoscere sia la traiettoria che le cause che la determinano



IN CONCLUSIONE

TUTTO QUESTO COSA SIGNIFICA?

NON sono SOLO LE DIMENSIONI CHE CONSENTONO DI IDENTIFICARE UN OGGETTO come "NANO"

Ma anche le PROPRIETA'

Per comprendere le proprietà di materiali nano occorre considerare:

- il prevalere delle forze elettromagnetiche
- l'importanza dei modelli quanto meccanici
- i più elevati rapporti area superficiale / volume
- i moti casuali (Browniani)

NANOTECNOLOGIA

VS

MICROTECNOLOGIA

LE ONDE LUMINOSE separano NanoTECNOLOGIA da MicroTECNOLOGIA

Tecnologia = le cose che facciamo e come le facciamo

Indipendentemente dalla conoscenza scientifica

Dove la lunghezza d'onda della luce entra nella tecnologia?

Micro tecnologia si basa sull'uso della luce

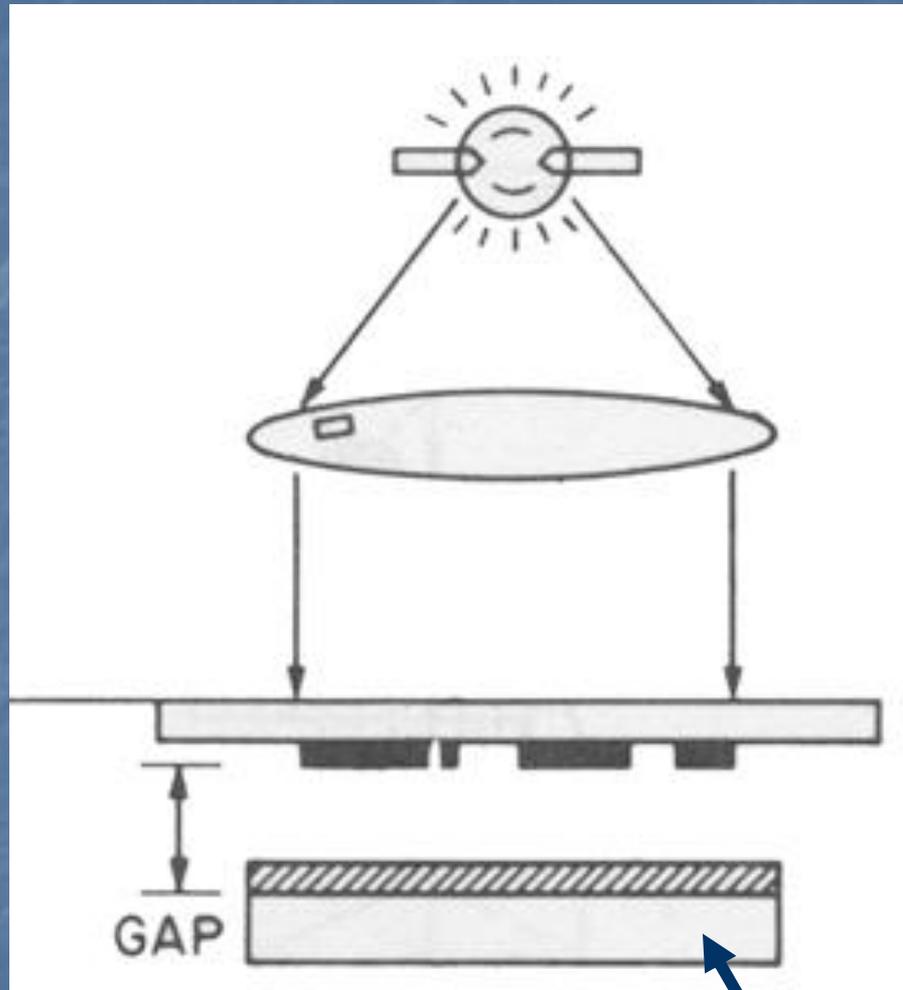
La luce è usata per creare strutture =>



In questo modo vengono realizzati i circuiti integrati in
microelettronica

FOTOLITOGRAFIA

FOTOLITOGRAFIA



lampada

lente

MASCHERA

fotoresist

CAMPIONE

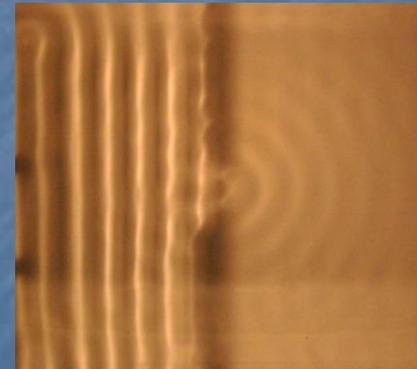
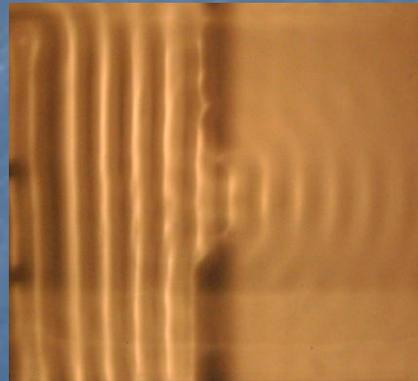
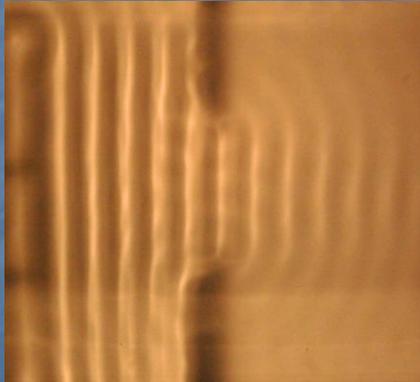
Come la lunghezza d'onda influenza la tecnologia?

Il principio della fotolitografia si basa sulla possibilità di avere fasci luminosi ben collimati

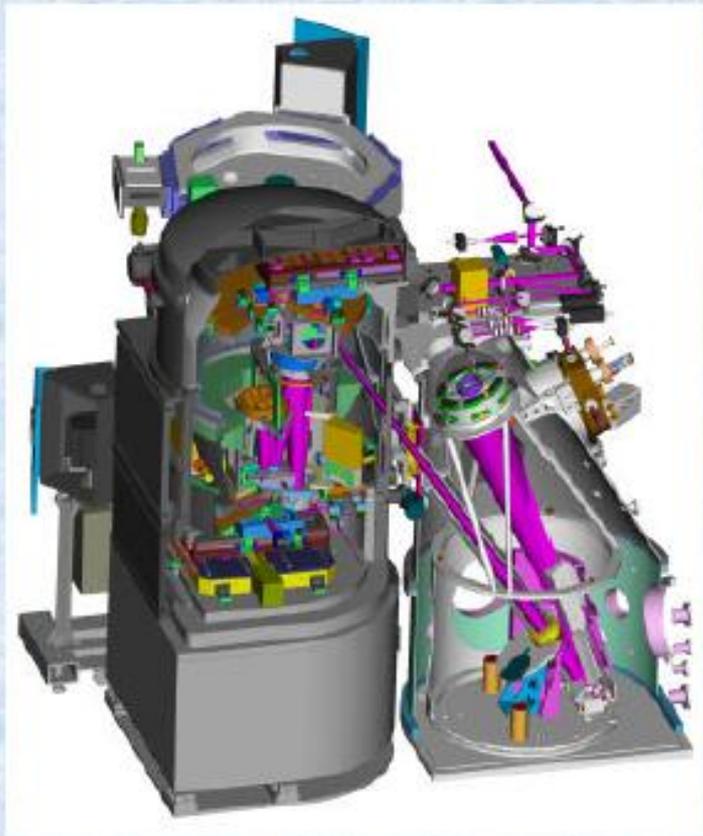
si può ottenere attraverso una lente

oppure facendo passare la luce attraverso fori in opportune maschere

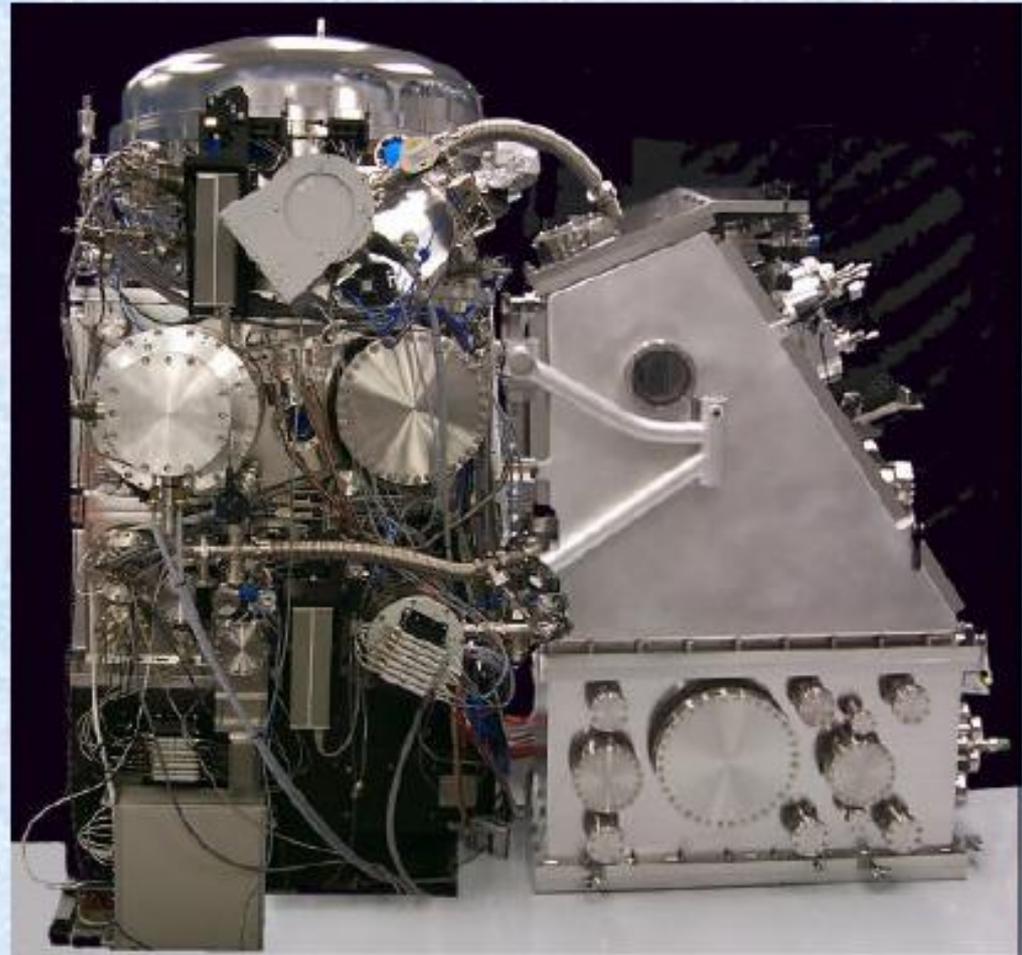
NON E' POSSIBILE CONFINARE LA LUCE IN UN FASCIO PIU PICCOLO DELLA SUA LUNGHEZZA D'ONDA



EUV LLC "ETS"



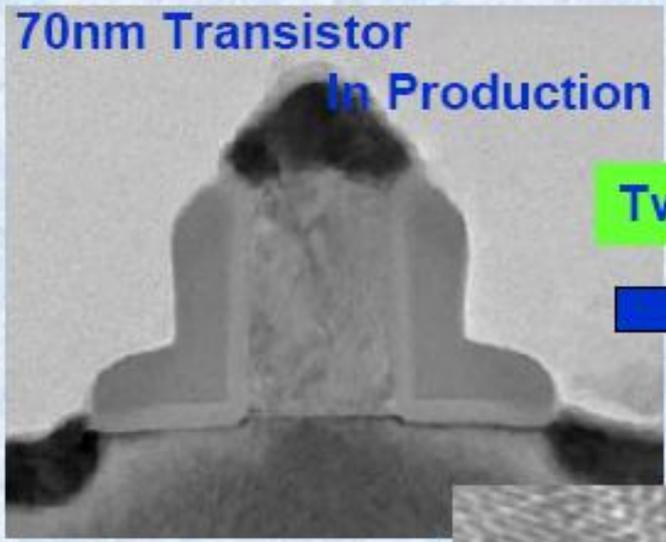
18 months Design to Operation



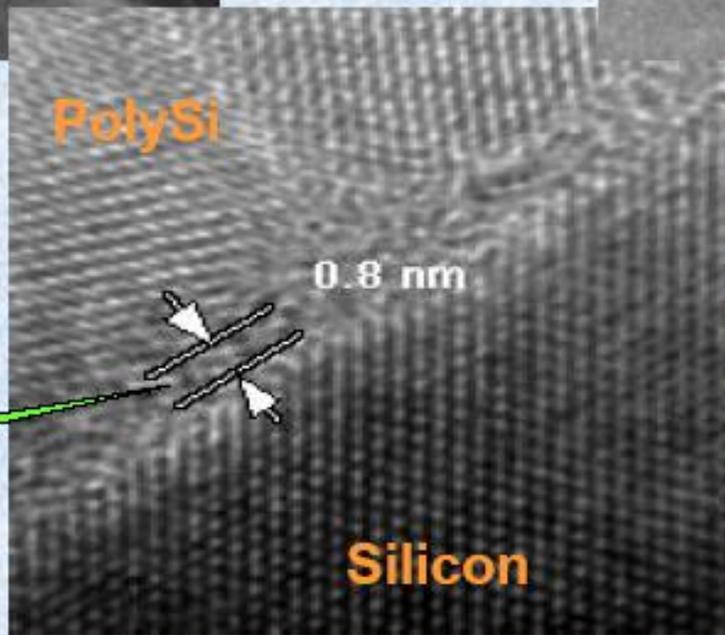
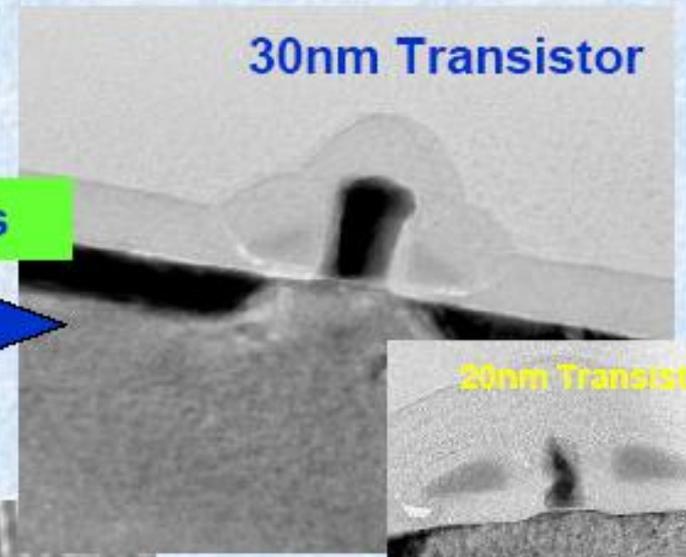
Per gate da 45 nm 2001

Costi: 55 milioni di euro + 5 milioni macchina per depositare fotoresist

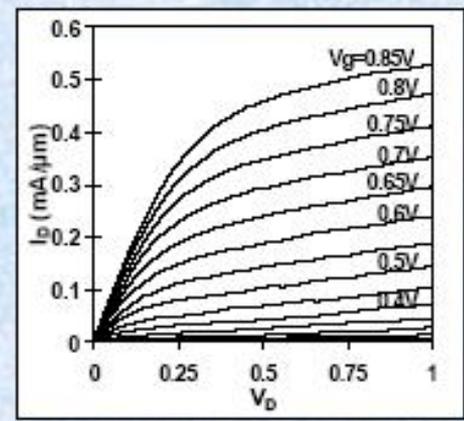
+ INSTALLAZIONE



Two Generations



Gate Oxide less than 3 atoms thick



Size of *Things* (orange = man-made things)

	Millimeters	Microns	Nanometers
Ball of a ball point pen	0.5		
Thickness of paper	0.1	100	
Human hair	0.02 - 0.2	20 – 200	
Talcum Powder		40	
Fiberglass fibers		10	
Carbon fiber		5	
Human red blood cell		4 – 6	
E-coli bacterium		1	1000

Visible Light Wavelength: 0.40 – 0.75 microns 400 – 750 nm

Size of a modern transistor		0.25	250
Transistor Gate			35
Size of Smallpox virus		0.2 – 0.3	200 – 300

Electron wavelength: Upper upper limit ~ 10 nm

Diameter of Carbon Nanotube			3
Diameter of DNA spiral			2
Diameter of C60 Buckyball			0.7
Diameter of Benzene ring			0.7
Size of one Atom			0.1

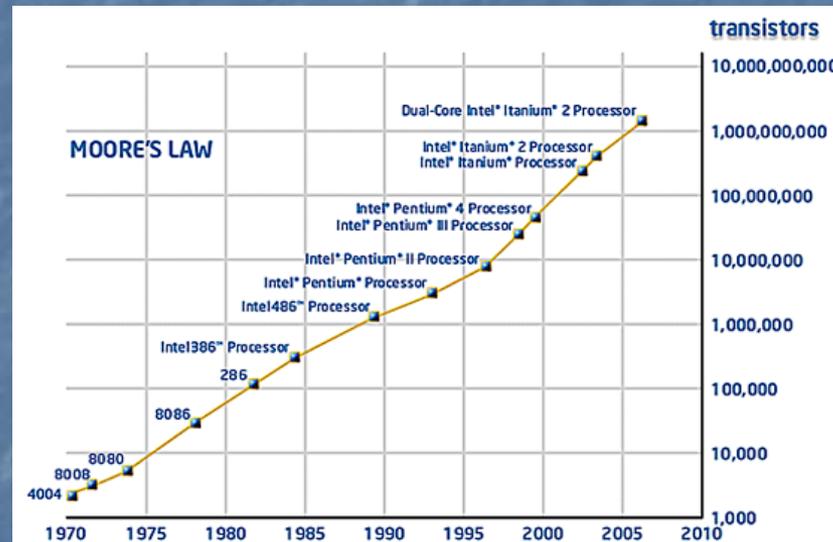
Inoltre, con la microtecnologia si realizzano prodotti che ogni anno diventano sempre più piccoli

MOORE'S LAW: (INTEL-1965) ogni 18-24 mesi il numero di transistor in un dispositivo raddoppia

IC's era stato inventato solo 7 anni prima!

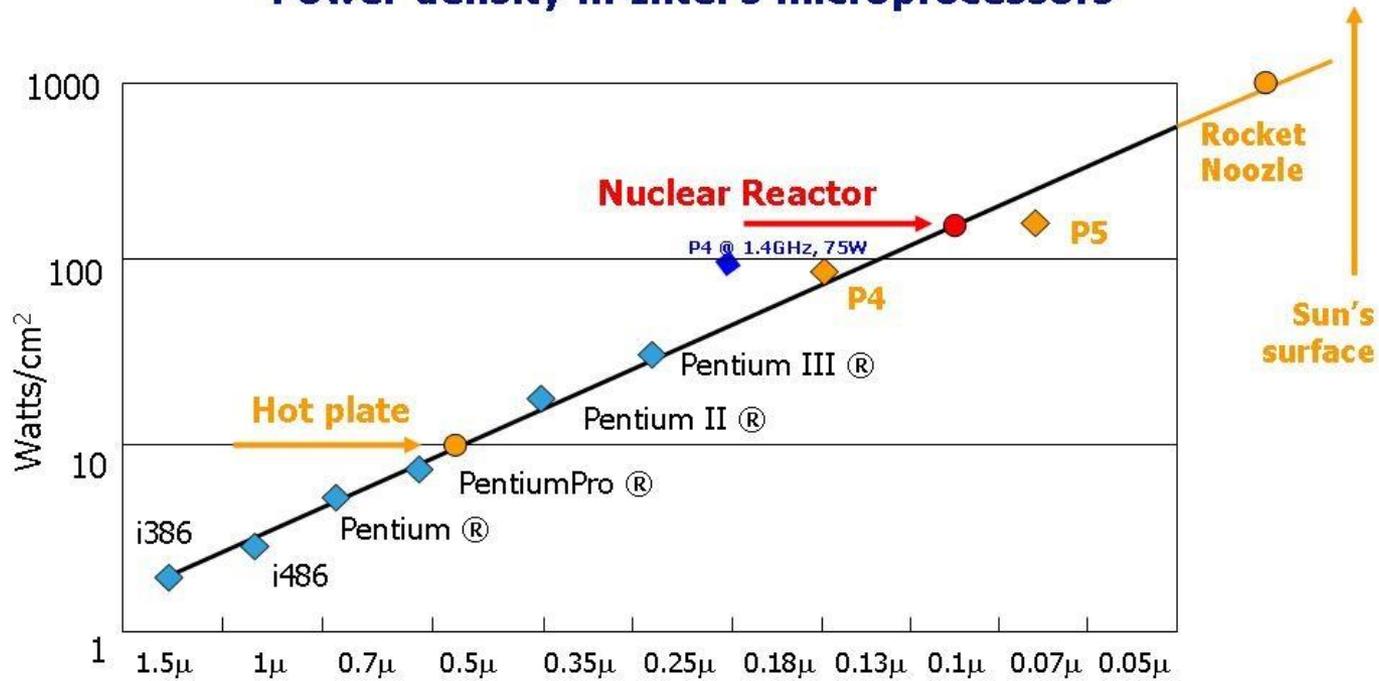
(by Moore, his Fairchild/Intel colleagues, and Texas Instrument's Jack Kilby)

La sua legge ha predetto lo sviluppo per 40 anni:



(Source: www.intel.com/technology/mooreslaw/index.htm)

... and some Moore's law consequences: Power density in Intel's microprocessors



Source: Intel, Keynote speech by Fred Pollack, MICRO-32

Sopra la nuova linea:

Possiamo usare tecniche di Microfabbricazione basate sulla fotolitografia ottica e, sebbene sia stata sviluppata per la microelettronica, può essere usata per fare qualsiasi micro-oggetto

Al di sotto della nuova linea:

le tecniche di microfabbricazione non possono essere più usate

Il rimpiazzo si chiamerà "Nanofabbricazione" o "Nanotecnologia"

NON ABBIAMO NESSUNA IDEA COSA AVREMO COME SOSTITUTO!

Perchè la ricerca nelle nanoscienze è ora un misto di varie tecniche.

TEMA RICORRENTE: SI SPERA di ottenere cose nano per auto assemblaggio!!!!

Nano è:

Quando cambiano le regole!

tutti gli scienziati "nano" devono essere familiari con la meccanica quantistica

Dove è necessario avere un nuovo e completo insieme di approcci

FARE COSE NANO è facile

Metterne insieme molte per fare cose utili è difficile

La speranza è di avere oggetti auto-formantesi (self-assembled)

Per realizzare oggetti prendere spunto da quello che fa la natura

> Nano richiede un approccio multidisciplinare e quindi competenze diversificate

Physicists + Chemists + Biologists + Electrical Engineers + Materials Scientists + . . .

Un insieme di discipline che non avevano mai collaborato tutte insieme.

Per riassumere:

Sotto i 100 nm c'è un profondo cambiamento nella SCIENZA:

Newton non vale più. La meccanica quantistica deve essere usata.

OGGETTI VENGONO SOSTITUITI DA ONDE

L'intuizione basata sulla nostra esperienza => porta a conclusioni
fundamentalmente errate

*Sotto i 100 nm sarà necessario un profondo cambiamento nella
TECNOLOGIA:*

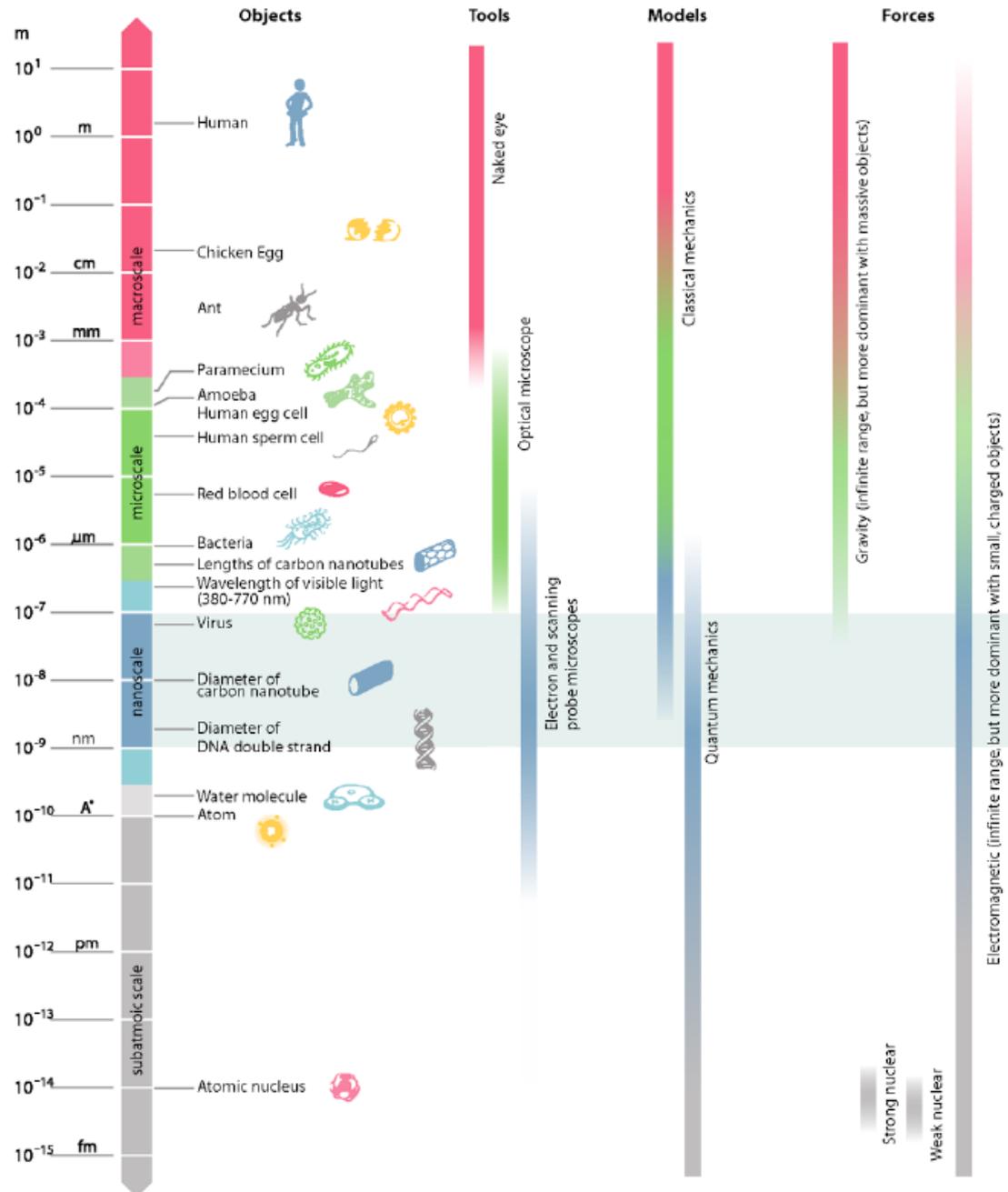
Non è possibile focalizzare la luce a questi livelli

La fotolitografia non funziona più

Occorre trovare qualcosa ("NANOTECNOLOGIA") di nuovo!!

NANO non è solo una cosa misurata in nm!!!

Scale Diagram: Dominant Objects, Tools, Models, and Forces at Various Different Scales



Rischi Potenziali delle Nanotecnologie

■ Salute

- Nanoparticelle possono essere respirate, ingerite, assorbite attraverso la pelle o iniettate deliberatamente
- Potrebbero causare infiammazioni o indebolire il sistema immunitario? Potrebbero interferire con i meccanismi che regolano gli enzimi e le proteine?

■ Ambiente

- Nanoparticelle potrebbero accumularsi nel suolo, nell'acqua, nelle piante; I filtri tradizionali sono troppo grandi per catturarle

■ Necessario definire nuove regole

- Agenzie nazionali e internazionali stanno iniziando a studiare le possibilità di rischio; I risultati porteranno a nuove regole.