



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

NANOMATERIALI

SSM26-I 6 - Fisica Applicata - Maria Peressi



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

Parte I

NANOMATERIALI 3D: NANOPARTICELLE

SSM26-I 6 - Fisica Applicata - Maria Peressi

Superfici e Volumi:

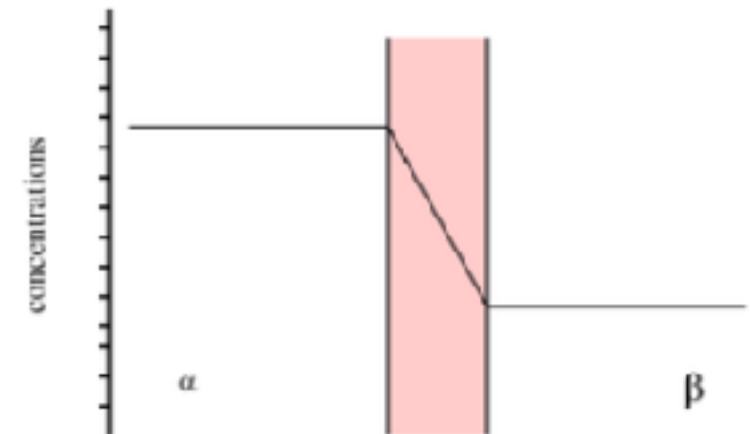
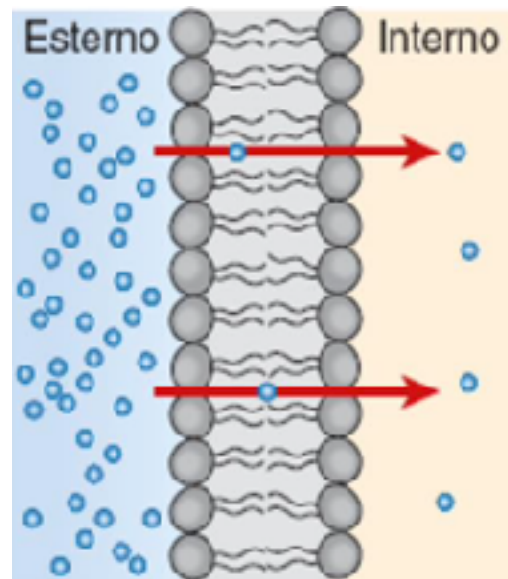
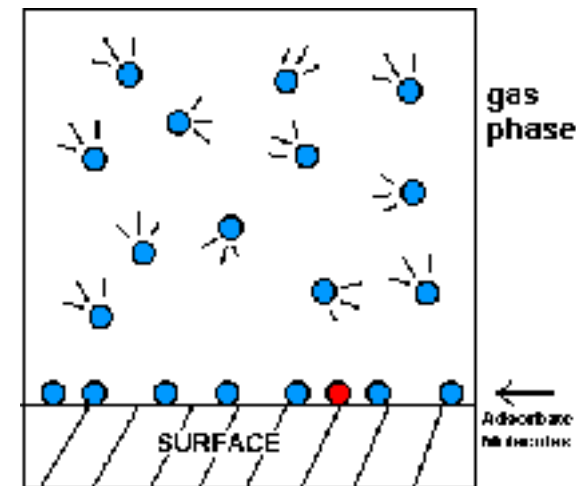
alcune considerazioni di geometria
e di vita quotidiana...

Superfici

importanti in fisica, fisiologia... per fenomeni di:

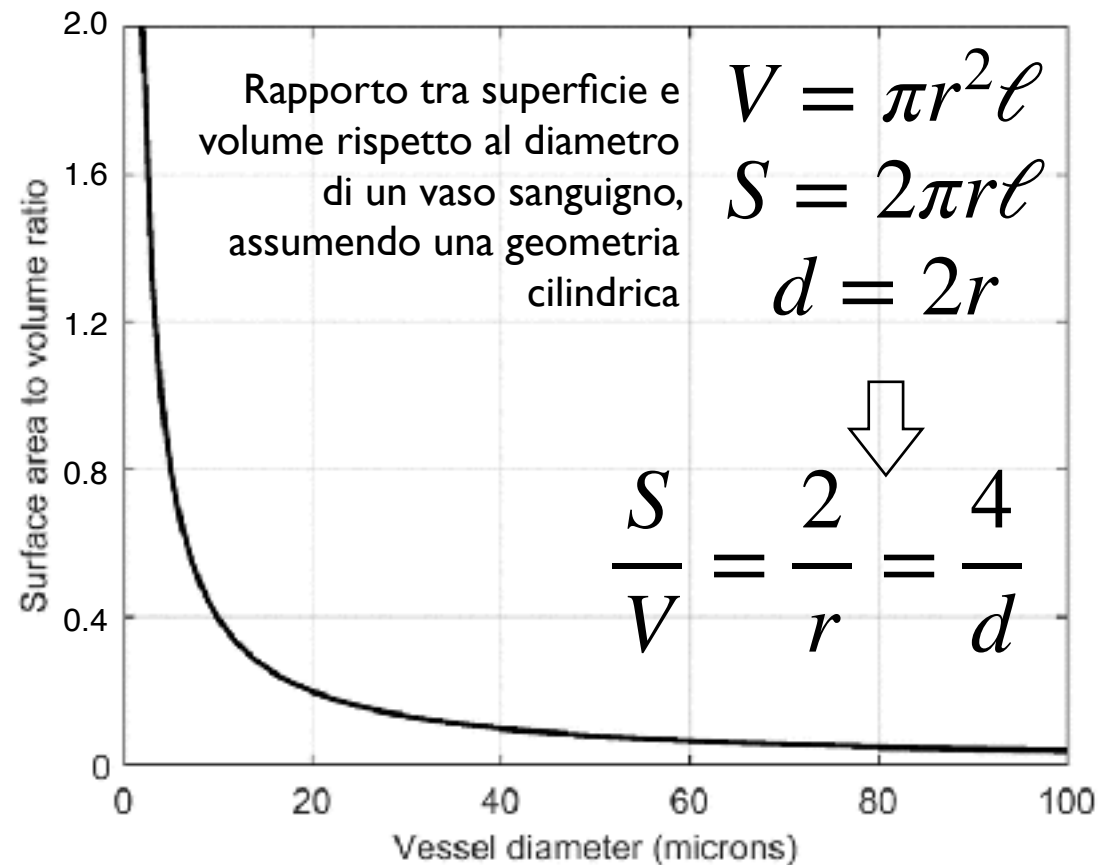
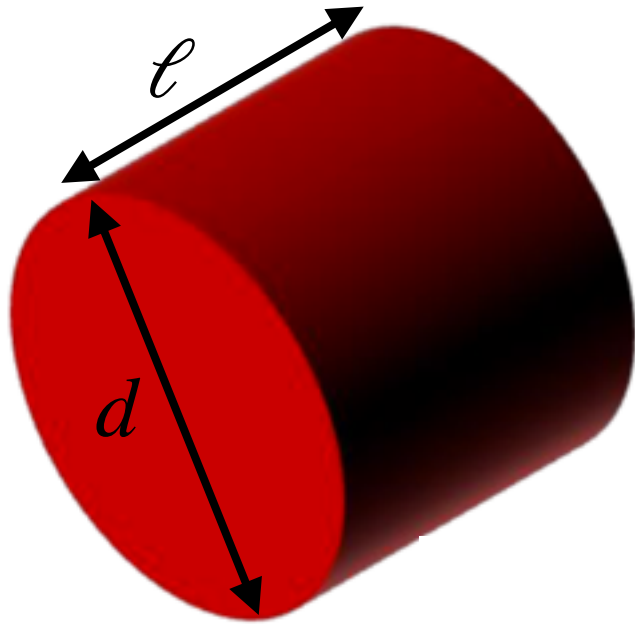
- assorbimento/desorbimento e catalisi di reazioni chimiche
- trasmissione di calore
- trasporto di massa
(anche membrane biologiche)

-



Superficie/Volume

Consideriamo un pezzo di cilindro di una certa lunghezza ℓ .

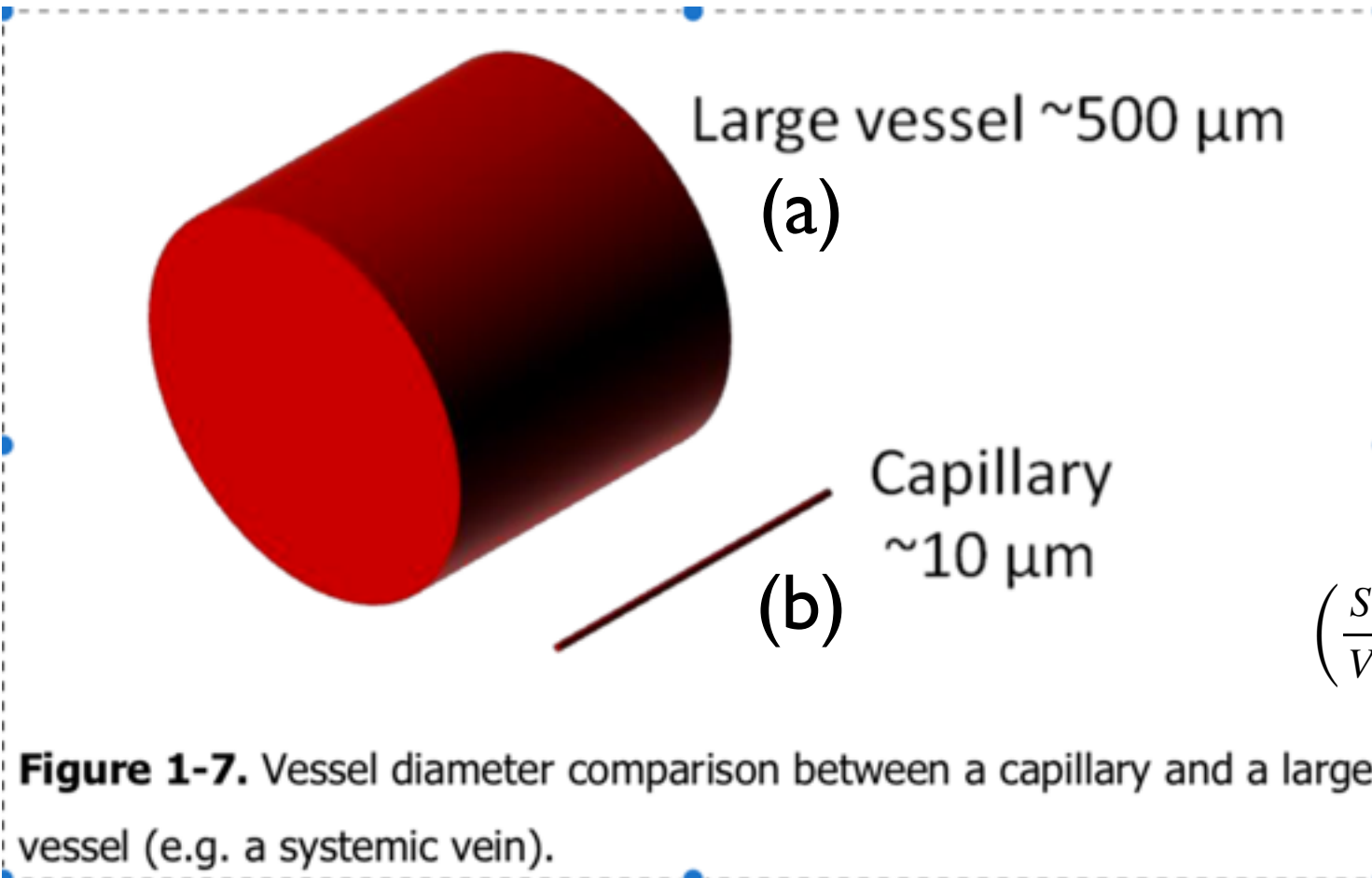


Il rapporto tra superficie e volume non dipende dalla lunghezza; è inversamente proporzionale al diametro.

Quindi più piccolo è il diametro, più importanza ha la superficie.

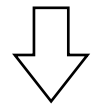
Superficie/Volume

Applicazione (v. ossimetria):

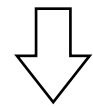


$$V = \pi r^2 \ell$$

$$S = 2\pi r \ell$$



$$\frac{S}{V} = \frac{4}{d}$$



$$\left(\frac{S}{V}\right)_b / \left(\frac{S}{V}\right)_a = \left(\frac{4}{d}\right)_b / \left(\frac{4}{d}\right)_a$$

$$= \frac{d_a}{d_b} = 50 !!!$$

Lungo un tratto di un vaso sanguigno, a parità di lunghezza,

O₂ diffonde ~50 volte più velocemente attraverso un capillare che non un'arteria per puramente motivi dimensionali

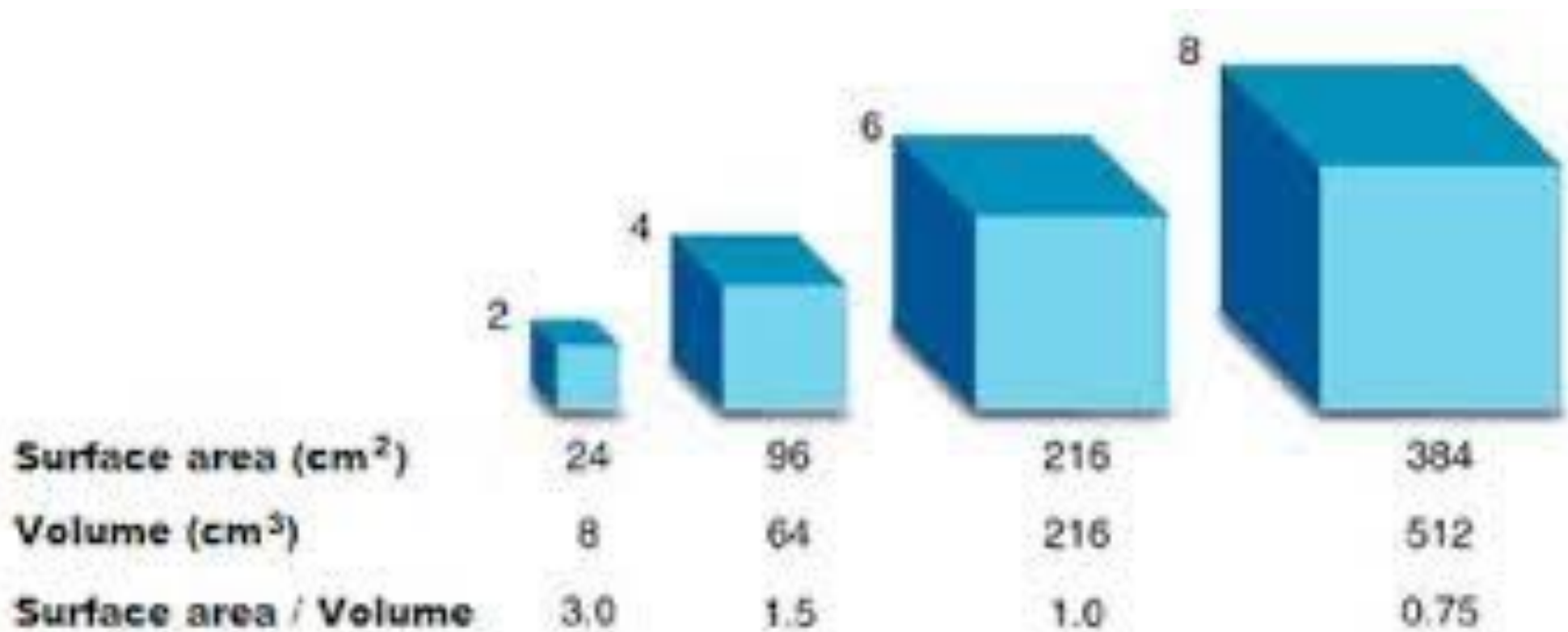
(assumendo uno spessore della parete del vaso trascurabile)

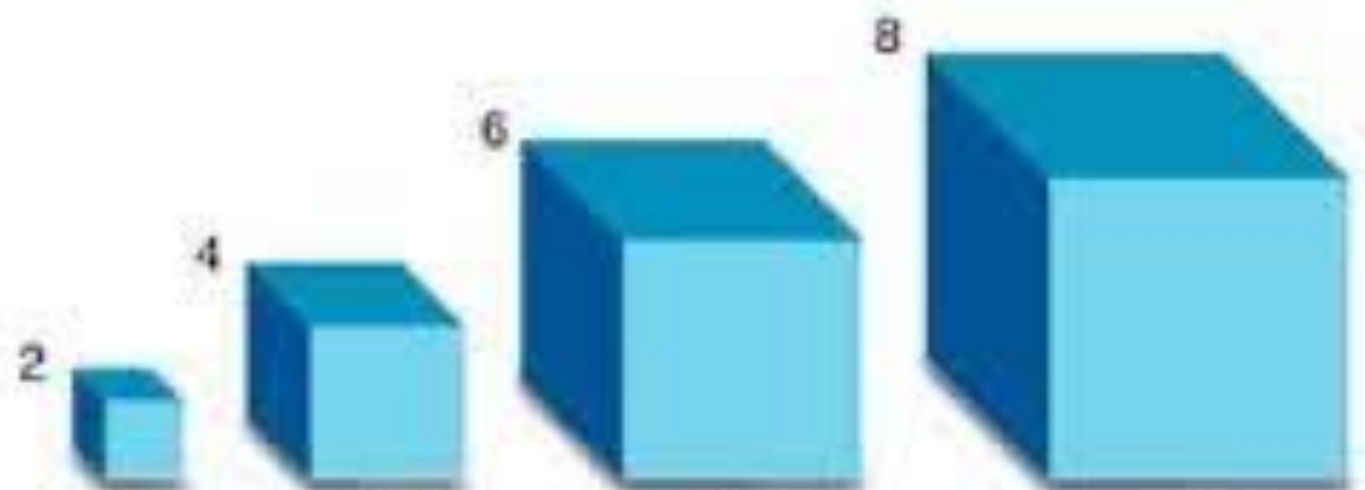
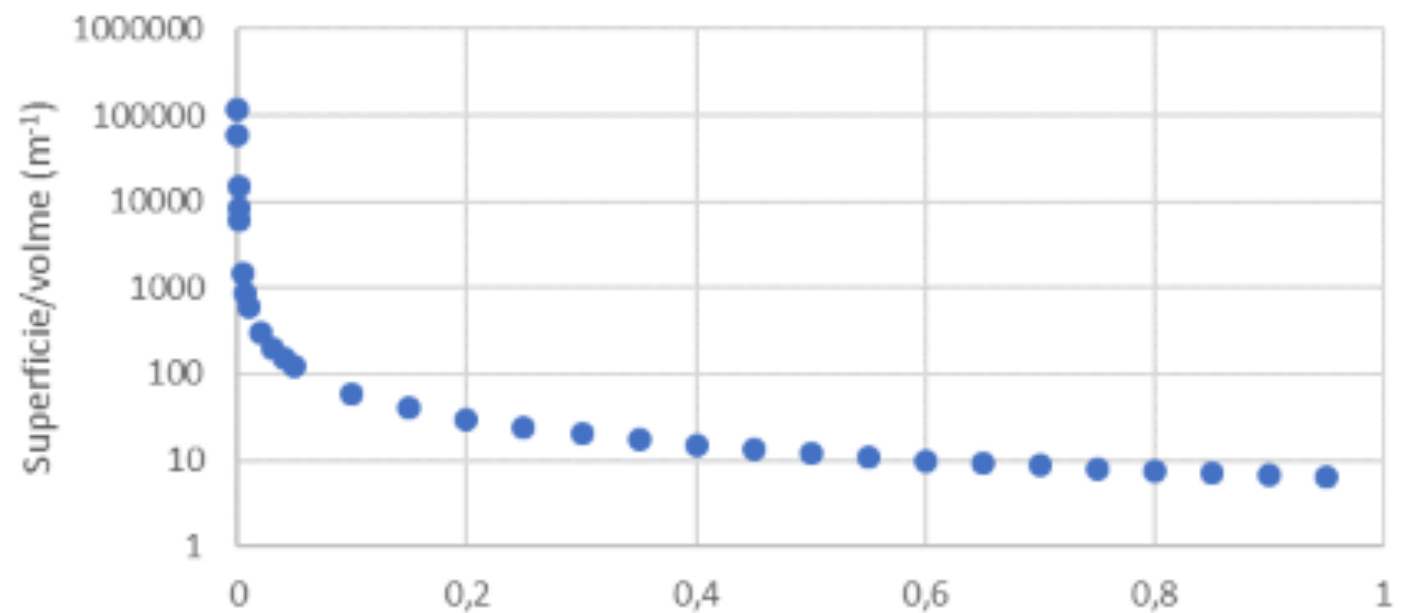
Superficie/Volume

legge valida solo per una geometria cilindrica?

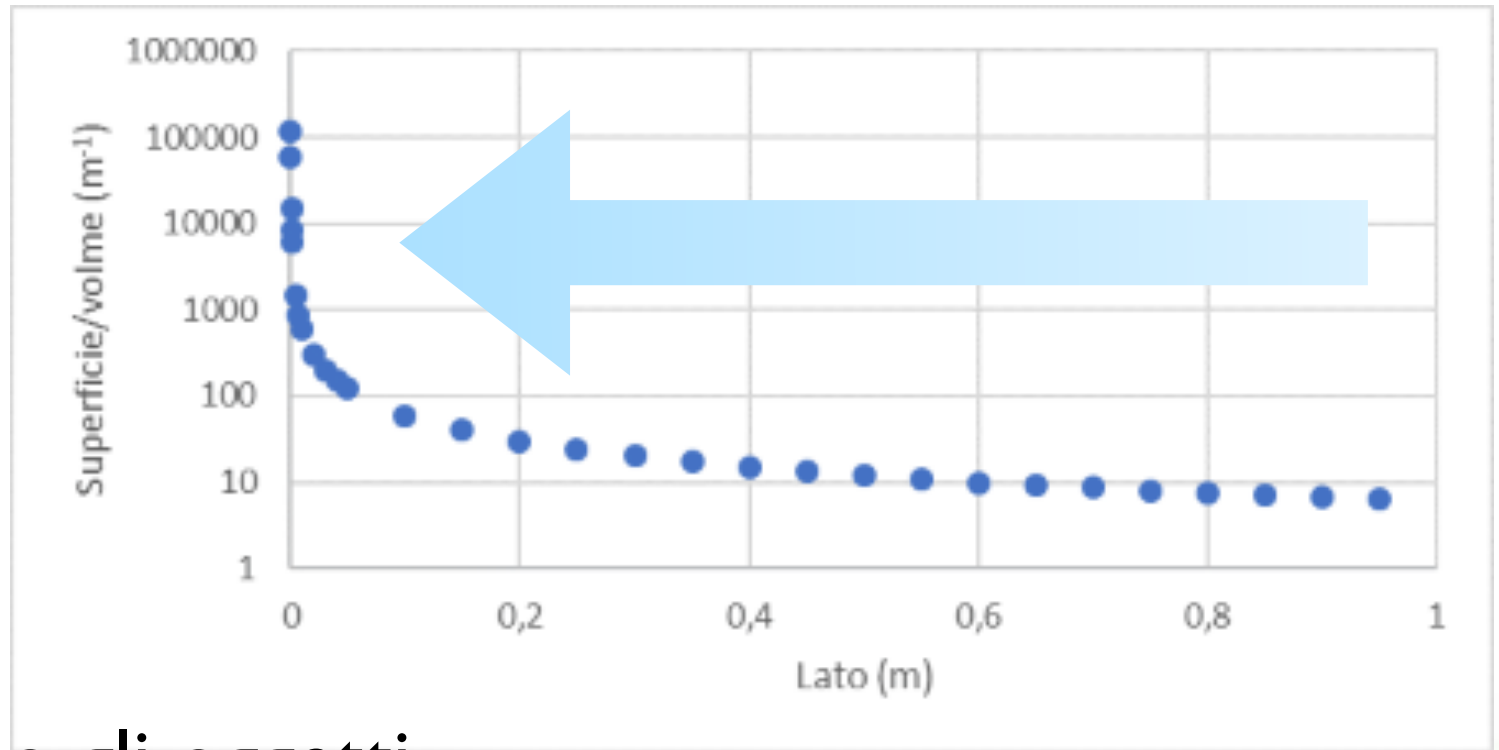
vediamo per una geometria cubica...

Superficie/Volume

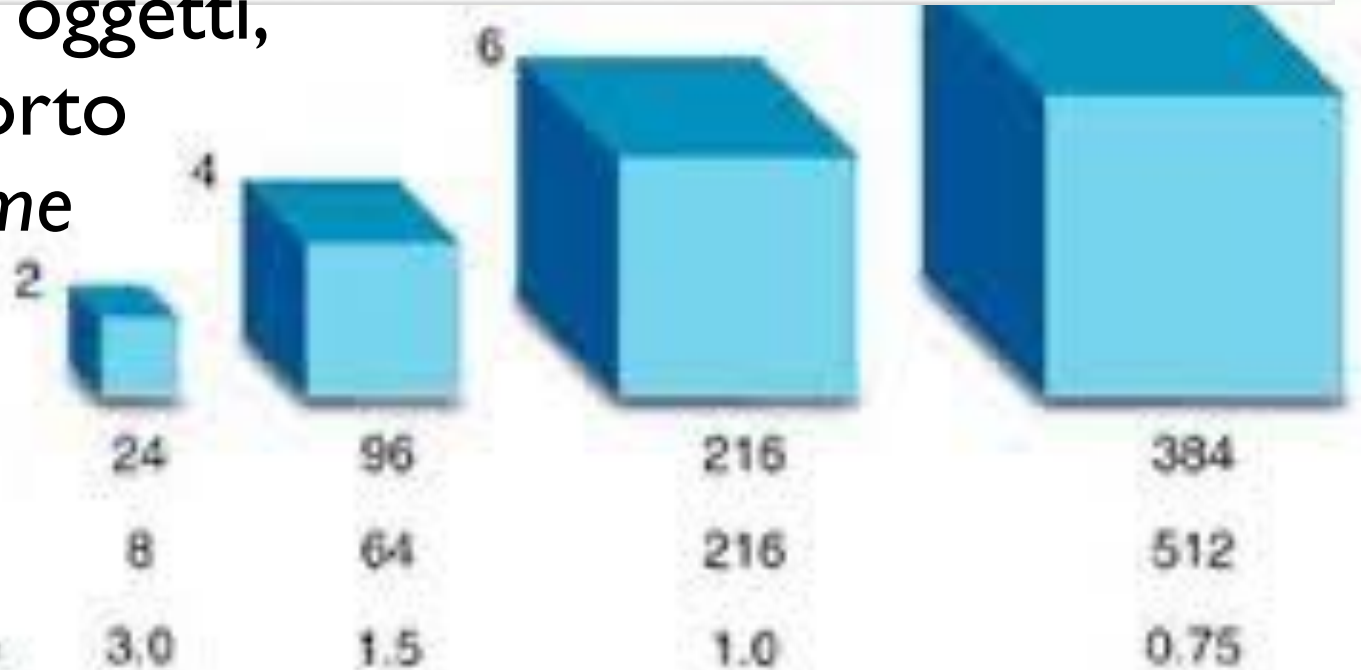




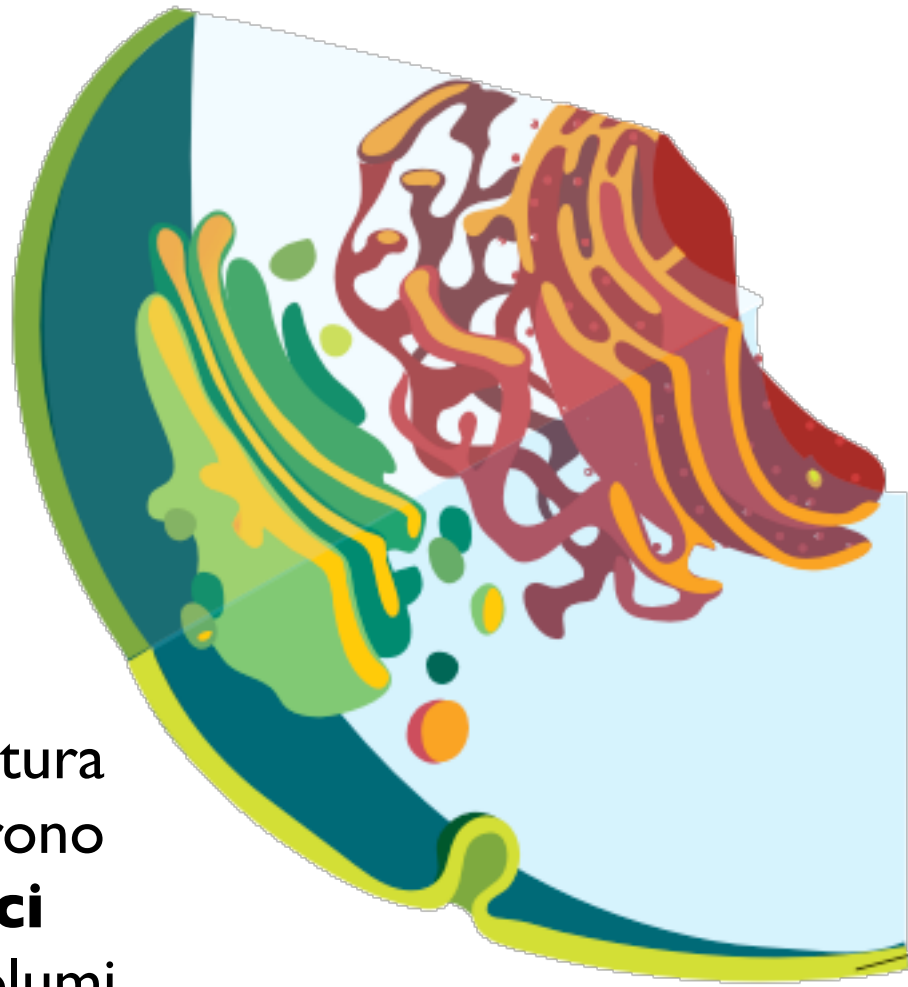
Surface area (cm^2)	24	96	216	384
Volume (cm^3)	8	64	216	512
Surface area / Volume	3.0	1.5	1.0	0.75



Più piccoli sono gli oggetti,
maggiore è il rapporto
superficie area/volume
(SA/V)

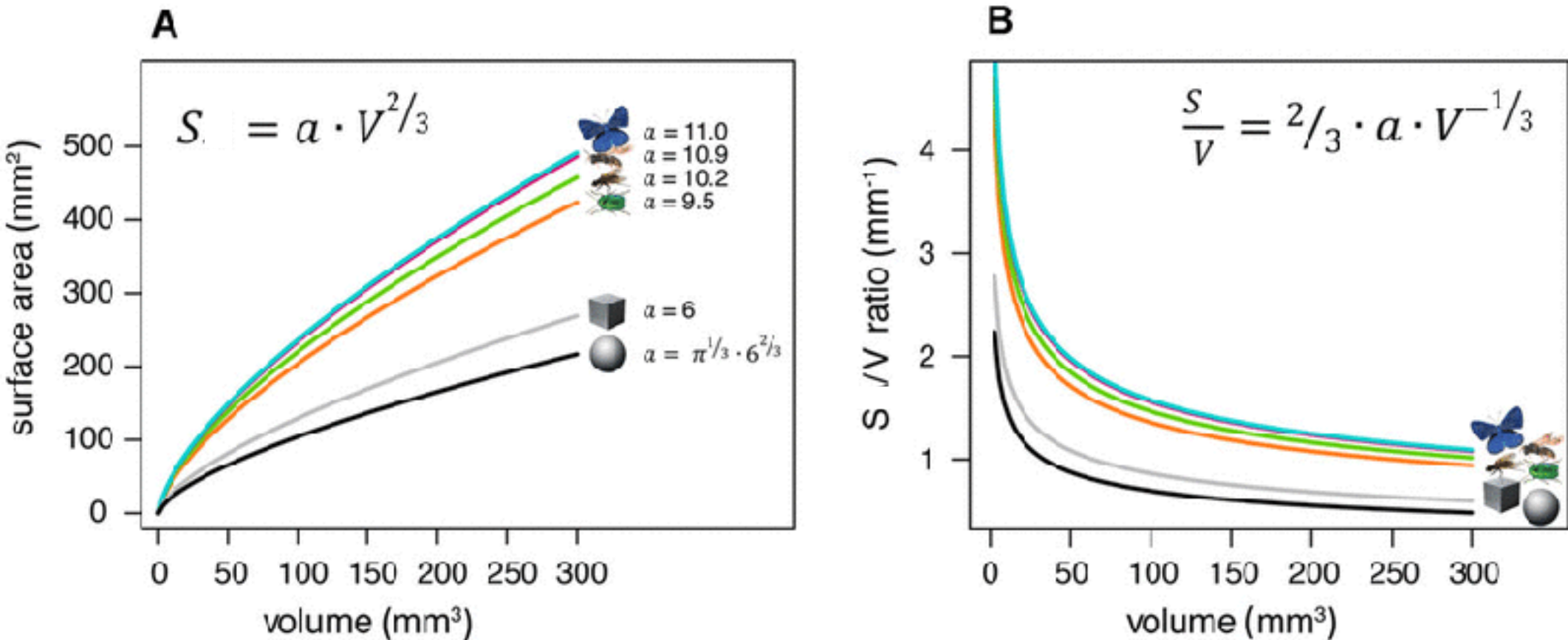


Superficie/Volume



Altri esempi in natura
di sistemi che offrono
grandi superfici
pur con piccoli volumi.

Superficie/volume



S. Kühsel et al., *Surface area - volume ratios in insects*, Insect Science 24(5) (2016)

Approfondimento sui grafici alla pagina precedente:

Perché nel grafico A di pagina precedente si mette in relazione S con $V^{2/3}$?

perché S è proporzionale a ℓ^2 e V è proporzionale a ℓ^3 , allora $V^{2/3}$ è proporzionale a ℓ^2 come S

Perché nel grafico B di pagina precedente si mette in relazione S/V con $V^{-1/3}$?

perché S è proporzionale a ℓ^2 e V è proporzionale a ℓ^3 , allora S/V è proporzionale a ℓ^2/ℓ^3 , cioè a ℓ^{-1} e quindi a $V^{-1/3}$

(ciò è consistente con il fatto che S si misura in m^2 e V in m^3 , quindi il rapporto S/V non può essere un numero puro, adimensionale)

take-home message #1

**Più piccoli sono
gli oggetti, maggiore
è il rapporto
superficie/volume
(S/V)**

**Approfondiamo il concetto,
considerando ora lo stesso volume**

Superficie/Volume

Più piccoli sono gli oggetti,
maggiore è il rapporto
superficie area/volume
(S/V)



Come scelgo i limoni per il limoncello?
Grandi o piccoli?
E per la limonata?

Superficie/Volume

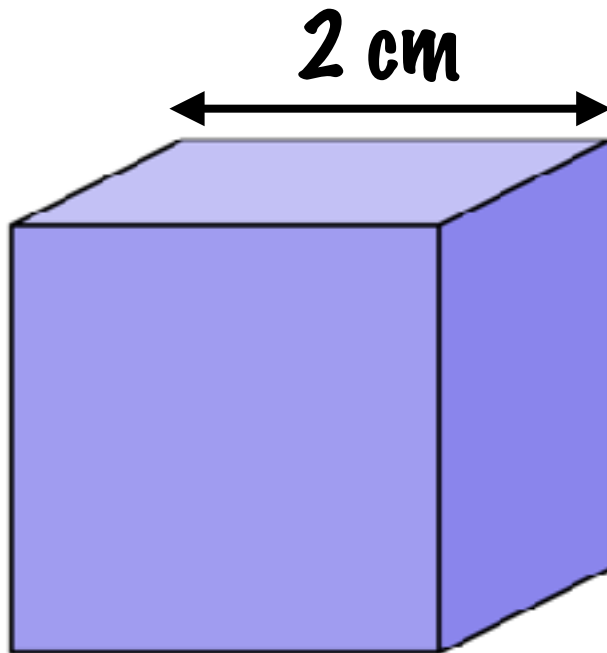
Più piccoli sono gli oggetti,
maggiore è il rapporto
superficie area/volume
(S/V)



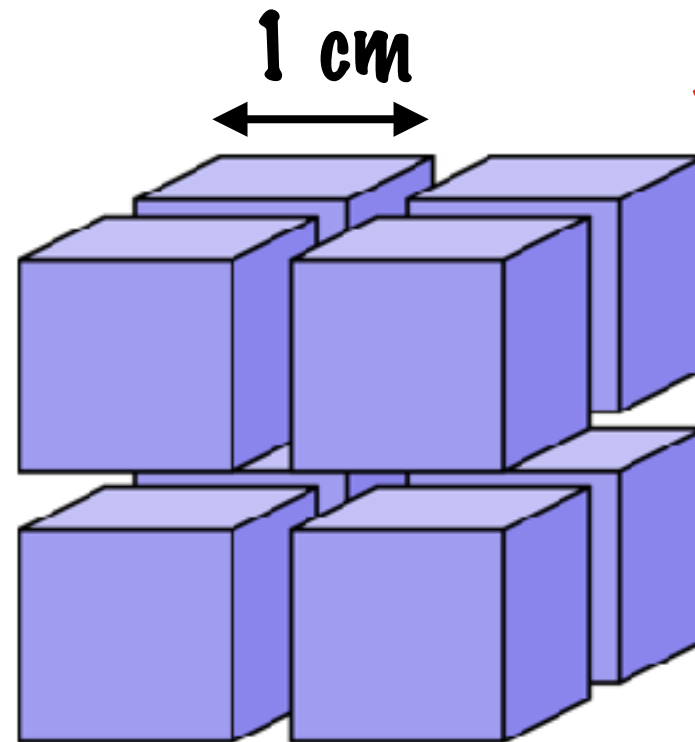
meglio così'!

Superficie/Volume

$$V_a = \dots\dots ; S_a = \dots\dots$$
$$V_b = \dots\dots ; S_b = \dots\dots$$

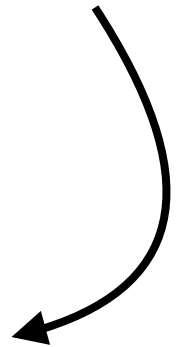


(a)



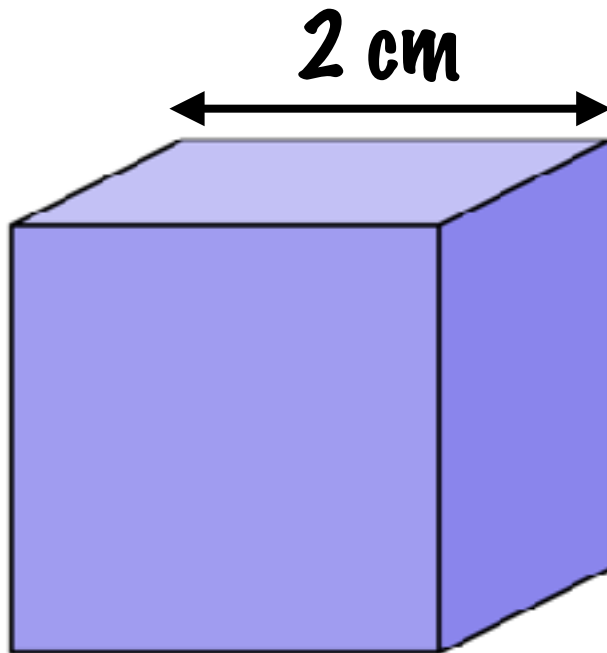
(b)

Stesso V,
superficie
..... ?

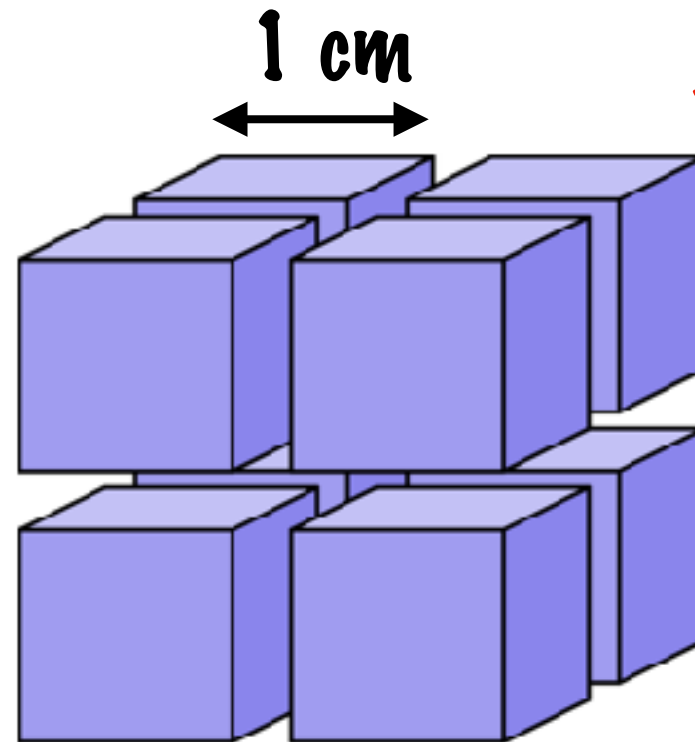


Superficie/Volume

$$V_a = \dots\dots ; S_a = \dots\dots$$
$$V_b = \dots\dots ; S_b = \dots\dots$$

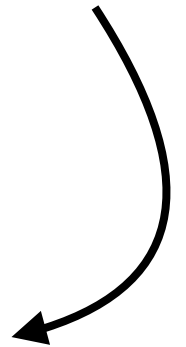


(a)



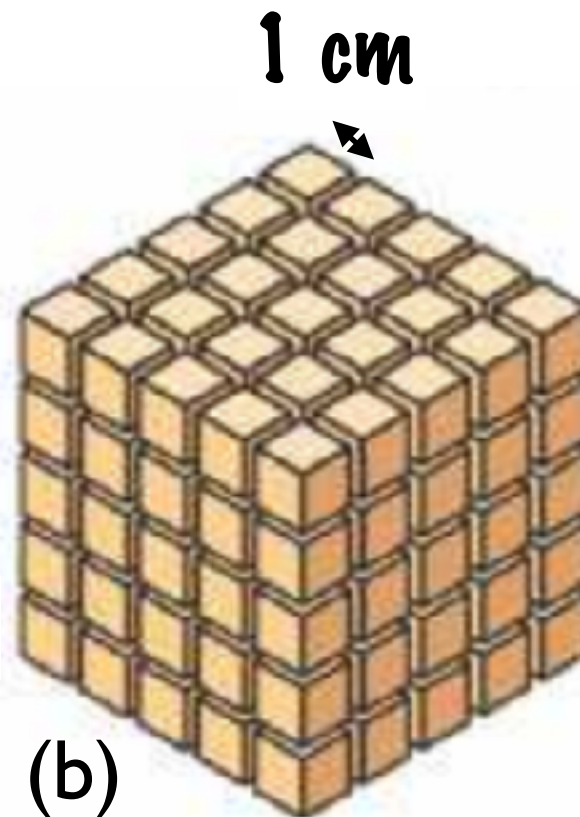
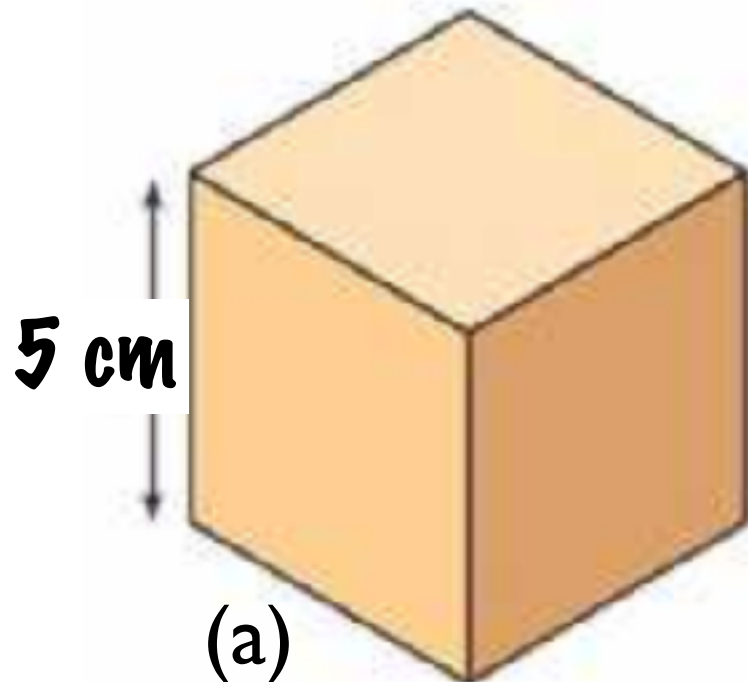
(b)

**Stesso V,
superficie
doppia!**



Superficie/Volume

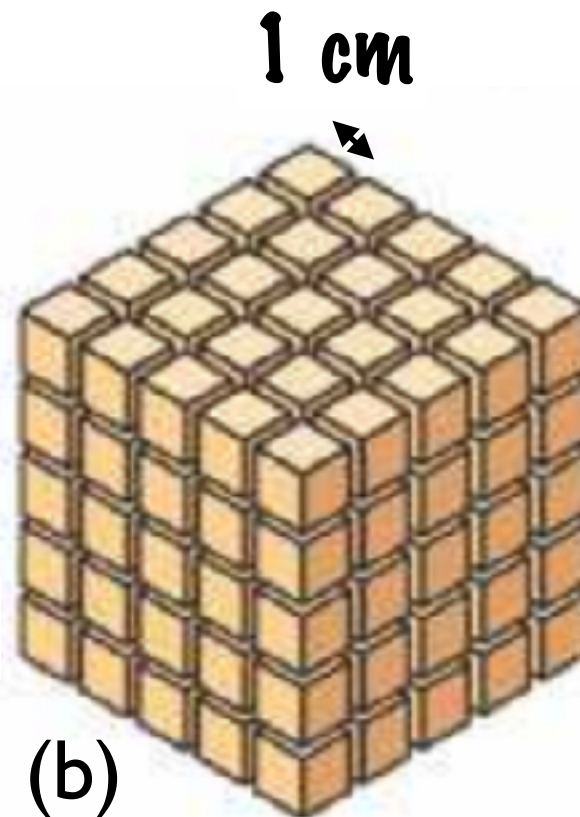
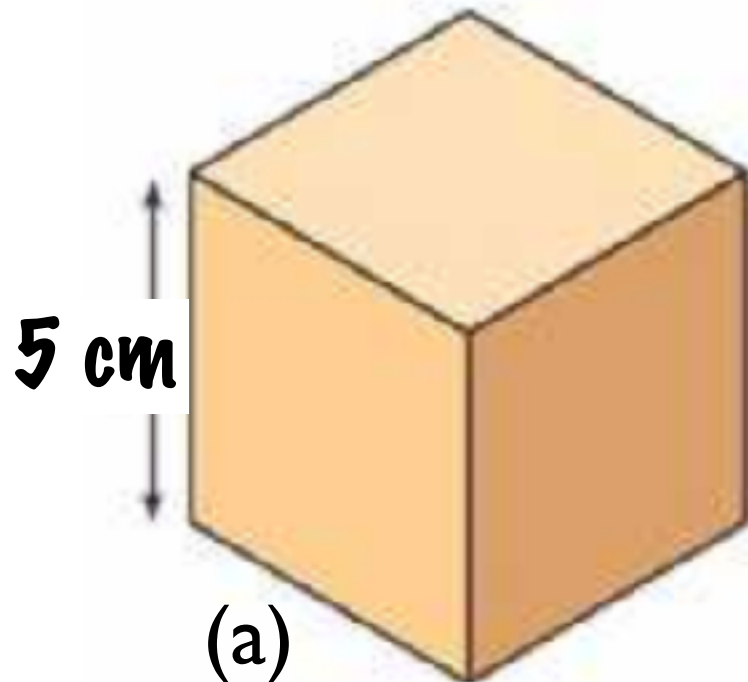
$$V_a = \dots\dots ; S_a = \dots\dots$$
$$V_b = \dots\dots ; S_b = \dots\dots$$



Stesso V,
superficie
x ...?

Superficie/Volume

$$V_a = \dots\dots ; S_a = \dots\dots$$
$$V_b = \dots\dots ; S_b = \dots\dots$$



**Stesso V,
superficie
x 5 !**

take-home message #2

quindi

a parità di volume,
oggetti più piccoli
offrono una maggiore superficie

> “risparmiamo” in volume !

> maggiore è l'importanza della superficie nel
determinare diverse proprietà

take-home message #2

quindi

a parità di volume,
oggetti più piccoli
offrono una maggiore superficie

> “risparmiamo” in volume !

> maggiore è l'importanza della superficie nel
determinare diverse proprietà

L'oro: un metallo nobile ?

SHARE

with
at low
defined

fewer
published



 Full Access

When Gold Is Not Noble: Catalysis by Nanoparticles

Masatake Haruta 

First published: 29 April 2003 | <https://doi.org/10.1002/tcr.10053> | Citations: 976

 SECTIONS

 PDF

 TOOLS

 SHARE

Abstract

Bulk gold is chemically inert and is generally regarded as a poor catalyst. However, when gold is in very small particles with diameters below 10 nm and is deposited on metal oxides or activated carbon, it becomes surprisingly active, especially at low temperatures, for many reactions such as CO oxidation and propylene epoxidation. The catalytic performance of Au is defined by three major factors: contact structure, support selection, and particle size. The role of the perimeter interfaces of Au particles as the sites for reactions is discussed as well as the change in chemical reactivity of Au clusters composed of fewer than 300 atoms. © 2003 The Japan Chemical Journal Forum and Wiley Periodicals, Inc., Chem Rec 3: 75–87; 2003; Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI 10.1002/tcr.10053

When Gold Is Not Noble: Catalysis by Nanoparticles

Masatake Haruta 

First published: 29 April 2003 | <https://doi.org/10.1002/tcr.10053> | Citations: 976

 SECTIONS

 PDF  TOOLS  SHARE

Abstract

Bulk gold is chemically inert and is generally regarded as a poor catalyst. However, when gold is in very small particles with diameters below 10 nm and is deposited on metal oxides or activated carbon, it becomes surprisingly active, especially at low temperatures, for many reactions such as CO oxidation and propylene epoxidation. The catalytic performance of Au is defined by three major factors: contact structure, support selection, and particle size. The role of the perimeter interfaces of Au particles as the sites for reactions is discussed as well as the change in chemical reactivity of Au clusters composed of fewer than 300 atoms. © 2003 The Japan Chemical Journal Forum and Wiley Periodicals, Inc., Chem Rec 3: 75–87; 2003: Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI 10.1002/tcr.10053

Le proprietà delle nanoparticelle sono diverse da un pezzo macroscopico del materiale che le costituisce!

Nanoparticelle

particelle di materiali inorganici con dimensioni lineari tra 1 nm e inferiori a 1 μm

**Risparmio e guadagno
in efficacia:**

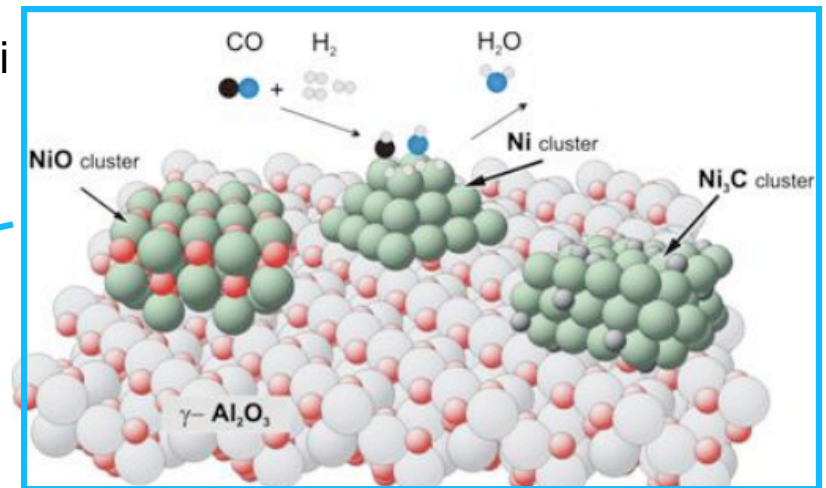
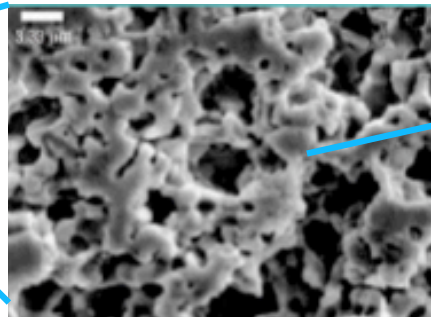
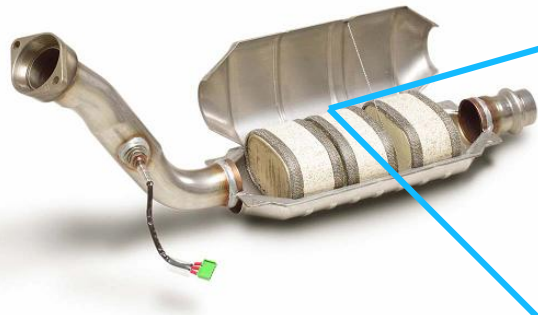
nanoparticelle per la
catalisi eterogenea,
per la sensoristica...



per l'energia e per l'ambiente

nanocatalisi

Particelle metalliche supportate da materiali ossidi



10^{-1} m

10^{-3} m

10^{-9} m

Proprietà controllate alla scala nanometrica

natura chimica del metallo, dimensioni e struttura nanoparticelle, interazione metallo/supporto, ...

Domanda:
la forma specifica
influenza questo rapporto S/V ?



La mascherina a 5 strati che uccide il Covid: come funziona e quando arriva

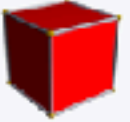
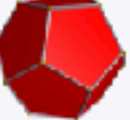
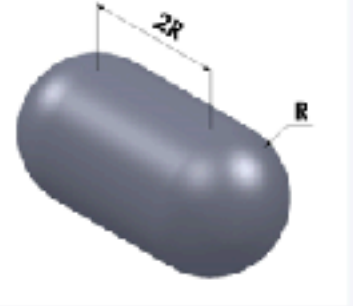
Una speciale mascherina "killer" a 5 strati con nanoparticelle in rame potrebbe realisticamente rallentare i contagi fino a debellare il Coronavirus, e altri virus

29 Gennaio 2021

Il rame emette ioni una volta a contatto con un virus e questo crea un'interazione con il materiale genetico del virus stesso, facendolo morire e bloccandone la riproduzione. Grazie alla loro forma sferica, le nanoparticelle hanno un'ampia superficie che le rende ancora più efficaci nell'uccidere il virus. Lo strato interno antivirale garantisce una protezione aggiuntiva sia per chi lo indossa che per chi si trova nelle vicinanze.

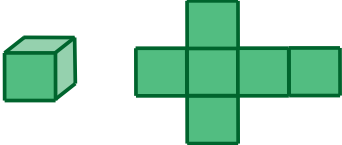
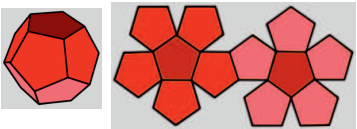
...grazie alla loro forma sferica... ???



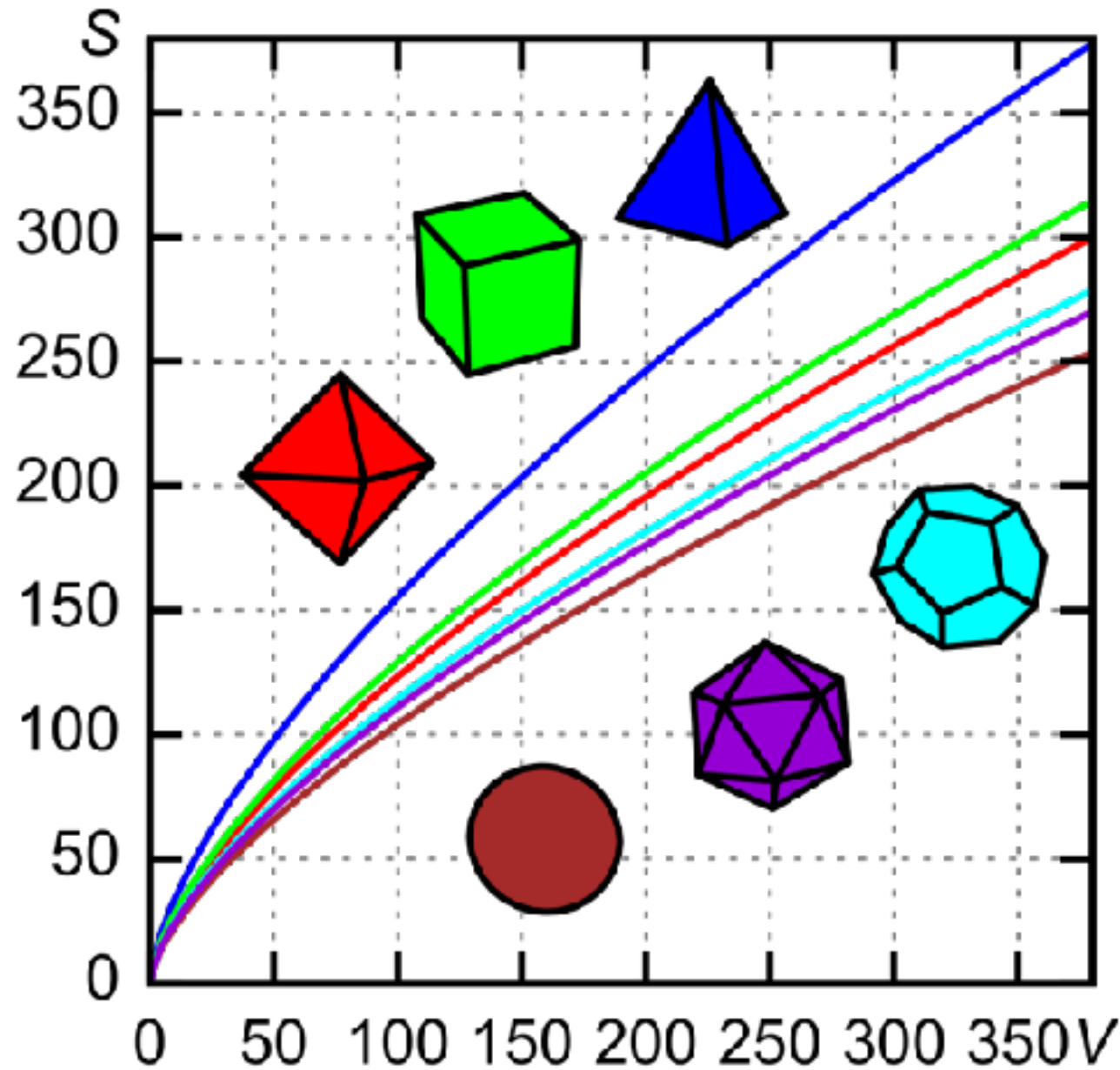
Shape		Characteristic length a	Surface area	Volume	SA/V ratio	SA/V ratio for unit volume
Tetrahedron		edge	$\sqrt{3}a^2$	$\frac{\sqrt{2}a^3}{12}$	$\frac{6\sqrt{6}}{a} \approx \frac{14.697}{a}$	7.21
Cube		edge	$6a^2$	a^3	$\frac{6}{a}$	6
Octahedron		edge	$2\sqrt{3}a^2$	$\frac{1}{3}\sqrt{2}a^3$	$\frac{3\sqrt{6}}{a} \approx \frac{7.348}{a}$	5.72
Dodecahedron		edge	$3\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}a^2$	$\frac{1}{4}(15 + 7\sqrt{5})a^3$	$\frac{12\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}}{(15 + 7\sqrt{5})a} \approx \frac{2.694}{a}$	5.31
Capsule		radius (R)	$4\pi a^2 + 2\pi a \cdot 2a = 8\pi a^2$	$\frac{4\pi a^3}{3} + \pi a^2 \cdot 2a = \frac{10\pi a^3}{3}$	$\frac{12}{5a}$	5.251
Icosahedron		edge	$5\sqrt{3}a^2$	$\frac{5}{12}(3 + \sqrt{5})a^3$	$\frac{12\sqrt{3}}{(3 + \sqrt{5})a} \approx \frac{3.970}{a}$	5.148
Sphere		radius	$4\pi a^2$	$\frac{4\pi a^3}{3}$	$\frac{3}{a}$	4.83598

Il rapporto SA/V ha dimensione fisica $1/a$, cambia il prefattore

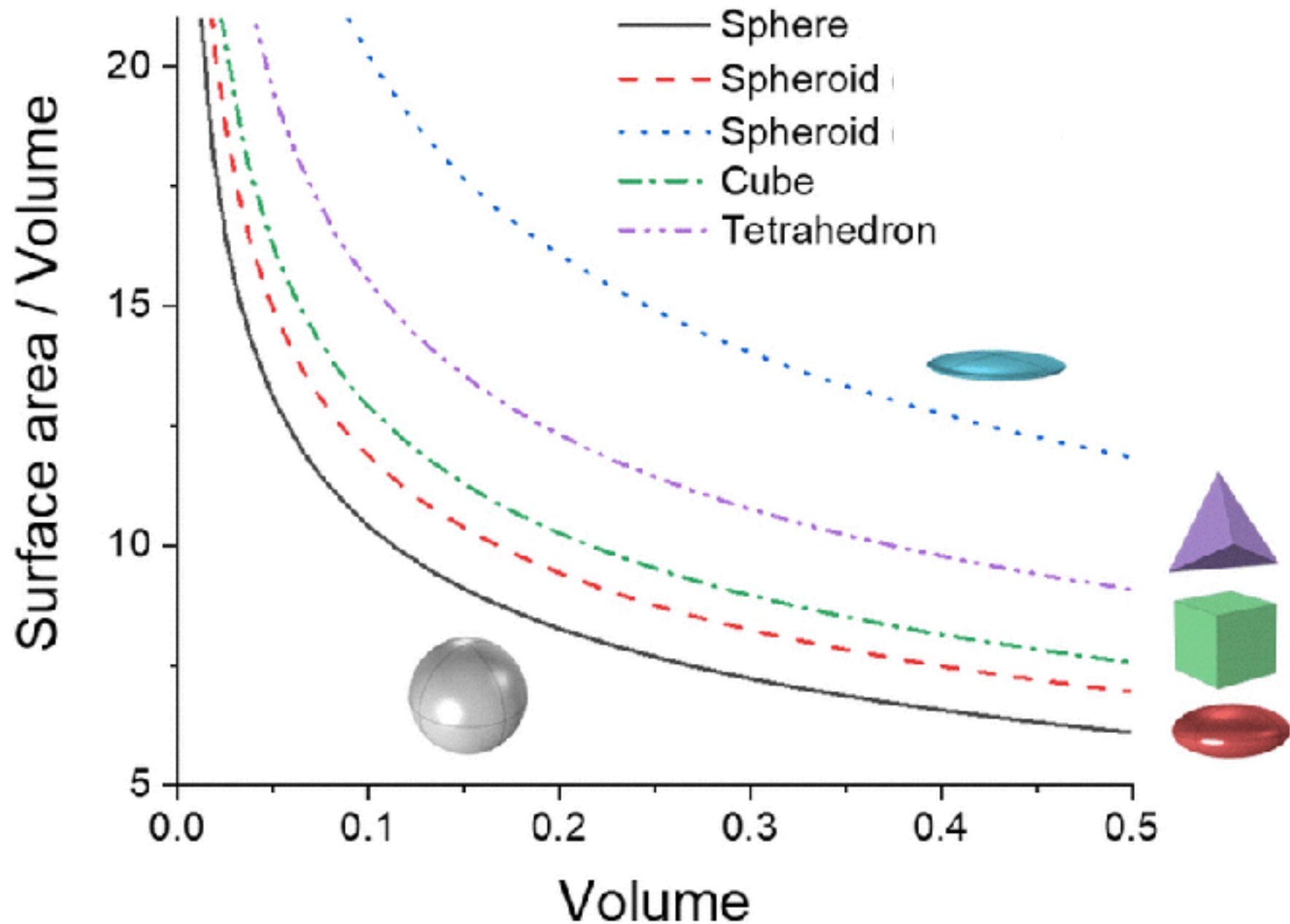
Superficie e volume dei poliedri regolari

POLIEDRO REGOLARE		$S = n \cdot C_s \cdot \ell^2$	$V = C_v \cdot \ell^3$
TETRAEDRO regolare  n=4		$S = 4 \cdot 0,433 \cdot \ell^2$	$V = 0,117 \cdot \ell^3$
ESAEDRO regolare (CUBO)  n=6		$S = 6 \cdot 1 \cdot \ell^2$	$V = 1 \cdot \ell^3$
OTTAEDRO regolare  n=8		$S = 8 \cdot 0,433 \cdot \ell^2$	$V = 0,471 \cdot \ell^3$
DODECAEDRO regolare  n=12		$S = 12 \cdot 1,720 \cdot \ell^2$	$V = 7,663 \cdot \ell^3$
ICOSAEDRO regolare  n=20		$S = 20 \cdot 0,433 \cdot \ell^2$	$V = 2,181 \cdot \ell^3$
formule inverse		$\ell = \sqrt{\frac{S}{n \cdot C_s}}$	$\ell = \sqrt[3]{\frac{V}{C_v}}$

Superficie/volume: forme a confronto



Superficie/volume: forme a confronto



La mascherina a 5 strati che uccide il Covid: come funziona e quando arriva

Una speciale mascherina “killer” a 5 strati con nanoparticelle in rame potrebbe realisticamente rallentare i contagi fino a debellare il Coronavirus, e altri virus

29 Gennaio 2021

Il rame emette ioni una volta a contatto con un virus e questo crea un'interazione con il materiale genetico del virus stesso, facendolo morire e bloccandone la riproduzione. ~~C grazie alla loro forma sferica, le nanoparticelle hanno un'ampia superficie che le rende ancora più efficaci nell'uccidere il virus.~~ Lo strato interno antivirale garantisce una protezione aggiuntiva sia per chi lo indossa che per chi si trova nelle vicinanze.

NO!

Per un dato volume, l'oggetto con la superficie più piccola (e quindi con il più piccolo rapporto S/V) è una sfera. Al contrario, gli oggetti con punte ad angolo acuto, oppure molto “schiacciati”, hanno una superficie molto ampia per un dato volume.

Invece: grazie alle piccole dimensioni, le nano-particelle hanno un elevato rapporto superficie/volume che cresce al diminuire della dimensione delle nanoparticelle.

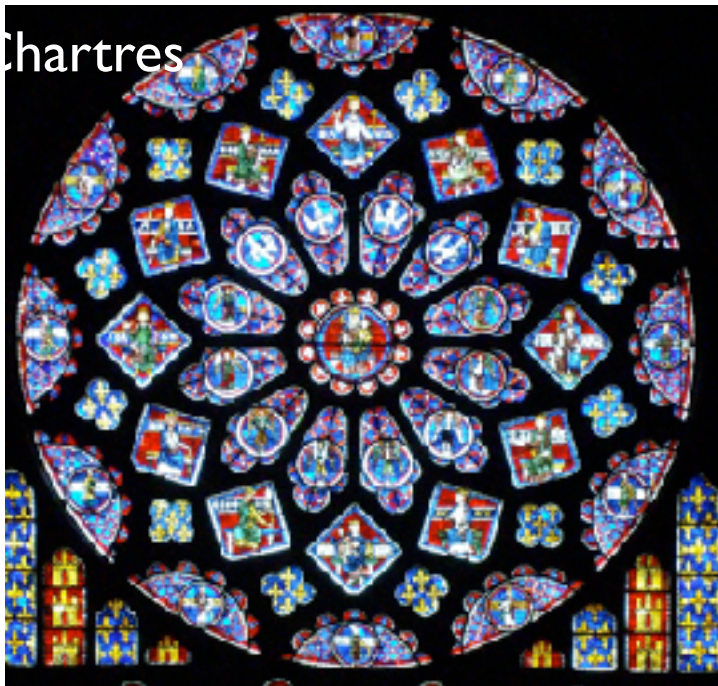
Nanoparticelle

Proprietà: dipendenti da:

- **composizione** { materiali inorganici (metalli, semiconduttori...); anche nanoparticelle composte o rivestite
- **dimensione** dimensioni lineari tra 1 nm e 1 μm
- **forma** sferiche, cilindriche, cave, ramificate...

Per es.: la luce assorbita da nanoparticelle di oro o argento può dipendere dal loro diametro e dalla forma più o meno sferica.

Chartres



Coppa di Licurgo

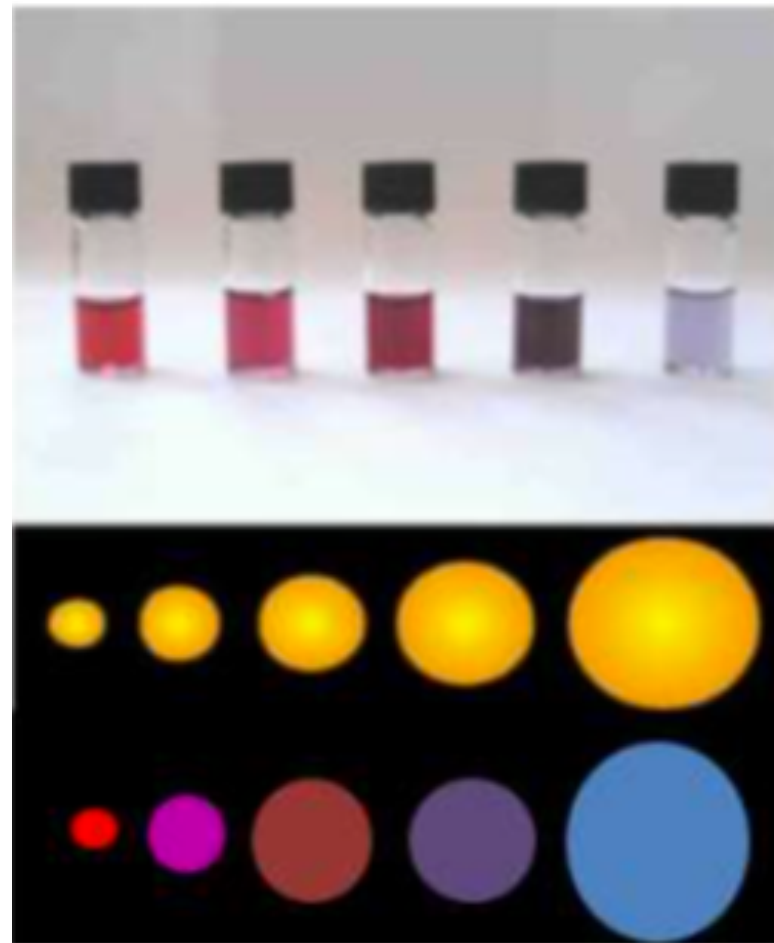


Fig. 1 La fiala di sinistra contiene colloide d'oro con nano particelle di diametro 3-30 nm: il colore appare rosso rubino. All'estremo opposto il colore blu-violetto è caratteristico di particelle d'oro con diametro di centinaia di nanometri.

Colorazione di smalti e vetri

Fin dal IV secolo d.c. gli artigiani aggiungevano sali d'oro alla mistura di vetro per ottenere un rosso acceso. Riscaldando la mistura di vetro gli ioni d'oro dei sali si trasformavano in atomi d'oro neutri che si aggregavano formando nanoparticelle, le quali rimanevano disperse dentro ad una matrice di ossido di silicio, producendo un materiale che assorbe tutte le frequenze della luce visibile a parte il rosso. Le vetrate si possono ancora ammirare in molte chiese di origine medioevale. Era il primo inconsapevole esempio di applicazione nanotecnologica.

In Italia, durante il XV e XVI secolo, gli artigiani utilizzavano nanoparticelle per decorare il vasellame. Si trattava di una tecnica messa a punto dai musulmani del medio oriente durante il IX secolo, poi diffusasi in Spagna durante il medioevo, ed infine arrivata in Italia. Il vasellame presentava una lucentezza (patina lucente) iridescente rosso oro. Tale effetto era ottenuto mescolando sali di argento ed oro con aceto, ocra ed argilla, ed applicando la mistura al



Fig. 11 La coppa di Licurgo – Immagine wikipedia

vasellame precedentemente smaltato (con una vernice vetrosa). In seguito al successivo riscaldamento in forno gli ioni metallici della mistura erano ridotti a nanoparticelle metalliche di 5-100 nm di diametro. In particolare il colore rosso proveniva dal rame. Naturalmente, solo oggi siamo in grado di comprendere l'origine 'nano' di questi colori.

Un altro esempio molto noto di nanotecnologia *ante litteram* è offerto dalla famosa coppa di Licurgo, in vetro dicroico che appare verde in

riflessione e rosso in trasmissione. Non a caso si tratta di due colori complementari.

Da: <https://www.nanolab.unimore.it/>

Nanoparticelle

Proprietà: dipendenti da:

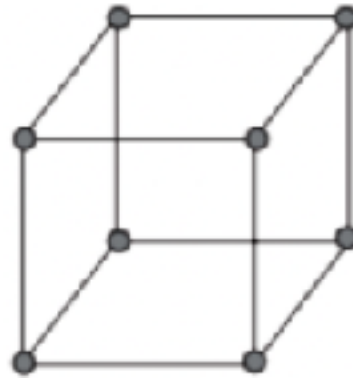
- **composizione** { materiali inorganici (metalli, semiconduttori...); anche nanoparticelle composte o rivestite
- **dimensione** dimensioni lineari tra 1 nm e 1 μm
- **forma** sferiche, cilindriche, cave, ramificate...



quanti atomi?

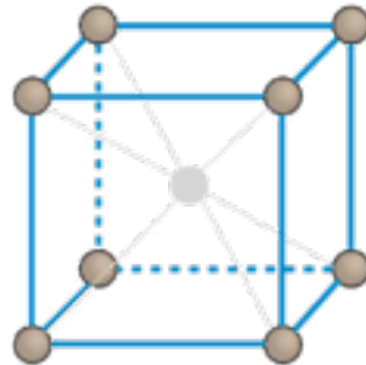
Nanoparticelle e strutture cristalline

(solo alcuni
esempi)

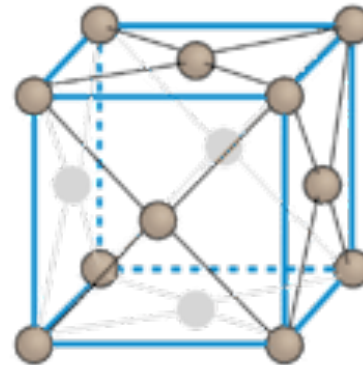


Simple cubic (sc)
only Po !

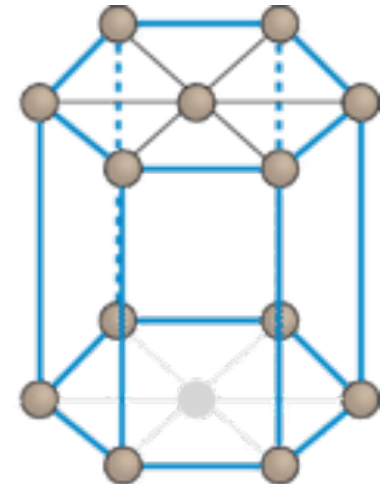
spaziatura
interatomica
tipica:
0,3-0,5 nm



Cubic body centered (bcc)
Fe, V, Nb, Cr



Cubic face centered (fcc)
Al, Ni, Ag, Cu, Au



Hexagonal
Ti, Zn, Mg, Cd

or Si

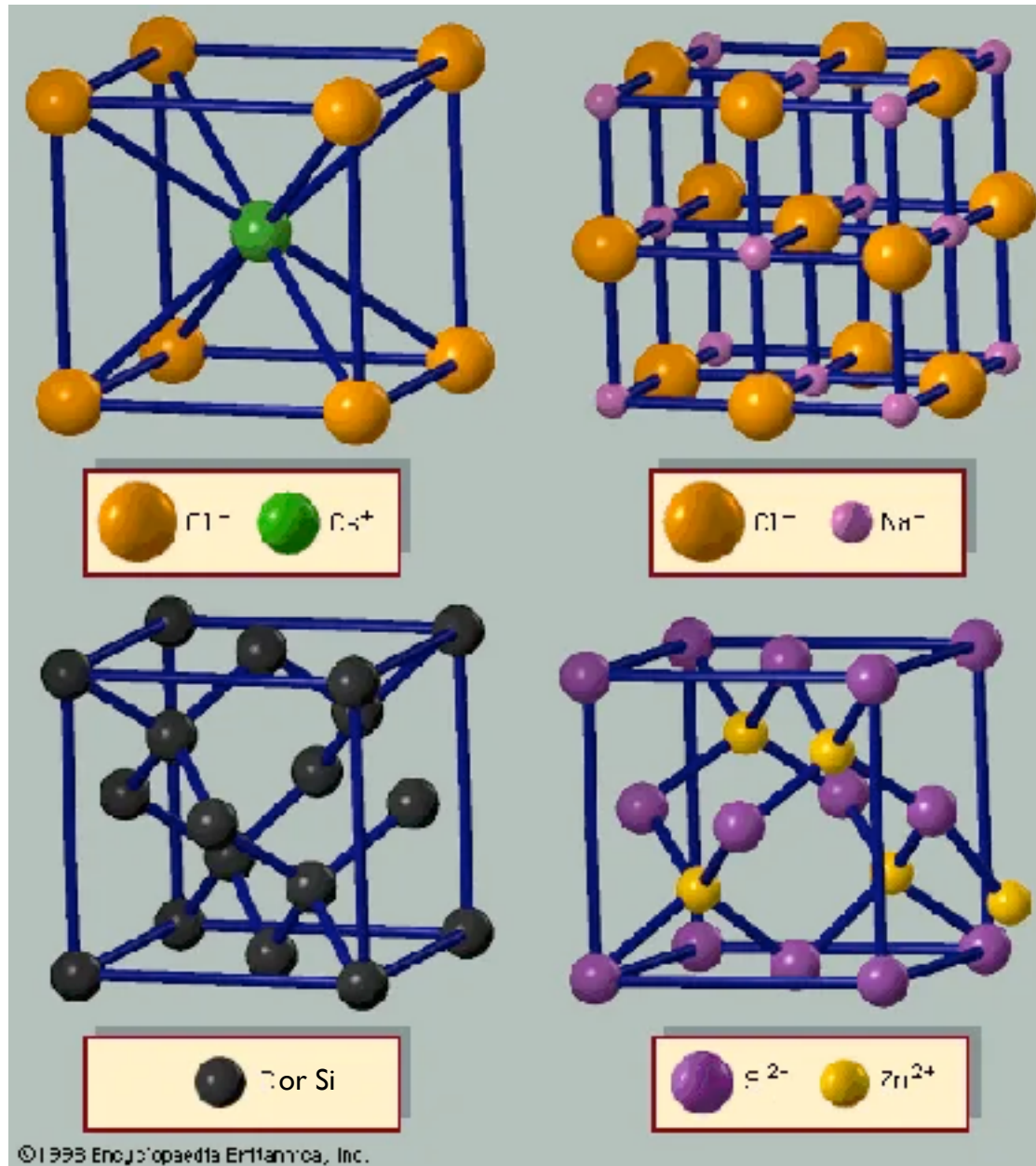
(ma ricordare
che un atomo non è
una sfera dura...)

Nanoparticelle e strutture cristalline

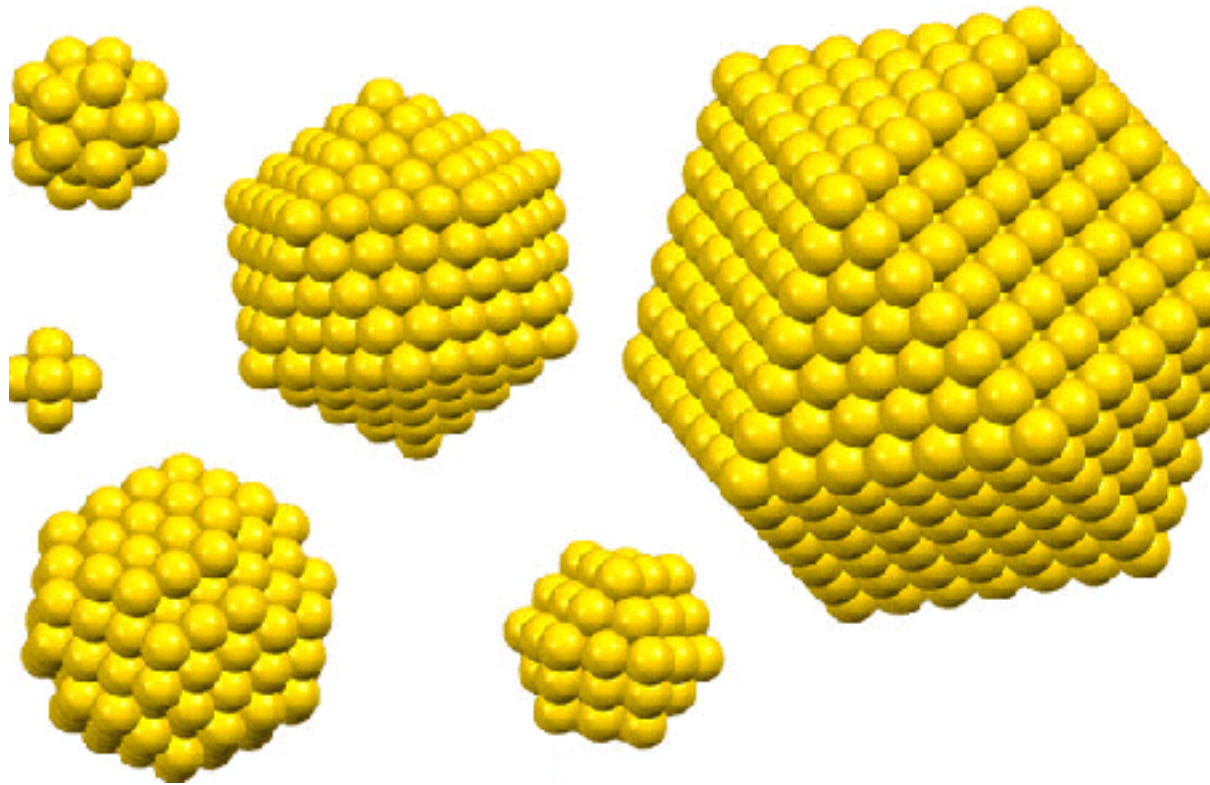
(altri
esempi)

spaziatura
interatomica
tipica:
0,3-0,5 nm

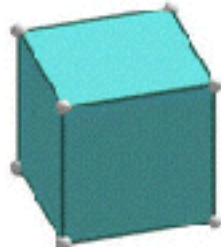
(ma ricordare
che un atomo non è
una sfera dura...)



Nanoparticelle e strutture cristalline



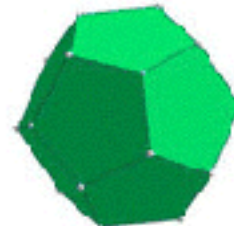
Tetrahedron



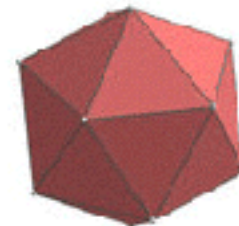
Cube



Octahedron



Dodecahedron



Icosahedron

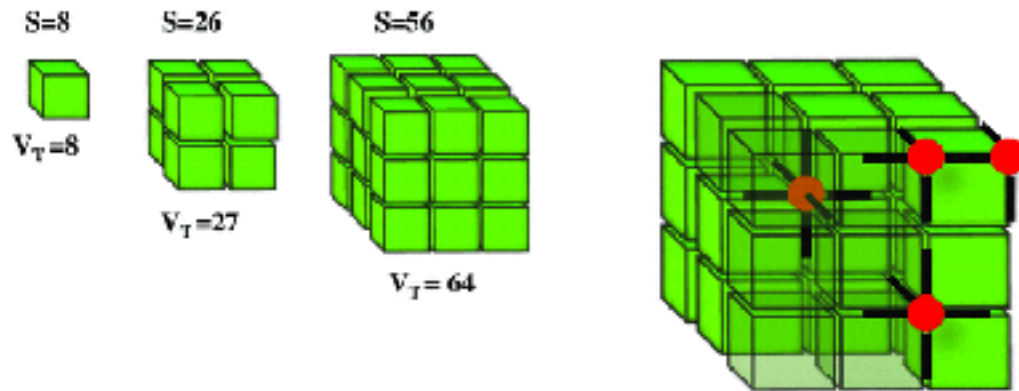
Approfondimento - **sulla scala atomica**

Per apprezzare l'importanza della superficie alla nanoscala, stimiamo quanti atomi sono sulla superficie e quanti all'interno di una nanoparticella.

P. es. consideriamo un ipotetico materiale con una struttura **cubica semplice** (in realtà inusuale, solo Po)

Consideriamo “nanoparticelle” fatte da 1 cubetto, poi con lato doppio (fatte da 2x2x2 cubetti), triplo (3x3x3)...

...



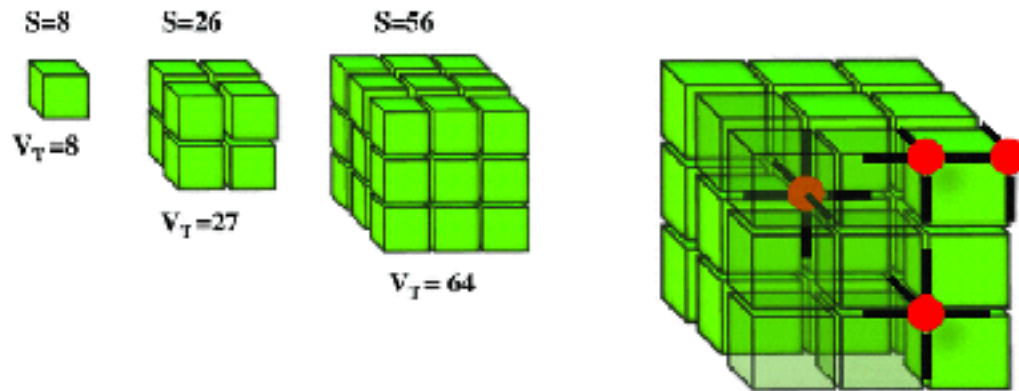
quanti atomi stanno sulla superficie e quanti all'interno?

Se il lato del cubetto elementare è 0,5 nm, quanto dev'essere il lato di un cubo multiplo affinché il numero di atomi all'interno sia simile a quello degli atomi di superficie?

# unit cells in the cube	Surface Atoms	Interior Atoms	Ratio (S/I)
1	8	0	
$2^3 = 8$	26	8	
$3^3 = 27$	54	27	
$4^3 = 64$	100	64	
...			
...			

Consideriamo “nanoparticelle” fatte da 1 cubetto, poi con lato doppio (fatte da 2x2x2 cubetti), triplo (3x3x3)...

...



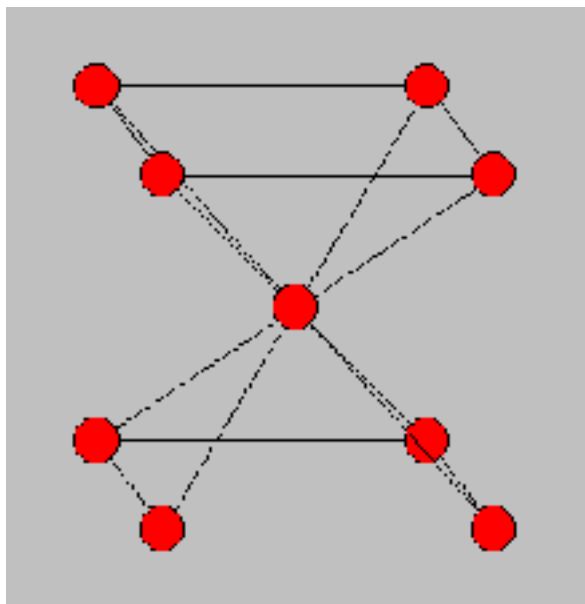
quanti atomi stanno sulla superficie e quanti all'interno?

Se il lato del cubetto elementare è 0,5 nm, quanto dev'essere il lato di un cubo multiplo affinché il numero di atomi all'interno sia simile a quello degli atomi di superficie?

# unit cells in the cube	Surface Atoms	Interior Atoms	Ratio (S/I)
1	8	0	infinity!
$2^3 = 8$	26	1	26
$3^3 = 27$	56	8	7
$4^3 = 64$			
...			
...			

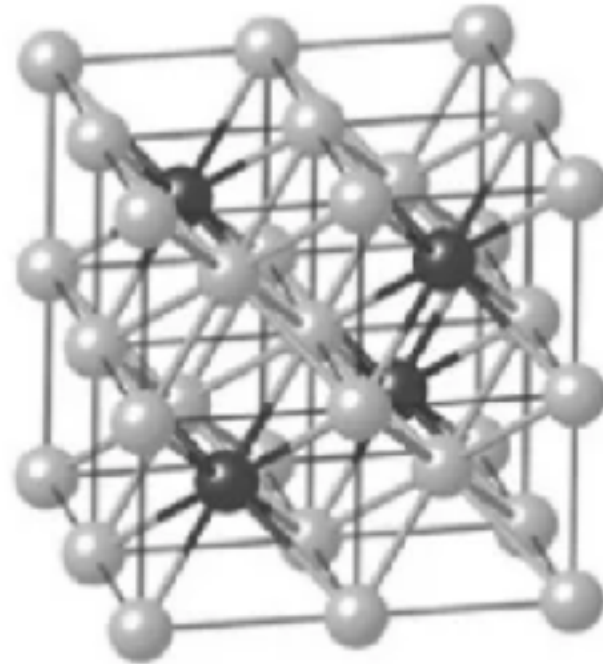
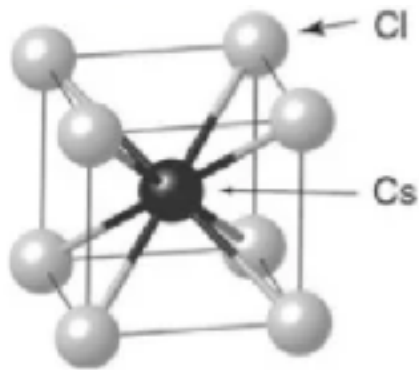
OPPURE

consideriamo materiali con una struttura BCC (body centered cubic, o CCC, cubica a corpo centrato):
potassio, tungsteno (non l'oro!) tra i solidi elementari;
CsCl tra i composti ionici...



Consideriamo “nanoparticelle” fatte da 1 cubetto, poi con lato doppio (fatte da 2x2x2 cubetti), triplo (3x3x3)...

...



quanti atomi stanno sulla superficie e quanti all'interno?

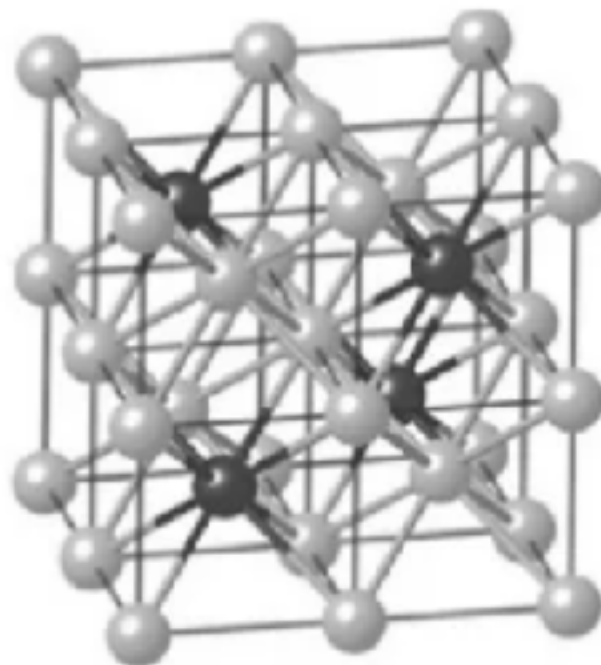
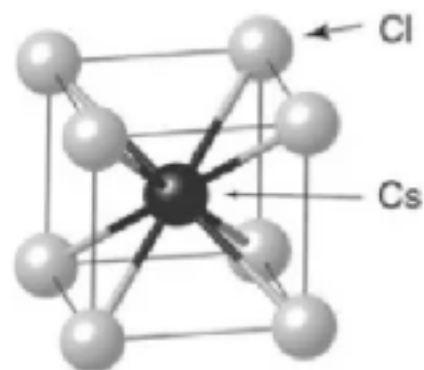
Se il lato del cubetto elementare è 0,5 nm, quanto dev'essere il lato di un cubo multiplo affinché il numero di atomi all'interno sia simile a quello degli atomi di superficie?

Solution:

# unit cells in the cube	Surface Atoms	Interior Atoms	Ratio (S/I)
1	8	1	8
$2^3 = 8$			
$3^3 = 27$			
$4^3 = 64$			
...			
...			

Consideriamo “nanoparticelle” fatte da 1 cubetto, poi con lato doppio (fatte da 2x2x2 cubetti), triplo (3x3x3)...

...



quanti atomi stanno sulla superficie e quanti all'interno?

Se il lato del cubetto elementare è 0,5 nm, quanto dev'essere il lato di un cubo multiplo affinché il numero di atomi all'interno sia simile a quello degli atomi di superficie?

Solution:

# unit cells in the cube	Surface Atoms	Interior Atoms	Ratio (S/I)
1	8	1	8
$2^3 = 8$	26	9	2.9
$3^3 = 27$	56	35	1.6
$4^3 = 64$	98	91	1.1
$5^3 = 125$	152	189	0.8

so that we need 5^3 unit cells, leading to a material cube having side length $5 (0.5) = 2.5$ nm.

Riassumendo fin qui...

Più piccoli sono gli oggetti, maggiore è il rapporto superficie area/volume

a parità di volume, oggetti più piccoli offrono una maggiore superficie

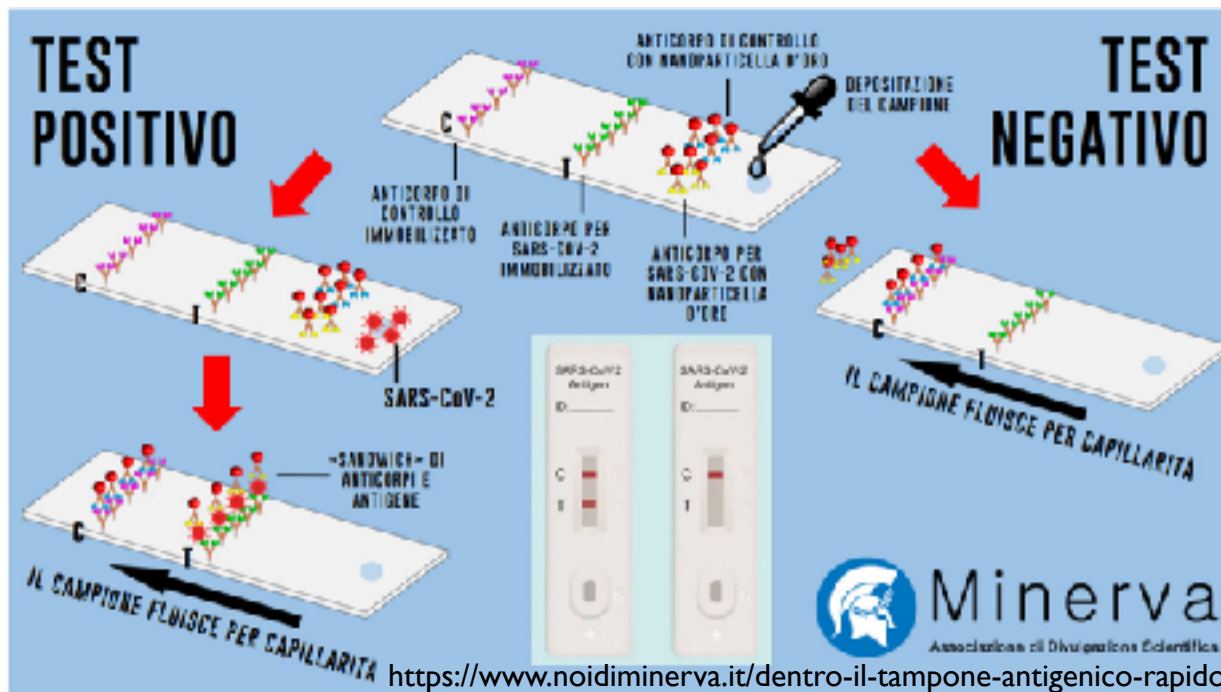
Particolarmente vero se pensiamo a oggetti su scala atomica

maggiore è l'importanza della superficie nel determinare diverse proprietà

Alcuni esempi di utilizzo di nanoparticelle

Test rapidi (es. covid) basati su “immunocromatografia a oro colloidale”

usa nanoparticelle d'oro, capillarità dell'acqua e anticorpi.
Le nanoparticelle sono usate per legare anticorpi.
(nanoparticelle d'oro => colore rosso/violaceo)



tecnologia
"lateral flow assay"

[10.3390/nano12091456](https://doi.org/10.3390/nano12091456)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsanm.9b00956>

<https://www.nature.com/articles/s41598-022-11732-5>

Altri esempi

Test più sensibili (?) basati sempre su una soluzione colloidale di nanoparticelle d'oro (20 nm di diametro) sulle quali sono fissati gli anticorpi.

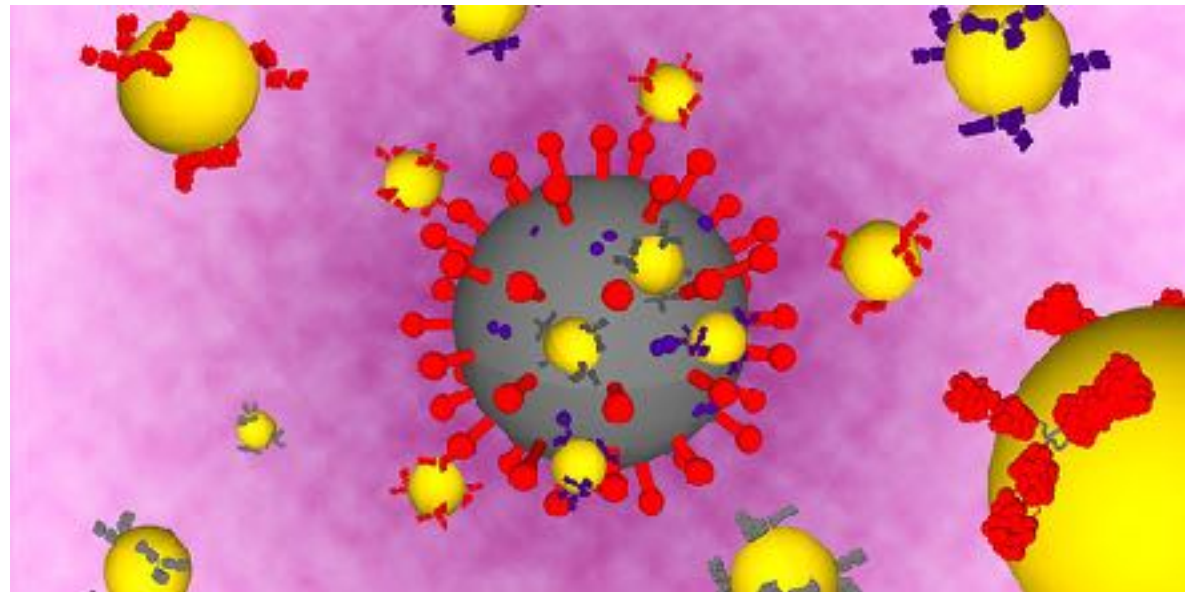
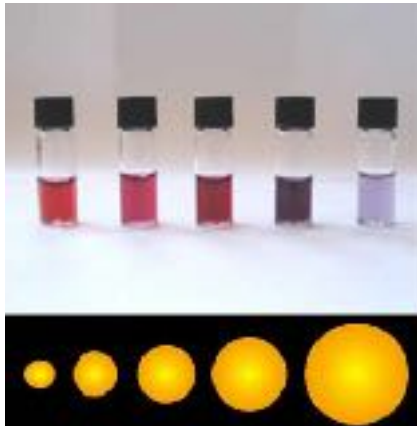
Mescolamento di tale soluzione con quella del campione da esaminare

=> nuova soluzione dove le nanoparticelle “funzionalizzate” con gli anticorpi “attaccano” le proteine di superficie del virus, quindi si avvicinano tra di loro

=> formazione di aggregati di nanoparticelle

=> cambio di dimensione

=> cambio di colore della soluzione colloidale



<https://www.primapagina.sif.it/article/1197/quando-l-oro-tile-per-rivelare-il-sars-cov-2>

<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acssensors.0c01742>

e qualche preoccupazione...

Nanoparticelle d'argento come antimicrobico

Es. in indumenti, spazzolini, bende, filtri per l'acqua, etc...

ma...

possono distruggere anche batteri benigni come quelli utilizzati per rimuovere l'ammoniaca nei sistemi di trattamento e riciclaggio delle acque ?

E inoltre: possibile alternativa al trattamento antibiotico negli allevamenti

ma...

nel trattamento di un organismo con nanoparticelle **non si può escludere la possibilità del bioaccumulo nei tessuti e/o nei prodotti,**

In generale:

Preoccupazioni su effetti nocivi per l'uomo e l'ambiente

dimensioni ridotte, che potrebbero permettere il superamento di barriere naturali, con conseguente potenziale danno biologico

in effetti, le nanoparticelle sono molto più piccole delle pm_{10} (=particelle di diametro $\leq 10 \mu\text{m}$ ($=10^{-5} \text{ m}$))

ma: il termine nanoparticelle indica sistemi diversissimi tra loro

non ha senso preoccuparsi genericamente delle nanoparticelle semplicemente a causa della loro dimensione - importano moltissimi dettagli: dimensione, superficie esposta, abbinamento con altri nano-sistemi...

=> occorre fare **sperimentazioni focalizzate !**



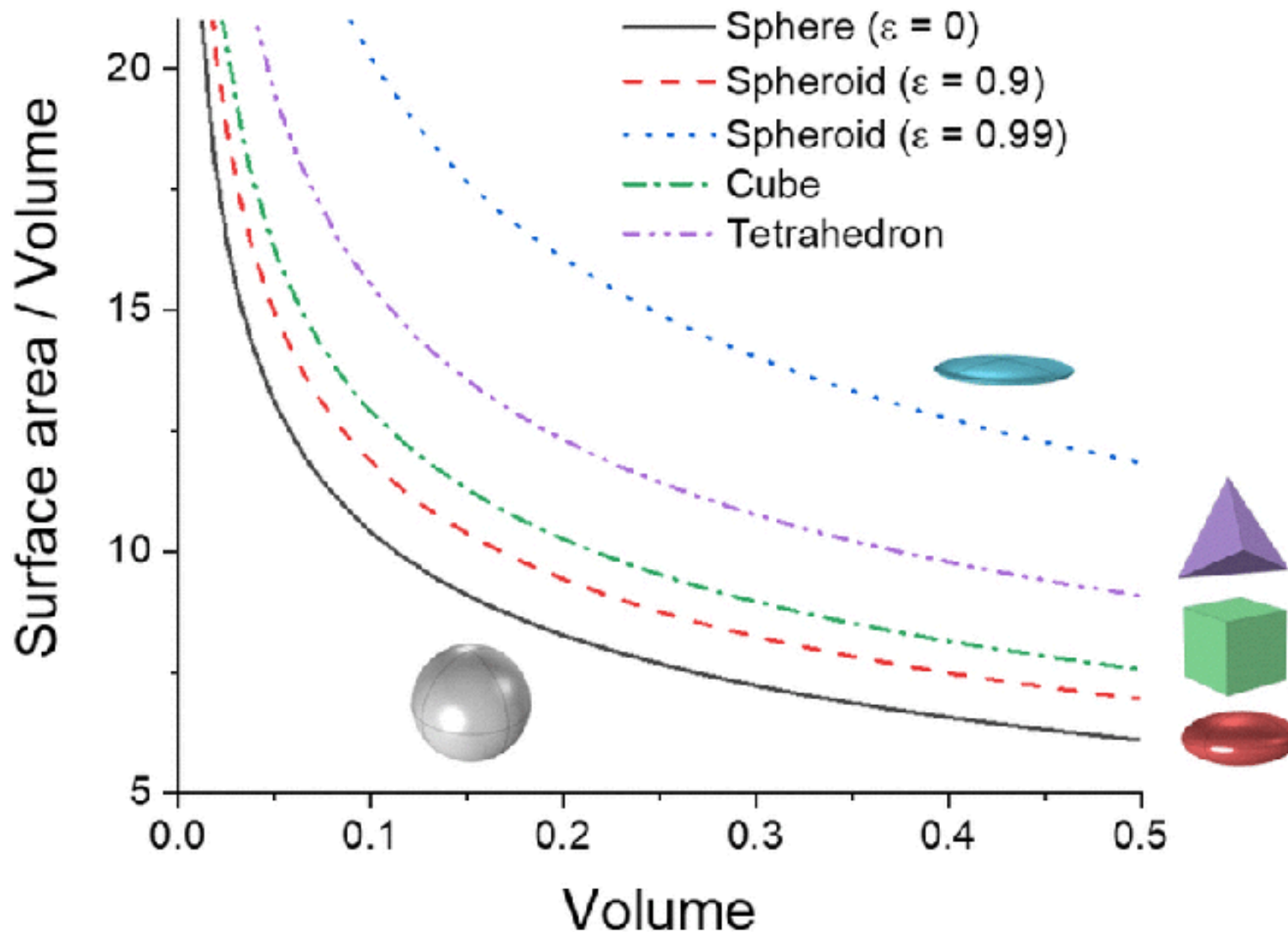
**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

Parte 2

NANOMATERIALI 2D

SSM26-I 6 - Fisica Applicata - Maria Peressi

Superficie/volume: forme a confronto



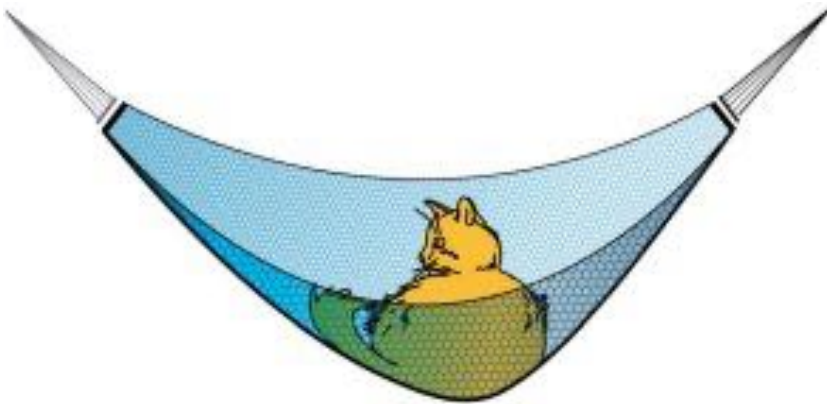
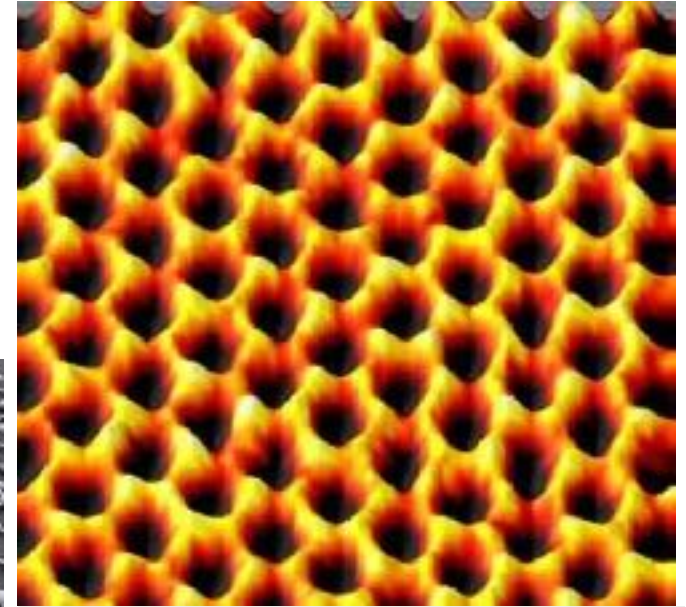
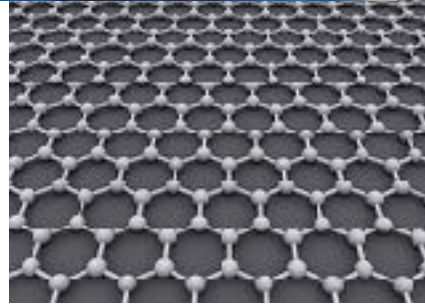
Sferoide con maggiore eccentricità $\Rightarrow$ rapporto S/V maggiore
 $\Rightarrow$... $\Rightarrow$ **materiali 2D**

il grafene



Geim & Novoselov (Nobel 2010)

<https://youtu.be/rphiCdR68TE>



amaca di grafene di $1 \text{ m}^2 = 0.77 \text{ mg}$ (= 1 baffo di gatto)



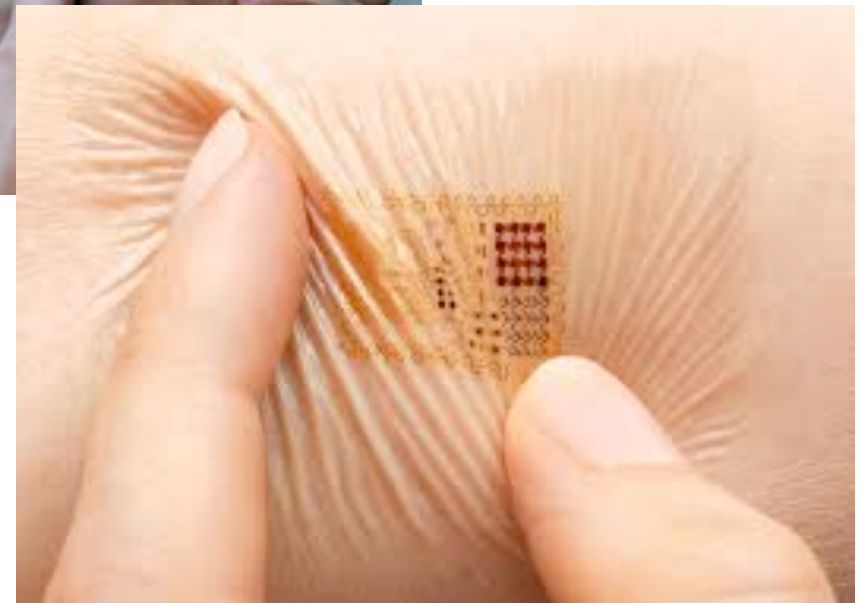
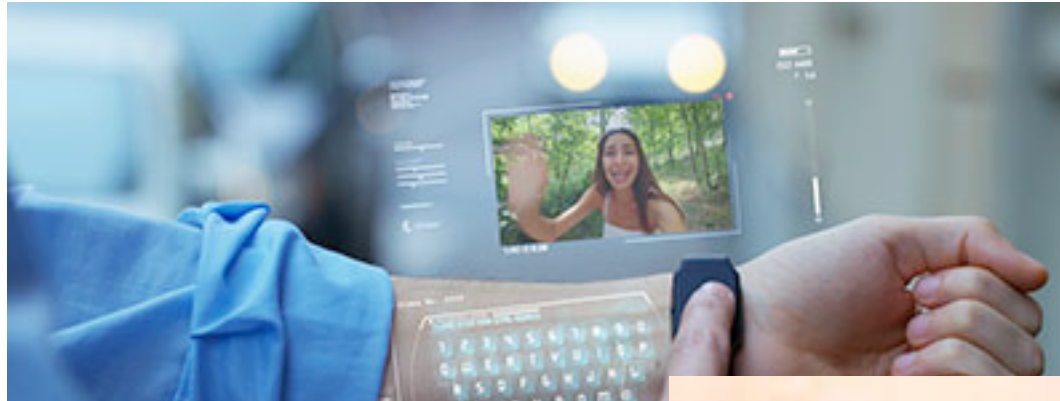
vedi

"Introducing graphene" di Cambridge Univ.

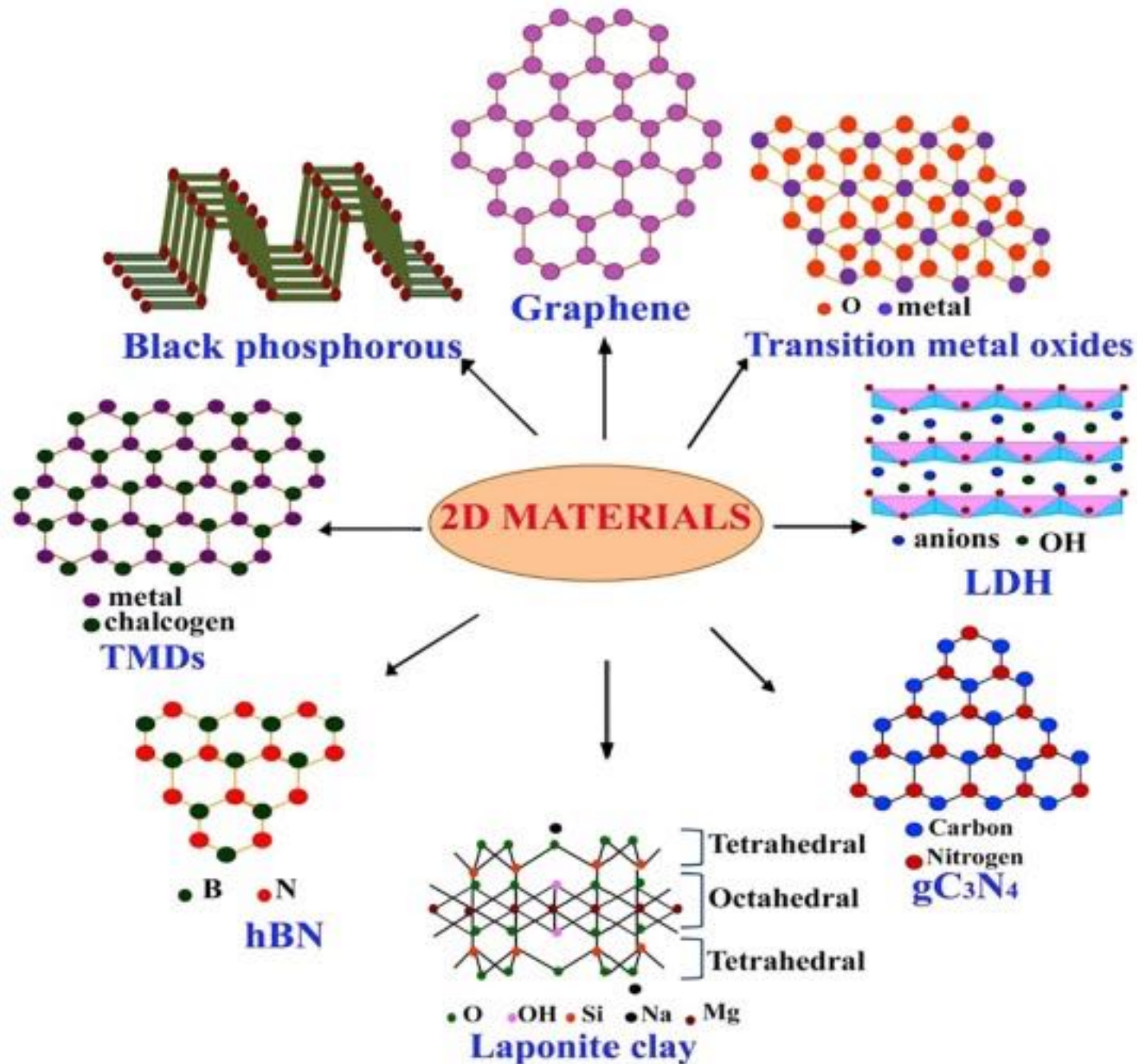
<http://www.youtube.com/watch?v=dTSnnlITsVg>

(cartoon di 2':48") <http://graphene-flagship.eu/>

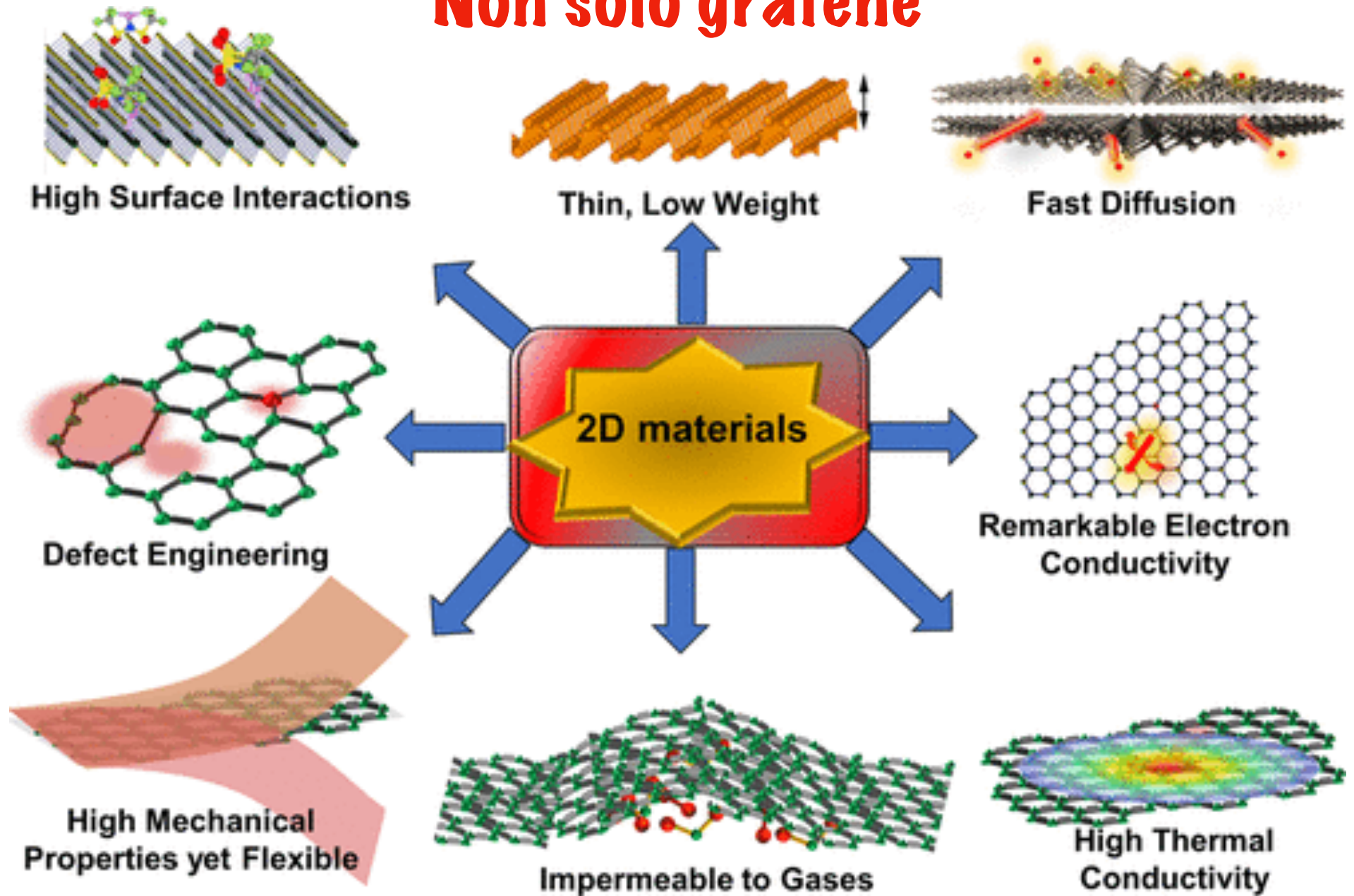
Opto-elettronica flessibile: Tecnologia “indossabile”, Schermi pieghevoli...



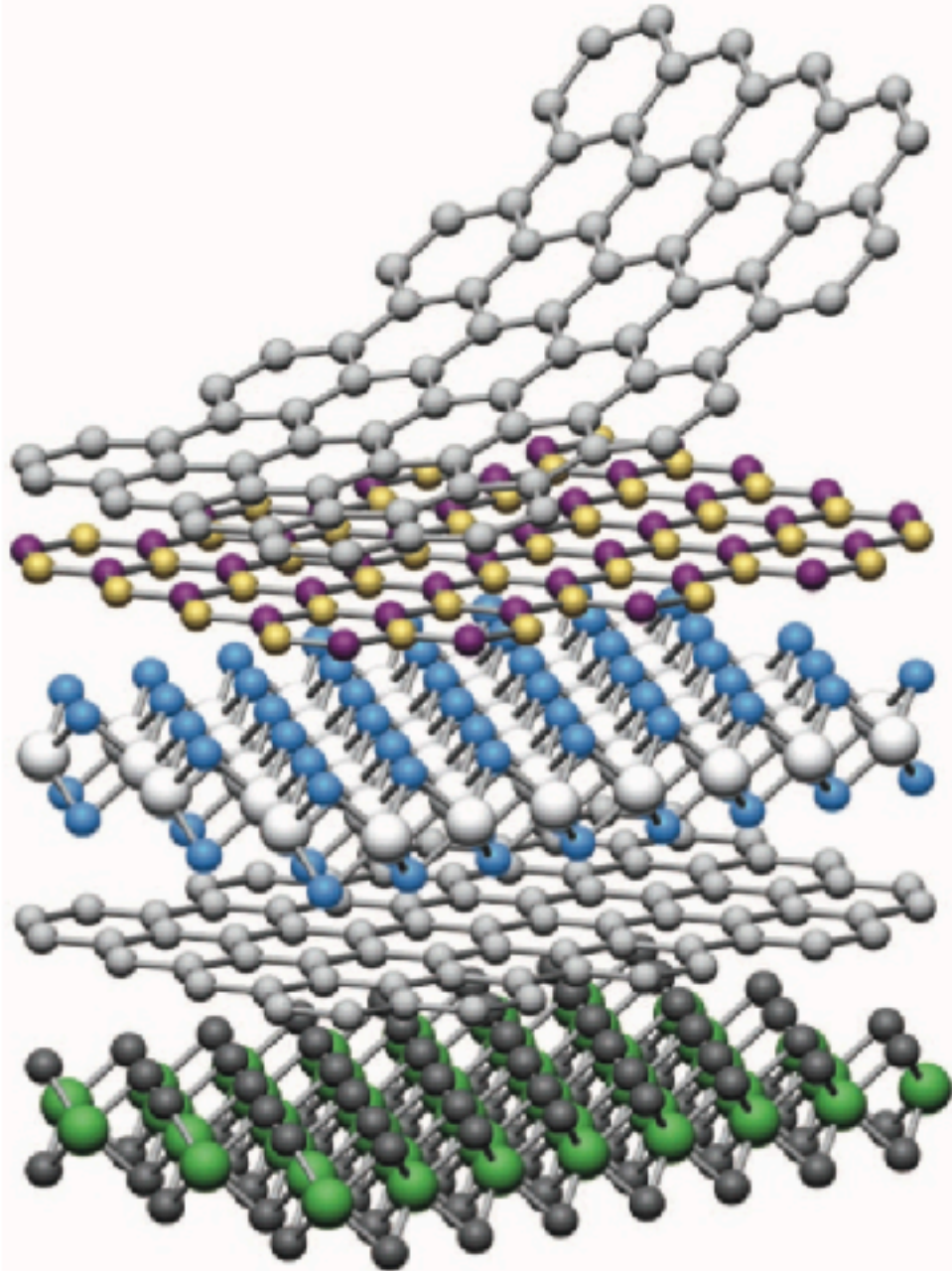
Non solo grafene



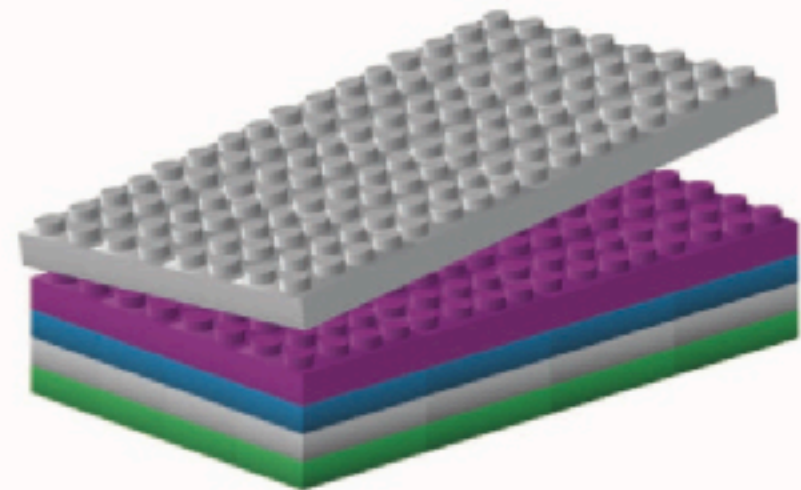
Non solo grafene



Combinare materiali 2D per costruire materiali con nuove proprietà

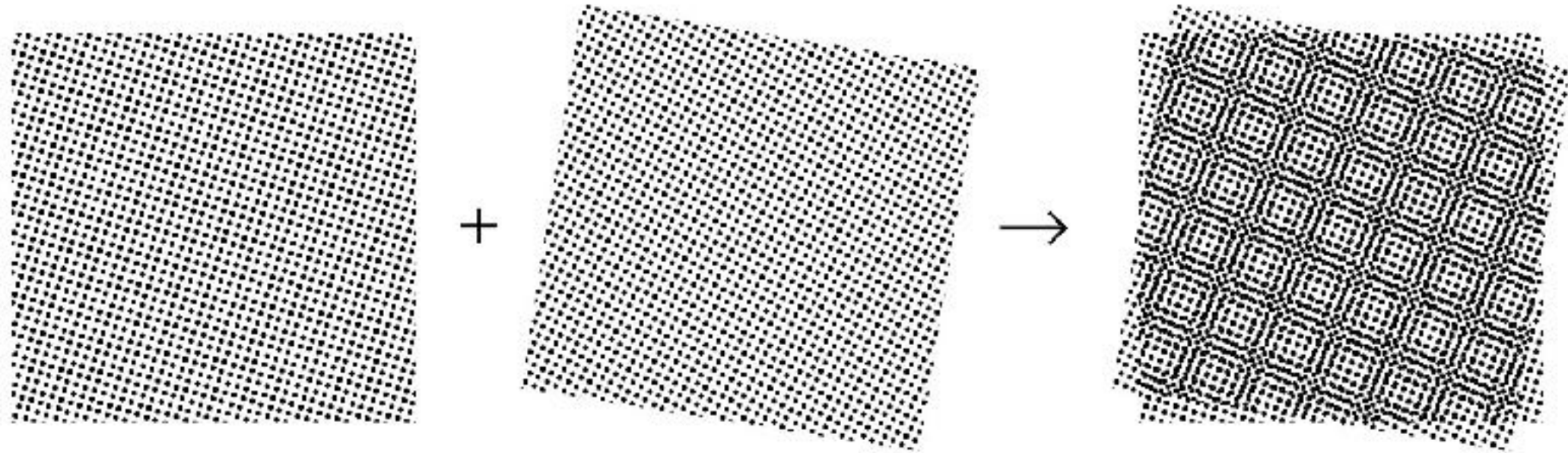


	Graphene	
	hBN	
	MoS ₂	
	WSe ₂	
	Fluorographene	



Domanda n. 1:

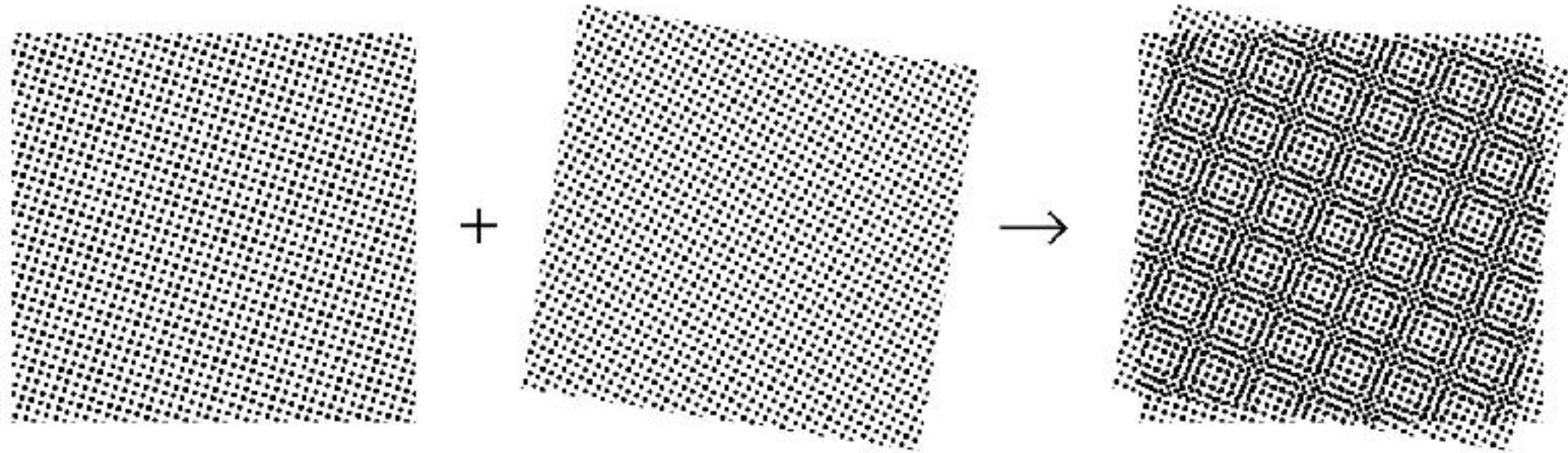
qual è la **geometria 2D** della struttura risultante dalla combinazione di **2 strutture 2D**?



Generalmente una struttura con periodo
... ?

Domanda n. 1:

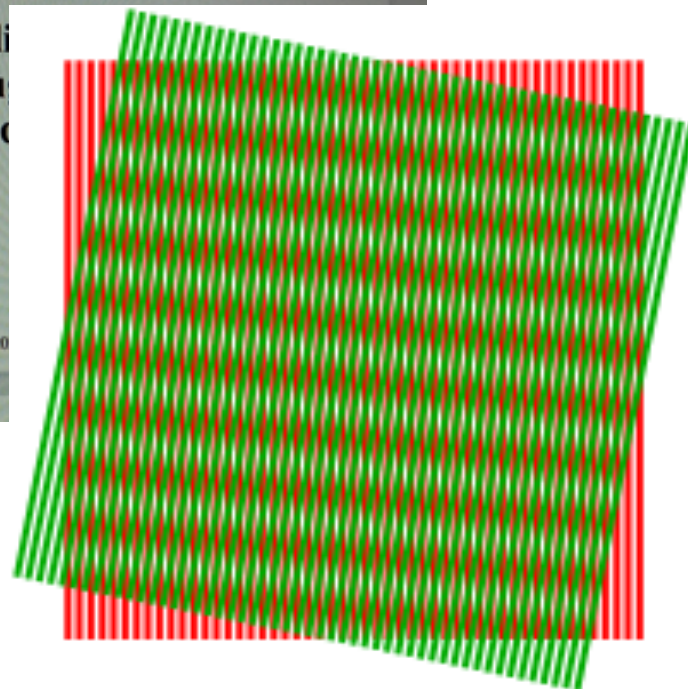
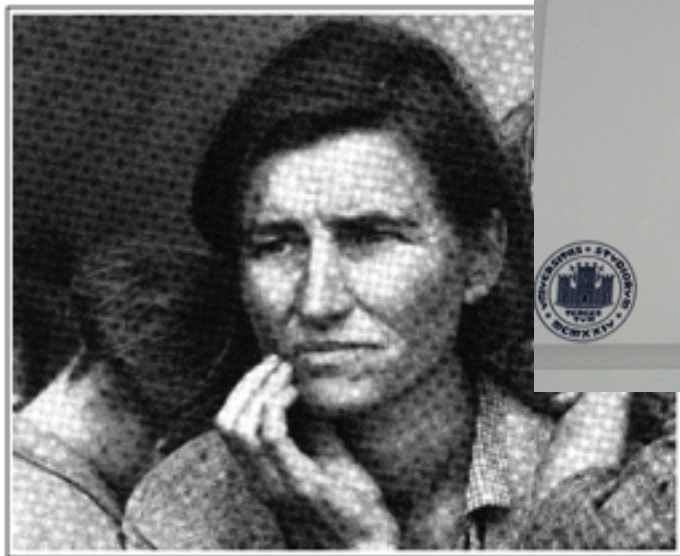
qual è la **geometria 2D** della struttura risultante dalla combinazione di **2 strutture 2D**?



**Generalmente una struttura con periodo
maggiore dei costituenti**

Superstrutture di moiré – generalità

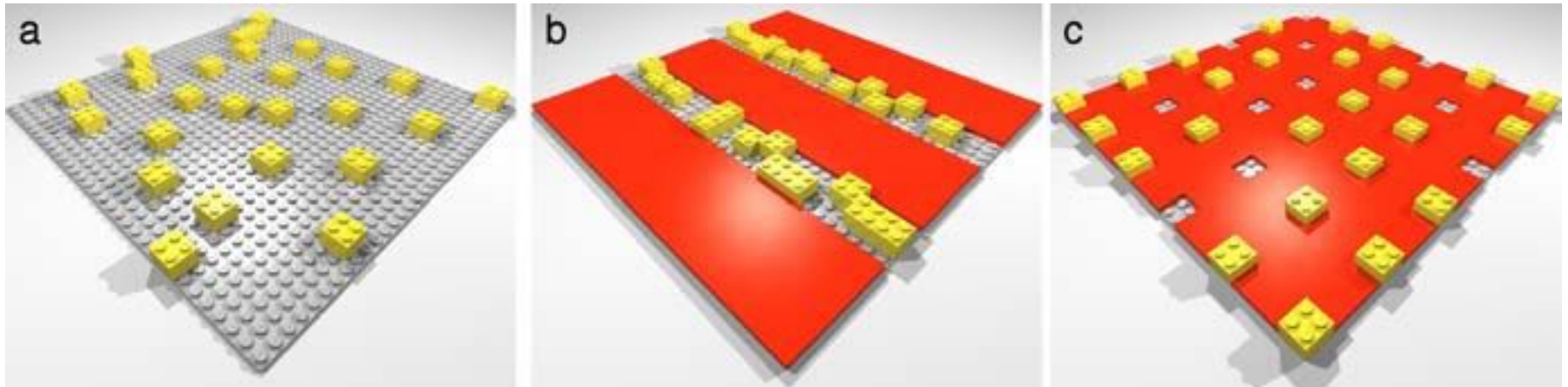
- **Effetto moiré:** un fenomeno geometrico/di interferenza di vasto interesse (tipografia, fotografia, ottica...)



Sfruttare l'effetto moiré - 2

Problema: sinterizzazione $\Rightarrow$ perdita di efficienza

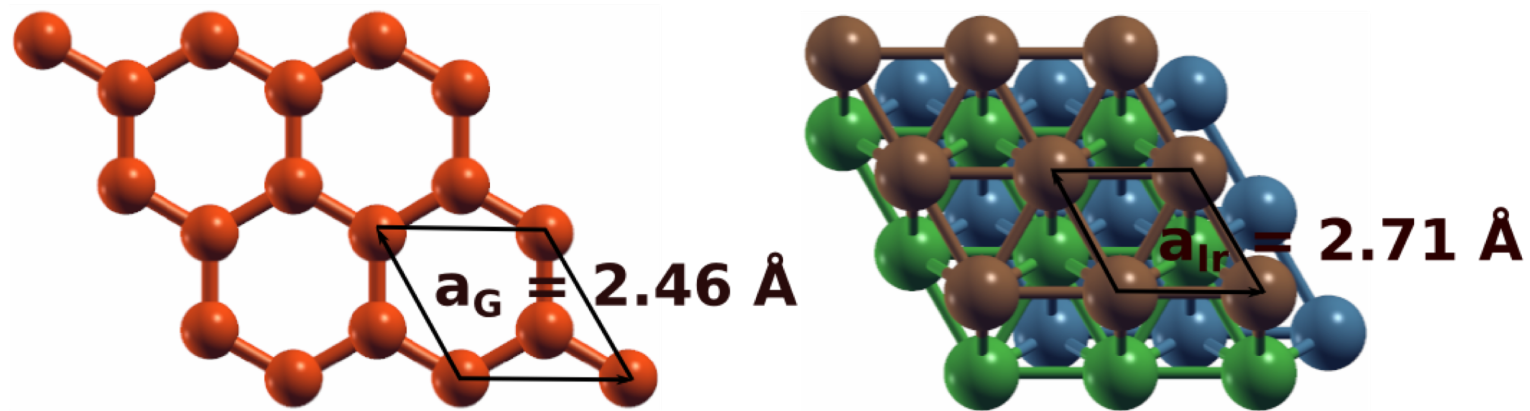
Soluzione? Moiré come supporto per una disposizione ordinata e stabile



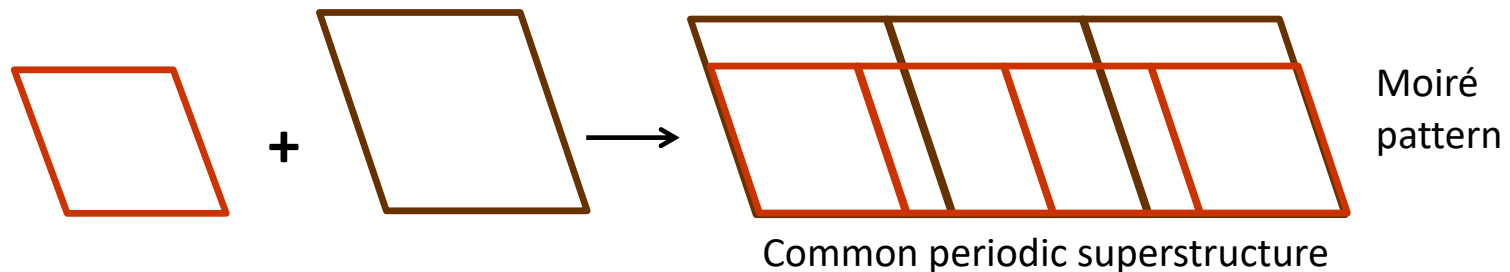
S. Stavric, MP et al., in preparation

Un esempio realizzato in UniTS:

Stesso reticolo MA diverso passo reticolare



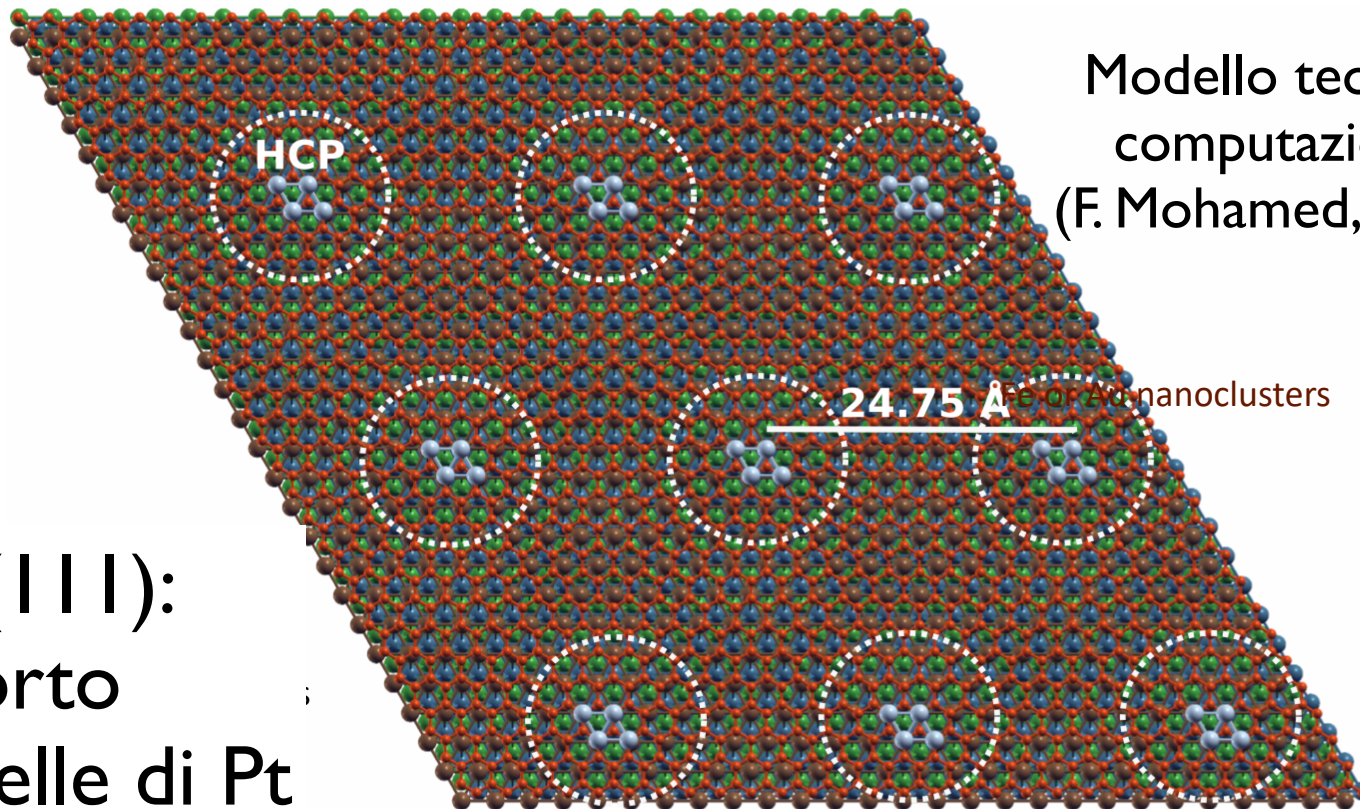
Graphene & Ir(111): $a_G/a_{Ir} = 0.91$ (~10% lattice mismatch)



9x9 celle unitarie di superficie Iridio (111) con celle unitarie di 10x10 grafene.

Moiré di Gr/Ir(III): ordinato supporto per nanoparticelle di Pt

Modello teorico/
computazionale
(F. Mohamed, M.P.)

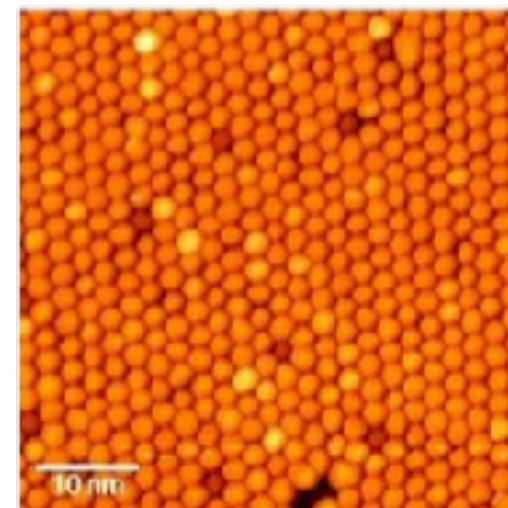
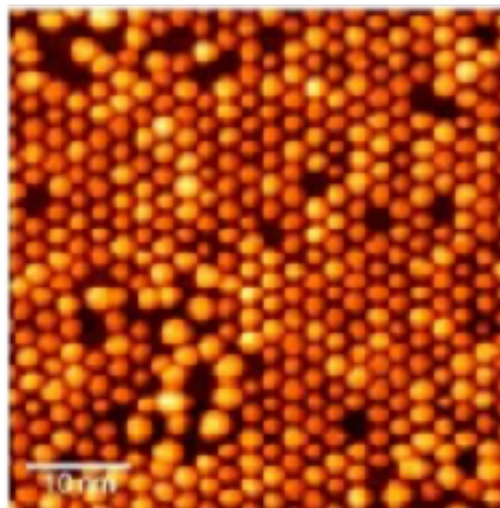
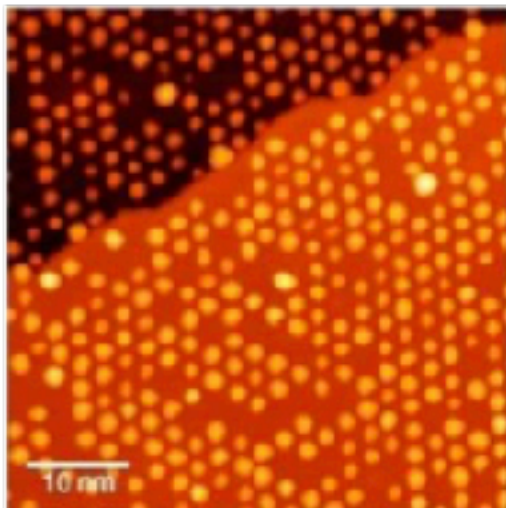
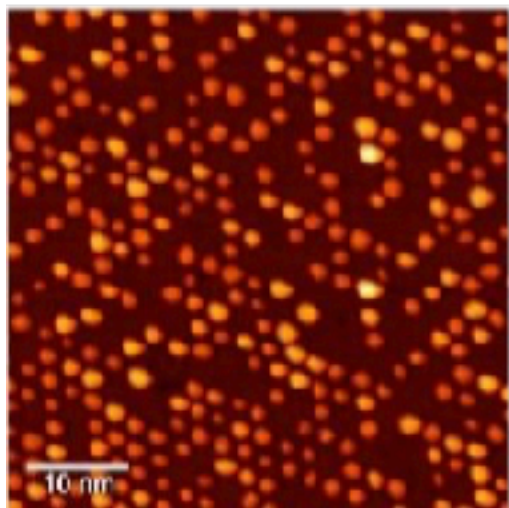


0.05 ML

0.09 ML

0.25 ML

0.75 ML

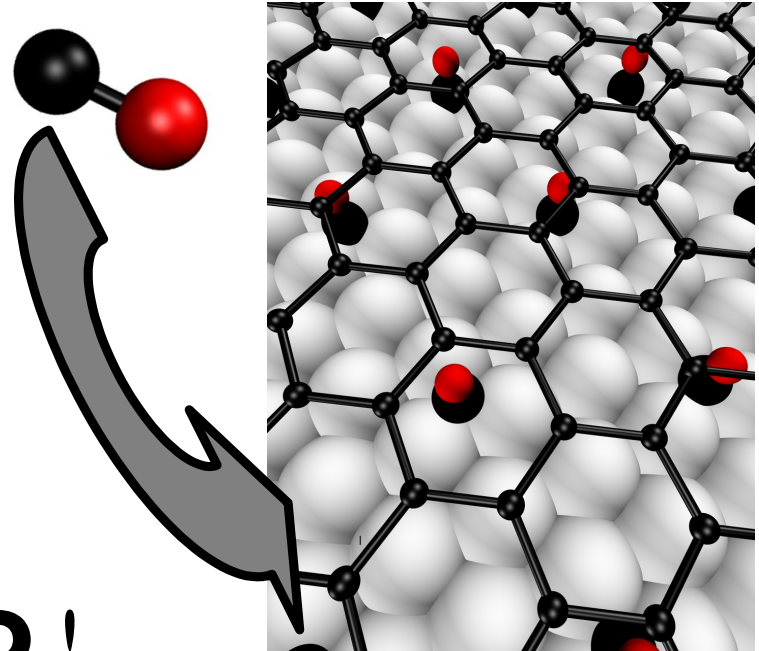


Esperimento (E.Vesselli et al.)

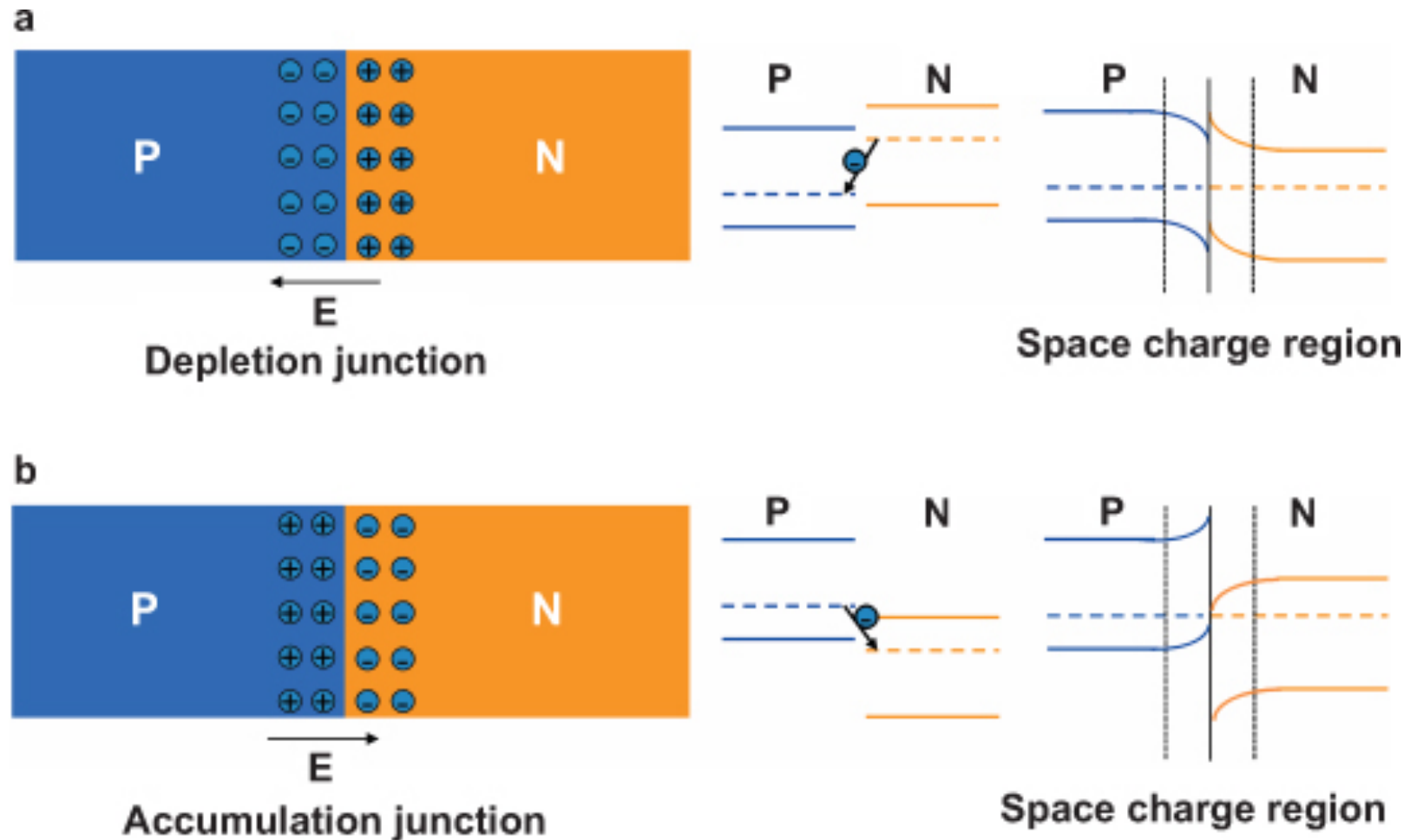
Sfruttare le interfacce - I

Grafene su Nichel(111):

A seconda di quanto CO
viene intercalate all'interfaccia,
il grafene si stacca o meno =>
conduce o meno =>
potenziale **sensore per la CO** !



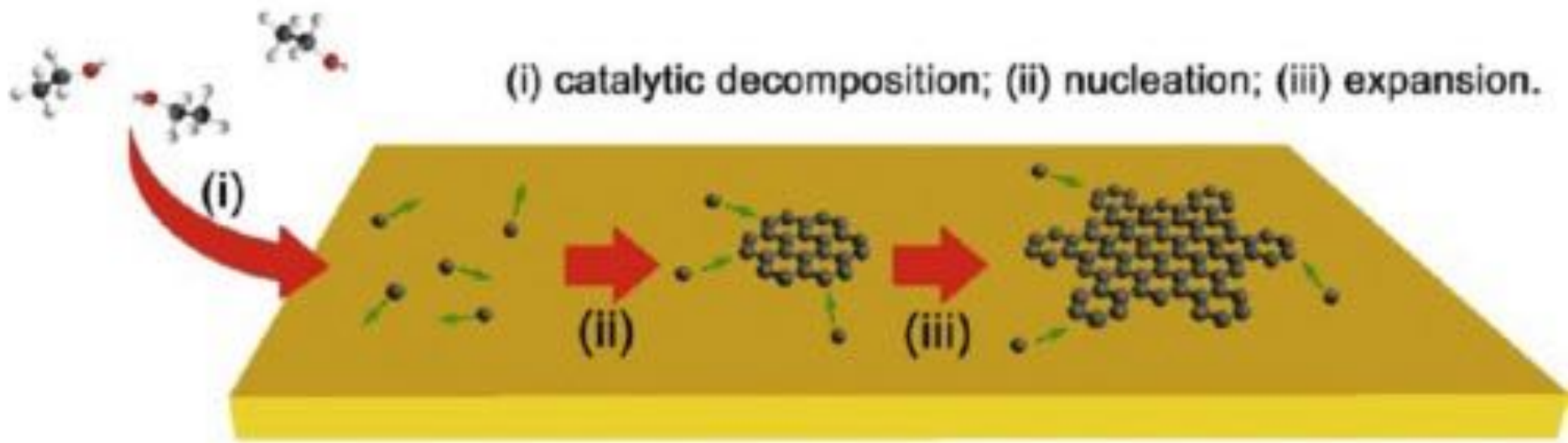
Sfruttare le interfacce - 2



alla base di [dispositivi a semiconduttore](#) quali il [diodo a giunzione](#), il [transistor](#), il [LED](#) e la [cella solare](#)

Vari metodi di crescita di nanomateriali;
ad es. per il grafene:

- chimici (grafite ossidata in soluzione, seguita da esfoliazione meccanica...)
- *chemical vapor deposition* (CVD)



Un collo di bottiglia:

La produzione **su vasta scala** di materiali privi di difetti

Credits:

*molte immagini di questa presentazione sono state prese da siti web, di cui però non sempre son stati riportati i riferimenti.
Agli autori dell'immagine originale va sempre attribuito il merito.*