

Aspetti epistemologici delle Nanoscienze ed altro

Giovanni Villani

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici del CNR

Area della ricerca di Pisa

giovanni.villani@cnr.it

Introduzione

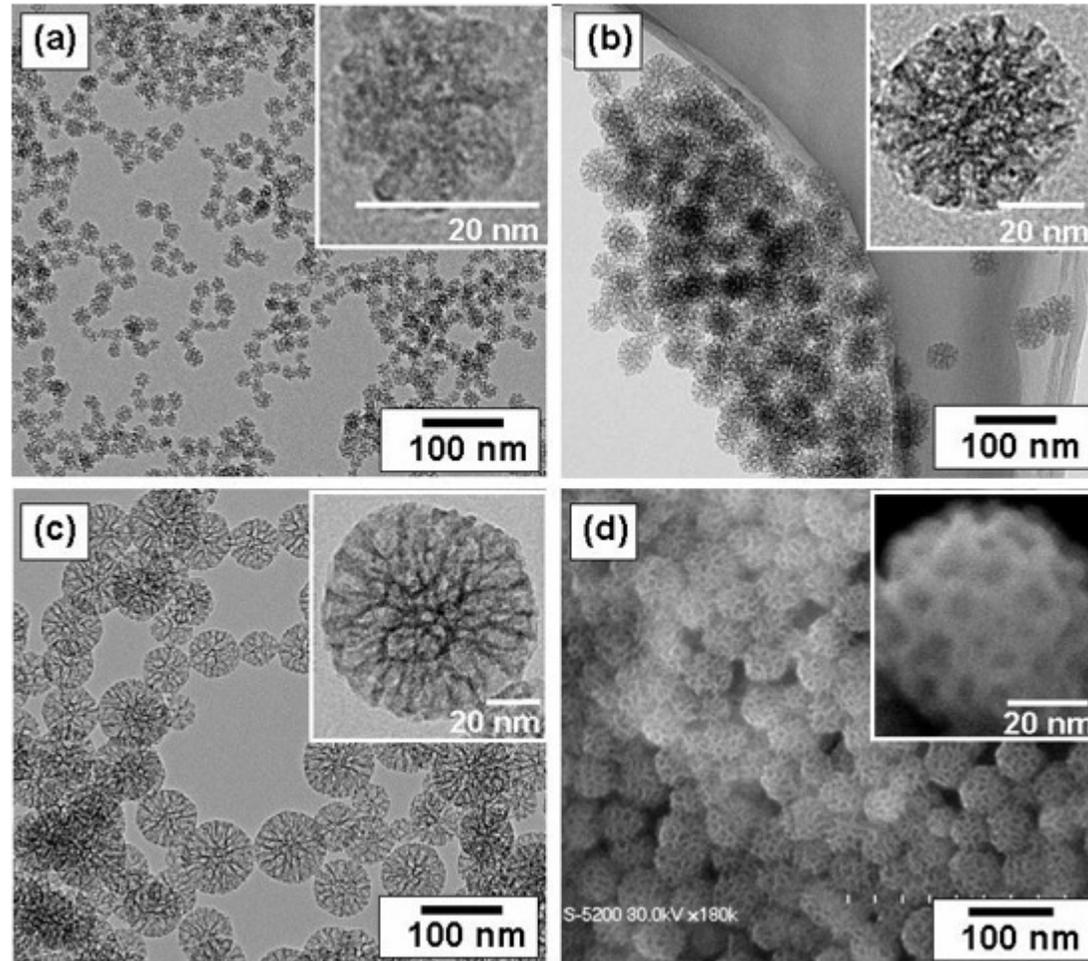
L'aspetto caratterizzante delle nanoscienze è quello **dimensionale**.

Come ci dice il nome, esse si caratterizzano per l'intervallo di dimensione (per convenzione da 10 a 100 nm per almeno una dimensione) degli enti studiati.

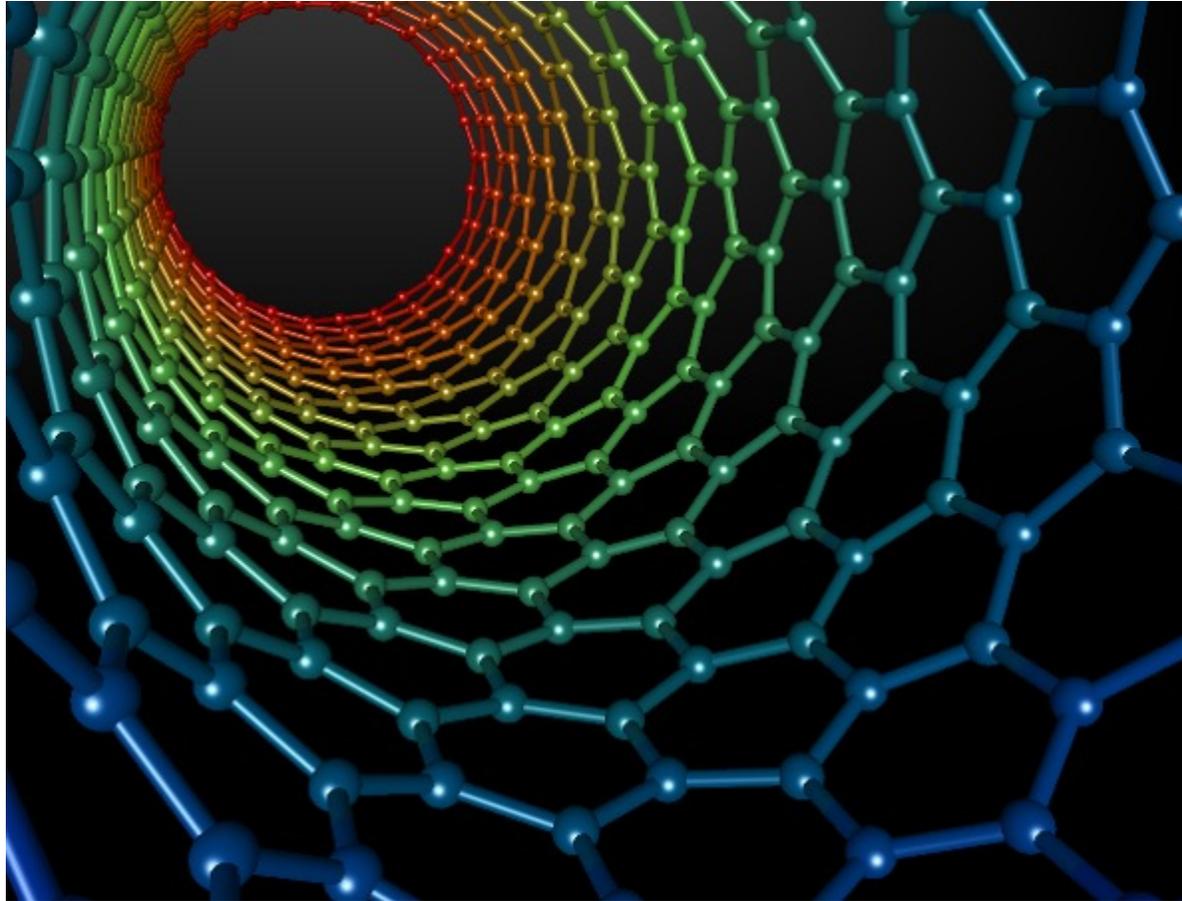
Di conseguenza, fanno parte dei nanomateriali:

- (a) le nanopolveri con tutte e tre le dimensioni inferiori a 100 nm;
- (b) i nanotubi con due dimensioni inferiori;
- (c) i film sottili (per esempio grafene) con una dimensione inferiore;
- (d) e, infine, i materiali nano strutturati, cioè enti che possono avere tutte le dimensioni superiori a 100 nm, ma sono costituiti da elementi con almeno una dimensione inferiore a 100 nm.

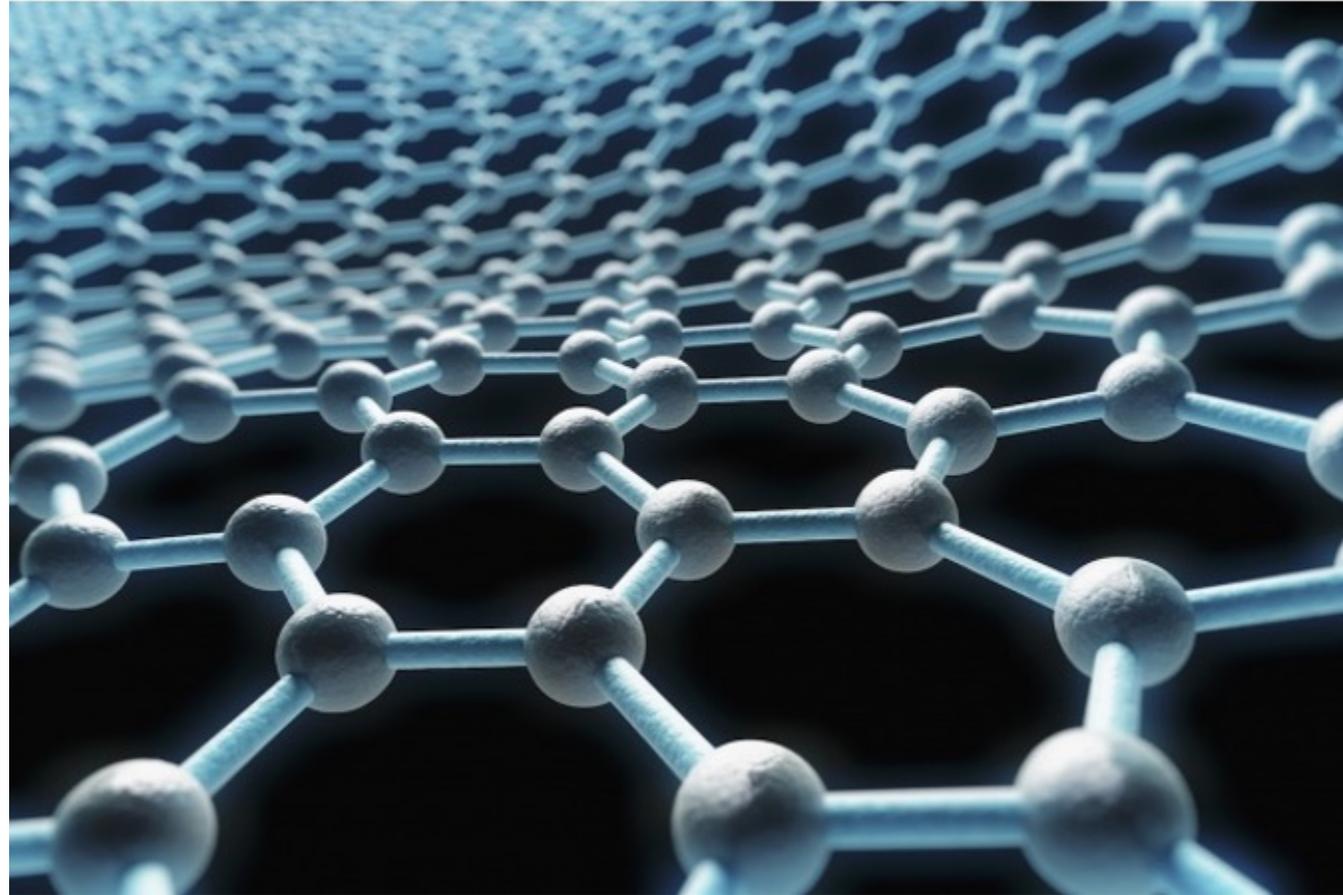
Introduzione Nanopolveri



Introduzione Natubi

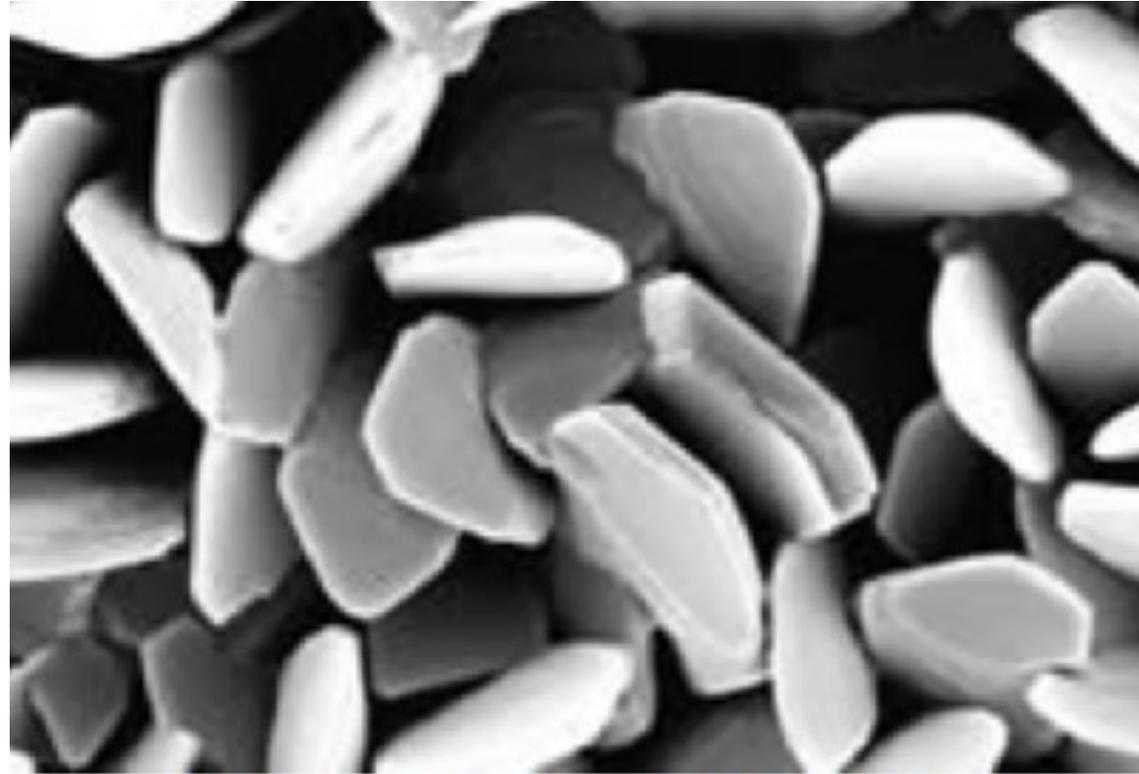


Introduzione Grafene



Introduzione

Materiali nanostrutturati



Telloruro di Bismuto Bi_2Te_3

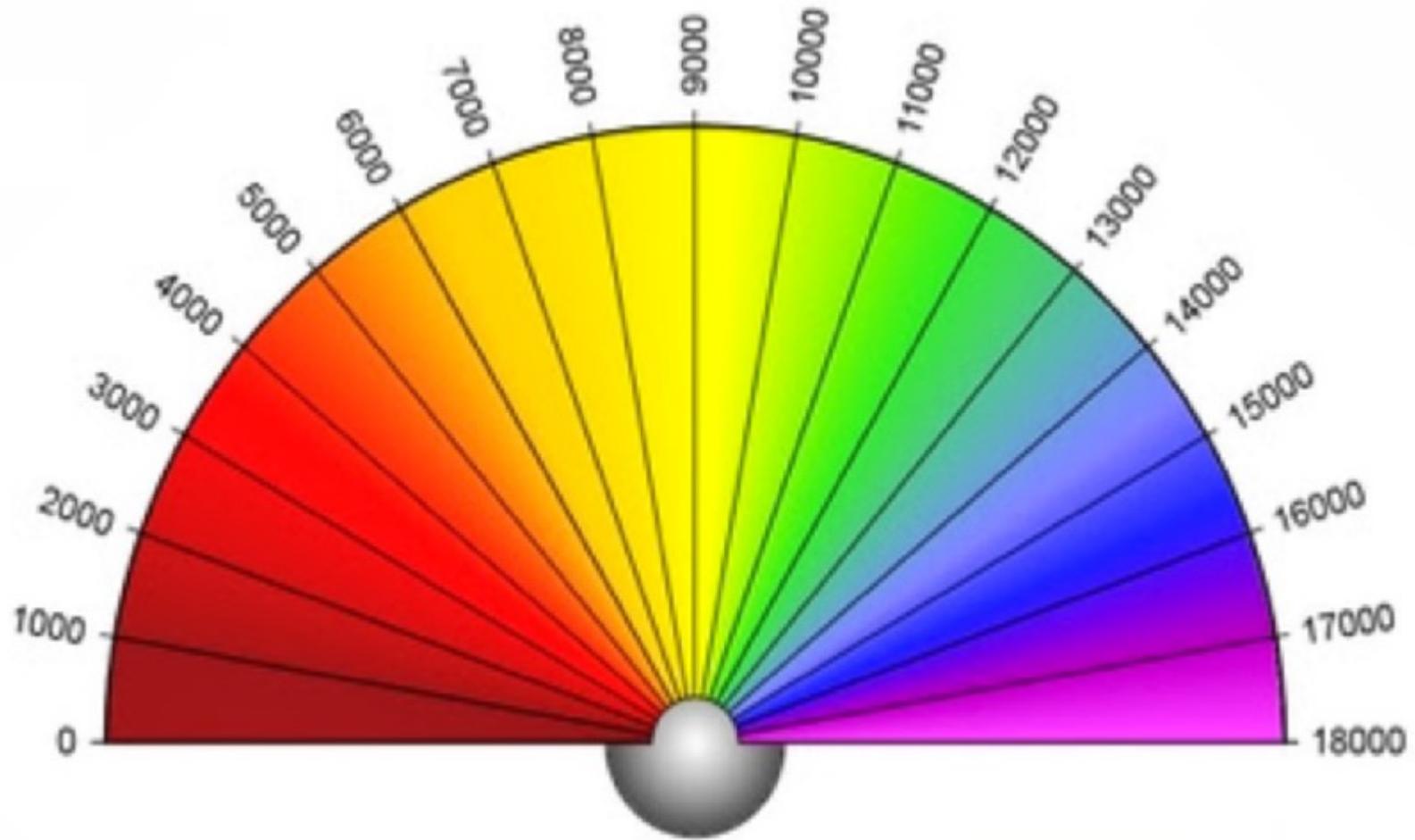
Scala delle dimensioni

Una prima riflessione generale può essere fatta sulla scala delle dimensioni.

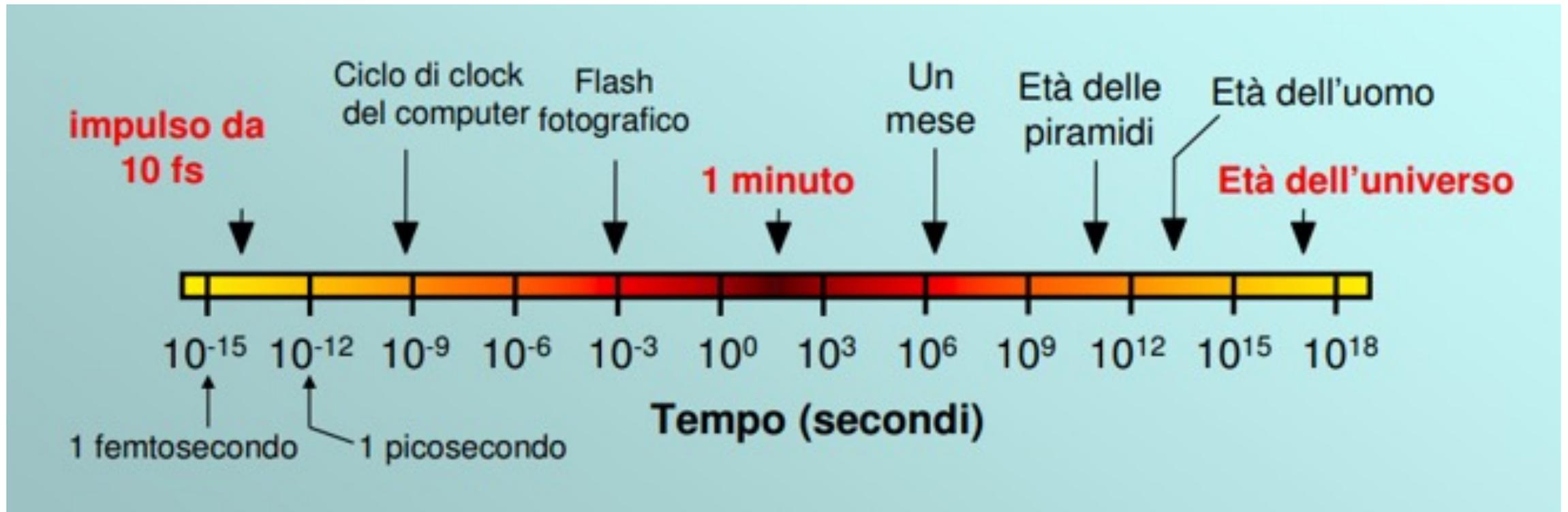
Essa, insieme alla interconnesse **scale delle energie** e **scala temporale**, consente di spezzettare e schematizzare in differenti “ambiti” i due concetti fondanti di ogni disciplina scientifica: quello di ente e quello di processo.

In questo contesto per “ambiti” si intende che la realtà materiale non solo è discreta perché è formata da particelle discrete, ma anche che queste particelle si assemblano gerarchicamente formando differenti **livelli di complessità**: atomico, molecolare, ecc.

Scala delle energie



Scala temporale



Livelli di complessità



Partiamo da una domanda

Perché evidenziamo le “nanoscienze” e non le scienze di altre scale dimensionali?

Dal punto di vista «tecnologico»: esiste un set di «tecniche» che lavorano in quel range di dimensione. Tale ambito si è sviluppato quando l’abbiamo potuto «trattare» sperimentalmente. Approccio fisico e chimico.

Dal punto di vista «scientifico», tale ambito è particolare:

- 1. la singola molecola (frazione di nanometri) è studiata con la Meccanica Quantistica.**
- 2. Un insieme numeroso di molecole, necessario per descrivere il mondo macroscopico (micrometri) è studiato con la Meccanica Statistica.**
- 3. Esiste un “mondo di mezzo”, mesomondo, (nanometri) che è differente da questi due estremi, con caratteristiche specifiche che vanno messe in evidenza.**

Dal punto di vista «filosofico», e con ricadute in didattica, tale mondo rimette in discussione concetti scientifici essenziali, come vedremo.

Qui citiamo, come esempio, il concetto di «proprietà intensiva».

Da un punto di vista scientifico, che cosa ha di particolare l'intervallo di dimensione nanometrico?

Dal punto di vista strettamente scientifico in quest'ordine di grandezza la materia non si comporta come quella a livello macroscopico né come quella atomico/molecolare, ma assume un comportamento nuovo.

Questo comportamento è associato alla particolarità delle particelle nanometriche:

esse sono caratterizzate da un numero di componenti superficiali paragonabile, se non maggiore, al numero di componenti del resto della struttura.

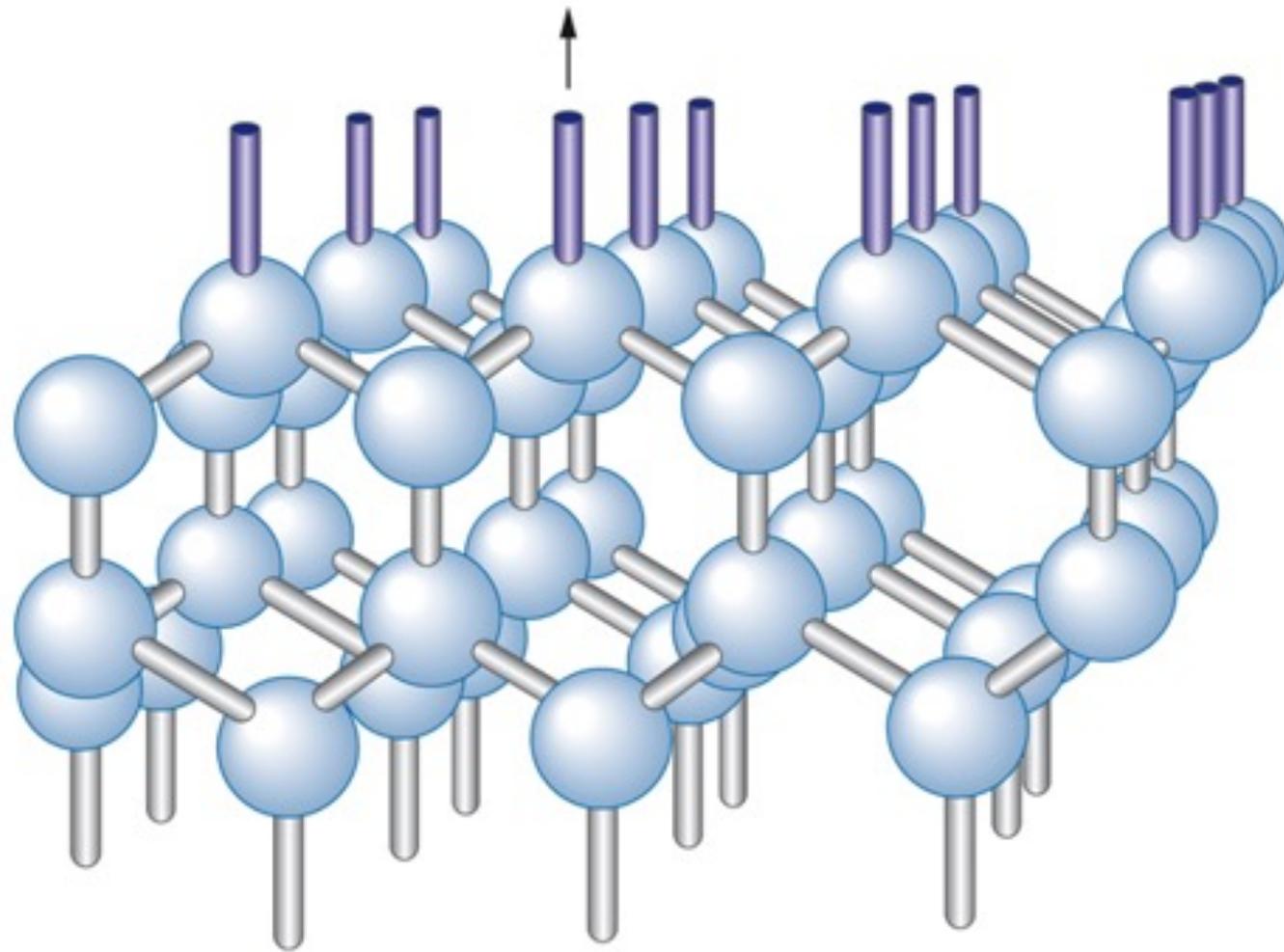
Nei nanomateriali, inoltre, possono essere presenti importanti effetti quantistici che si perdono a dimensione maggiore dei materiali.

Questi due fattori possono modificare le proprietà di tali materiali, sia le proprietà chimiche (la reattività) sia quelle fisiche, come la resistenza meccanica, le proprietà ottiche, elettriche e magnetiche del materiale.

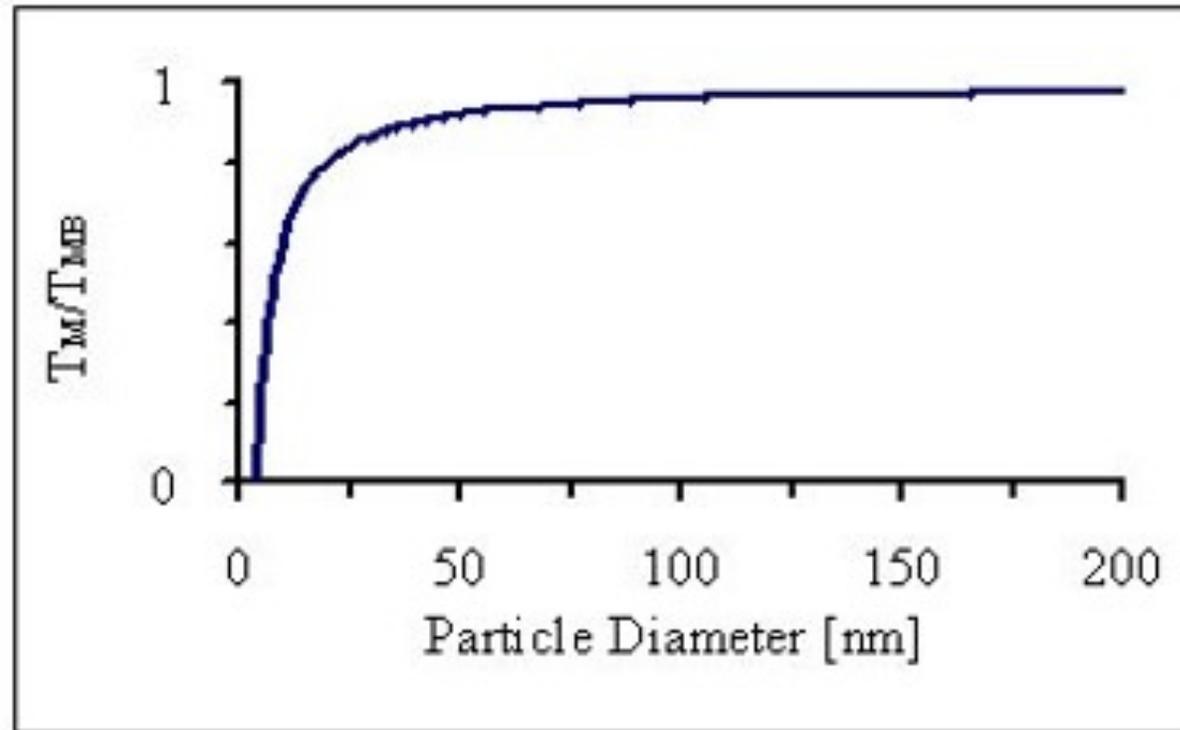
Principali differenze delle proprietà chimiche/fisiche dei nanomateriali

- I nanomateriali hanno un reattività notevolmente differente dai materiali macroscopici. Questa differenza non è specifica delle nanoscienze. Anche le reazioni di chemisorbimento (adsorbimento sulle superfici) e le reazioni catalitiche eterogenee dipendono notevolmente dalle caratteristiche delle superfici dei materiali coinvolti.
- I nanomateriali possono avere una temperatura di fusione e/o una temperatura di transizione di fase notevolmente differente dai corrispondenti materiali macroscopici.
- Le proprietà meccaniche dei nanomateriali possono raggiungere valori teorici di uno o due ordini di grandezza superiore a quelli di un monocristallo.
- Le proprietà ottiche di questi materiali sono significativamente diverse rispetto ai materiali massivi. Per esempio, il picco di assorbimento ottico di un semiconduttore di nanoparticelle si sposta verso lunghezze d'onda più corte e il colore di un nanomateriale metallico può subire un cambiamento. Esempio dell'oro.
- La conducibilità elettrica può decrescere a causa dell'incremento della dispersione superficiale o aumentare, anche notevolmente, dato il migliore ordine strutturale.
- Le proprietà magnetiche nei materiali nano strutturati sono notevolmente differenti da quelle dei materiali massivi. Per esempio, il ferromagnetismo dei materiali massivi scompare e si trasforma in super-paramagnetismo nella scala nanometrica per l'alta energia superficiale.

Reattività



Temperatura di fusione

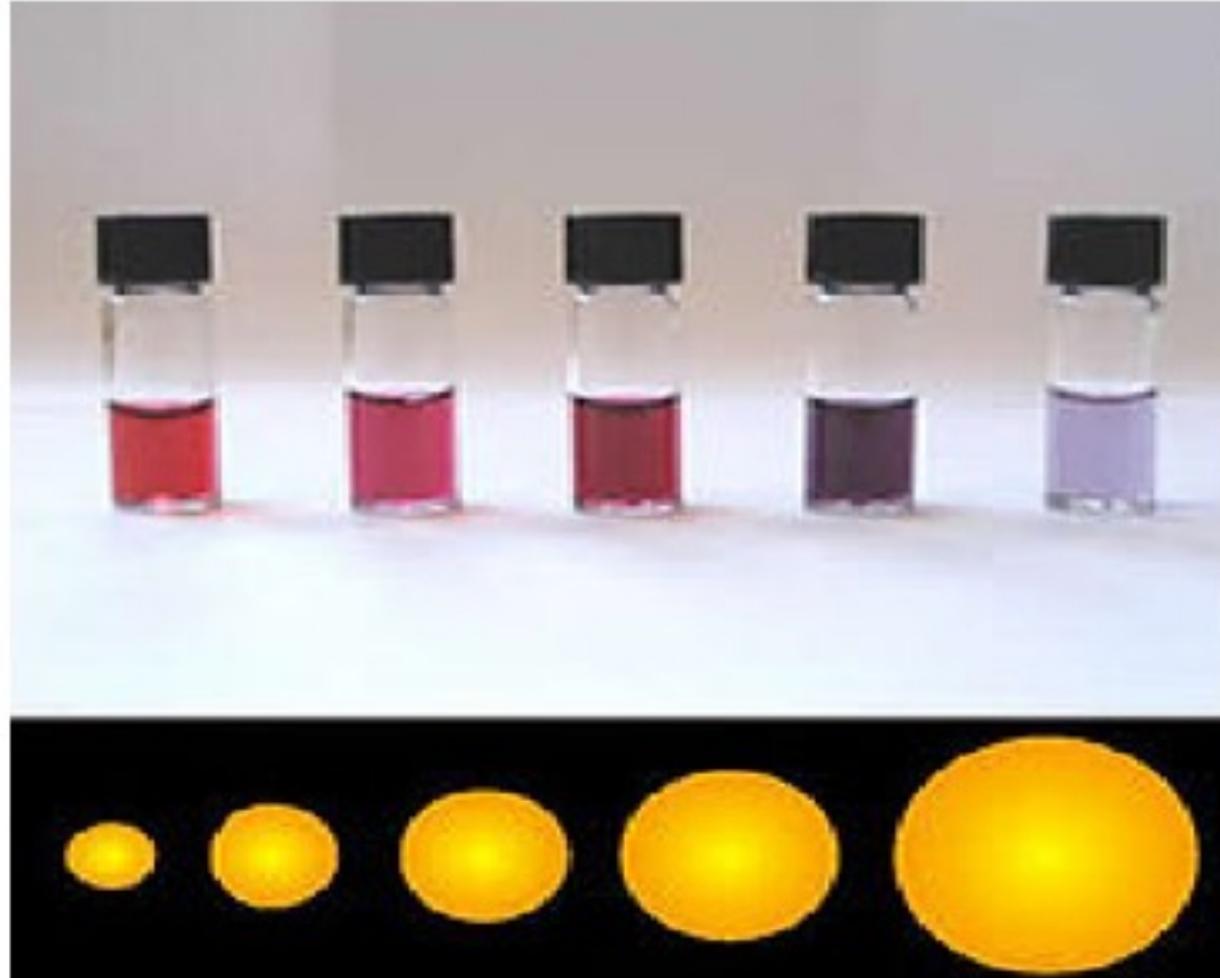


Depressione del punto di fusione di un nanomateriale

Proprietà meccaniche

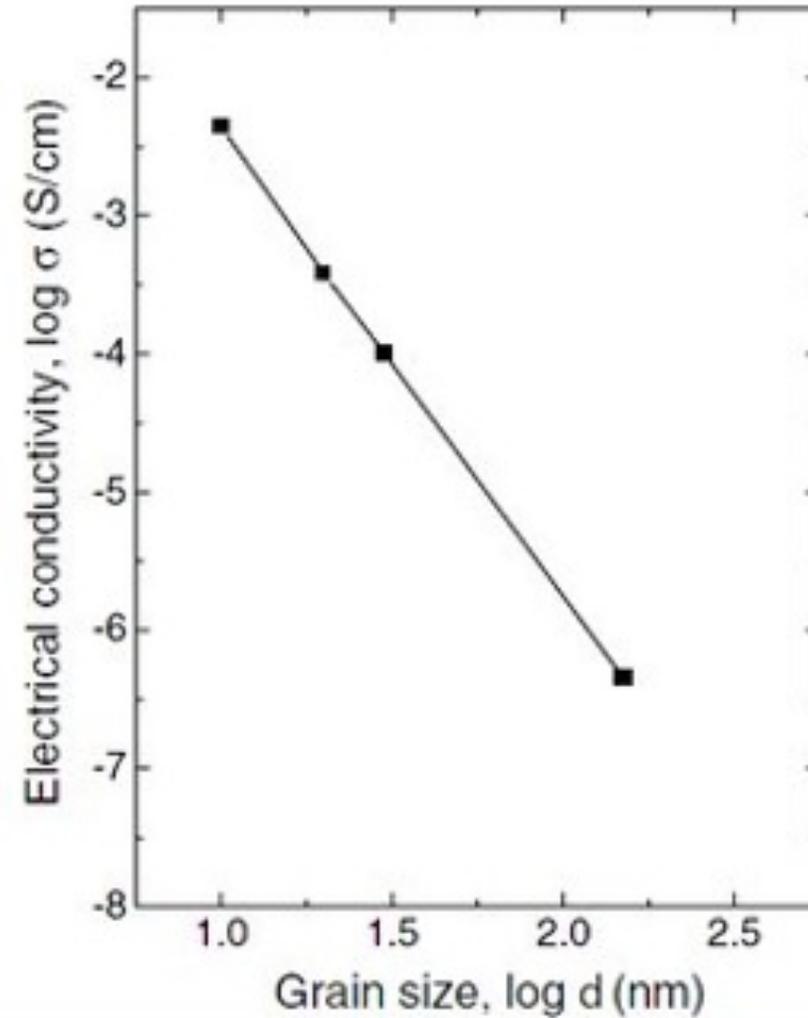


Proprietà ottiche: l'esempio dell'oro

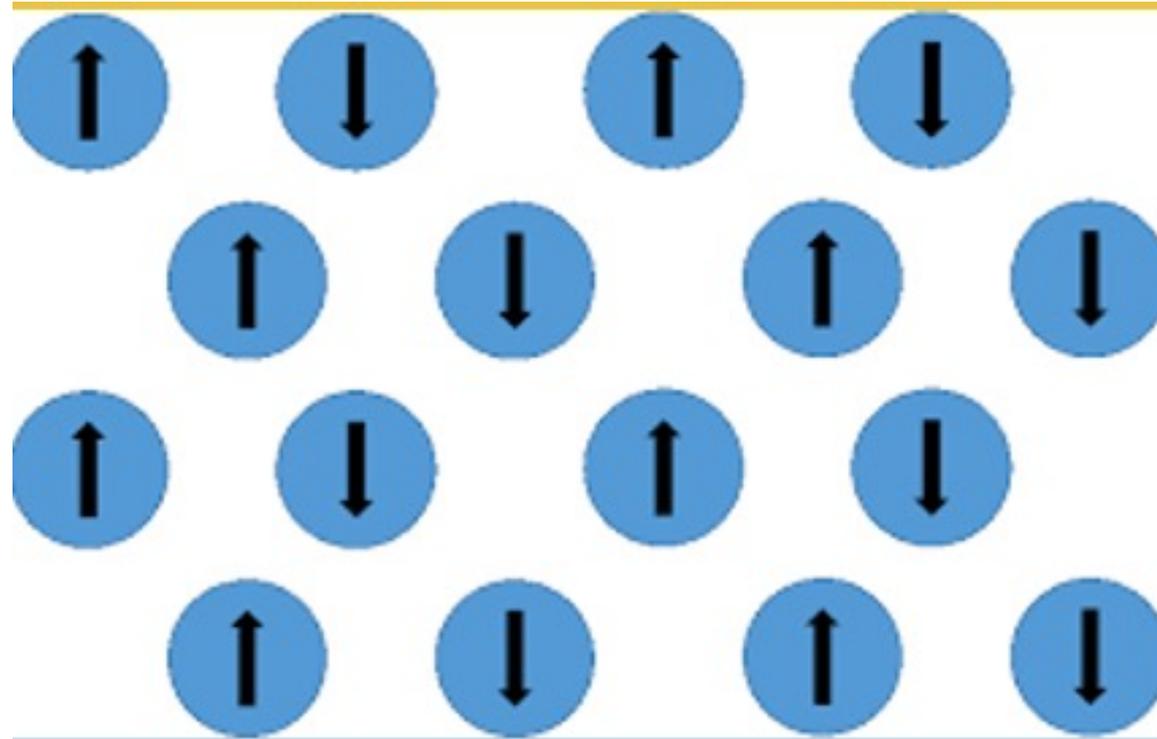


Sospensione colloidale di oro

Conducibilità elettrica



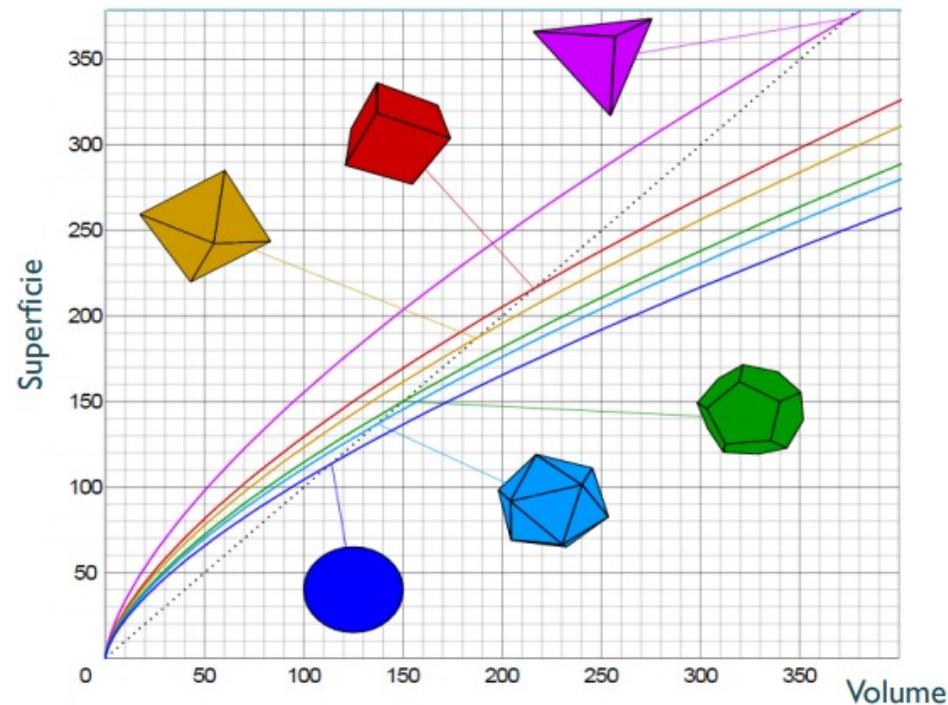
Super-paramagnetismo



Super-paramagnetismo o paramagnetismo collettivo

In generale, possiamo dire che le proprietà fisiche dei nanomateriali dipendono dalle dimensioni e dalla forma delle particelle perché il rapporto superficie/volume varia sia con la dimensione sia con la forma.

Rapporto S/V per solidi platonici e Sfera



Abbiamo una differente variazione con la dimensione della particella delle proprietà intensive che dipendono dalla superficie da quelle che dipendono dal volume

Questo apre un discorso generale sulle proprietà intensive e estensive di un materiale.

Normalmente, per i materiali macroscopici una proprietà intensiva (come un punto critico di una sostanza) è una caratteristica specifica associata alla sostanza. L'oro fonde a 1064 gradi centigradi nelle condizioni normali. Il punto di fusione dell'oro come nanomateriale è sia differente da quello macroscopico sia funzione delle dimensioni delle particelle d'oro.

Proprietà specifica → proprietà statistica ?

Riguardo agli aspetti più epistemologici, affinché si possa parlare di un piano di complessità, occorre che mettendo insieme un gruppo di componenti “emerga” una o più proprietà caratteristiche, non riducibili semplicemente ai componenti costitutivi.

L'esempio più evidente di un piano di complessità è la differenza tra un miscuglio e un composto: nel primo caso le proprietà del sistema sono una media ponderale dei componenti; nel secondo, le proprietà del sistema, seppure correlate in maniera complessa a quelle dei componenti, non sono assolutamente una semplice media ponderale.

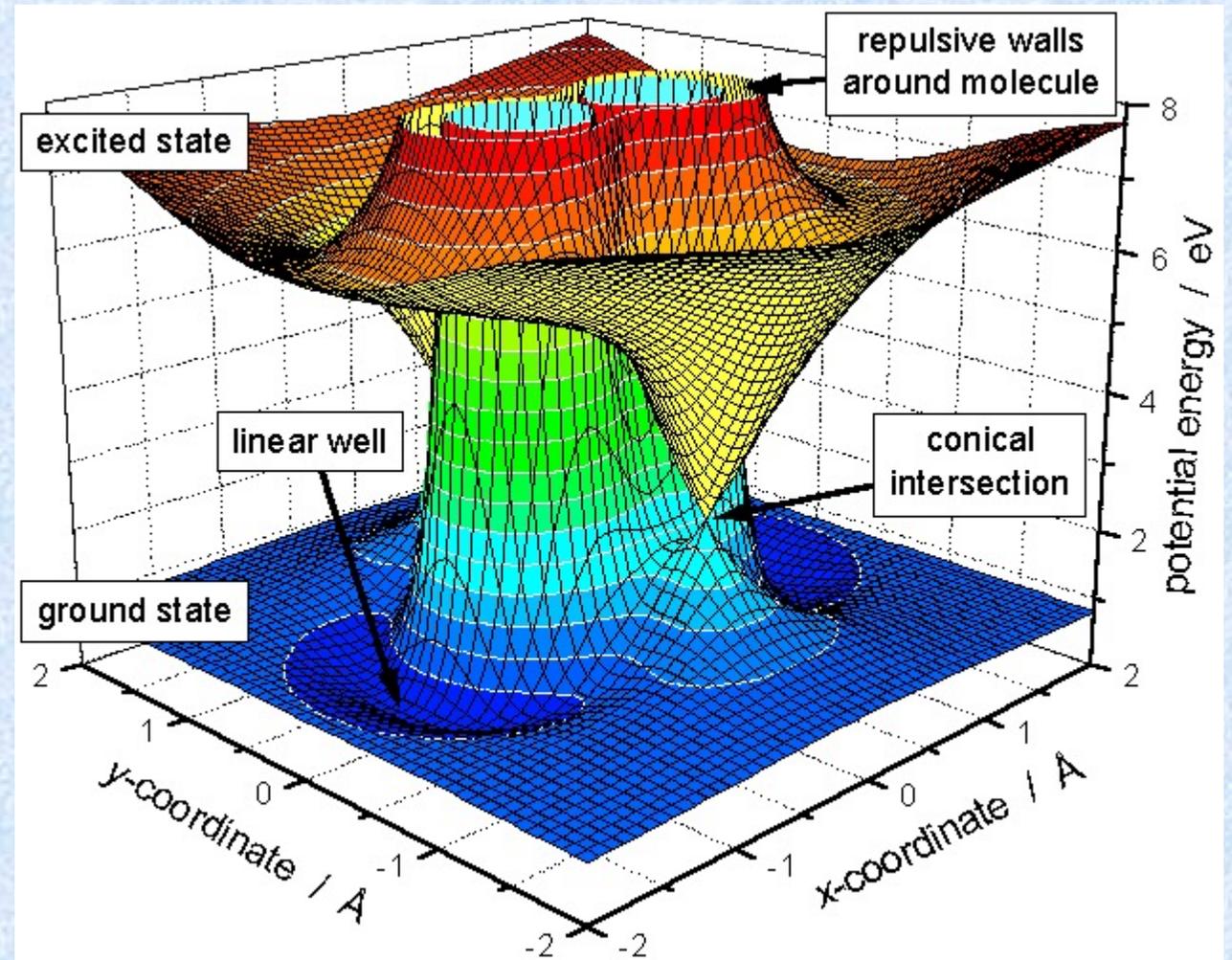
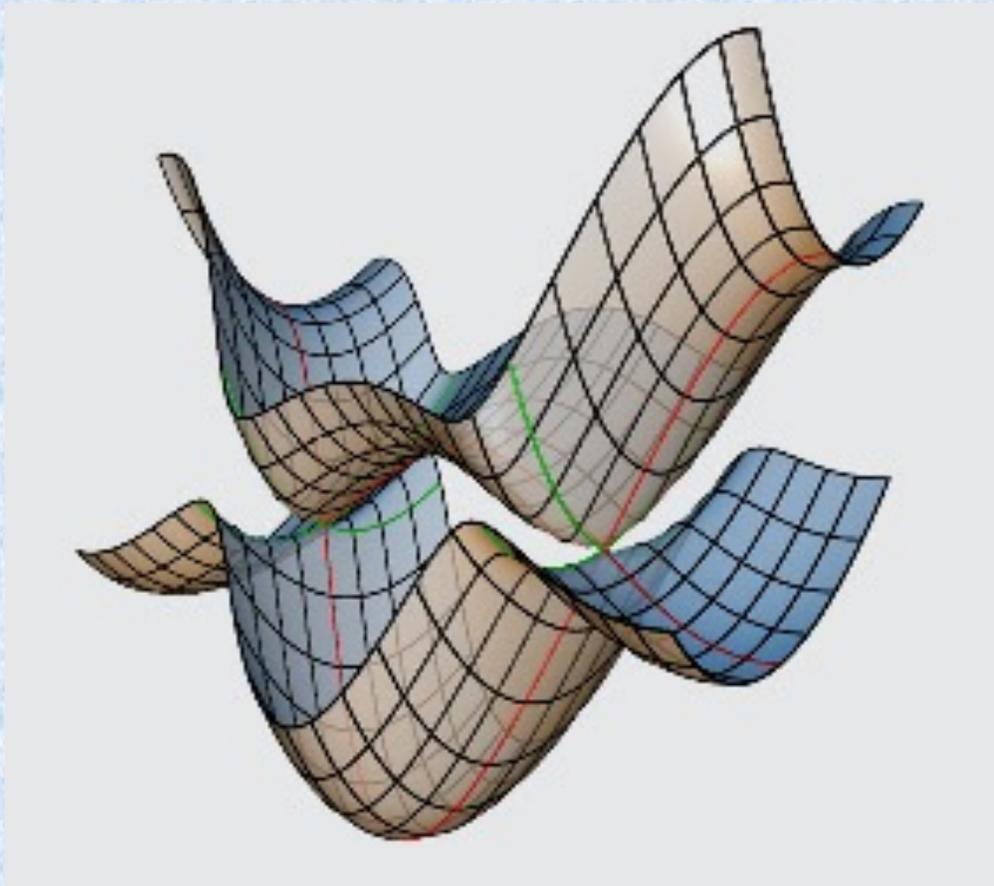
Nel caso delle nanomateriali la proprietà emergente è:

la forma

La «forma» molecolare non va confusa con la «struttura» molecolare

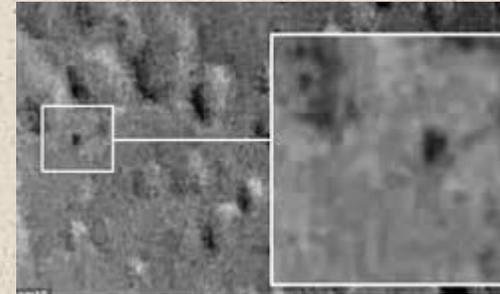
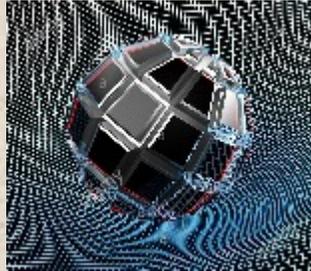
Struttura molecolare

una struttura \leftrightarrow una molecola \leftrightarrow una sostanza chimica \leftrightarrow un set di proprietà



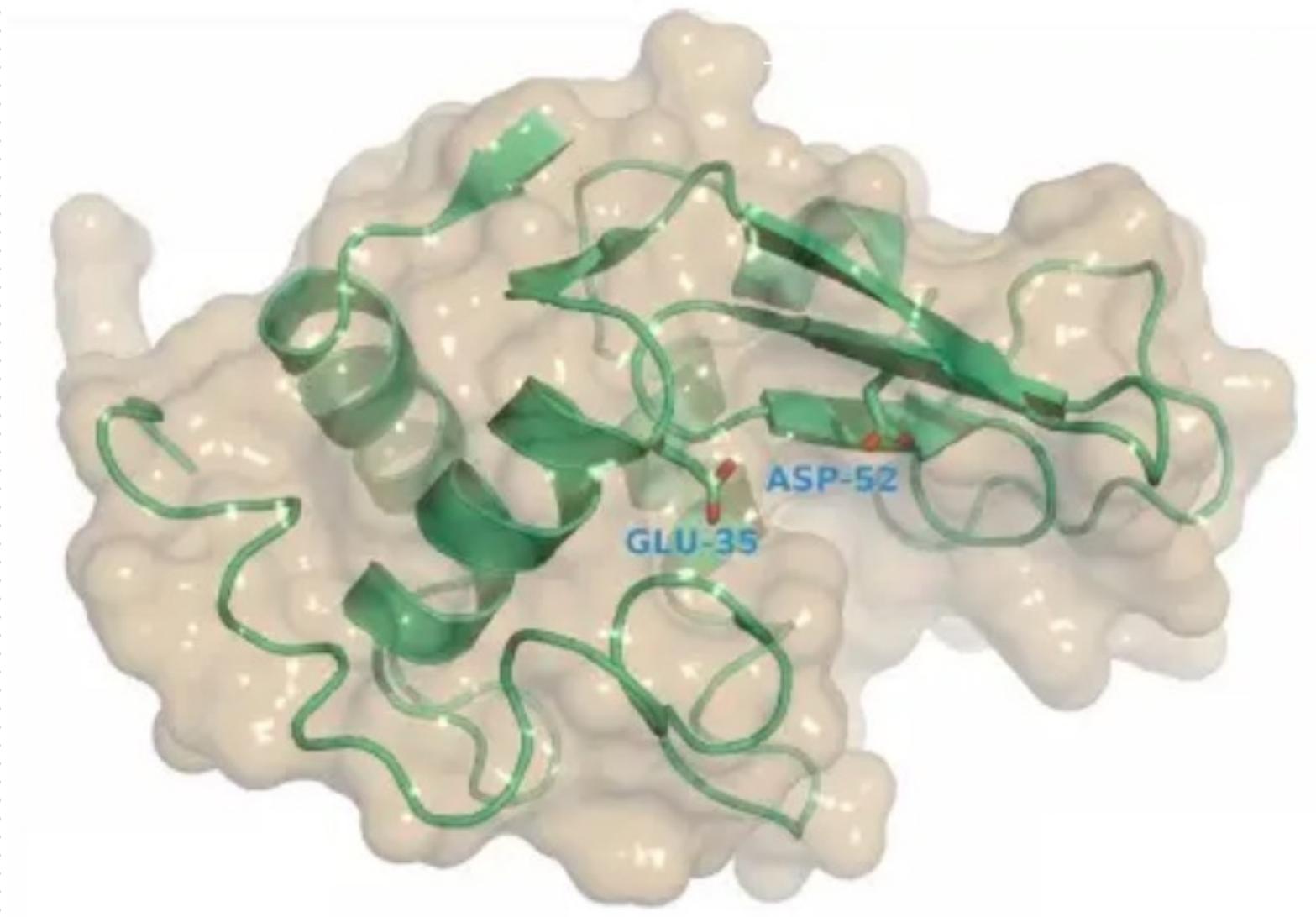
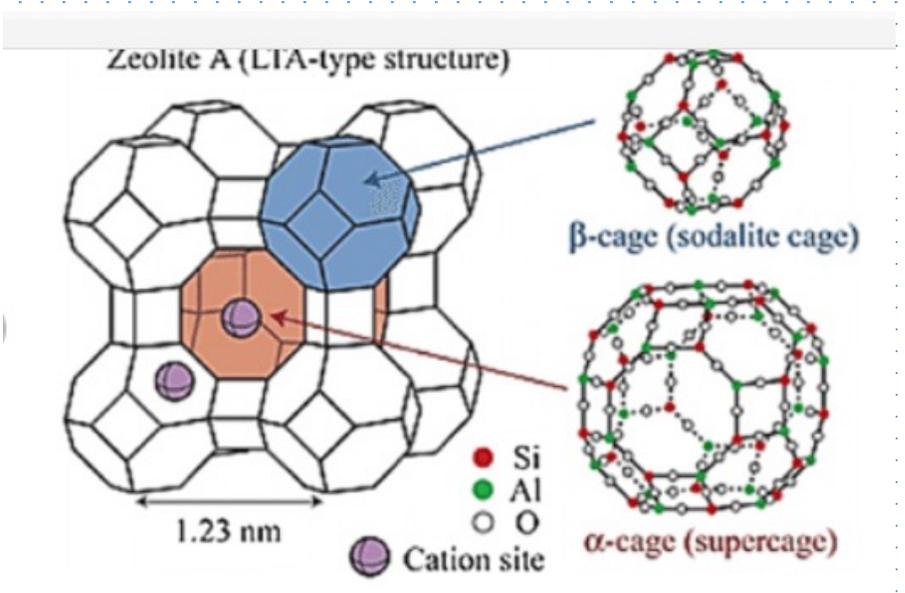
Forma molecolare

La forma di un oggetto macroscopico è identificata dalla sua superficie esterna e, caratterizzata da un suo numero discreto di punti, può essere riportata in un grafico tridimensionale.



Nel **caso di una molecola**, la sua superficie esterna di contorno dipende dalla **scala** delle dimensioni/energia alla quale si guarda e può essere identificata solo facendo riferimento ad un **modello**, introdotto per studiare una **particolare proprietà** della molecola. Il concetto di “forma molecolare” è, quindi, **dipendente dal modello e dalla proprietà** che tale modello vuole evidenziare.

In quanto superficie di separazione tra la molecola e l’ambiente, la forma molecolare **dipende fortemente sia dalla molecola sia dall’ambiente in cui essa si trova**.



Piano di complessità nanometrico

Un indizio dell'esistenza di un piano di complessità nanometrico è fornito dal mondo biologico.

In una cellula, per esempio, accanto alle numerose e indispensabili sostanze molecolari, sono presenti enti della dimensione dei nanomateriali: macromolecole e strutture subcellulari (per esempio i ribosomi che sono le "macchine" che, partendo dall'informazione genetica, sintetizzano le differenti proteine) che, proprio per le loro caratteristiche specifiche, svolgono importanti funzioni.

In questo caso la proprietà globale essenziale è quella della forma della nanostruttura come tutti i modelli forma/funzione della biochimica stanno ad evidenziare nelle attività intracellulari.

Anche i processi che portano alla formazione di tali enti nanometrici, come il self-assembly, sono simili nelle cellule e nei nanomateriali sintetici.

Queste somiglianze tra gli aspetti strutturali e funzionali intracellulari e quelli sintetici “accorciano”, dal punto di vista epistemologico, la separazione tra vivente (e relativi enti/processi) e non-vivente.

Più in generale, le nanoscienze e le nanotecnologie riducono i confini fra fisica, chimica e biologia da un lato, e tra la scienza e l'ingegneria dall'altro.

L'idea corrente, esemplificata da Roberto Cingolani, è che finora c'è molta nanoscienza e molta poca nanotecnologia. Per Cingolani, ciò di cui abbiamo bisogno è molta più enfasi sullo sviluppo tecnologico da parte della comunità degli ingegneri e meno focus su quello che sta avvenendo nei laboratori.

Forse, abbiamo bisogno anche di «rielaborare» in chiave generale e didattica quello di «nuovo» dei laboratori e dello sviluppo tecnologico.

Conclusione

Nanosostanze e nanomateriali. Esempio fullerene-grafene-nanotubi

Le nanoparticelle formano un piano di complessità. Questo spiega il perché delle nanoscienze.

La proprietà emergente nelle nanoparticelle è la «forma».

Forma vs struttura

La forma (molecolare) è differente dalla struttura (molecolare)

- **Struttura molecolare:** concetto sistemico che «descrive» l'organizzazione interna di una molecola
- **Forma molecolare:** concetto che «descrive» la distribuzione spaziale di una proprietà molecolare nell'interazione tra la molecola e l'ambiente.

Le nanoscienze e le nanotecnologie come soggetto interdisciplinare: fisica, chimica, biologia, ingegneria.

Le nanoscienze come «opportunità» didattica.