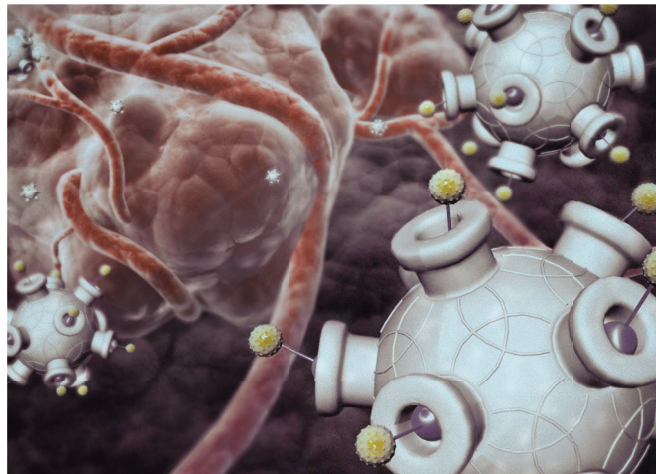


## PaGEs 3

Nanoparticelle metalliche e  
liposomi nella nanomedicina



“nano” significa “miliardesimo”

**Miliardi di  
nanometri**



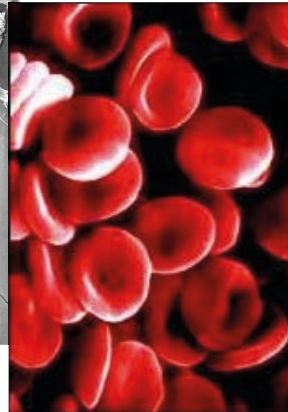
**Milioni di  
nanometri**



**Migliaia di  
nanometri**



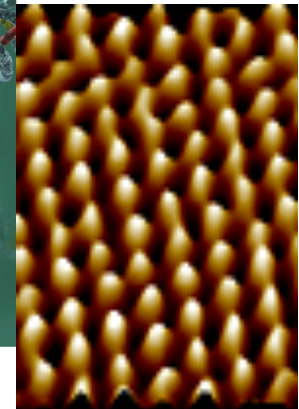
**Poche  
Migliaia di  
nanometri**



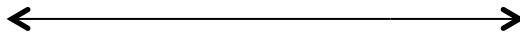
**2 nanometri**



**Frazioni di  
nanometro**



**Nanosistemi**



**0.1  
nanometri**

**1**

**10**

**100**

**1000**

**10000**

**100000**

Glucosio

Anticorpo

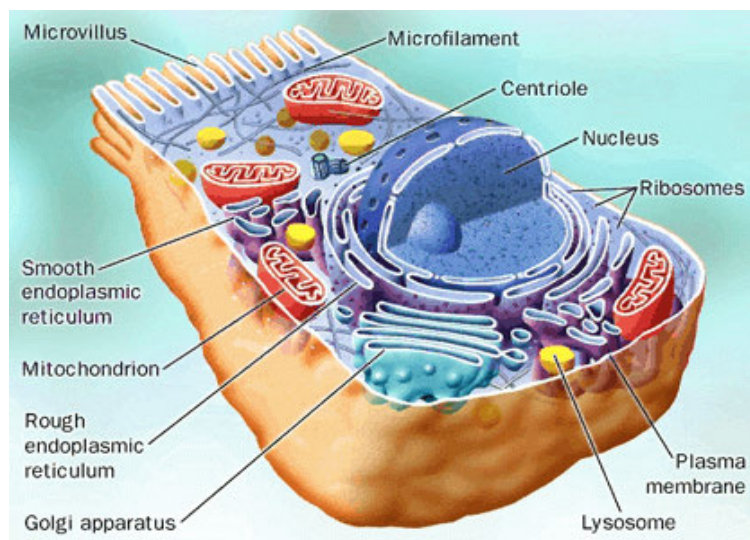
Virus

Globulo rosso

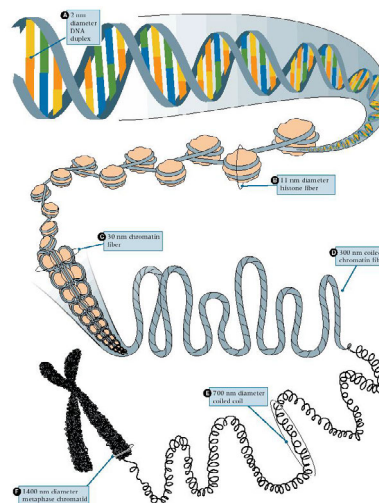
Diametro di un capello

# Cosa fanno le nanotecnologie

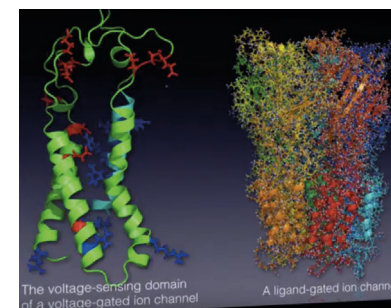
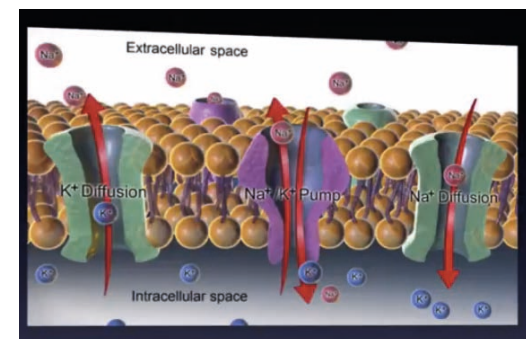
Le nanotecnologie offrono i mezzi e le tecnologie per la realizzazione di sistemi nano-strutturati sintetici e per lo studio delle proprietà dei sistemi nanometrici, cercando di imitare i sistemi naturali, che sono altamente organizzati, efficienti e funzionali



Cellula animale

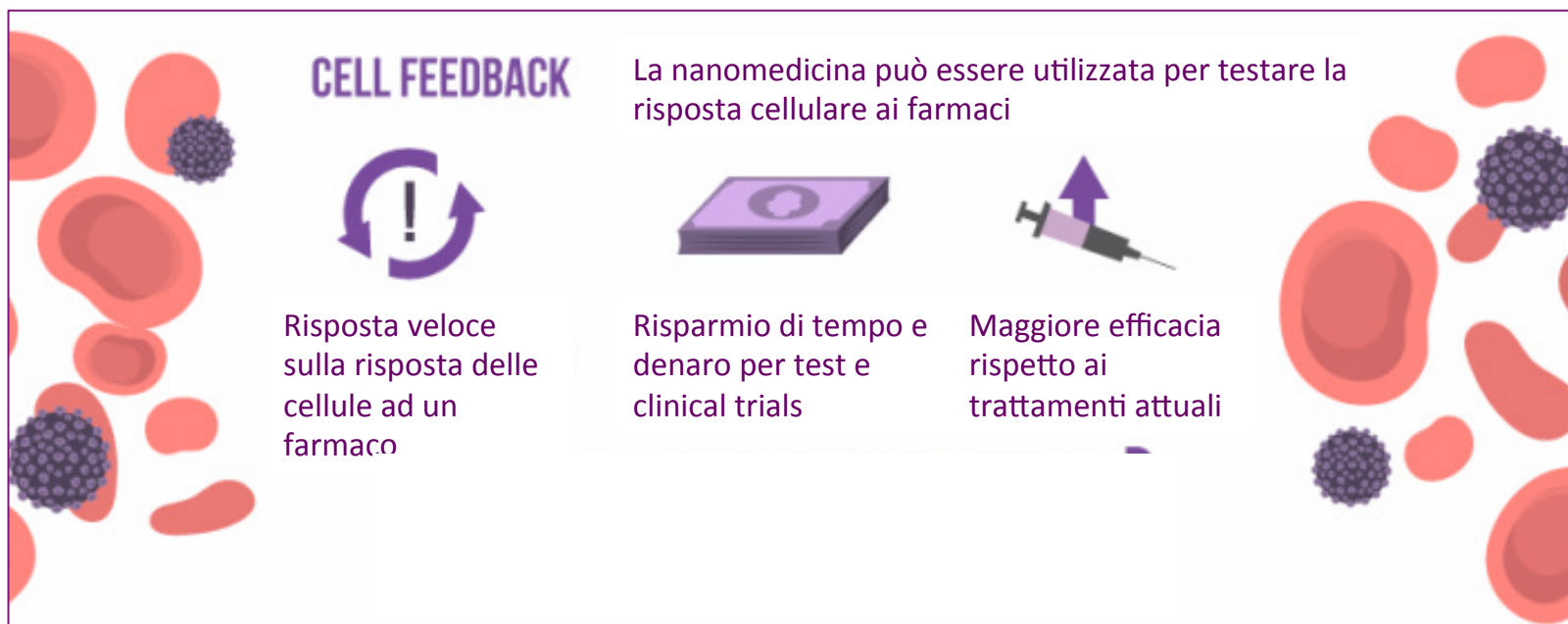


DNA e cromatina



Membrana cellulare

# Le promesse della nanomedicina



## VANTAGGI DELLA NANOMEDICINA



Diagnosi più rapida di molte malattie



Trattamento più preciso di condizioni quali il cancro



Riparazione dei tessuti anche all'interno del corpo

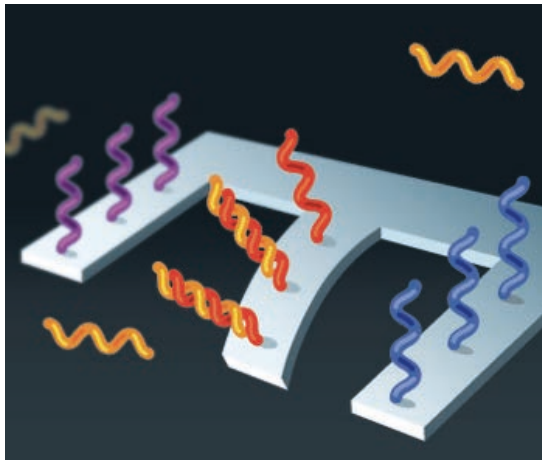
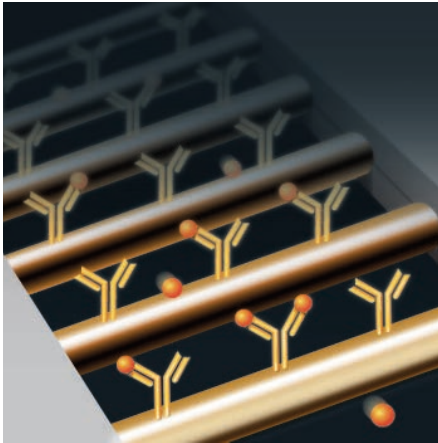


Mirata solo a organi malati senza intaccare i tessuti sani

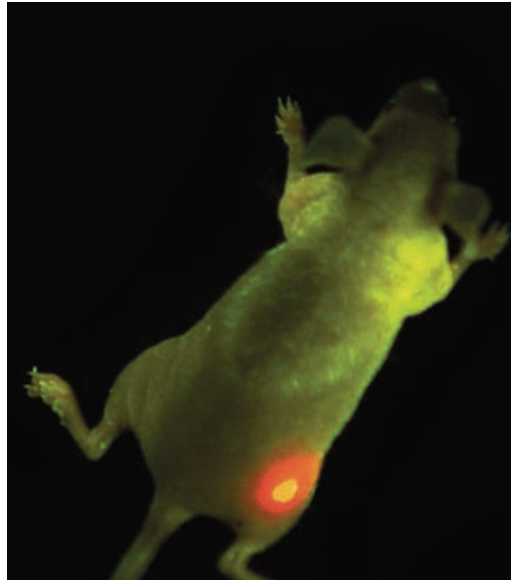


# Nanotecnologie e medicina

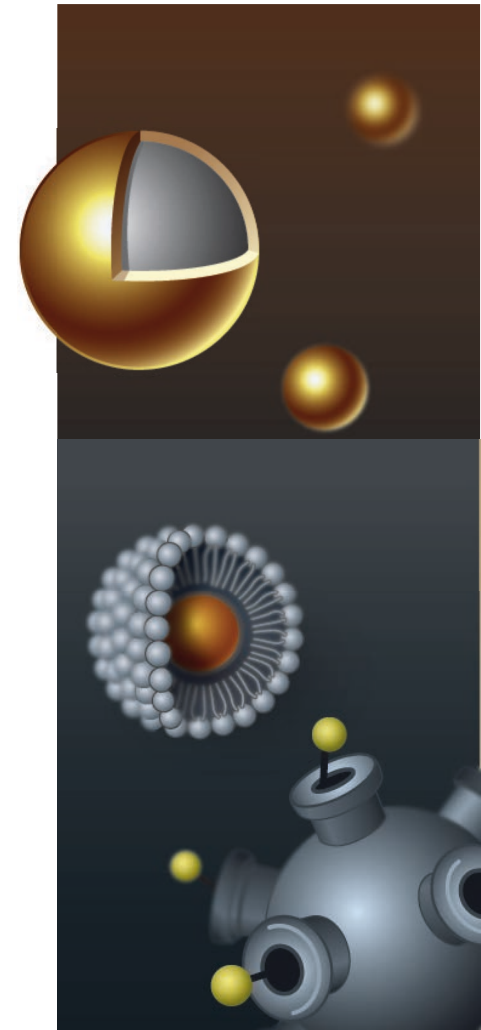
## Nanosensori



## Diagnostica per immagini



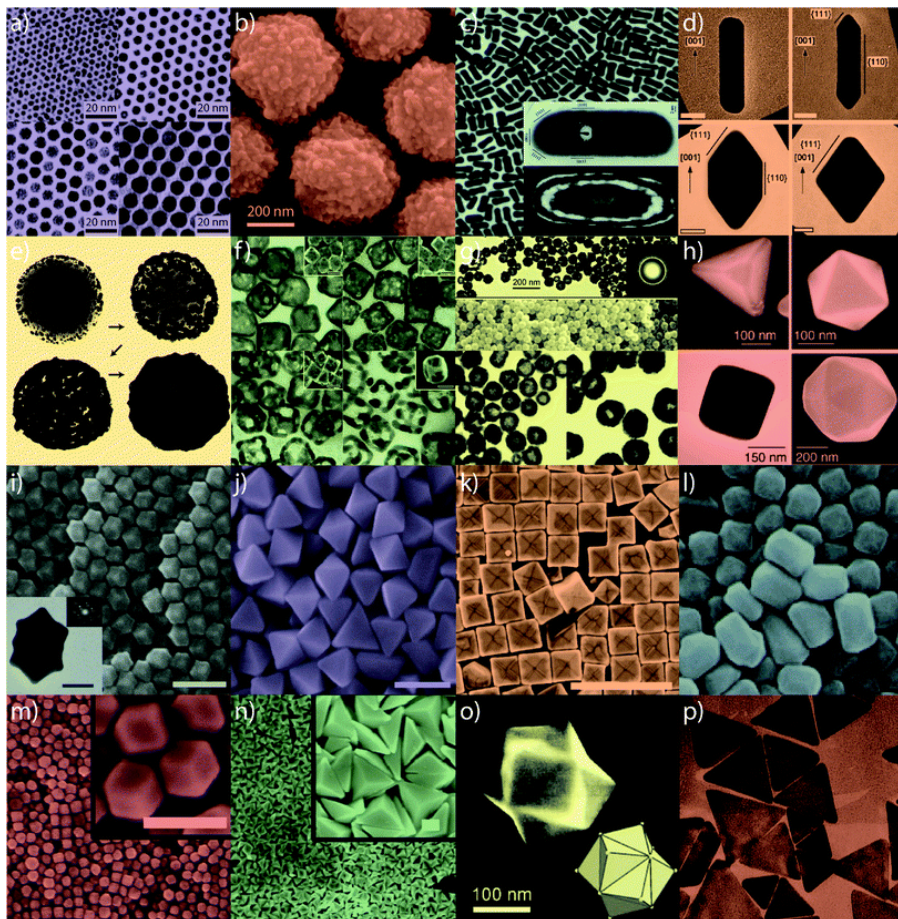
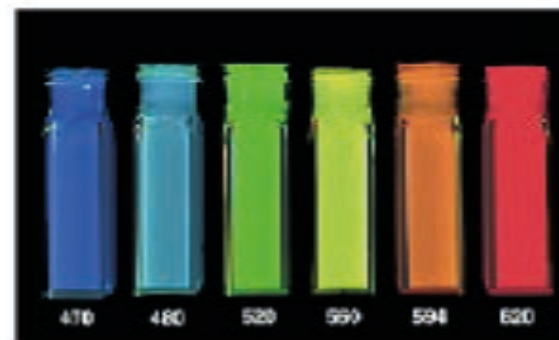
## Drug delivery



# Le promesse della nanomedicina

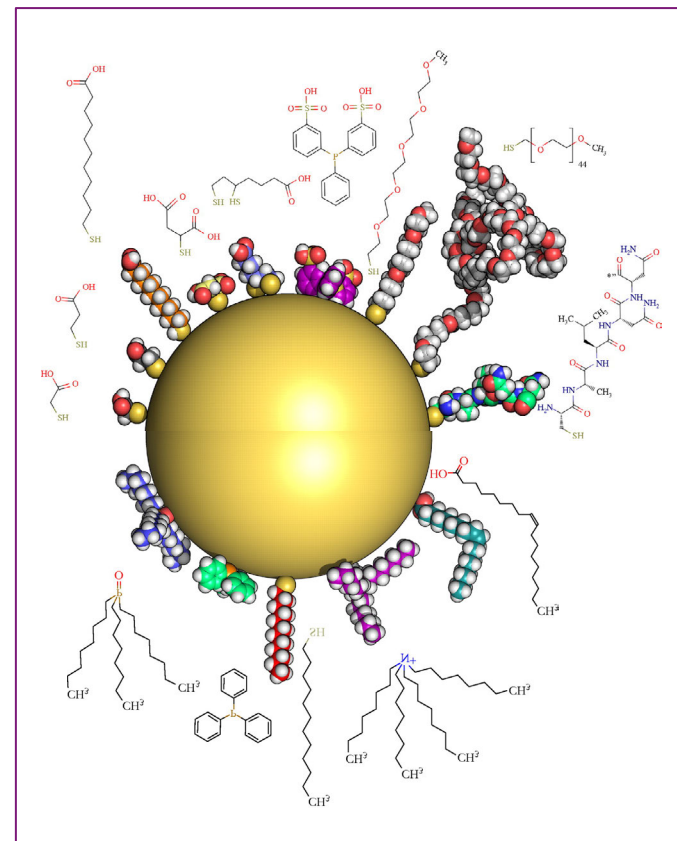
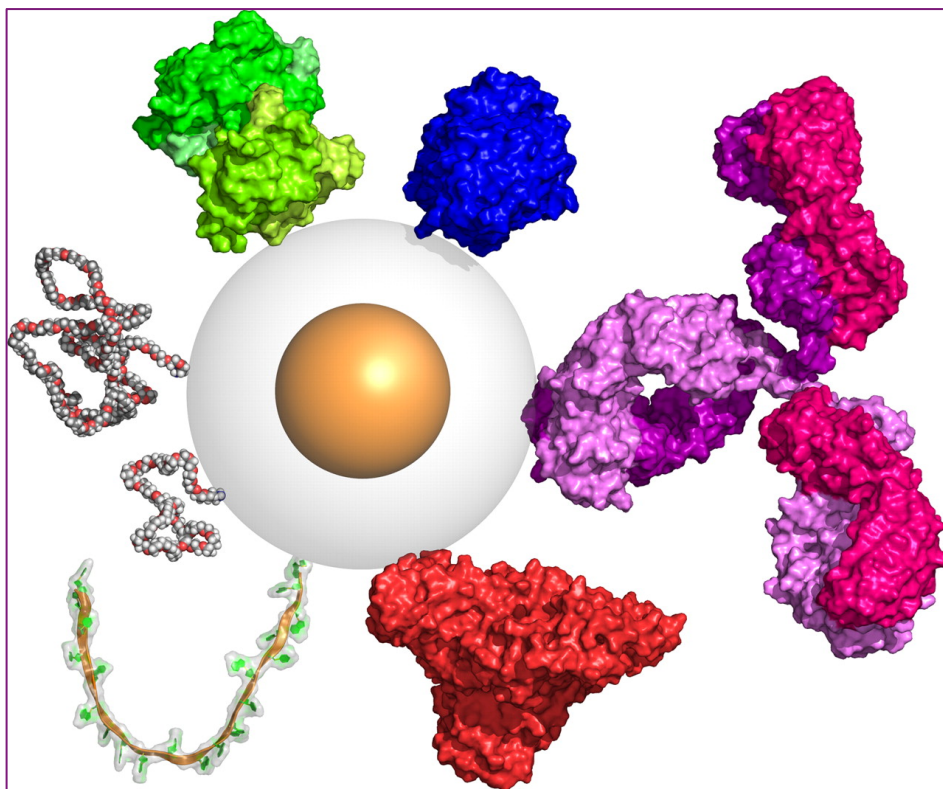
## Nanoparticelle d'oro

assorbono luce in maniera dipendente dalle dimensioni, cioè dal numero di atomi che contengono, risultando di colori diversi



# Le promesse della nanomedicina

## Nanoparticelle d'oro: proteine artificiali

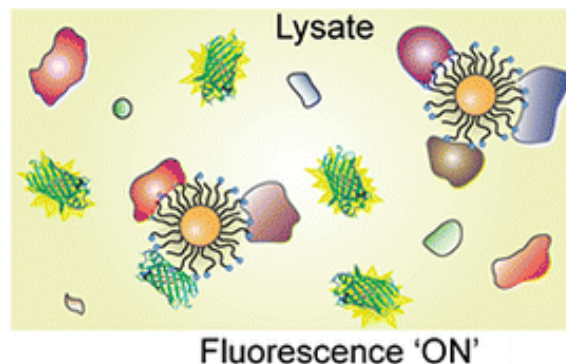
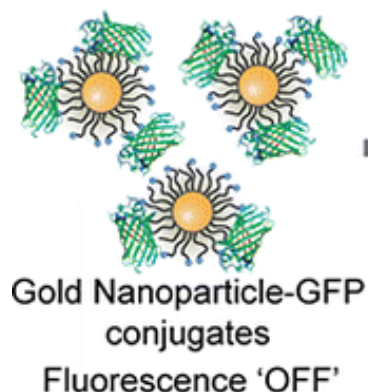


<https://oggiscienza.it/2017/07/14/nanoparticelle-sintetiche-proteine-iit-medicina-personalizzata/>

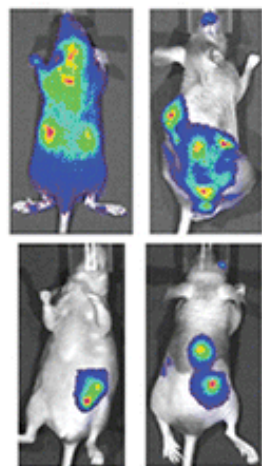


# Le promesse della nanomedicina

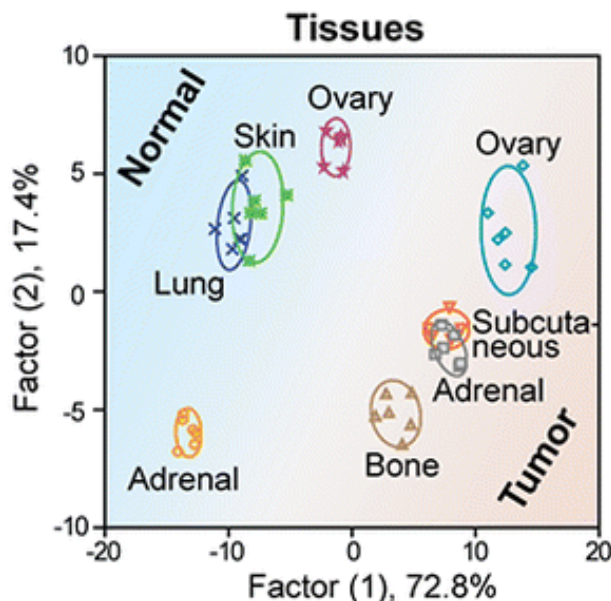
## Nanoparticelle d'oro e imaging



Alle Nanoparticelle d'oro possono essere **legate** in superficie **molecole** capaci di legare proteine **per marcare un tumore**



Generation of metastases



Illuminando con luce visibile il paziente, si vede dove le particelle si localizzano e si identifica la zona del tumore

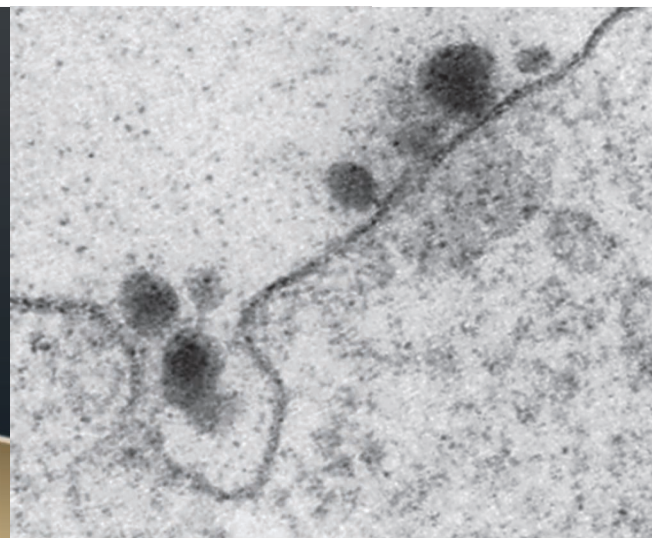


# Le promesse della nanomedicina

## Nanoparticelle d'oro per il rilascio controllato di farmaci (drug delivery)

### TARGETING ATTIVO DI TUMORI

I recettori di superficie di una cellula tumorale si legano alla proteina sulla nanoparticella facilitandone l'internalizzazione per endocitosi



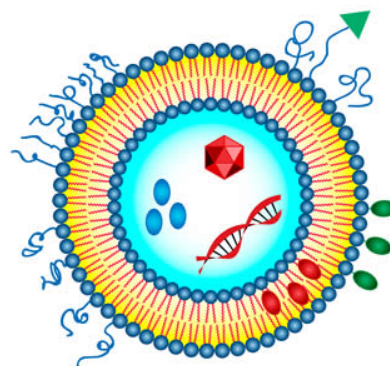
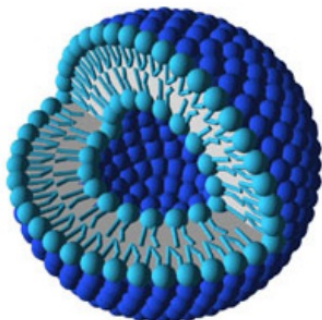
### RILASCIO CONTROLLATO

Una volta all'interno della cellula un sensore chimico all'interno della nanoparticella risponde al basso pH all'interno della cavità endocitotica causando il disassemblaggio della nanoparticella e il rilascio del farmaco che può inibire la crescita della cellula tumorale

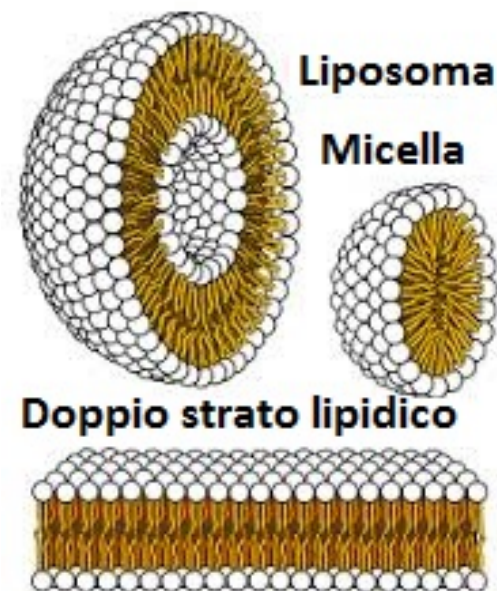


# Le promesse della nanomedicina

Altri sistemi “nano” per il drug delivery:  
i liposomi



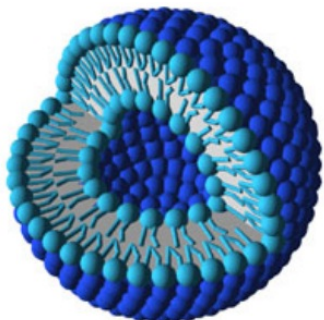
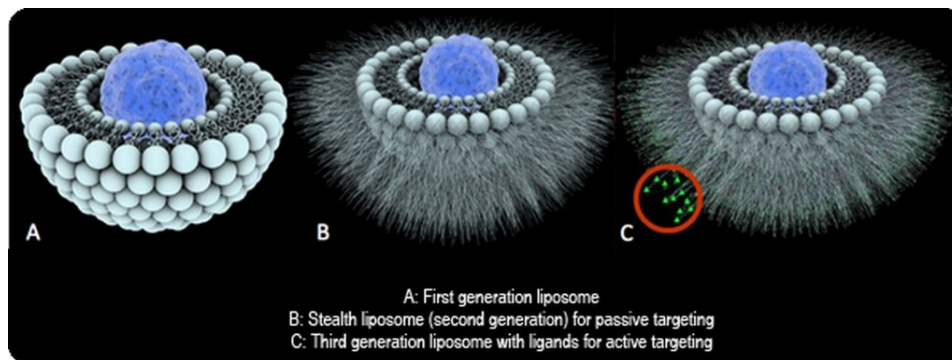
- |                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| Glicole polietilenico | Farmaco idrofilico              |
| Ligando               | Farmaco cristallino             |
| DNA/RNA/siRNA         | Farmaco idrofobo                |
| Fosfolipide           | Farmaco coniugato di superficie |



<https://www.tomshw.it/liposomi-cura-cancro-ottenere-farmaci-mirati-84333>

# Le promesse della nanomedicina

I liposomi artificiali sono spesso instabili. Per stabilizzarli si “funzionalizzano” ad esempio per renderli invisibili al sistema immunitario (vero anche per le NP)



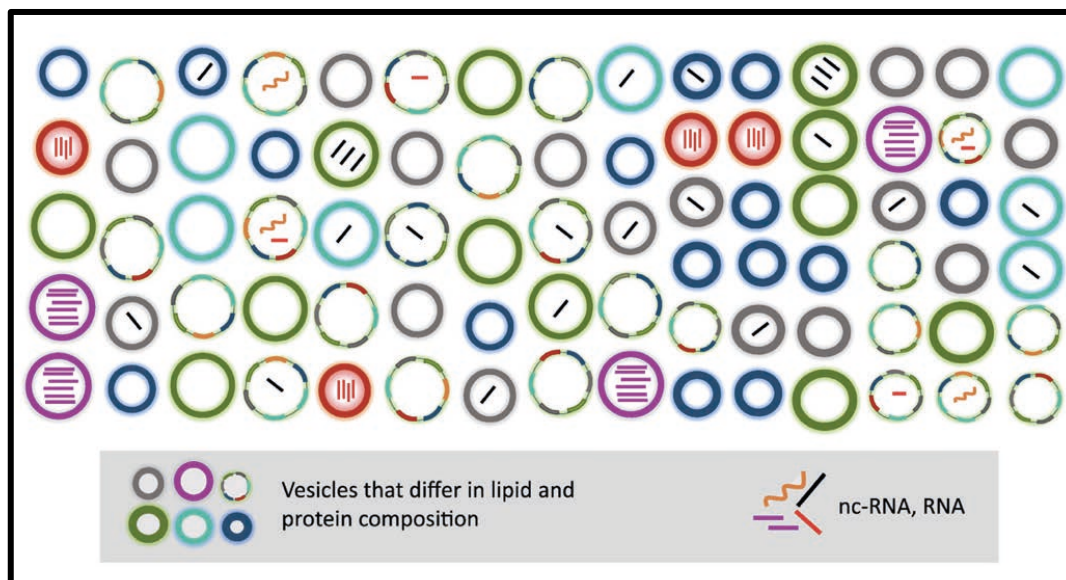
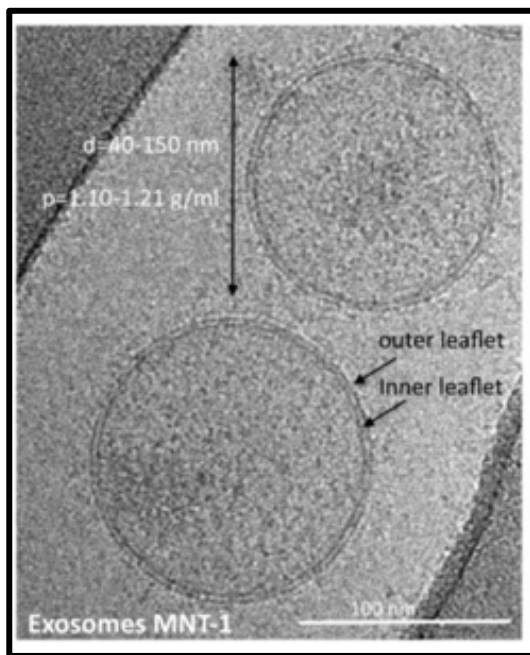
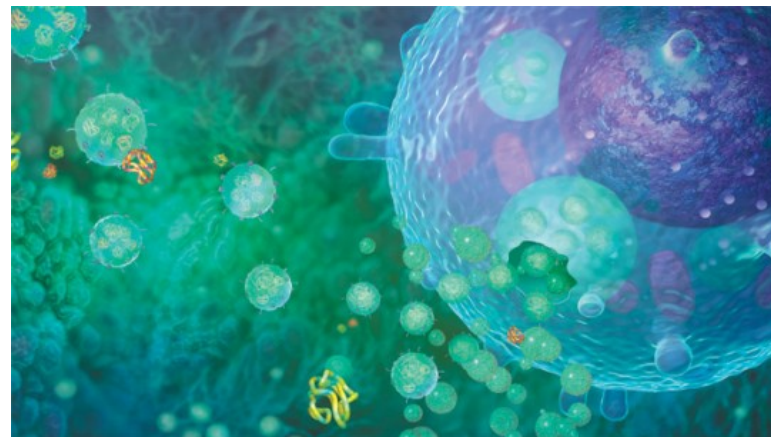
<https://www.tomshw.it/liposomi-cura-cancro-ottenere-farmaci-mirati-84333>



# Le promesse della nanomedicina

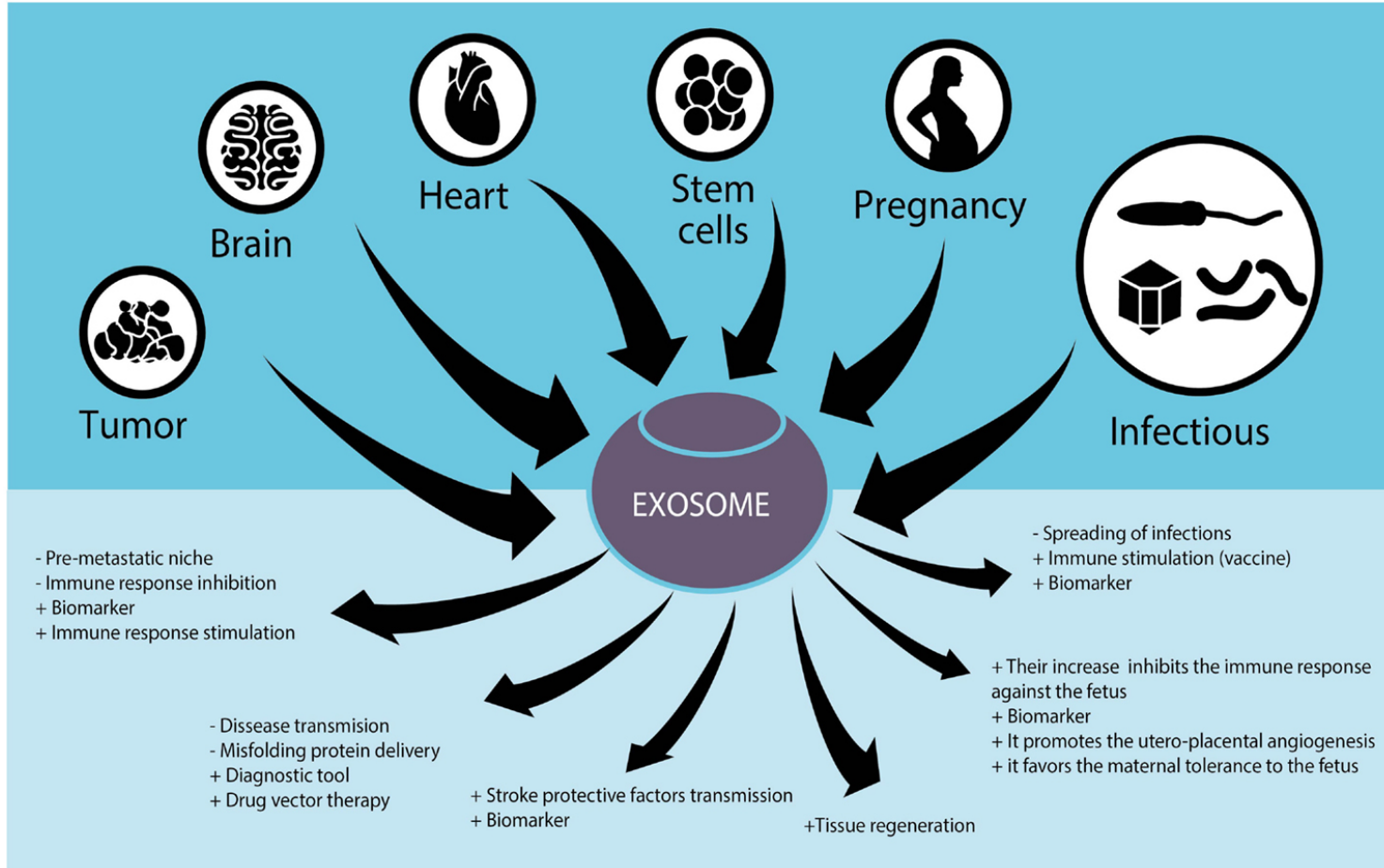
## Esosomi

Esiste una famiglia di liposomi naturali, di dimensioni “nano” (tra 20 e 200 nm) chiamati **ESOSOMI** che sfugge al sistema immunitario e che ha un ruolo fondamentale nello scambio di molecole tra cellule nel corpo



# Le promesse della nanomedicina

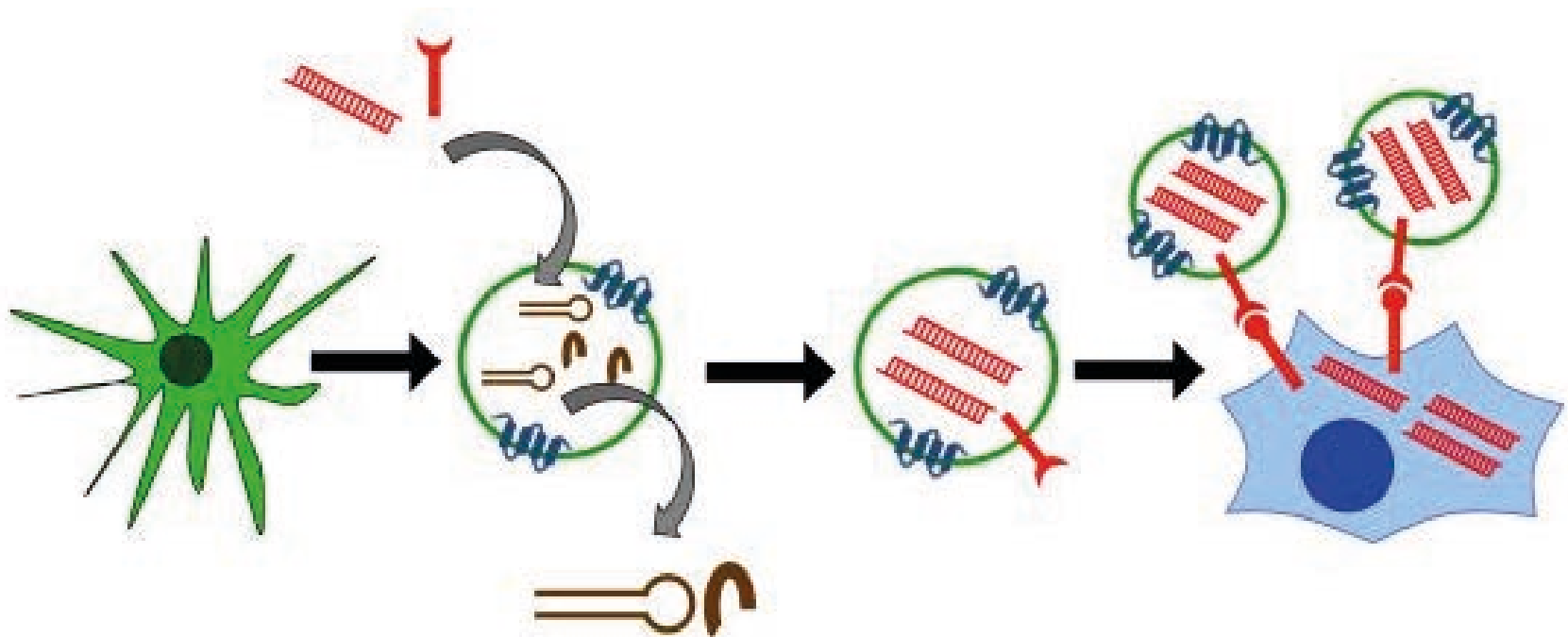
## Esosomi



# Le promesse della nanomedicina

## Esosomi

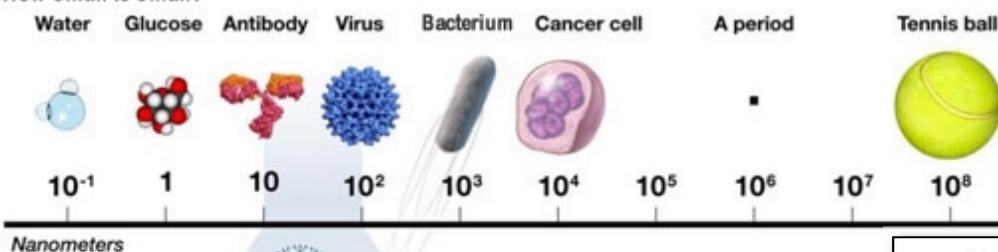
EXOCURE: gli esosomi come veicolo di molecole “farmaco”



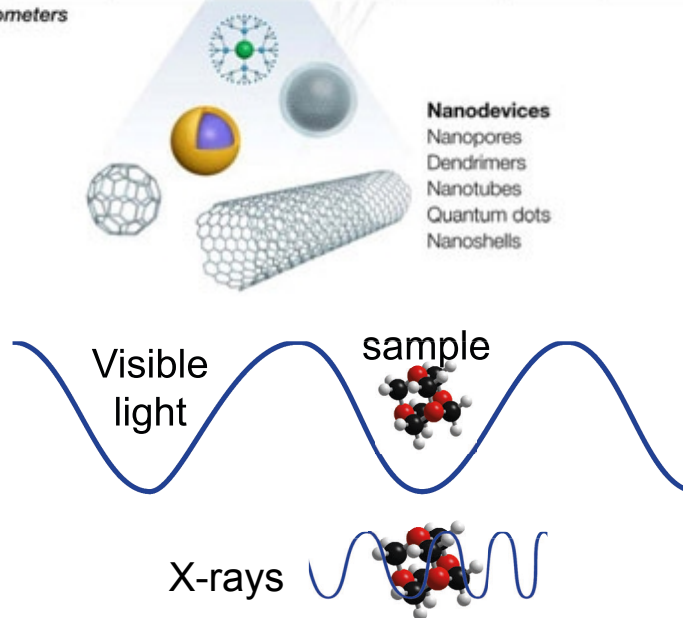


# Liposomi, esosomi e nanoparticelle a ELETTRA

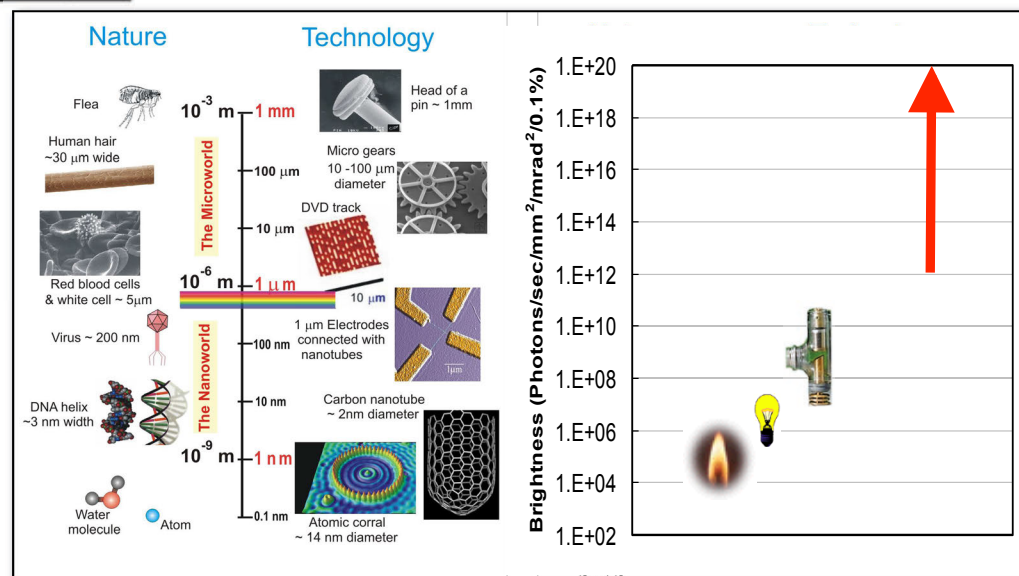
How Small Is Small?



L'importanza della lunghezza d'onda



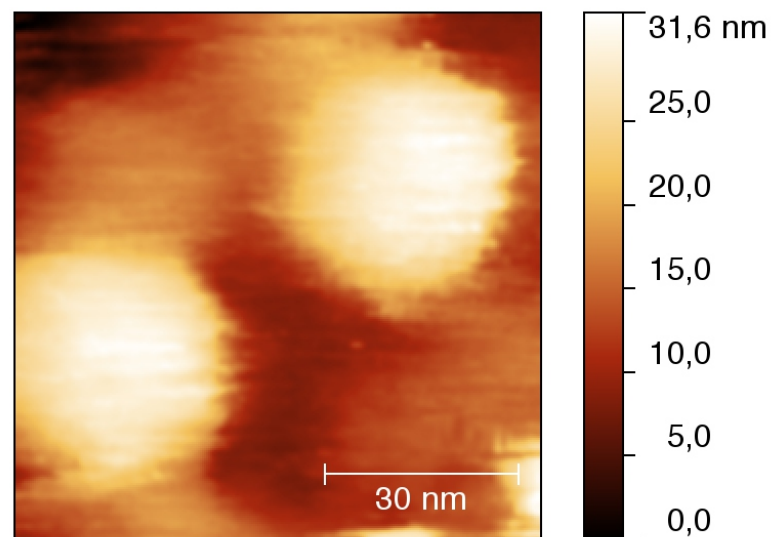
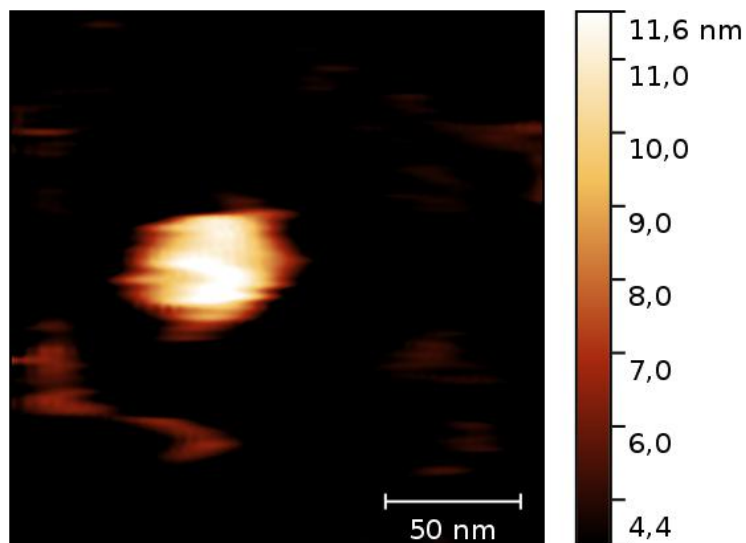
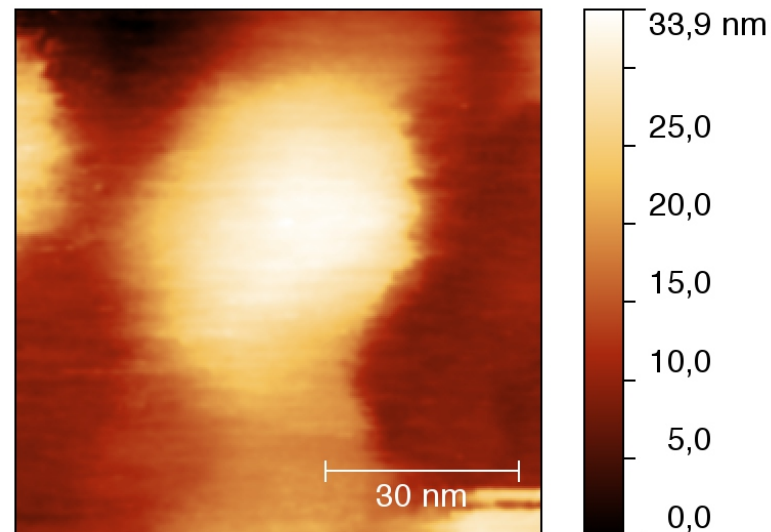
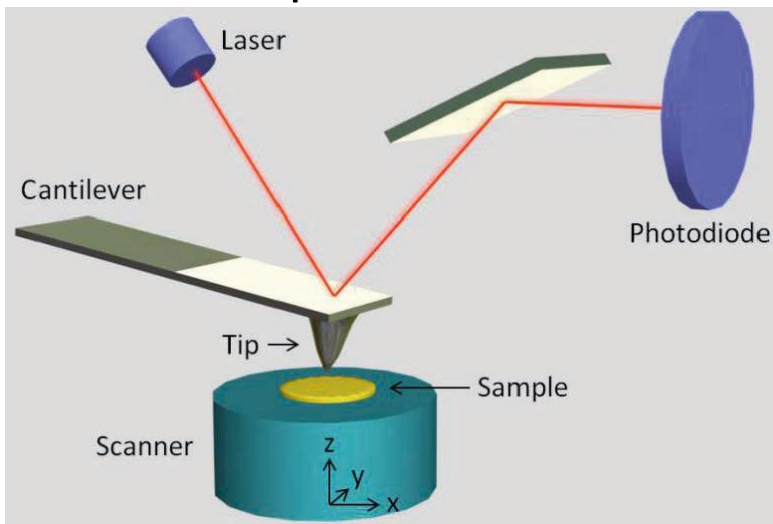
**Nanodevices**  
Nanopores  
Dendrimers  
Nanotubes  
Quantum dots  
Nanoshells



Per visualizzare un oggetto abbiamo bisogno di lunghezze d'onda simili o minori delle dimensioni dell'oggetto stesso

# Liposomi, esosomi e nanoparticelle a ELETTRA

## Microscopia a forza atomica

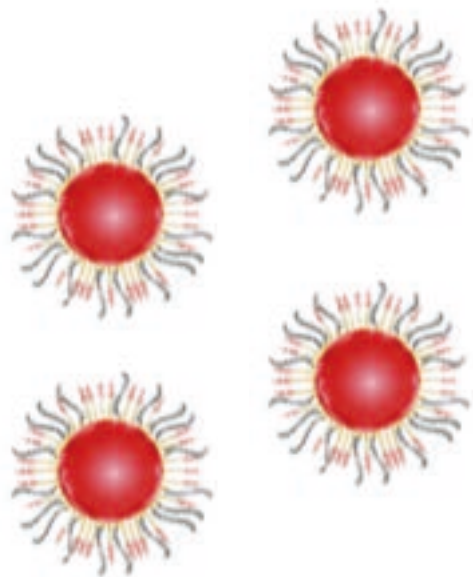


## PaGES3 Evento 4

Nei laboratori di Basovizza, I ragazzi (divisi in gruppi) si cimenteranno con due tipologie di esperimenti (a rotazione):

- Caratterizzazione di **nanoparticelle d'oro** (stabilità in soluzioni saline, aggregazione, determinazione della dimensione dalle proprietà di **assorbimento**)
- Produzione di **liposomi** a partire dalle componenti lipidiche
- Caratterizzazione dei liposomi prodotti con **spettroscopia infrarossa**
- Nel caso delle particelle, tenteremo anche un esperimento di **funzionalizzazione con molecole di DNA** e aggregazione controllata



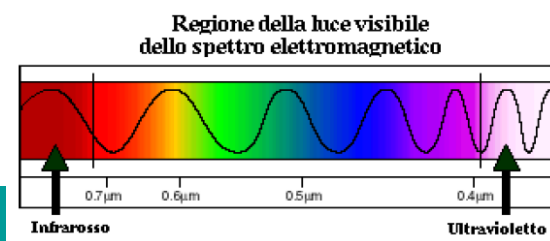
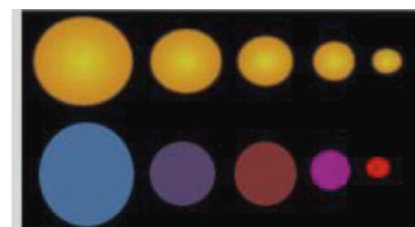
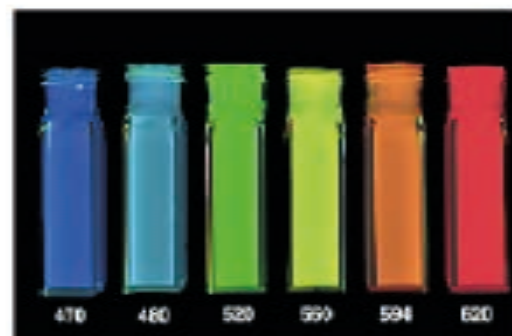
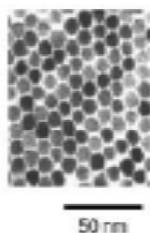
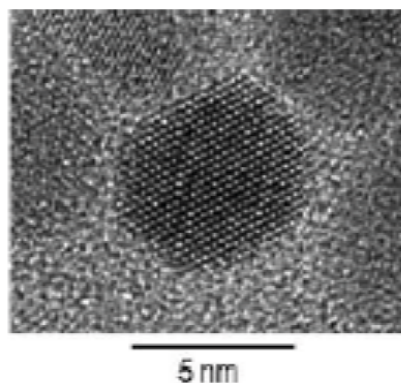


**Le proprietà fisico-chimiche delle  
Nanoparticelle metalliche e il loro utilizzo  
in biotecnologia**

# Nanoparticelle d'oro

Perche' i nanomateriali hanno proprietà così sorprendenti?

Le **nanoparticelle** di semiconduttori (es: ZnS, CdSe) o di metallo (es: Au, Ag) costituite da poche migliaia di atomi (2-10 nm dia, a 50 nm hanno già qualche milione di atomi!) assorbono ed emettono luce il cui colore dipende dalle dimensioni, cioè dal numero di atomi che contengono.



## Nanoparticelle d'oro



La coppa di Licurgo (romana, IV sec dc)



# Nanoparticelle d'oro



## There's Plenty of Room at the Bottom

Richard Feynman, 1959

..... Quando nel 2000 la gente guarderà indietro, si chiederà perché si sia arrivati al 1960 prima di muoversi seriamente in questa direzione. Ma non mi spaventa affrontare anche la questione finale, cioè se - in un lontano futuro - potremo sistemare gli atomi nel modo in cui vogliamo; proprio i singoli atomi, al fondo della scala! .....

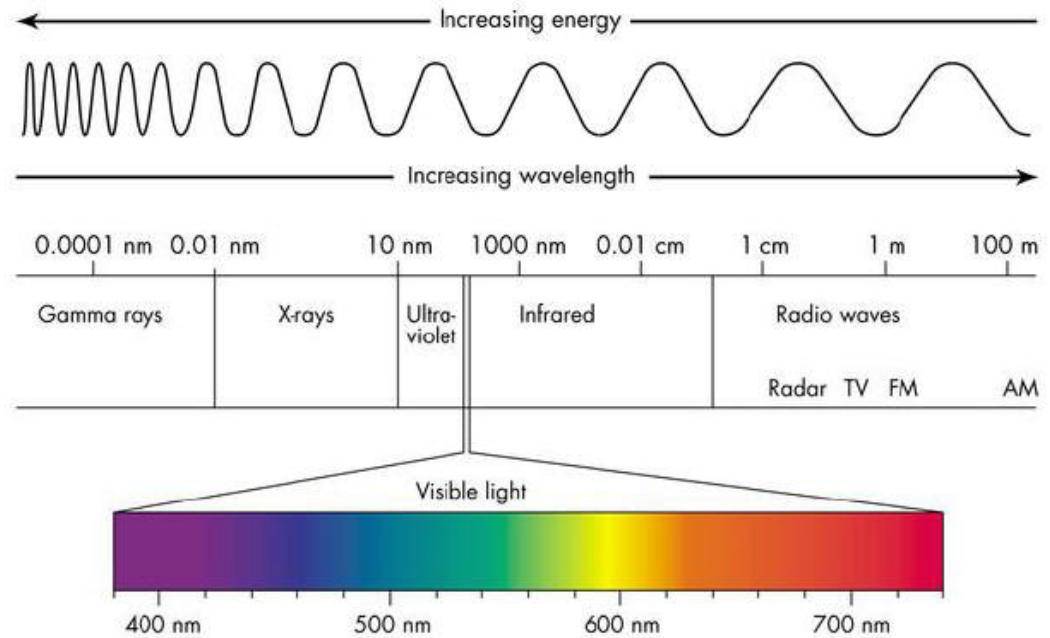
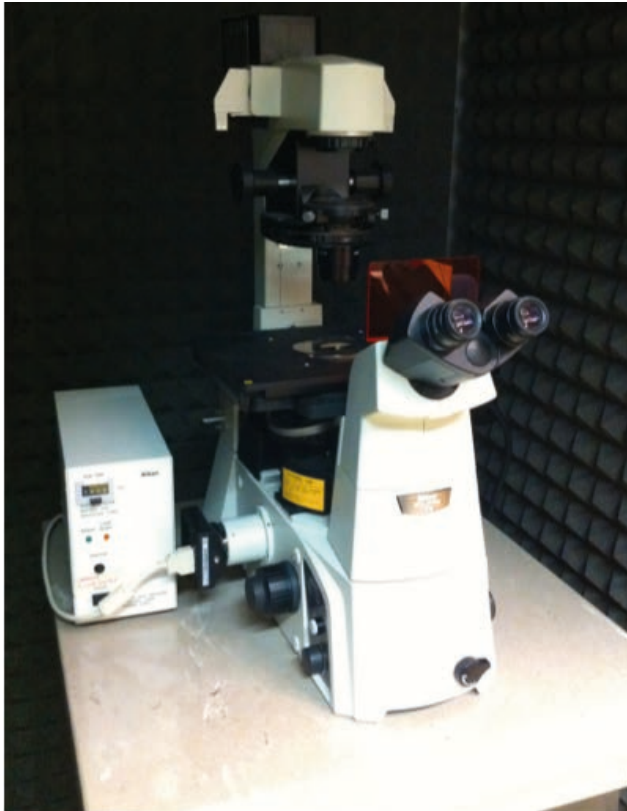
# Nanoparticelle d'oro

Perche' abbiamo dovuto aspettare fino agli anni '90 per poter fare cose del genere?

- Perche' il **microscopio ottico** (quello con le lenti e la luce) e' quasi cieco sotto il millesimo di millimetro.

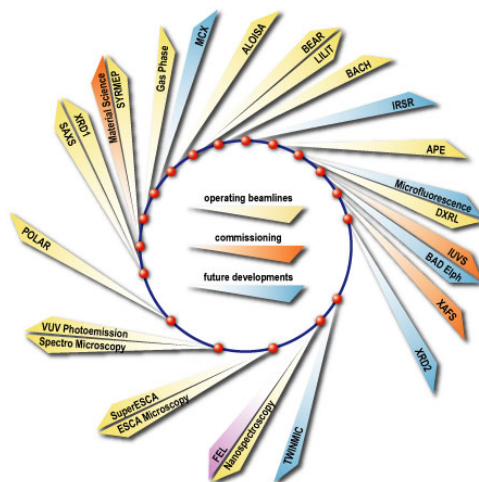
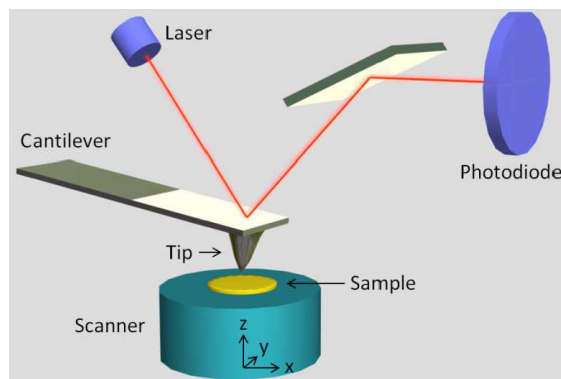
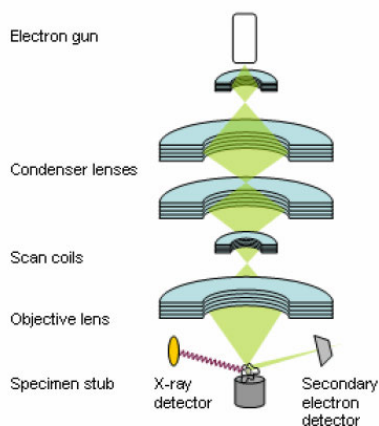
Questo perche' la luce visibile e' fatta di onde che hanno una dimensione non troppo piccola (circa appunto un millesimo di millimetro) e perche' se si guarda qualcosa usando una sonda che e' piu' grande di quel qualcosa e' chiaro che quel qualcosa non lo si puo' vedere.

# Nanoparticelle d'oro



# Nanoparticelle d'oro

E allora come si fa a vedere le cose quando sono nano?



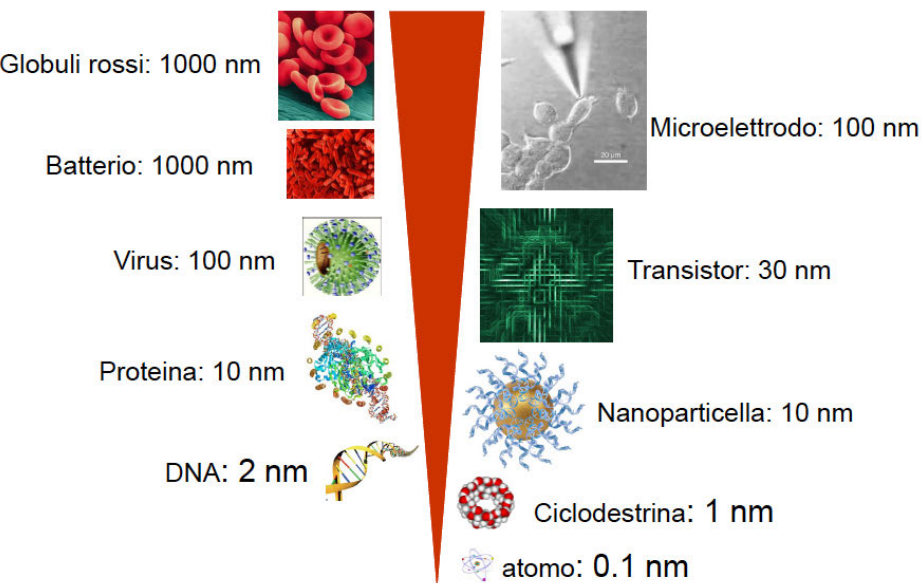
Si usano nuovi strumenti:

- Microscopio Elettronico
- Microscopio a Effetto Tunnel
- Microscopio a Forza Atomica
- Microscopi a Raggi X

il **microscopio a forza atomica**, inventato in Svizzera nel laboratorio della IBM a Zurigo nel 1984/87, osserva gli oggetti tastandoli, “alla cieca”, cioè come fa una persona quando si trova al buio, con un “nanodito”.



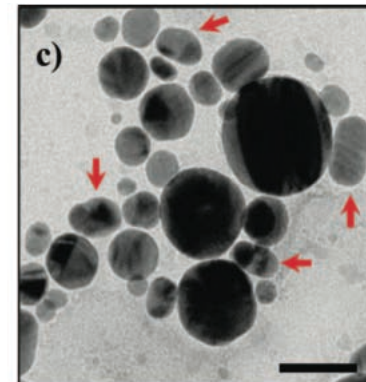
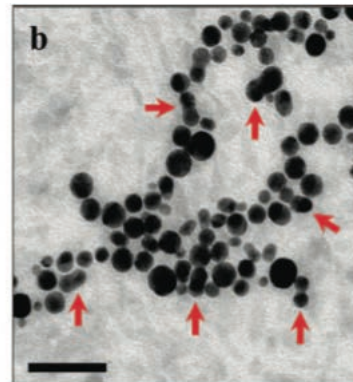
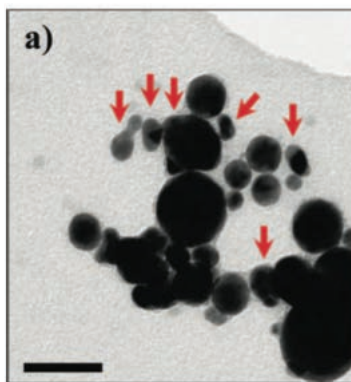
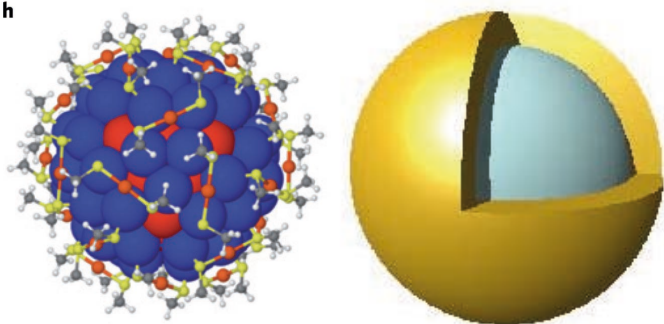
# Nanoparticelle d'oro



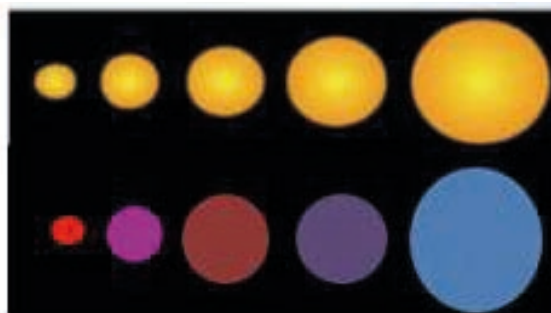
Le nanoparticelle (NP) hanno dimensioni tra 1 nm e qualche centinaio di nm.

Possono essere metalliche (Au, Ag, Pt, Pd) semiconduttori (Si, SeCd, ZnS) oppure le cosiddette core-shell NP (ad esempio Ag\FeO \ZnO, Ag\FeO, Cs\CdSe).

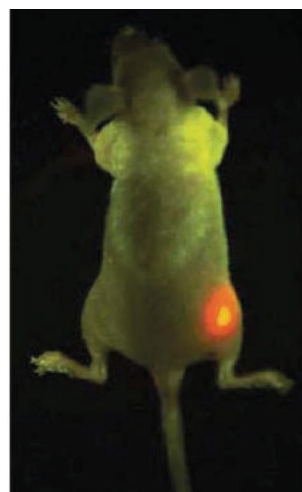
h



# Nanoparticelle d'oro

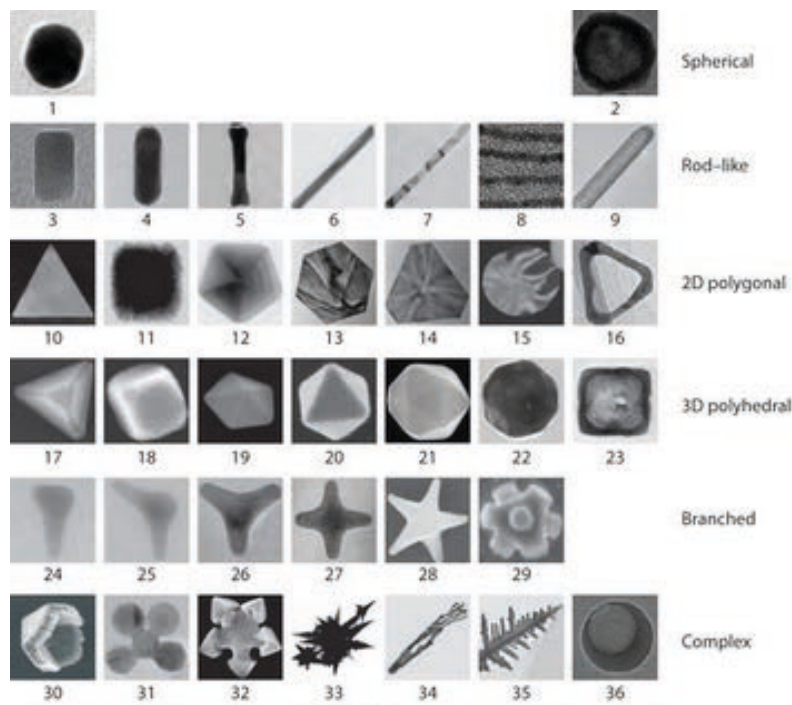


Le NP sono solubili. A seconda delle loro dimensioni, assorbono luce di colore diverso. Le **particelle più piccole** (pochi nm) **assorbono nel blu**, le **più grandi** (100 nm) **nel rosso**.



Grazie a questa proprietà (di natura quantistica, legata al piccolo numero di atomi in gioco), le NP possono essere usate per esempio come “**sonde ottiche**” : si vanno a legare chimicamente a molecole che possono interagire nel corpo con specifiche proteine/ recettori, per localizzare queste zone.

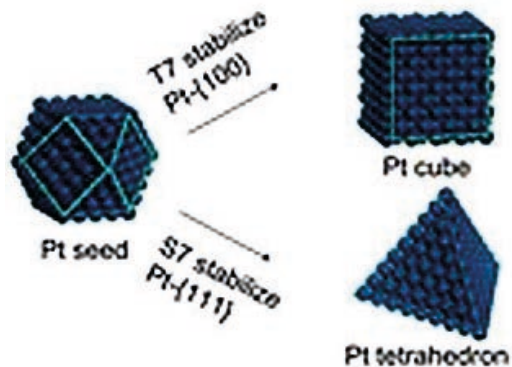
# Nanoparticelle d'oro



Le proprietà ottiche delle NP dipendono da:

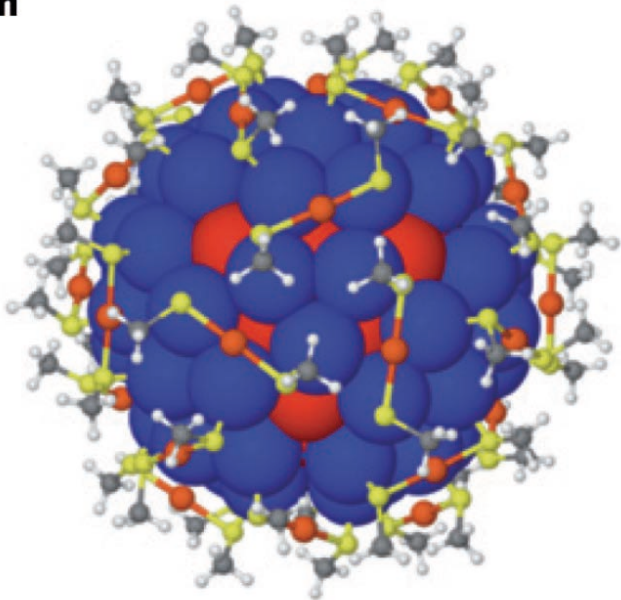
- materiale
- dimensioni
- forma

È possibile sintetizzare particelle per esempio metalliche di dimensione e forma prestabilite, e controllare così le loro proprietà ottiche.



# Nanoparticelle d'oro

h



Un'altra caratteristica dei nanomateriali è il grande rapporto superficie/volume.

Una NP di oro di **10 nm** di raggio, ad esempio, contiene circa 220000 atomi d'oro di cui circa **1/3** in superficie.

Una particella macroscopica di **100 micron**, invece, ha circa  $S/V$   **$1/10^4$** .

A parità di unità di volume ci sono più atomi in superficie che partecipano alle possibili reazioni del nanomateriale, rendendo il processo più efficiente.

Elevato rapporto superficie/volume → Tensione superficiale

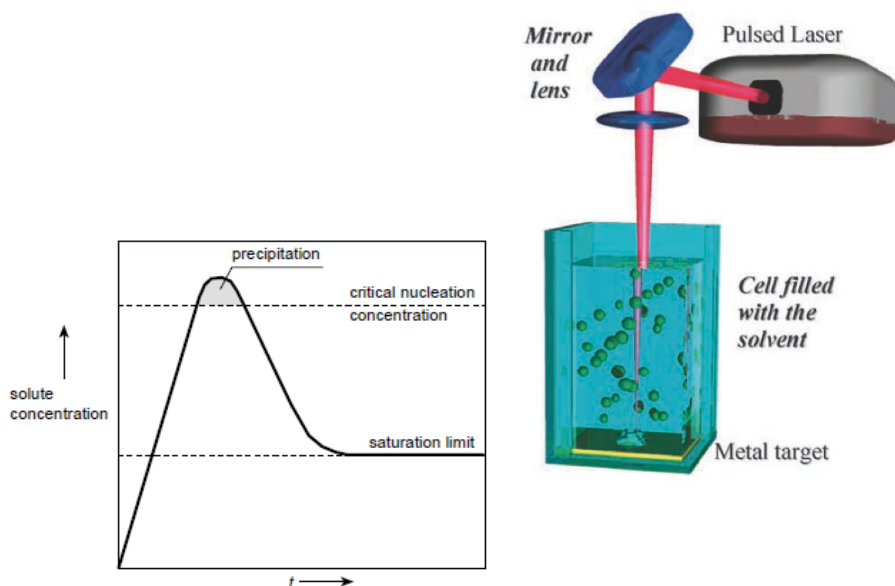
Tendenza all'aggregazione

raggio atomico Au, nm  
0,144 <sup>(56)</sup>

volume atomo di Au, nm<sup>3</sup>  
0,0125



# Nanoparticelle d'oro



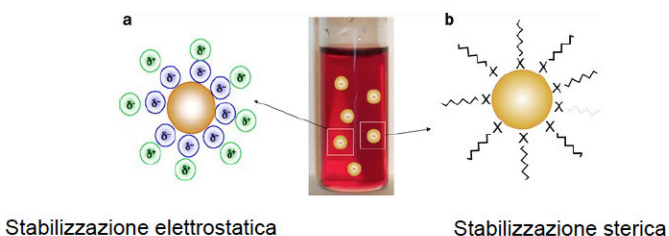
Come si producono le NP metalliche:

- Top-Down

Laser Ablation

- Bottom-Up

Sintesi chimica: si tratta di fare nucleare particelle d'oro colloidali a partire da sali d'oro (es:  $\text{HAuCl}_4$ ) e agenti riducenti come citrati. Le AuNP prodotte hanno grande tensione di superficie che le fa aggregare. Si riduce stabilizzandole con molecole come tioli, ammine, polimeri o per via elettrostatica



<https://www.youtube.com/watch?v=kOy0yuWpUzU>

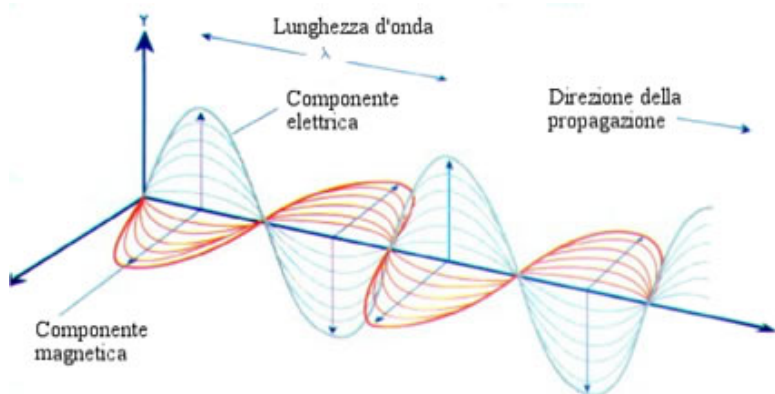
# Nanoparticelle d'oro

Come mai le AuNP assorbono a determinate lunghezze d'onda della luce visibile?

Secondo il modello di Drude, gli elettroni di valenza di un metallo si muovono nel metallo come un gas di elettroni liberi. “Urtano” contro gli ioni e raggiungono l’equilibrio termico con una velocità media che dipende dalla temperatura.

Applicando un campo elettrico, tutti gli elettroni di valenza del metallo si muovono in fase, in risposta al campo stesso, facendo un’oscillazione “collettiva” con una frequenza detta “frequenza di plasma”, che dipende dalla densità degli elettroni di valenza del materiale,  $N_e$ .

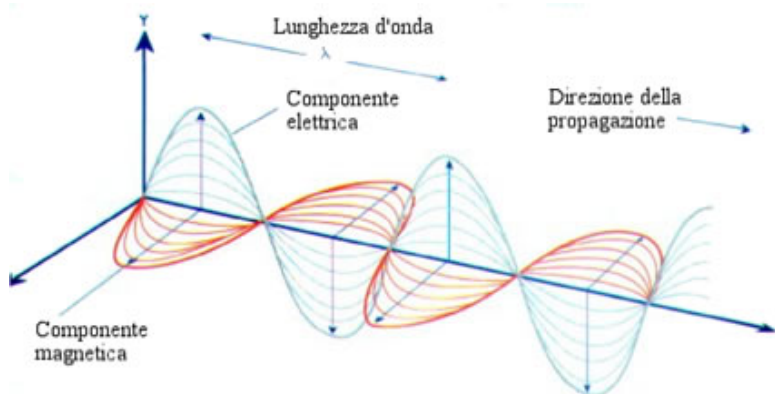
$$\omega_p = (N_e e^2 / \epsilon_0 m_e)^{1/2}$$



# Nanoparticelle d'oro

Come mai le AuNP assorbono a determinate lunghezze d'onda della luce visibile?

Si può vedere come il moto di una massa che risente di una forza elastica di richiamo, dovuta agli ioni. Come tale, ha una frequenza di risonanza, la frequenza plasmonica per l'appunto.



# Nanoparticelle d'oro

Come mai le AuNP assorbono a determinate lunghezze d'onda della luce visibile?

Il campo elettromagnetico si propaga quindi nel metallo alla frequenza di plasma. Nel caso dell'oro, questa cade nel viola. Assorbendo nel viola, ci appare giallo.

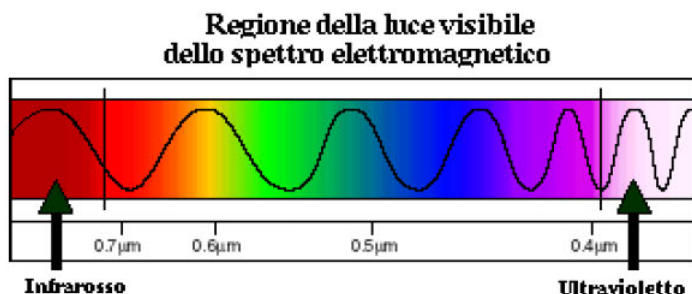
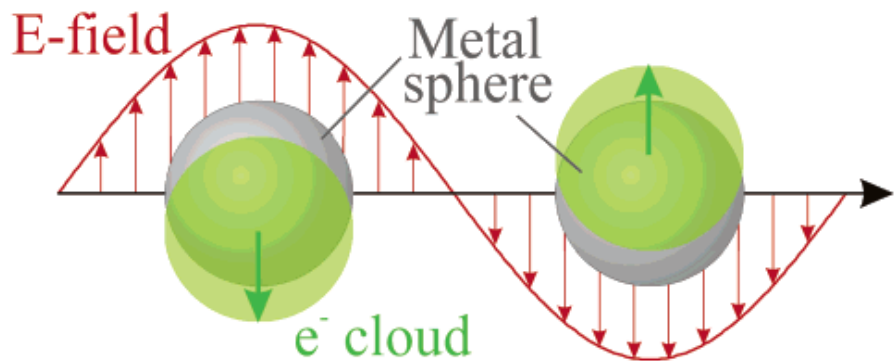


Fig. 5 La ruota dei colori complementari: in base al colore assorbito è possibile prevedere quello riflesso e viceversa



# Nanoparticelle d'oro

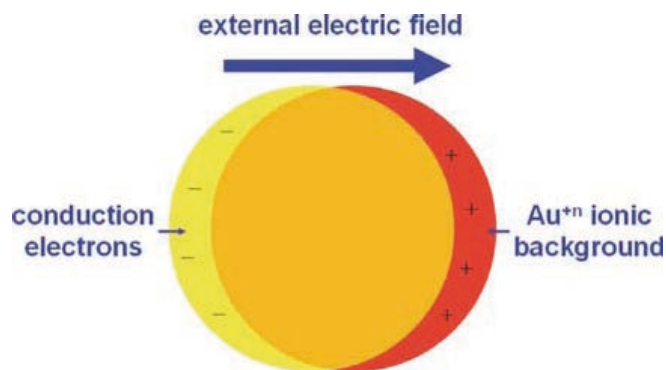


Come mai le AuNP assorbono a determinate lunghezze d'onda della luce visibile?

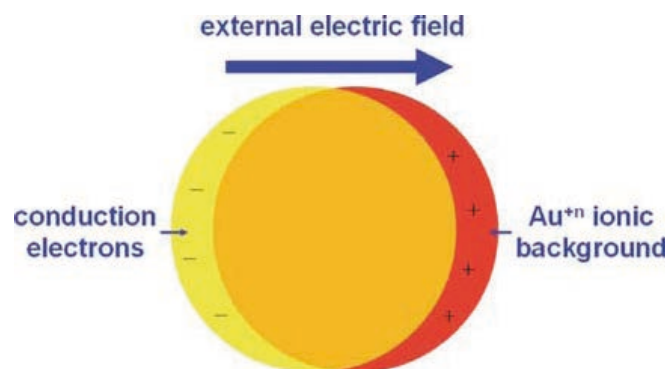
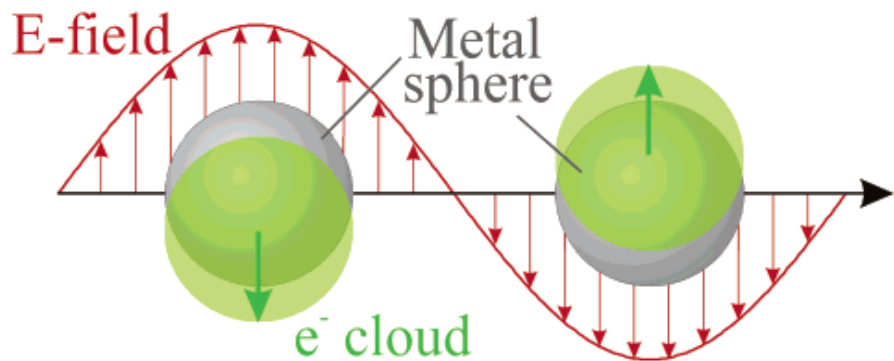
Alla nanoscala le oscillazioni collettive, plasmoniche, dipendono dal materiale ma anche dalla dimensione e dall'ambiente in cui le nanoparticelle sono immerse.

Per questo le NP si possono usare come sensori molecolari.

Il dipolo elettrico istantaneo produce uno sbilanciamento di carica che dà un effetto massa-molla che dipende dalla densità di carica di superficie, quindi da dimensione e forma della NP.



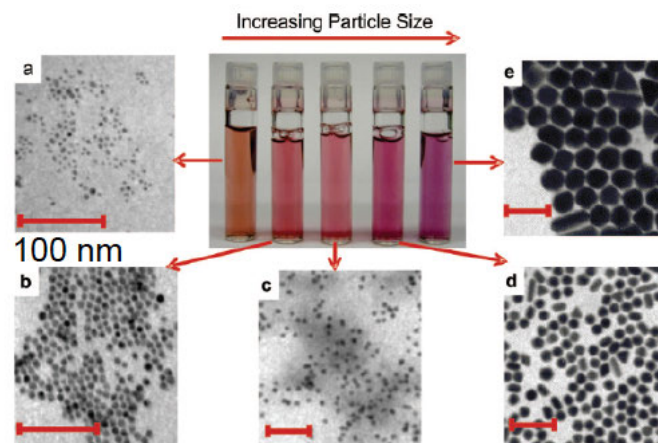
# Nanoparticelle d'oro



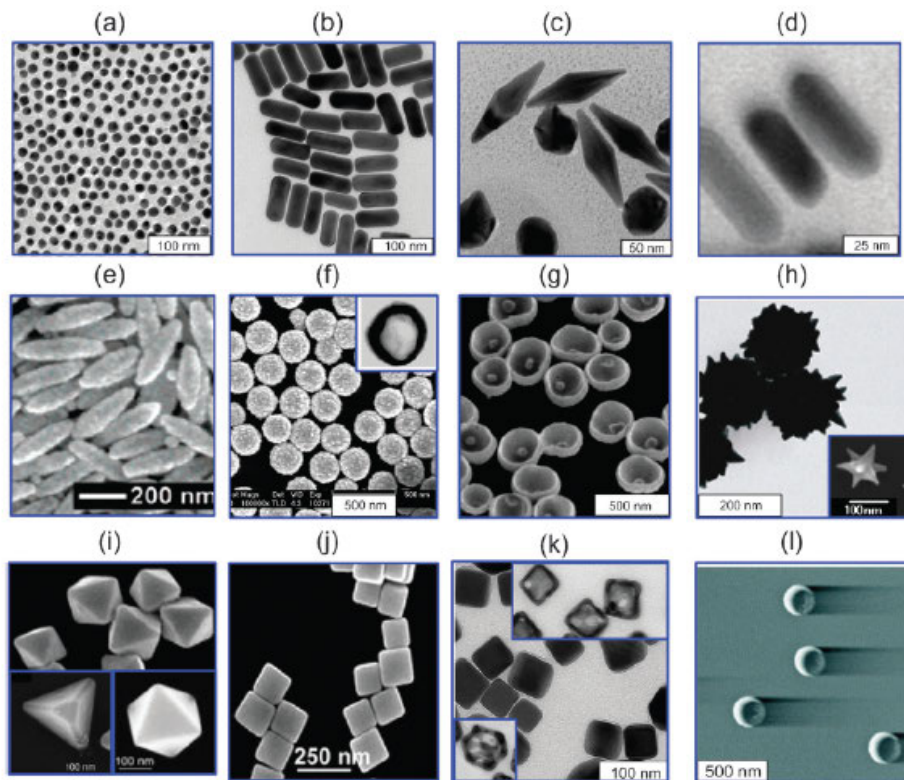
Come mai le AuNP assorbono a determinate lunghezze d'onda della luce visibile?

Queste oscillazioni di plasma danno luogo a un effetto noto come Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR), e si hanno solo quando la lunghezza d'onda della luce è molto più grande del diametro della NP.

L'interazione luce-nanomateria è in questo caso molto intensa.

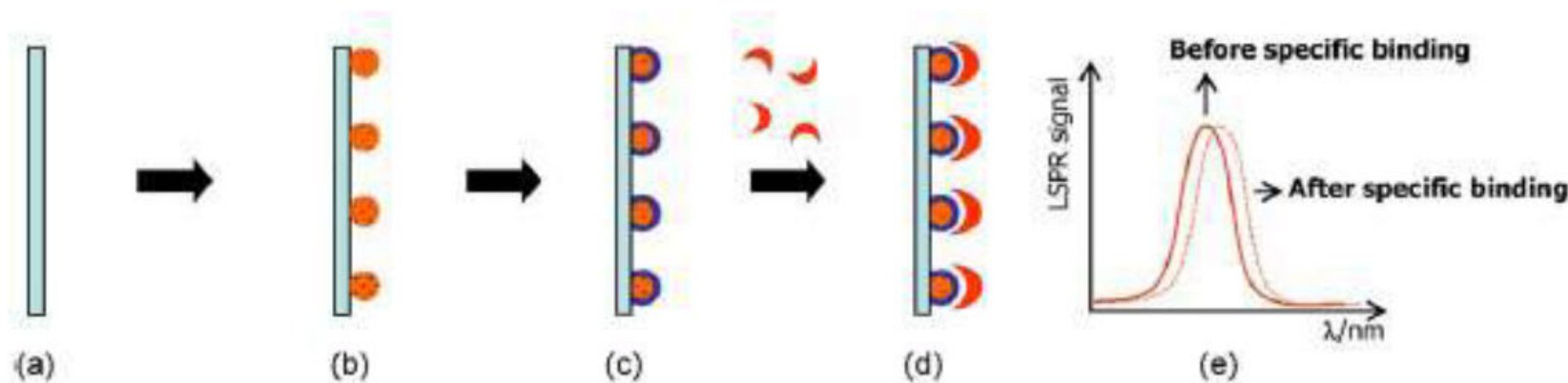


# Nanoparticelle d'oro



NP cave hanno frequenze di assorbimento più basse di quelle piene. NP a rod hanno due diversi modi di oscillazione, uno longitudinale a freq. bassa e uno trasversale a freq. più alta.

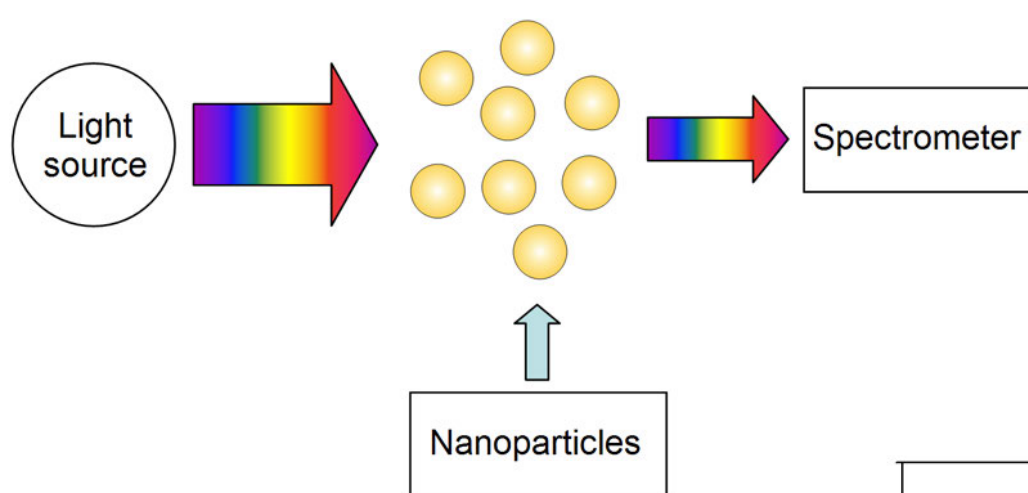
# Nanoparticelle d'oro



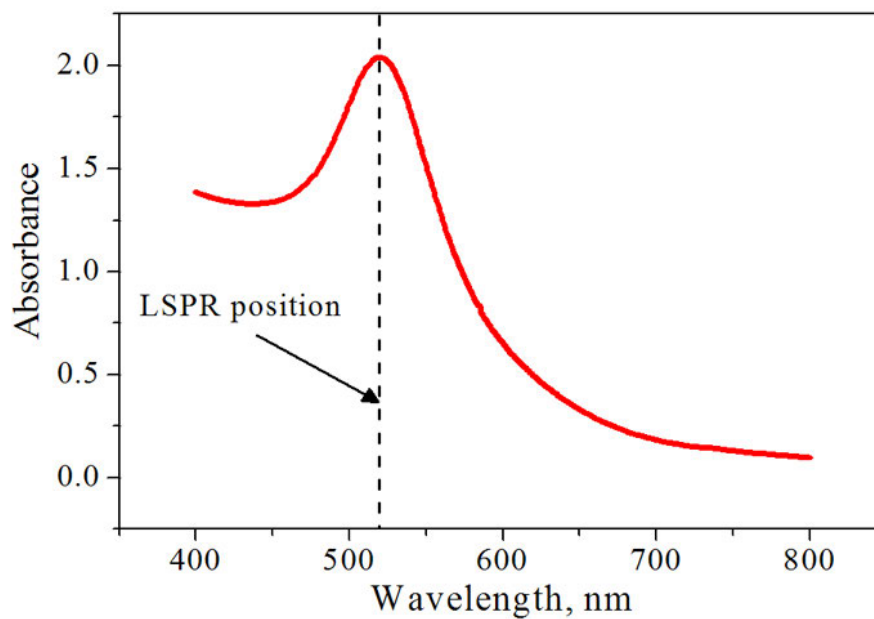
NPs depositate su una superficie e “funzionalizzate” con una molecola capace di riconoscere per esempio una molecola che sia biomarcatore di una malattia.



# Nanoparticelle d'oro

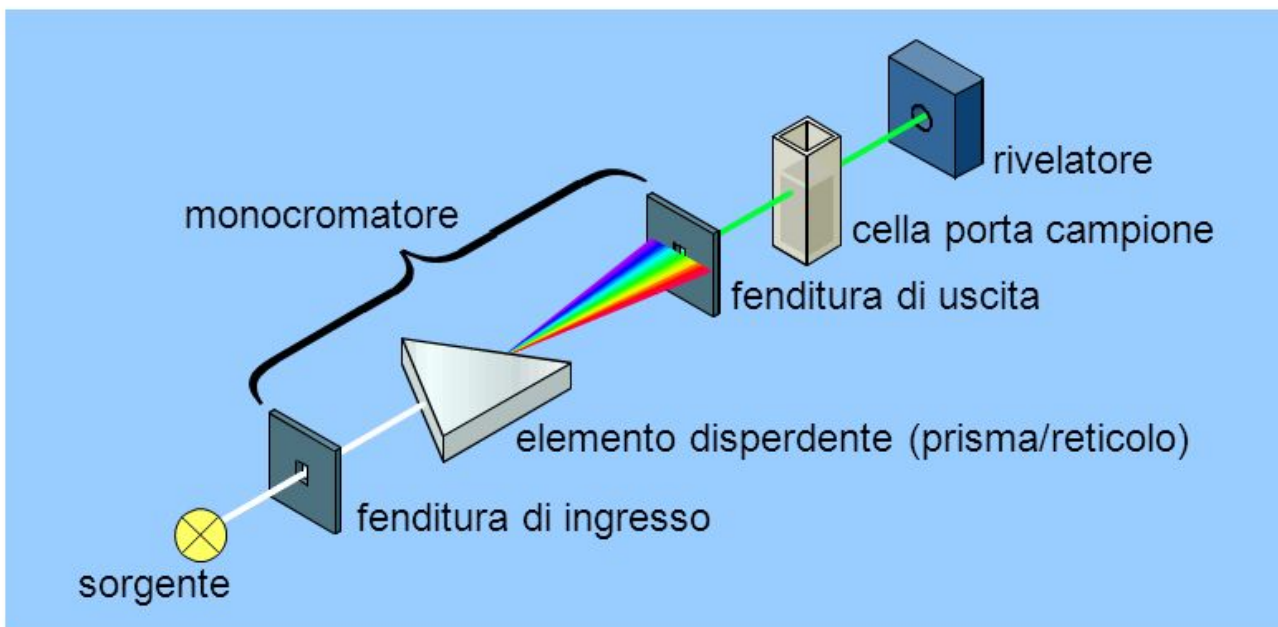


Esperimenti di assorbimento:  
spettrofotometro

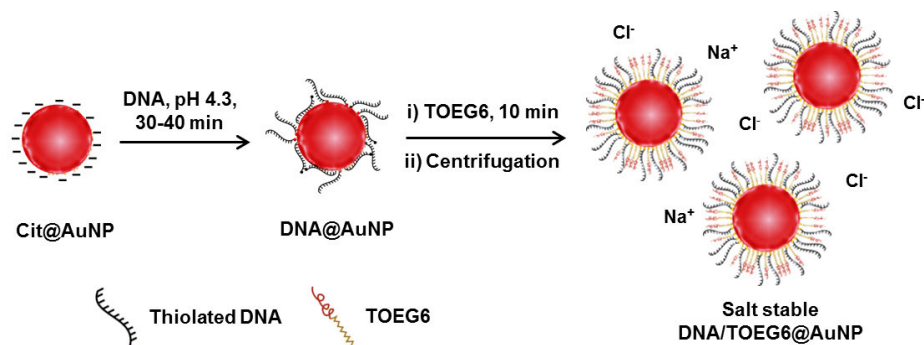


# Nanoparticelle d'oro

Esperimenti di assorbimento:  
spettrofotometro

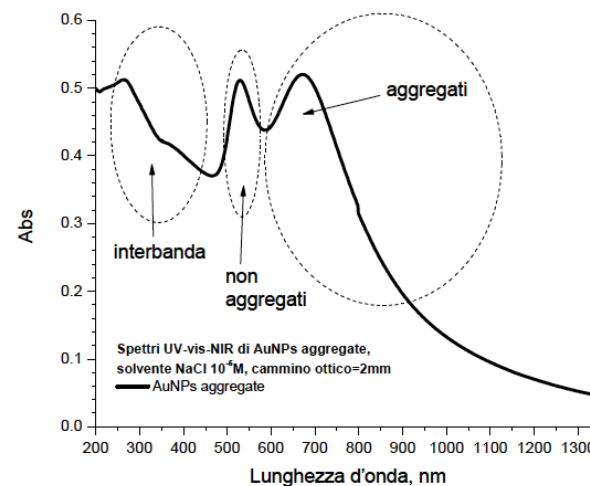
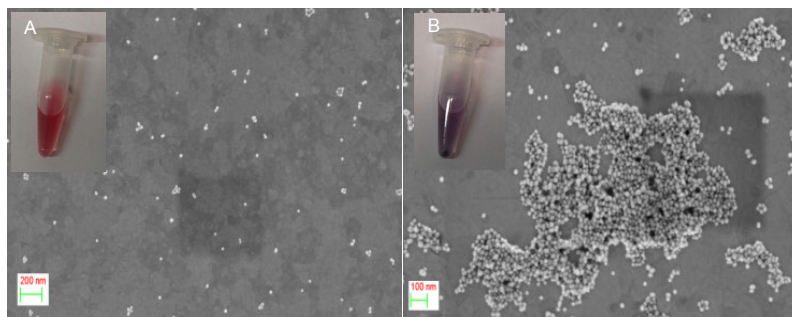


# Nanoparticelle d'oro



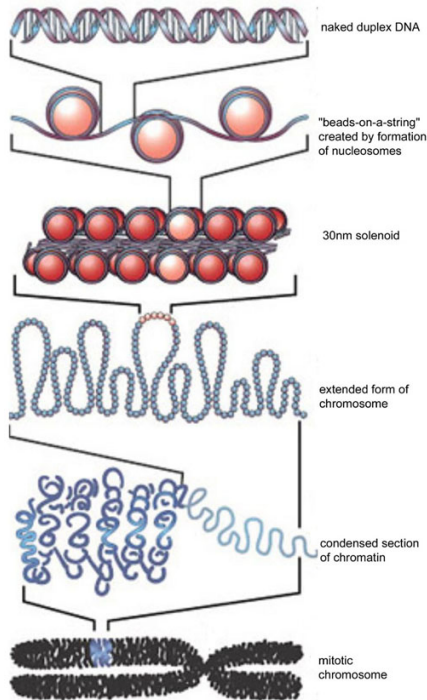
In generale, aggregati di NP si comportano come una NP più grossa.

Il DNA può essere utilizzato per aggregare in modo controllato le NP

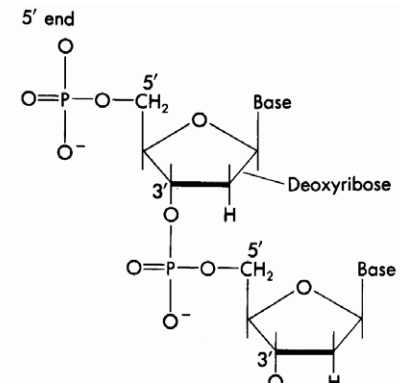
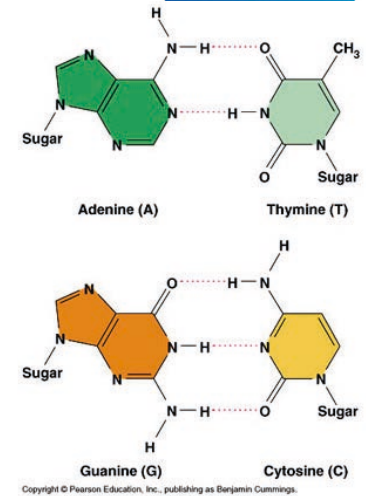
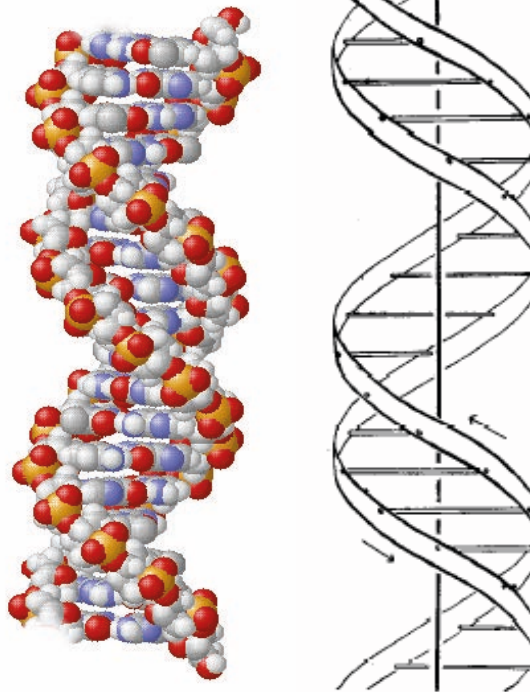


# Nanoparticelle d'oro

## Base pairing



5' TAGACTACGCATACGCCT 3'  
3' ATCTGATGCGTATGCGGA 5'





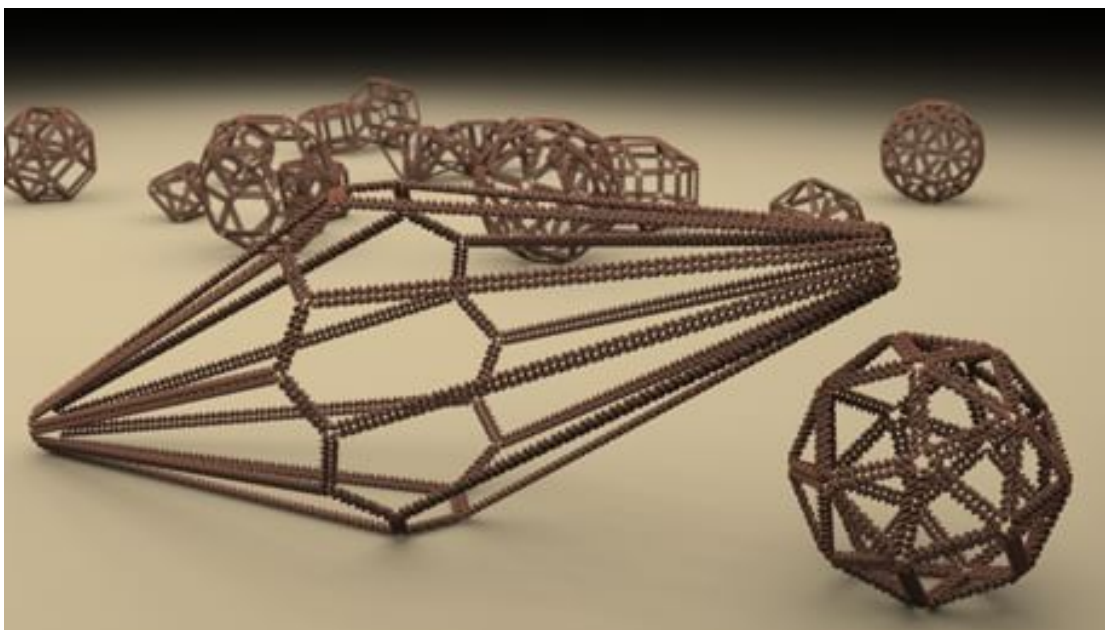
# Nanoparticelle d'oro

L'evoluzione ha dotato il DNA di una capacità straordinaria di **codificare le informazioni**:

**un solo grammo di DNA** può memorizzare circa **700 terabyte**, cioè 700.000 gigabyte d'informazione, corrispondente a circa 14.000 Blu-ray disc.

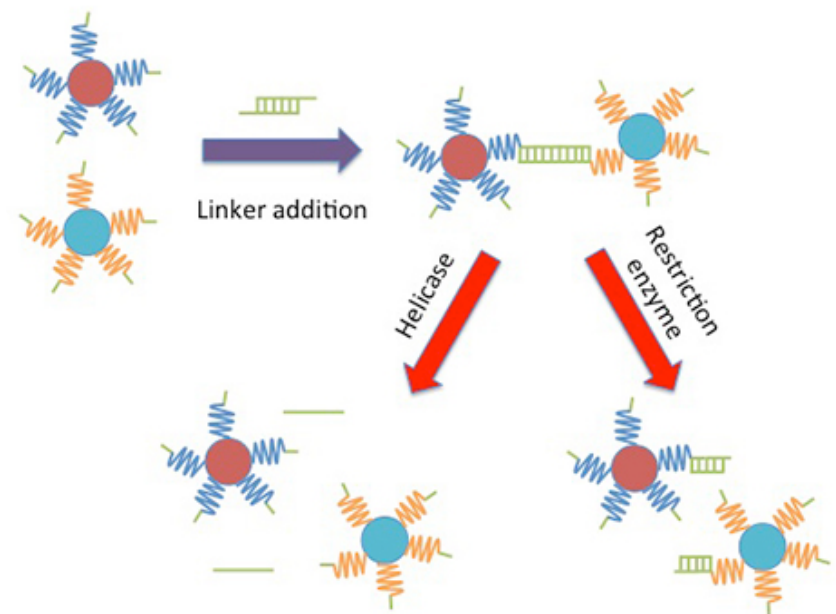
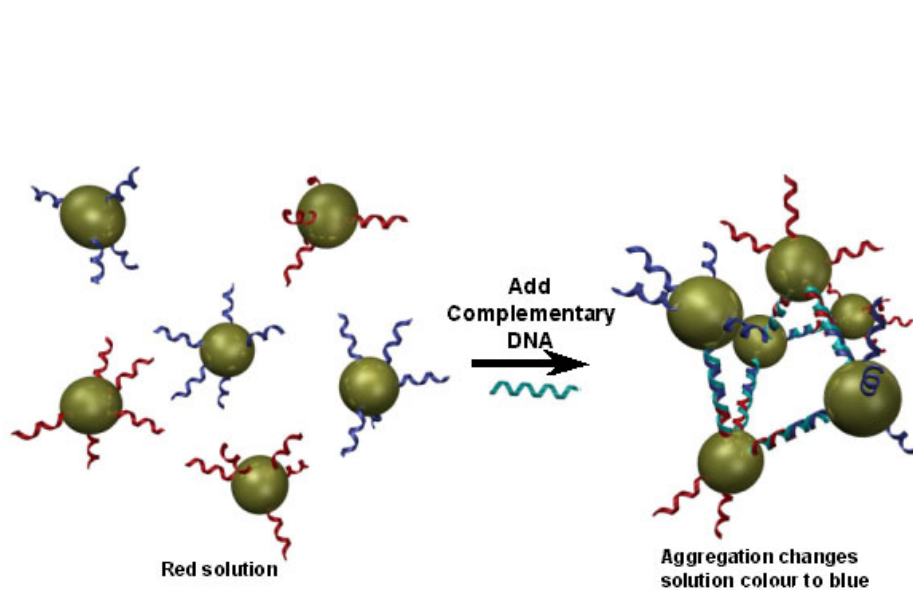
E questo può durare milioni di anni, come dimostrano le ricerche di recupero e di sequenziamento del DNA di antiche specie animali e vegetali.

Ecco perché, una delle applicazioni più interessanti, anche se di là da venire, degli origami a DNA è la memorizzazione di dati. (Le Scienze, 2016)

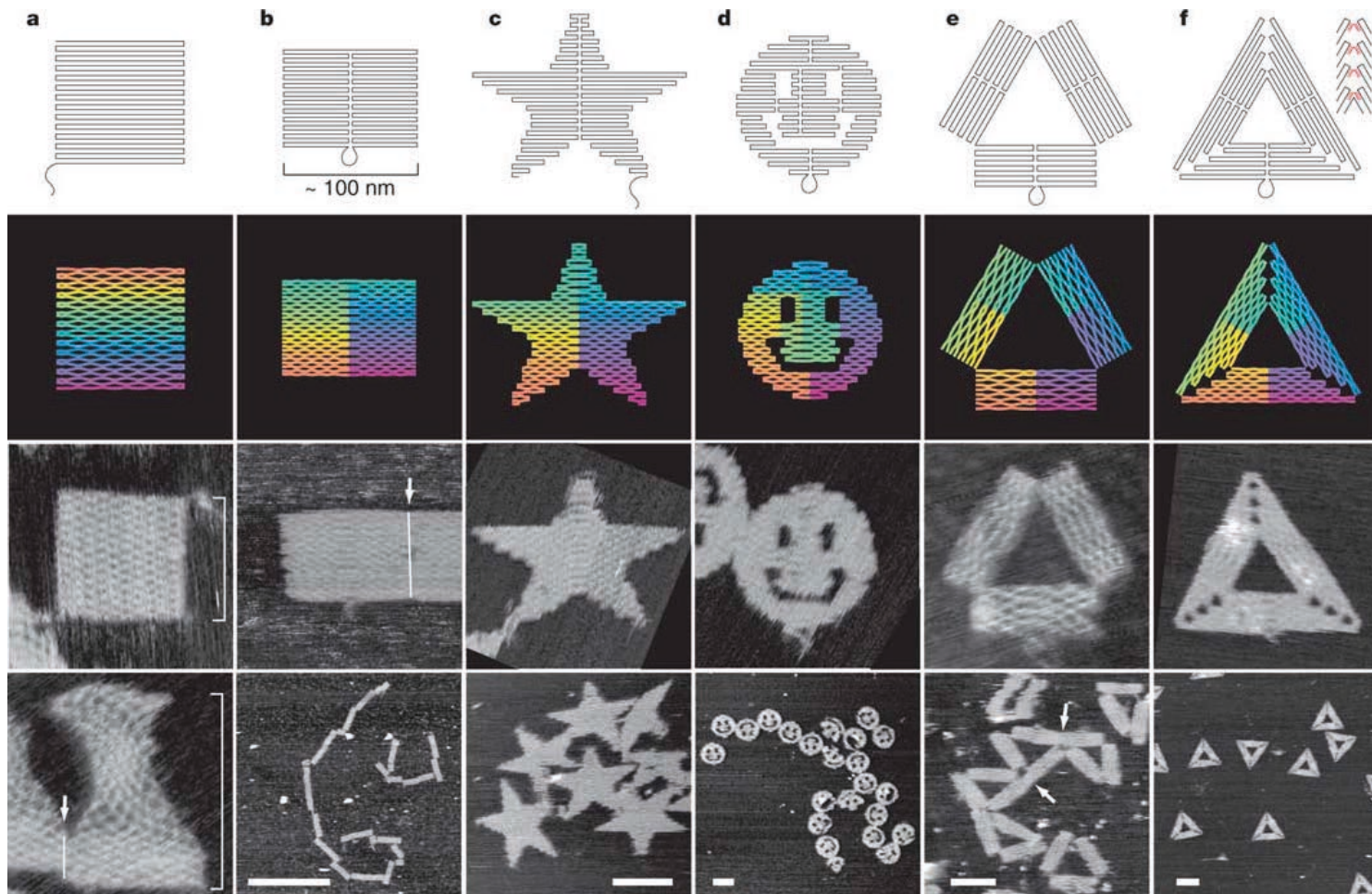


# Nanoparticelle d'oro

DNA per l'aggregazione di NP



# DNA origami



[https://www.youtube.com/watch?v=Trg2\\_\\_Lgnc0](https://www.youtube.com/watch?v=Trg2__Lgnc0)

# DNA Biotechnology

- **restriction enzymes:**

cut DNA at specific sequences

- **ligases:**

link two DNA pieces covalently

- **helicase:**

unwinds DNA

- **topoisomerases:**

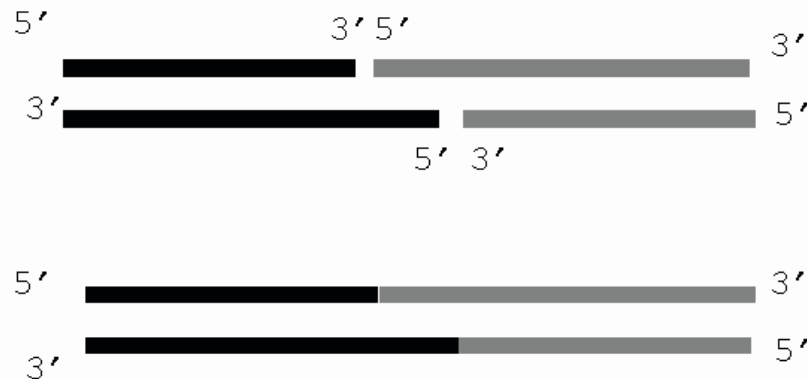
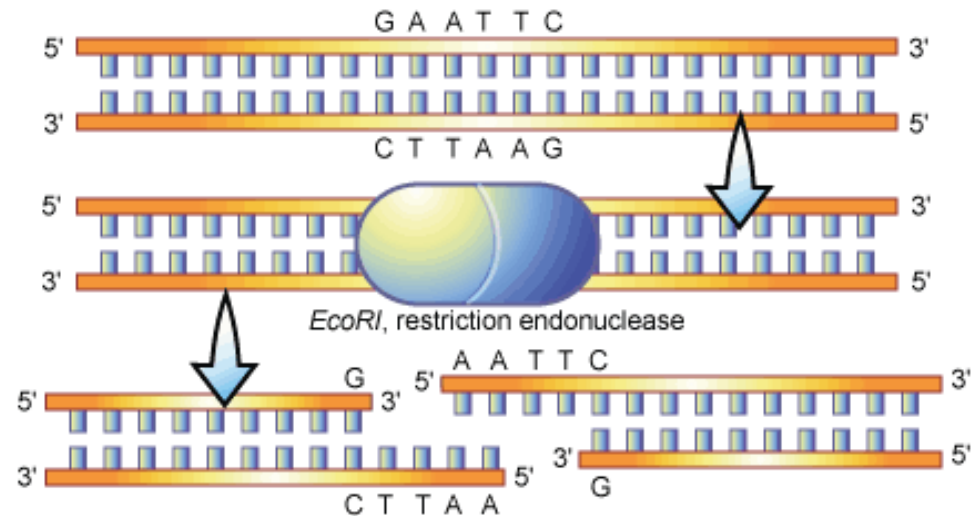
Change topology (linking, winding number)

- **DNA/RNA polymerases:**

make copies

- **DNA binding proteins:**

help in recombination, function as transcriptional modulators, etc.

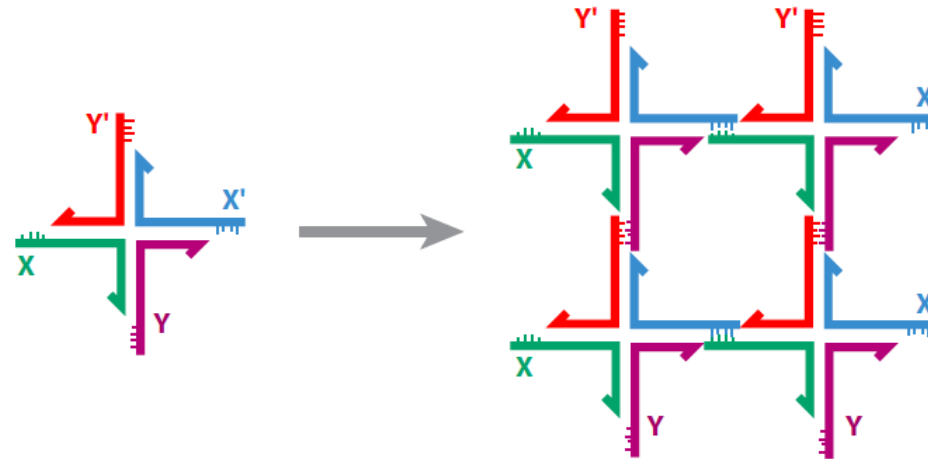


Ligation of sticky ends



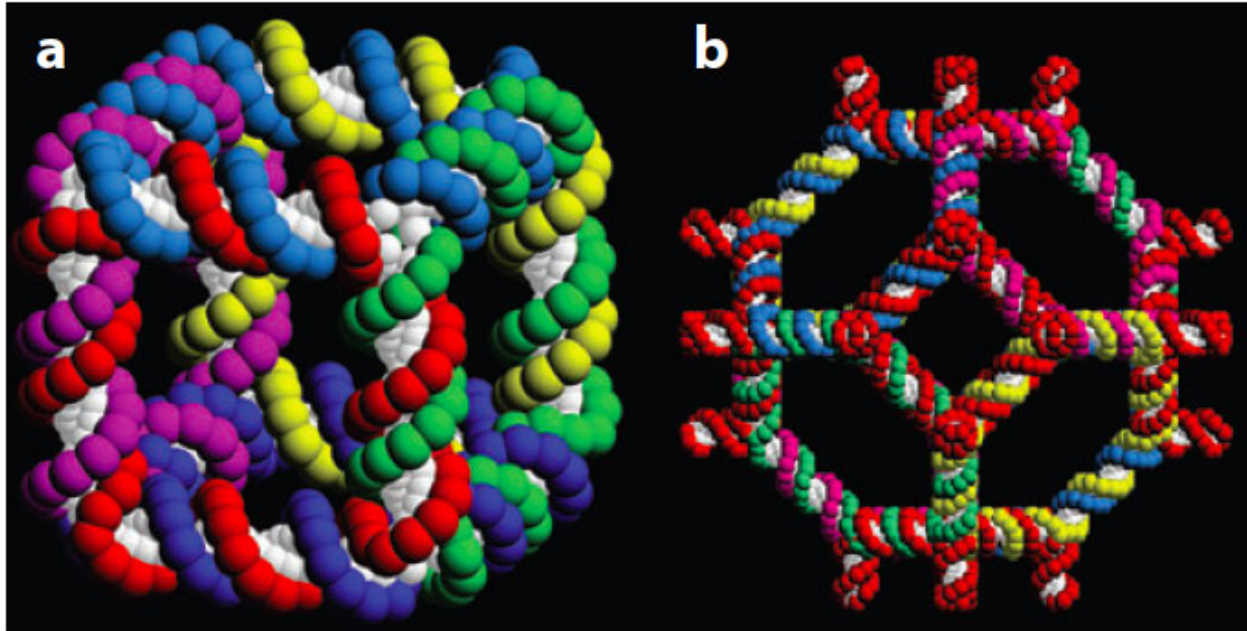
# DNA Biotechnology

It is the combination of in vitro hybridization and synthetic branched DNA that leads to the ability to use DNA as a construction material



**Figure 2**

Self-assembly of branched DNA molecules to form larger arrangements. The image on the left shows a four-arm branched junction made from four differently colored strands. Its double helical domains are tailed in 5' sticky ends labeled (clockwise from the left) X, Y, X', and Y; the sticky ends are indicated by small extensions from the main strand (our convention is to represent 3' ends by arrowheads or, as here, by half arrowheads). The primed sticky ends complement the unprimed ones. The image on the right shows how four of these junctions can self-assemble through this complementarity to yield a quadrilateral. The sticky ends have come together in a complementary fashion. Note, this assembly does not use up all the available sticky ends, so that those that are left over could be used to generate a lattice in two dimensions (2D) and, indeed, in 3D.



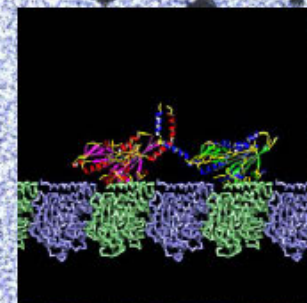
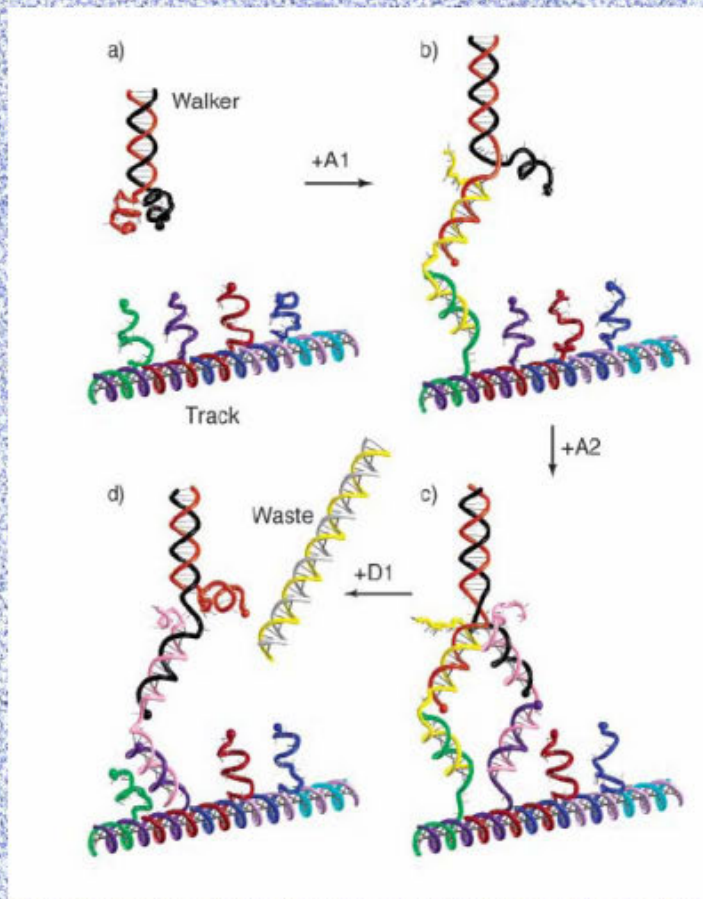
DNA can be used to:

- Build nanostructures
- guide materials synthesis
- construct nanomechanical devices
- perform computations

DNA molecule with the connectivity of a cube. The six backbone strands are represented by the colored balls and the bases are all drawn in white. Note that the molecule is a hexacatenane, with the six strands linked to each other. Each single strand corresponds to a face of the molecule

# Locomotion

A simple  
DNA walker  
walks along  
a track

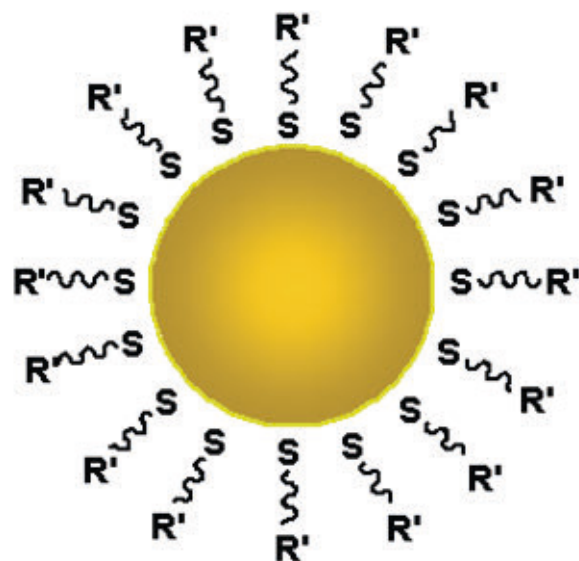


Kinesin on Microtubule,  
Mandelkow lab

Shin & Pierce,  
JACS 126, 10834 (2004)



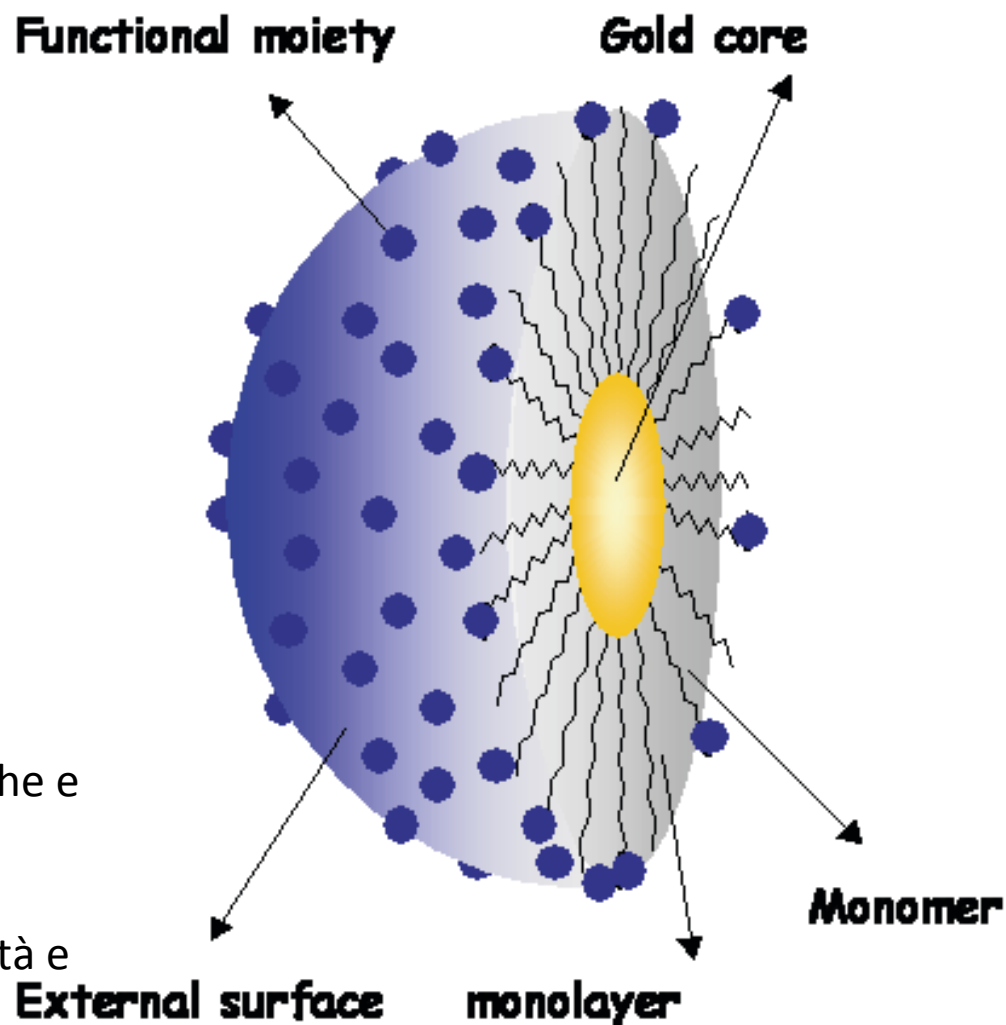
# Nanoparticelle d'oro



L'anima metallica:  
la dimensione determina le proprietà ottiche e elettroniche del materiale

Il SAM:

è responsabile della stabilità, della solubilità e delle interazioni delle NP con l'ambiente (funzionalità)



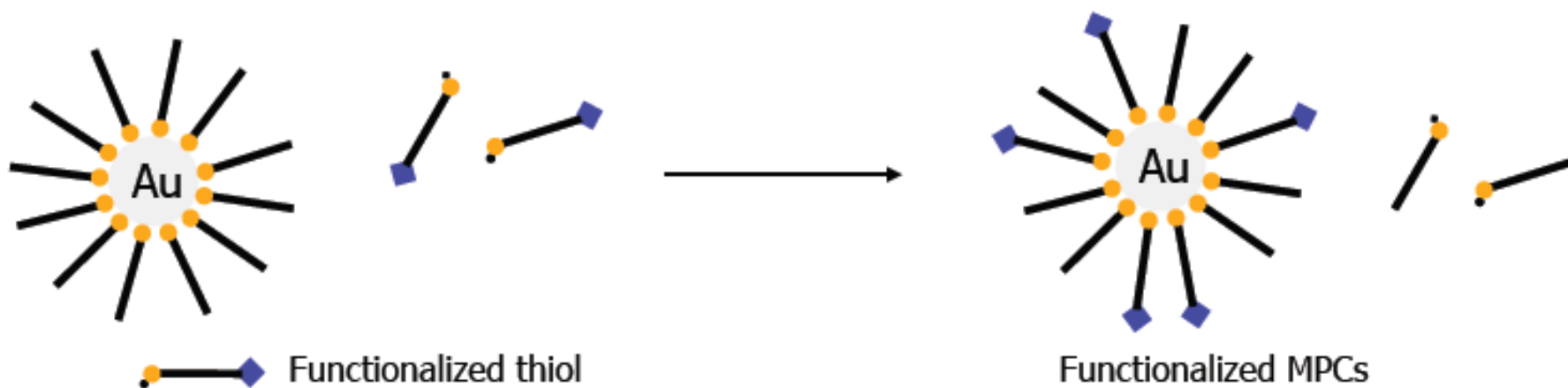


# Nanoparticelle d'oro

## ♦ synthesis using a mixture of thiols

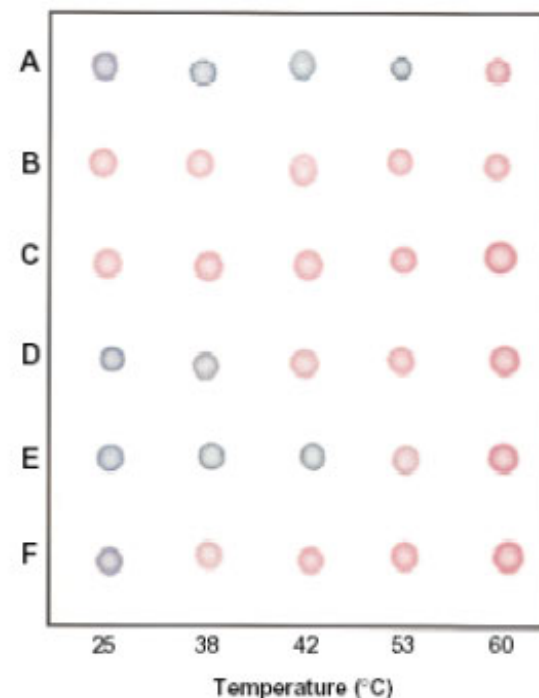
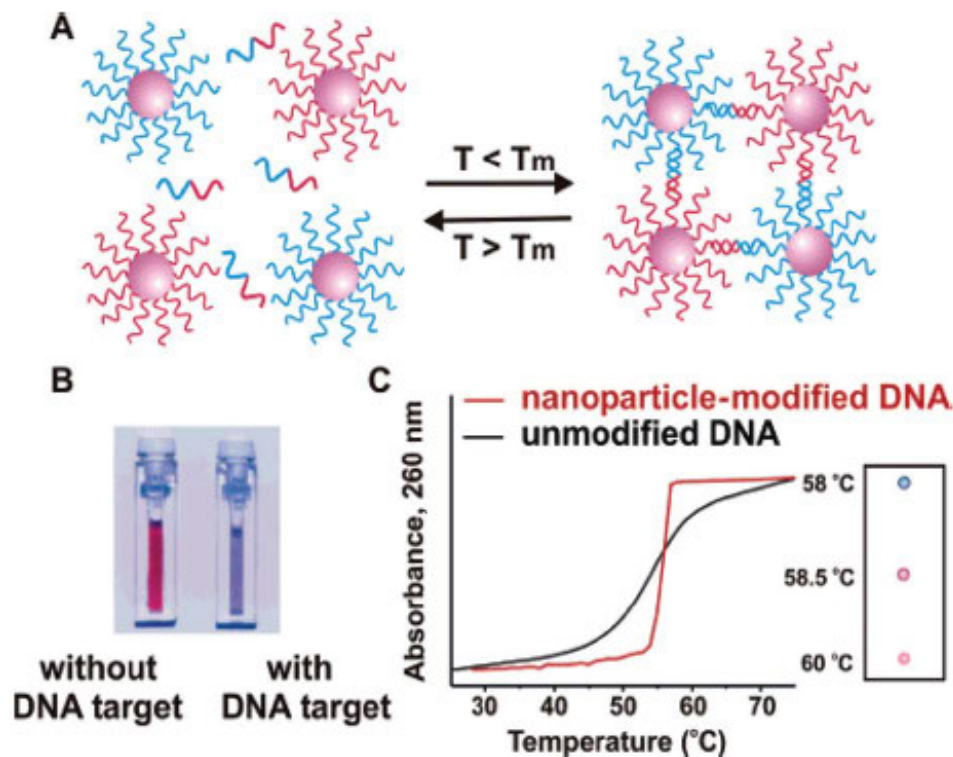
thiols should survive under the reaction conditions

## ♦ Ligand exchange



Hostettler, M. J.; Green, S. J.; Murray, R. W. *J. Am. Chem. Soc.*, 1996, 118, 4212 - 4213.

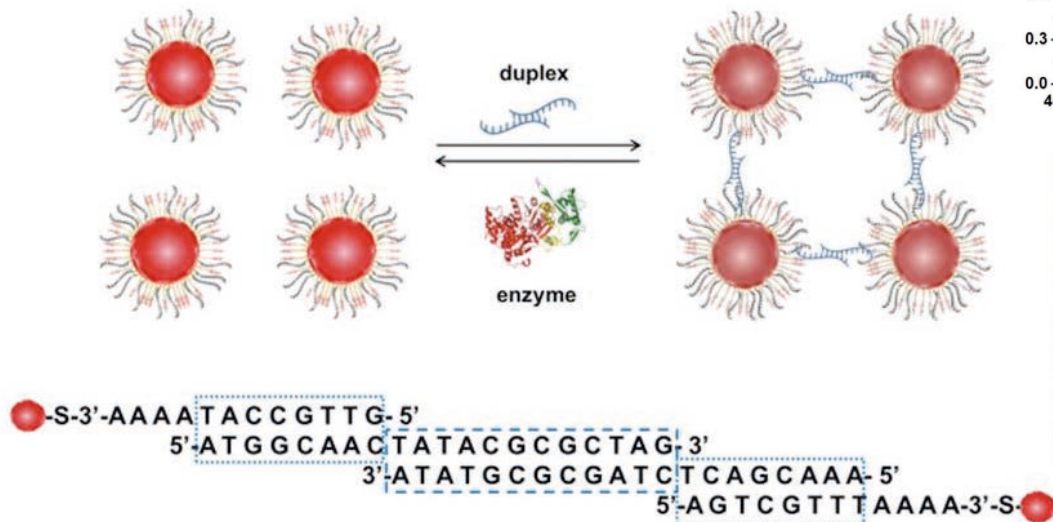
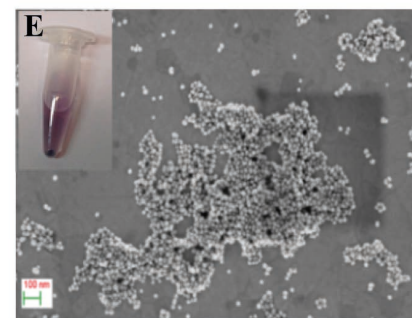
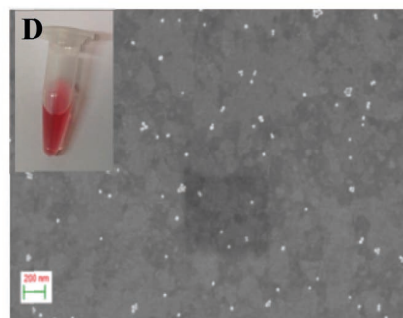
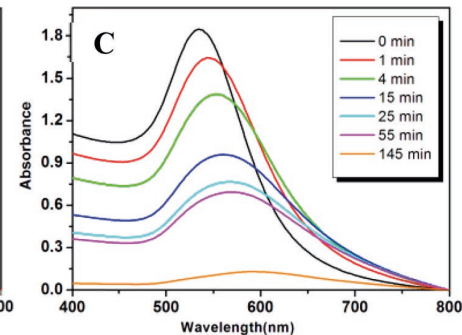
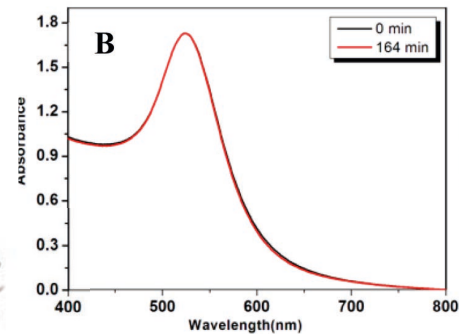
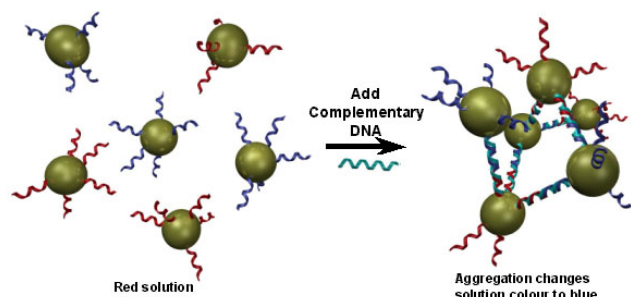
# Gold nanoparticles: detection



Selective polynucleotide detection for the target probes :  
 (A) complementary target; (B) no target; (C) complementary to one probe; (D) a 6-bp deletion; (E) a 1-bp mismatch; and (F) a 2-bp mismatch. Nanoparticle aggregates were prepared in a 600- $\mu$ l thin-walled Eppendorf tube by addition of 1  $\mu$ l of a 6.6  $\mu$ M oligonucleotide target to a mixture containing 50  $\mu$ l of each probe (0.06  $\mu$ M final target concentration). The mixture was frozen (5 min) in a bath of dry ice and isopropyl alcohol and allowed to warm to room temperature. Samples were then transferred to a temperature controlled water bath, and 3- $\mu$ l aliquots were removed at the indicated temperatures and spotted on a  $C_{18}$  reverse phase plate.

# Nanoparticelle d'oro

Formazione di assemblati di NP: diminuzione del picco a 524 nm, aumento del picco a 650 nm

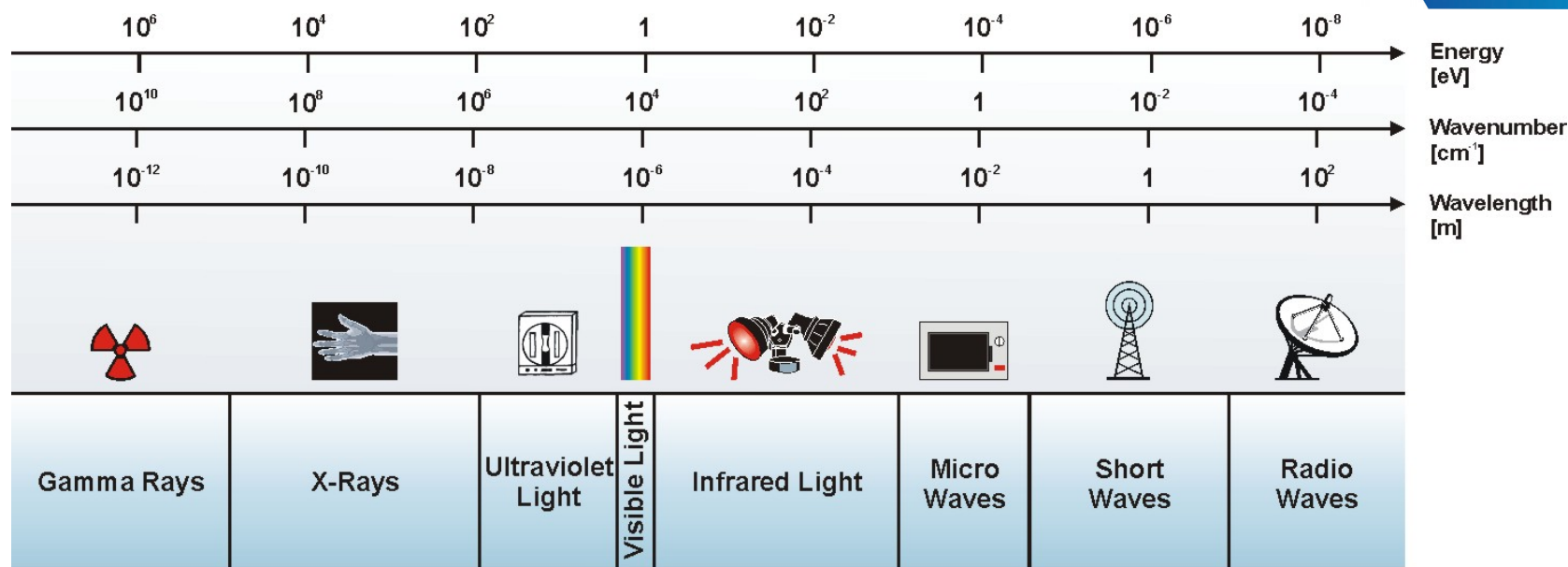


# Nanoparticelle d'oro

Misure Infrarosso



# Lo spettro Elettromagnetico e la radiazione IR



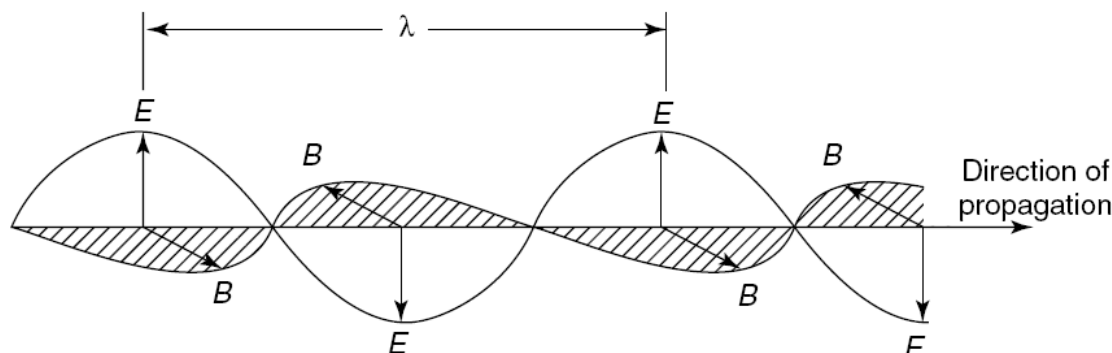
- velocità della luce,  $c = 299.792.258 \text{ m/s}$
- Costante di Planck,  $h = 6.62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$

➤ Lunghezza d'onda,  $\lambda$  ([ $\mu\text{m}$ ])

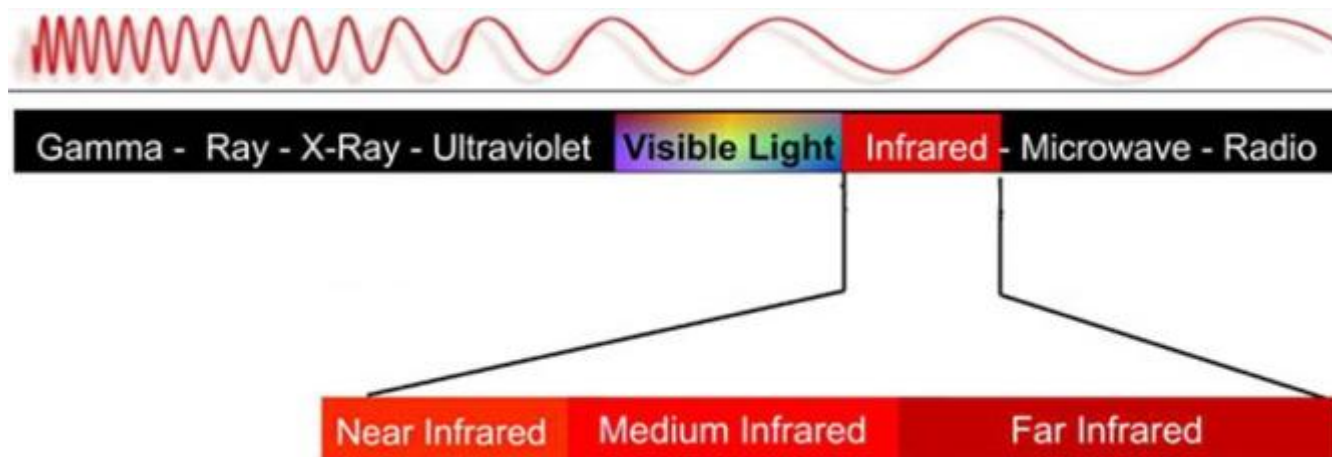
➤ Frequenza,  $\nu$  ([Hz],  $\nu = c/\lambda$ )

➤ Energia  $E$  ([eV],  $E = h\nu$ )

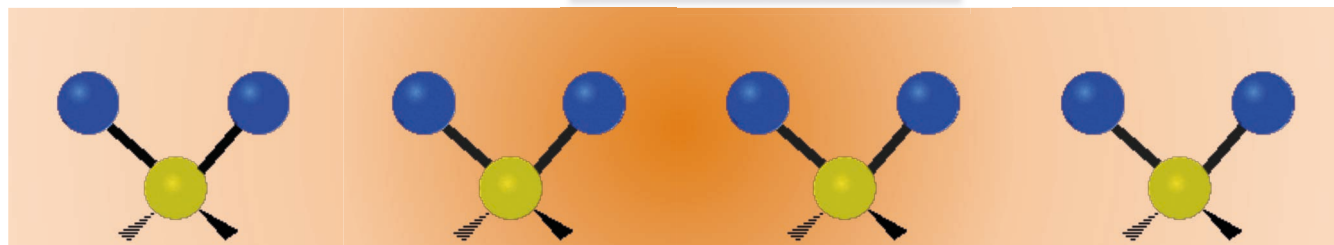
➤ Numero d'onda, ( $\tilde{\nu} [\text{cm}^{-1}]$ ,  $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ )



## La radiazione IR



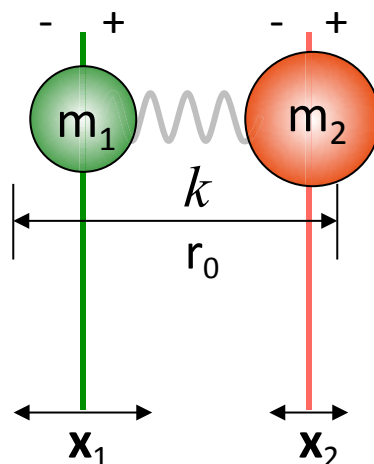
|                                    | NIR          |             | MIR        |  | FIR       |
|------------------------------------|--------------|-------------|------------|--|-----------|
| $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )        | 0.74         | 3           | 30         |  | 300       |
| $\nu$ (THz)                        | 400          | 100         | 10         |  | 1         |
| $\tilde{\nu}$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) | $\sim 13000$ | $\sim 3333$ | $\sim 333$ |  | $\sim 33$ |
| E (eV)                             | 1.65         | 0.413       | 0.041      |  | 0.004     |



Le molecole sono sempre in vibrazione, anche alla T dello zero assoluto

# Come vibrano le molecole

## Il modello "Ball and spring" per la molecola biatomica



$m_1$  ed  $m_2$  rappresentano 2 atomi

La molla il legame che li unisce

Legge di Hooke:

$$F \text{ (Forza di richiamo)} = -k \cdot x$$

$K$  = Costante di forza (tanto più grande quanto più rigida è la molla)

$X$  = Spostamento dalla posizione di equilibrio

Le due masse si avvicinano e si allontanano con un **moto periodico** (vibrazione di stiramento, stretching), determinando un periodico allungamento/accorciamento del legame.

La **frequenza di questa vibrazione** è **direttamente proporzionale alla costante di forza della molla** (legame,  $k$ ) ed **inversamente proporzionale alla "massa ridotta"** del sistema,  $\mu$

$$\nu = 1/2\pi \sqrt{K/\mu}$$

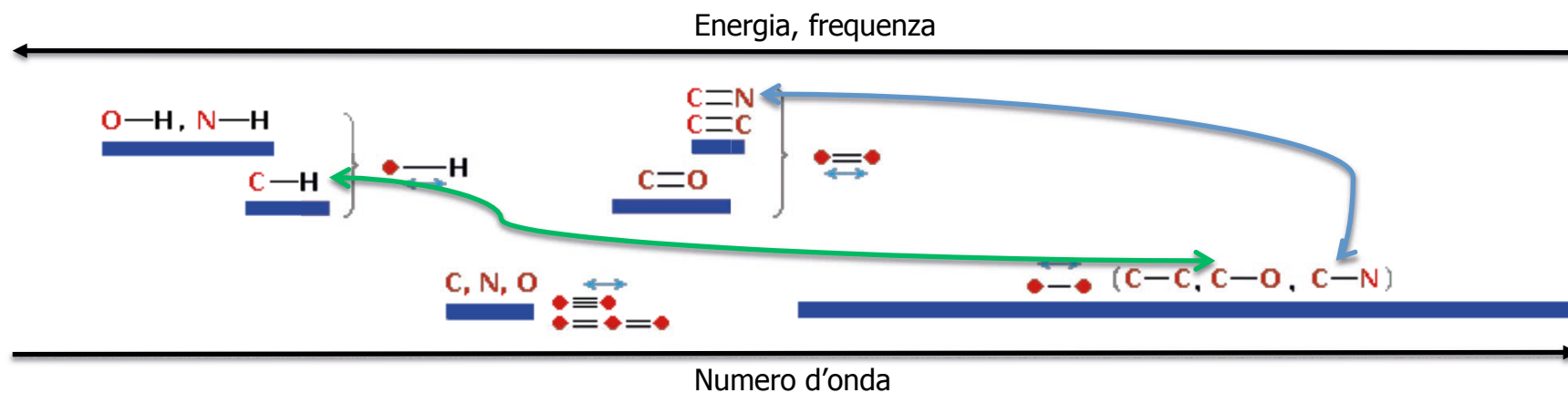
$$\begin{aligned} \mu &= \text{massa ridotta} \\ &= m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \end{aligned}$$

# A che energia vibrano le molecole

Dato:

Si evince che:

MAGGIORE È LA COSTANTE DI FORZA/LEGAME  $K \rightarrow$  MAGGIORE È LA FREQUENZA DELLA VIBRAZIONE  $\rightarrow$  MAGGIORE L'ENERGIA AD ESSA ASSOCIATA



MAGGIORE È LA MASSA RIDOTTA  $\rightarrow$  MINORE È LA FREQUENZA DELLA VIBRAZIONE  
 $\rightarrow$  MINORE L'ENERGIA AD ESSA ASSOCIATA



## L'interazione della radiazione IR con le molecole

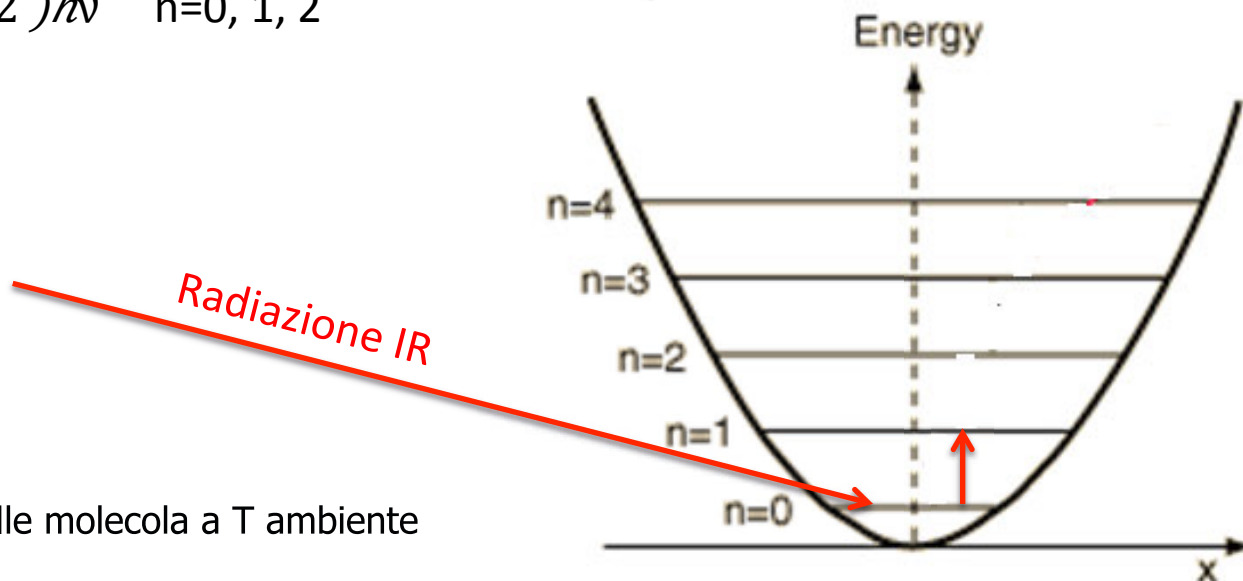
Se un sistema in vibrazione viene investito da una radiazione avente la **frequenza  $\nu$  numericamente uguale a quella del moto vibratorio** tale radiazione verrà assorbita e il sistema acquisterà energia e comincerà a vibrare alla stessa frequenza, con maggiore ampiezza.

Il modello classico spring and ball prima presentato non consente di spiegare questo comportamento, ma dobbiamo cercare aiuto nella **chimica quantistica**.

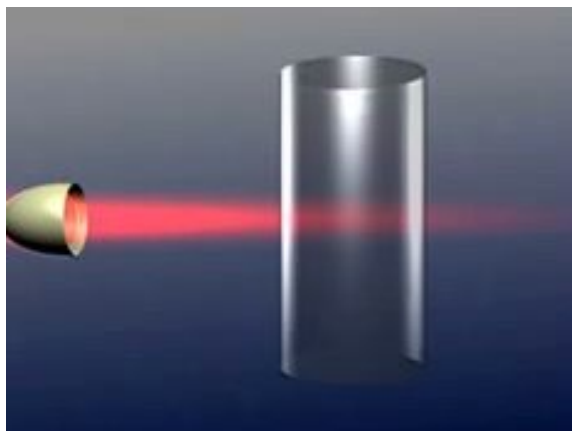


Per una data vibrazione di frequenza  $\nu$  possono esistere stati vibrazionali a diversa energia

$$E = (n + 1/2) h\nu \quad n=0, 1, 2$$



Vibrazione delle molecola a T ambiente



Banda di assorbimento IR



Percentuale di intensità luminosa trasmessa (Trasmittanza, T)

100%  
80%  
60%  
40%  
20%  
0%

Spettro Infrarosso del monossido di carbonio

Energia della radiazione assorbita = Energia della vibrazione

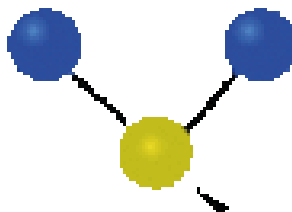
La **posizione** della **banda di assorbimento** dipende dal **tipo di molecola** (dagli atomi costituenti attraverso le masse e dalla costante di forza attraverso la forza del legame covalente). La **percentuale di assorbimento** dipende dalla **concentrazione della molecola**: maggiore la concentrazione di monossido, più intensa sarà la banda.

# La maggior parte delle molecole ha più di 2 atomi!

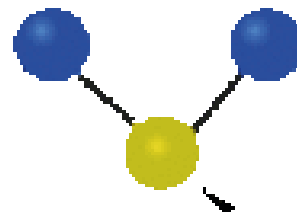
Per le **molecole triatomiche**, e con più atomi, esistono non solo vibrazioni di stiramento (stretching), ma anche di piegamento/deformazione (bending)

## Stretching modes ( $\nu$ )

Symmetric  
Stretching

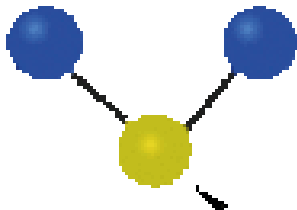


Antisymmetric  
Stretching

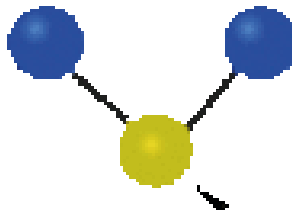


## Bending modes

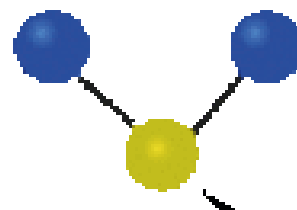
Scissoring ( $\delta$ )



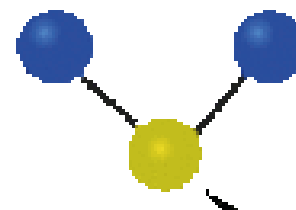
Rocking (r or  $\rho$ )



Wagging ( $\omega$ )

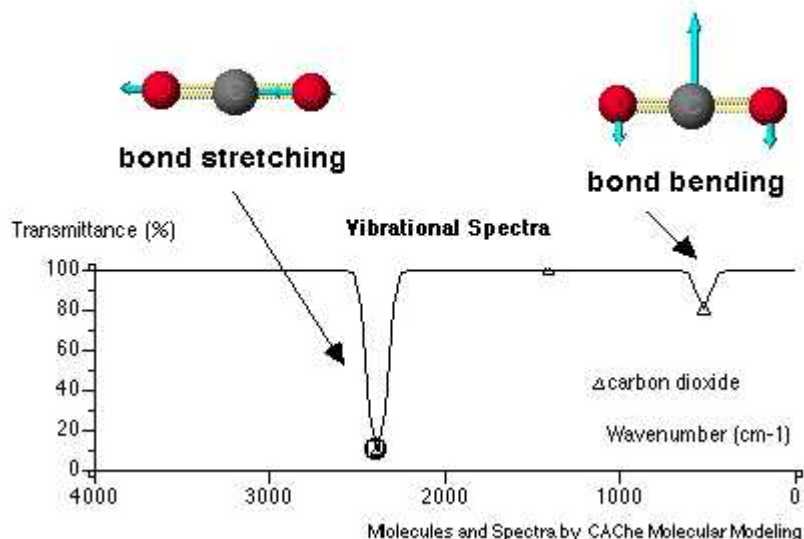


Twisting ( $\tau$ )



# La complessità spettrale aumenta all'aumentare del numero di atomi di una molecola

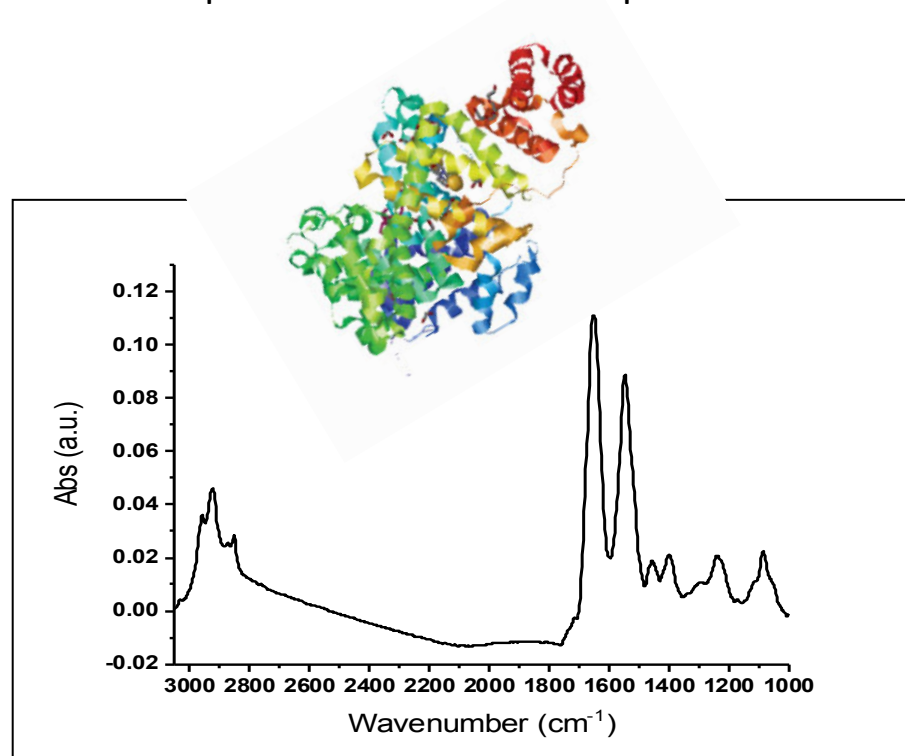
Spettro infrarosso di del **diossido di carbonio**



OGNI MOLECOLA HA UN SPETTRO UNICO, CHE CI AIUTA A RICONOSCERE I GRUPPI FUNZIONALI DI CUI E' COSTITUITA.

GLI SPETTRI POSSONO ESSERE RIPORTATI IN **TRASMITTANZA** (PERCENTUALE DI LUCE IR TRASMESSA) OD IN **ASSORBANZA** (PERCENTUALE DI LUCE IR ASSORBITA)

Spettro infrarosso di una proteina



Con i ragazzi raccoglieremo **spettri infrarossi di soluzioni di liposomi**

A tale scopo useremo la tecnica di **campionamento ATR** – Attenuated Total Reflectance di cui daremo maggiori dettagli in loco.

Impareremo a **leggere uno spettro** in termini **di posizione dei picchi e loro assorbimento**.

Forniremo ai ragazzi maggiori dettagli sui **comportamenti dei gruppi funzionali** metili, metileni, carbonili e fosfato, **caratteristici dei lipidi**. Ci concentreremo anche sullo **spettro del solvente, l'acqua**.

Faremo loro caricare gli spettri in un **programma open source** di modo che possano **elaborarli** da soli presso gli istituti.

Daremo **le basi per l'analisi del dato IR** (in termini di trattamento dei dati), ma l'intento è di lasciare loro gli **spettri grezzi** di modo che siano in grado di rifare una piccola analisi da soli.



**Interreg**  
**Italia-Österreich**  
European Regional Development Fund



**Interreg**  
**Italia-Österreich**  
European Regional Development Fund

