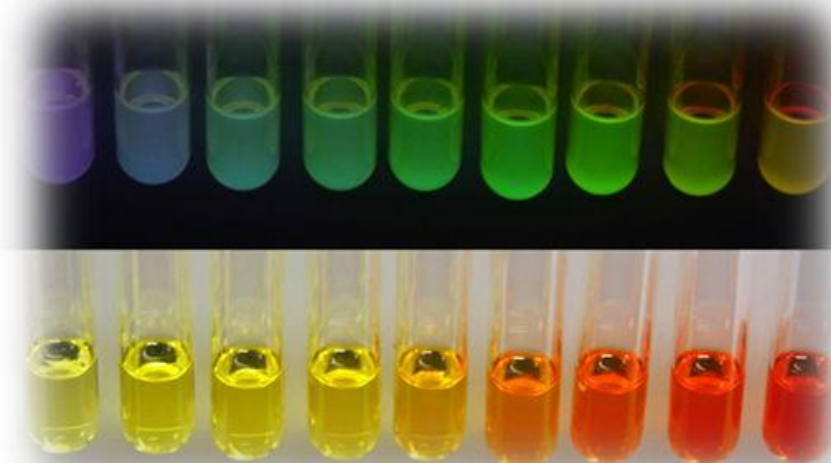
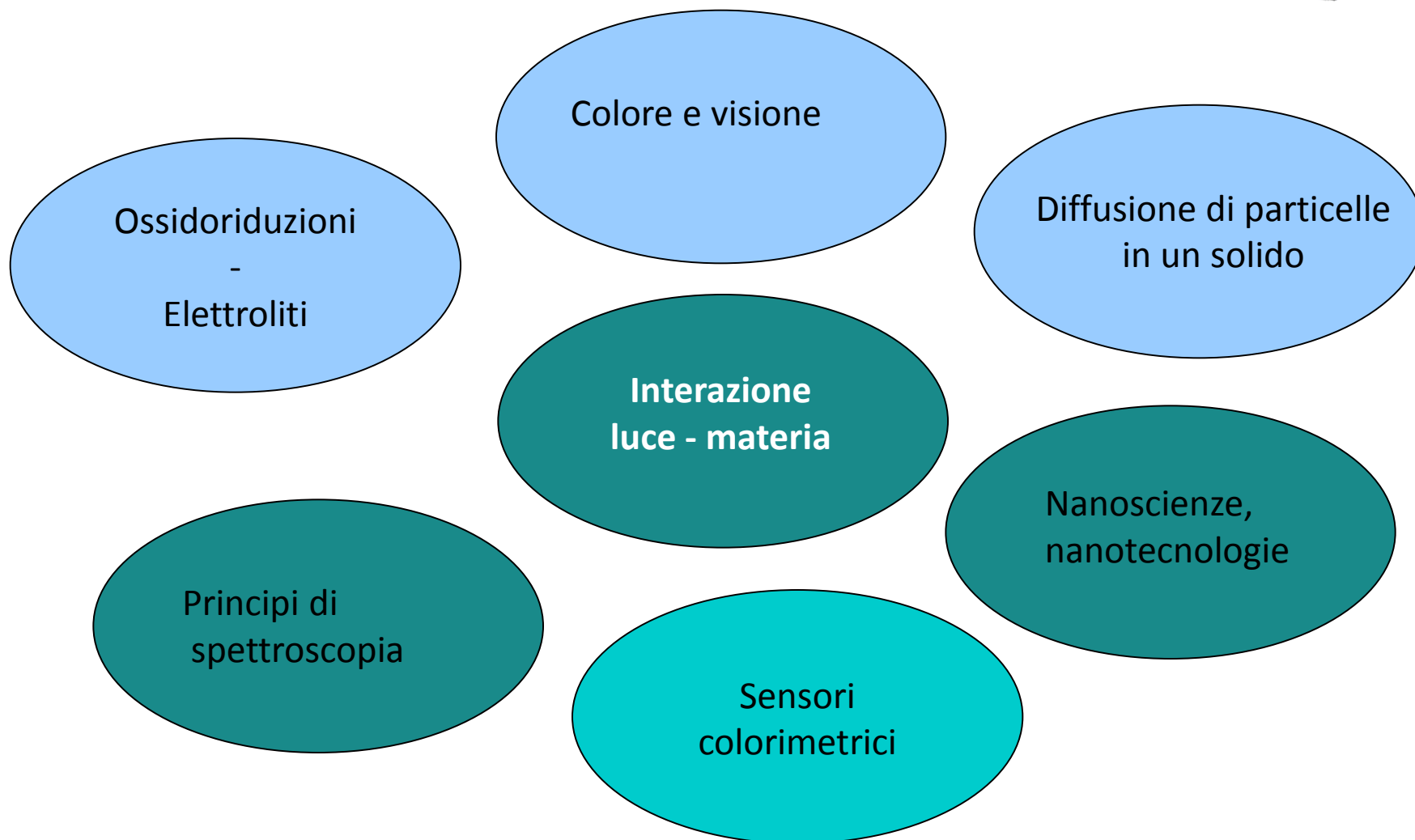




Presentazione



Nanoparticelle metalliche

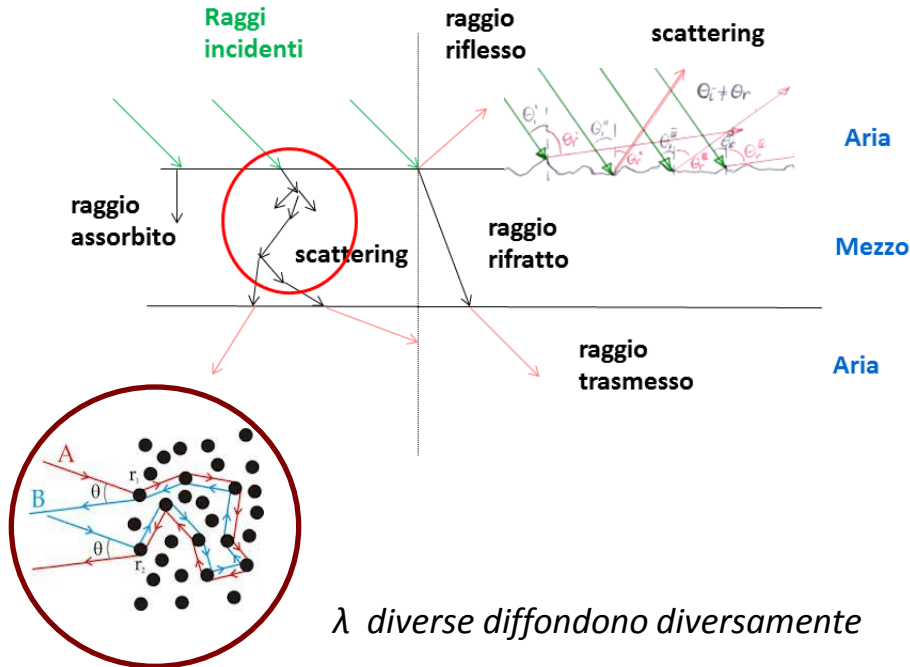




Diffusione luminosa

In un mezzo trasparente disomogeneo nel quale siano presenti **particelle** (centri diffusori), se le loro **dimensioni** sono **paragonabili alla lunghezza d'onda** della **radiazione**, si ha diffusione (in trasmissione).

Interazione radiazione - materia



Un fenomeno molto comune in natura



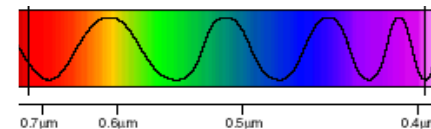


Soluzioni, colloidi e sospensioni

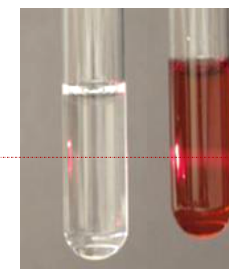
Si distinguono per la **dimensione** delle particelle in dispersione e le conseguenti diverse **proprietà macroscopiche**

Esempi di colloidi naturali:
gelatina, maionese, nebbia, fumo, ...

	Soluzioni	Colloidi	Sospensioni
Dimensioni particelle	< 1nm	1 ÷ 1000 nm	> 1000 nm
Interazione con la luce - Effetto Tyndall	No Raggio laser invisibile	si Raggio laser evidente e nitido	Si Raggio laser confuso Forte diffusione
Si depositano (gravità)	no	no	si



La luce visibile ha lunghezza d'onda tra 380 e 760 nm



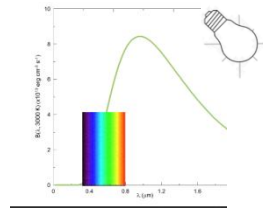
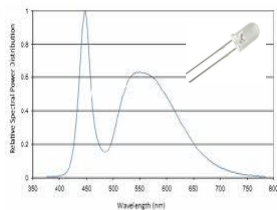
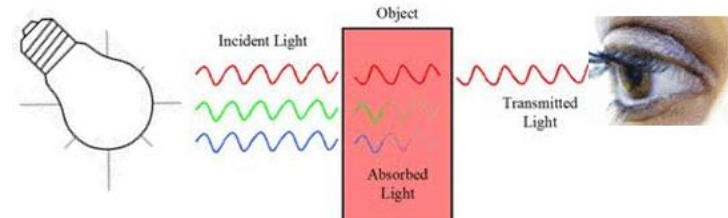
Il raggio laser (da sinistra) non è visibile mentre attraversa l'acqua distillata, ma risulta chiaro e nitido nel colloide d'oro

→ La gravità non è più dominante alla nanoscala

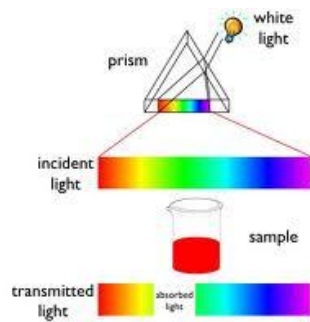


Il colore alla macroscala

Spesso pensiamo al colore come ad una proprietà intrinseca degli oggetti. In realtà noi vediamo la luce che non è **assorbita**, cioè la luce che è **trasmessa** o **diffusa** dagli oggetti che guardiamo.



Spettri di emissione di un led a luce bianca
e di una lampadina ad incandescenza



Il colore percepito dipende

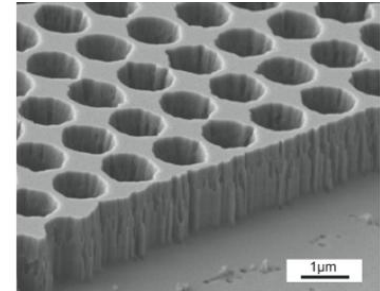
- dalla **sorgente** luminosa (spettro di emissione);
- dalla **sostanza**: la luce della sorgente è assorbita o diffusa in modo diverso dagli oggetti che osserviamo (o meglio dagli atomi e dalle molecole che lo compongono (interazione radiazione materia)).

Colori complementari : se viene assorbito il blu viola l'oggetto apparirà rosso arancio



Colori strutturali

Più raramente il **colore** dipende non dai pigmenti ma dalla **struttura** .
Pattern superficiali alla micro o nanoscala (di dimensioni tipiche comparabili a quelle della radiazione visibile) provocano interferenza tra luce incidente e riflessa causando colori diversi.
E' il principio su cui si basano i **cristalli fotonici**.

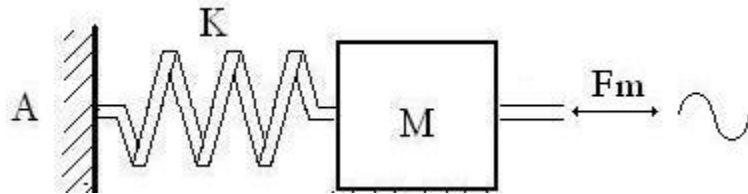


Esempi di colori strutturali in Natura: le ali delle farfalle Morpho devono il loro blu ad una microstruttura ad alveare analoga a quella dei cristalli fotonici. La pianta Selaginella Willdenowii , le bolle di sapone, la corazza di alcuni coleotteri (Immagini: di Daniela Rambaldini e Wikipedia).





Analogo meccanico



Massa

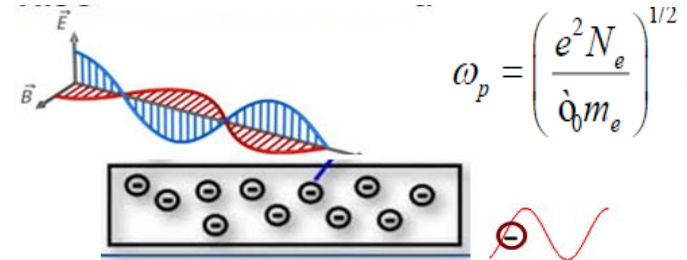
Forza elastica di richiamo della **molla**

Frequenza propria di risonanza del sistema

Forza applicata con uguale frequenza

→ Moto oscillatorio armonico

Il colore nei metalli Risonanza plasmonica



Elettroni di valenza

Forza elastica di richiamo degli **ioni**

Frequenza di plasma (di risonanza del sistema)

C.E. Applicato uguale frequenza

→ Moto oscillatorio armonico

Metalli e radiazione UV-Visibile:

Gli **elettroni di valenza** rispondono al c.e. oscillante con oscillazioni collettive (**plasmone**). La forza di richiamo è dovuta agli ioni: tutti gli elettroni si muovono in fase, a una frequenza propria, detta **frequenza di plasma** che dipende essenzialmente dalla densità di tali elettroni.

Il c.e. può propagarsi efficacemente nel metallo solo a tale frequenza.

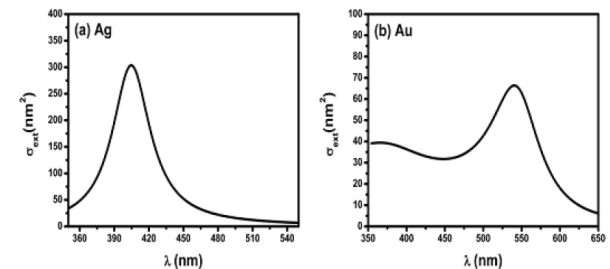
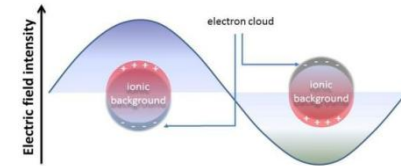
A frequenze inferiori, invece si ha poca o affatto propagazione. Poiché la frequenza di plasma cade generalmente nella regione ultravioletta, la luce visibile non si può propagare nel metallo. Perciò molti metalli sono totalmente riflettenti.



II Colore alla nanoscala

Per le nanoparticelle metalliche i plasmoni dipendono non solo dal **materiale**, ma anche da

a) **dimensioni**; b) **forma**; c) **costante dielettrica** del mezzo in cui sono immerse (grande rapporto superficie/volume) al crescere di ϵ_m , la posizione spettrale del picco di risonanza si sposta verso lunghezze d'onda maggiori (rosso), ovvero una **costante dielettrica maggiore** induce una **frequenza plasmonica**, e quindi di **assorbimento, più bassa**,



E' proprio questa forte dipendenza che permette di utilizzare le **nanoparticelle come** sensori molecolari con altissima sensibilità: **sensori colorimetrici**.

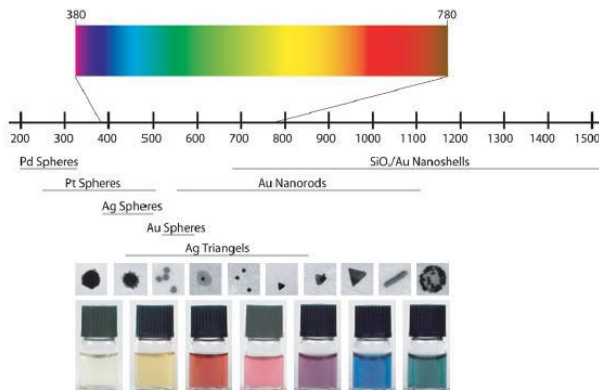
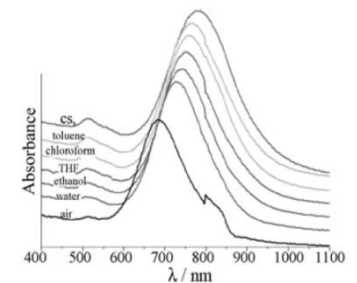
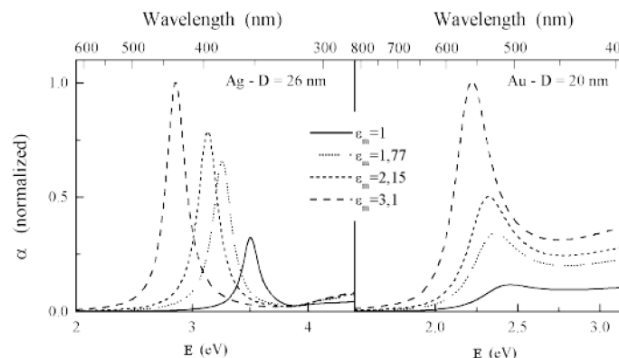


Immagine: Csáki-Fritzsche- Schroeder Institute of Photonic Technology (IPHT), Jena <http://www.ipht-jena.de/en/home.html>



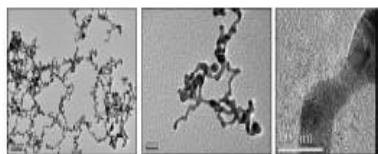
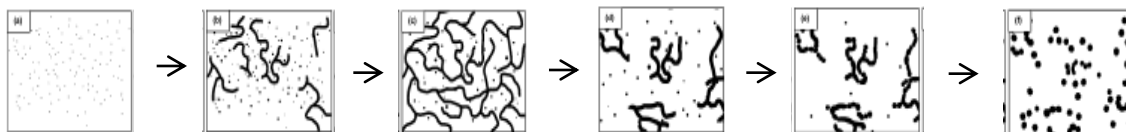
Spettri sperimentali per particelle d'oro inserite in diversi mezzi. Si osserva un red shift per solventi maggiormente polarizzabili (cost. diel. Maggiore)



Sintesi di nanoparticelle d'oro



Metodi alternativi



Immagini al microscopio elettronico
Da [http:// naoyou.eu/](http://naoyou.eu/)

Il colore della soluzione vira dal giallo paglierino al grigio, violetto, porpora, ed infine rubino. E' così possibile monitorare le dimensioni delle «particelle»: al loro diminuire cala anche la λ assorbita.





Sensore plasmonico colorimetrico

All'aumentare delle dimensioni delle nanoparticelle, la **frequenza** di assorbimento diminuisce, cioè si sposta verso il rosso. Quella di emissione (colore percepito) verso il blu!

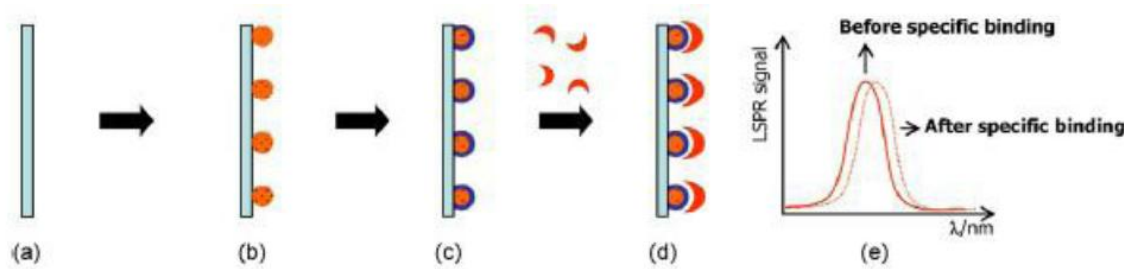
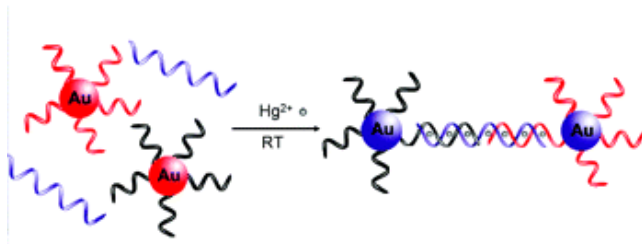


Immagine <http://naoyou.eu/>

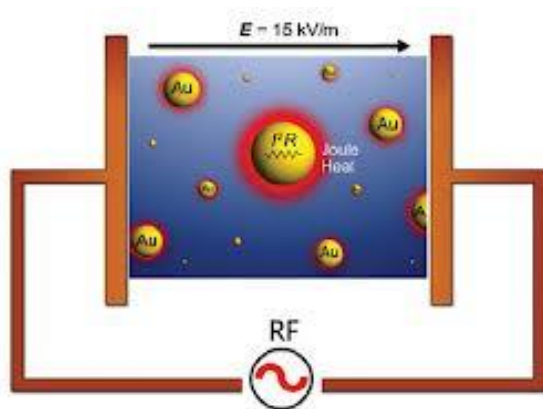
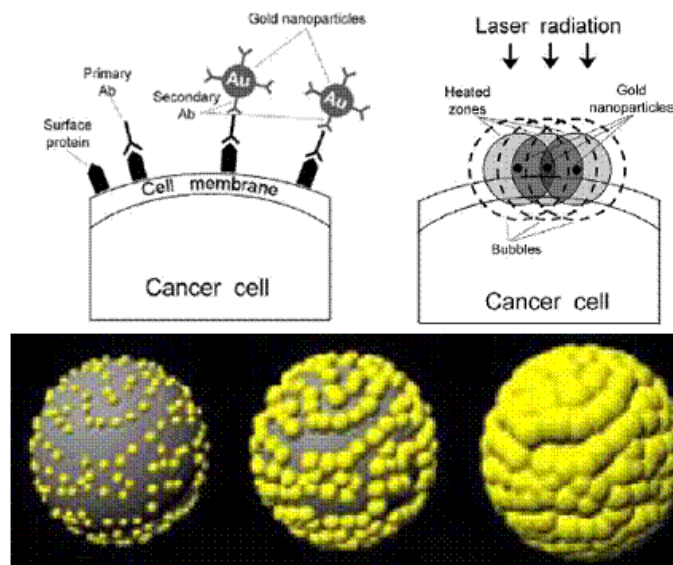
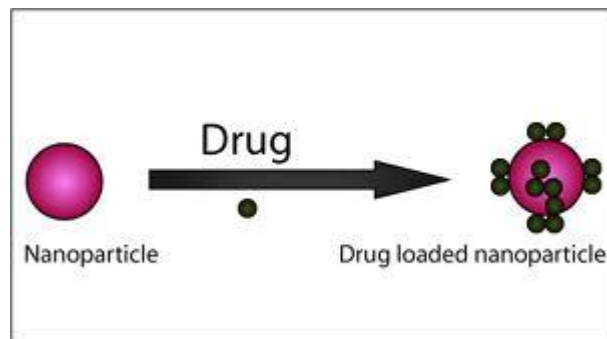
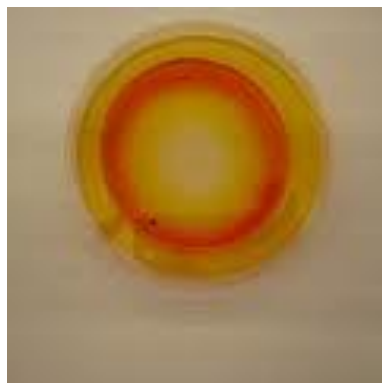


Le particelle d'oro possono venire **funzionalizzate** attaccando sequenze di **DNA** in grado di riconoscere e legarsi a sequenze complementari attaccate ad altre nanoparticelle.

In seguito al legame tra le sequenze complementari di DNA la sospensione cambia colore a causa dello spostamento dell'assorbimento dovuto all'aggregazione, indicando un test positivo per quella specifica sequenza di DNA.



Applicazioni delle nanoparticelle d'oro in medicina



Oltre ai sensori colorimetrici anche

- Trasporto di farmaci per terapie mirate
- Terapia antitumorale fototermica (risonanza in IR) o utilizzando l'effetto Joule indotto da radiofrequenza....