

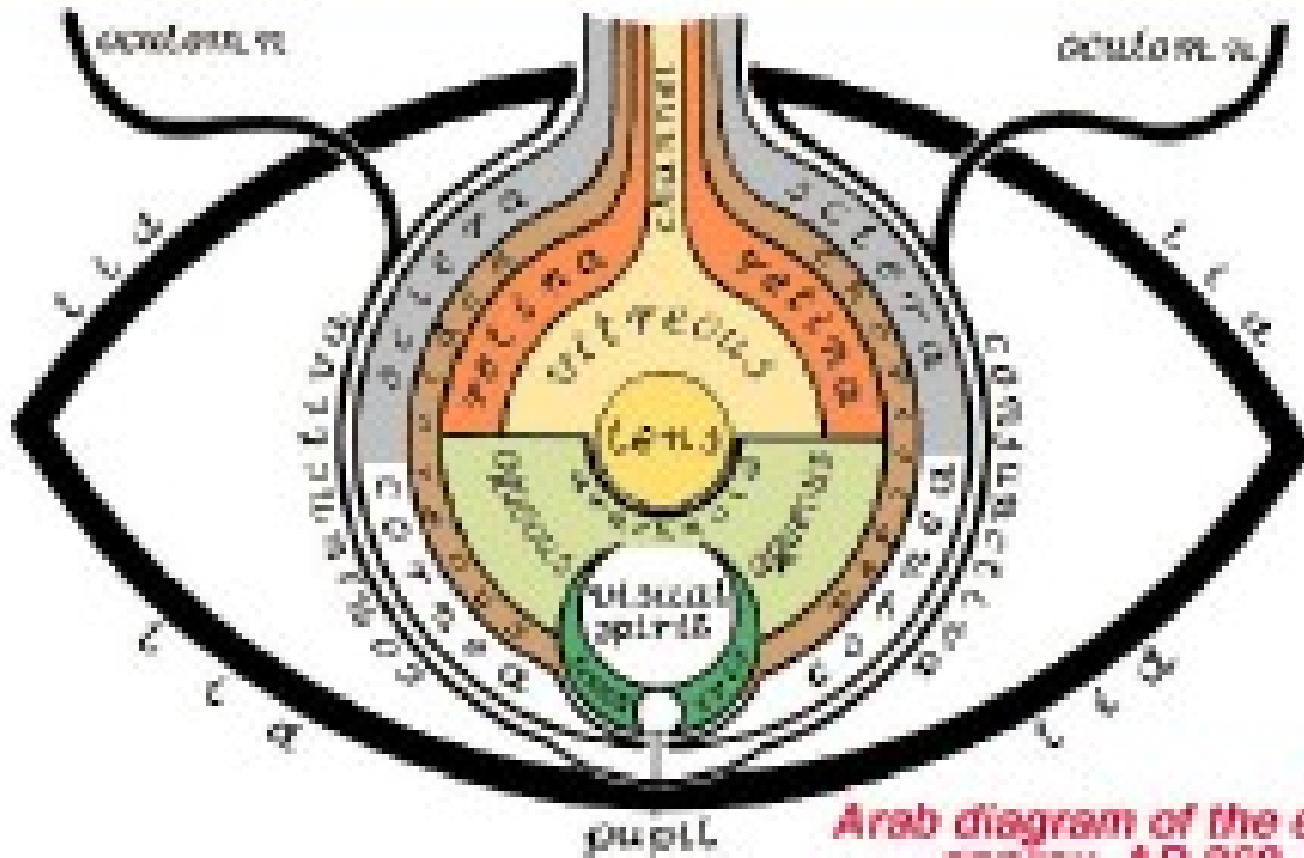
Corso di Visione Artificiale



# Radiometria

Samuel Rota Bulò

# Come vediamo? Teorie della visione

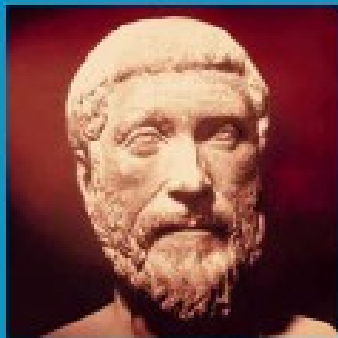


Arab diagram of the eye  
approx. AD 860

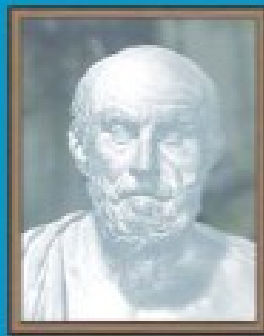
# Teoria emissionista

- **Teoria emissionista** (o visione “tattile”): l'occhio emette un fascio di raggi che, viaggiando nello spazio vanno ad urtare gli oggetti. L'urto suscita la sensazione di visione.

Pitagora



Empedocle  
(490-430 a. C.)



Euclide



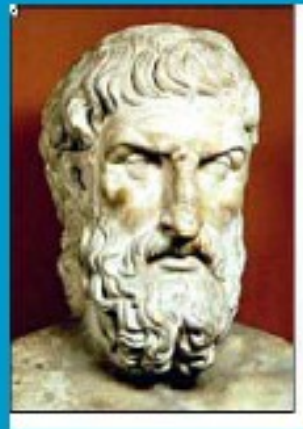
# Teoria intramissionista

- **Teoria intramissionista:** gli oggetti inviano continuamente nello spazio che li circonda le immagini di se stessi. Queste immagini entrano nell'occhio attraverso la pupilla, così rivelandosi.

Democrito  
(460-360 a.C.)



Epicuro

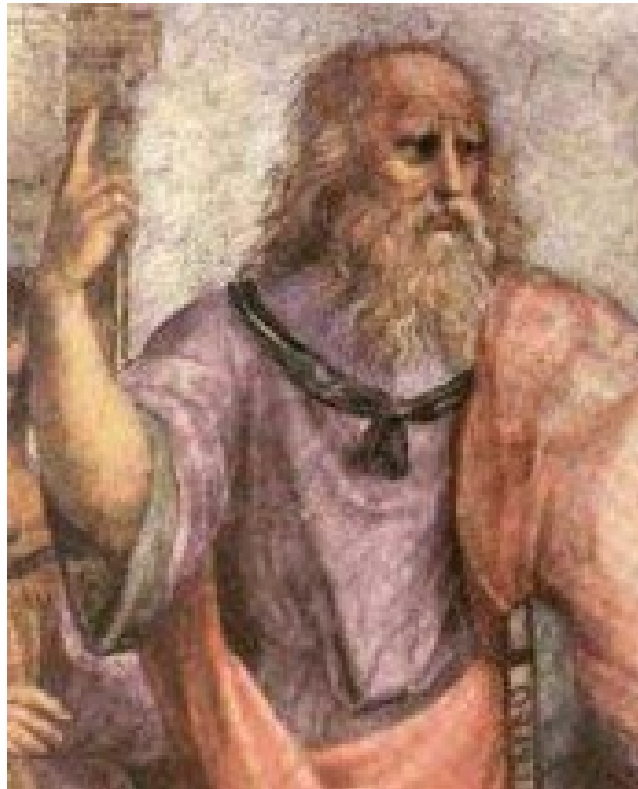


Lucrezio



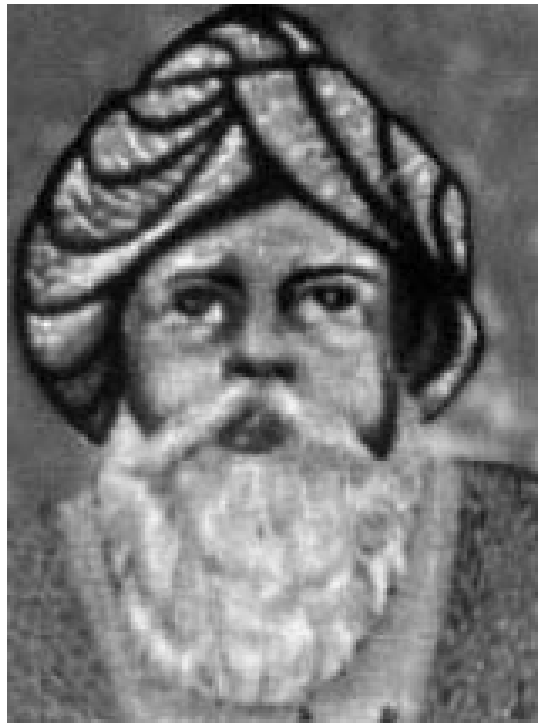
# Combinazione delle due

- Platone (428-347 a.C.) propone una teoria alternativa che combina le due.



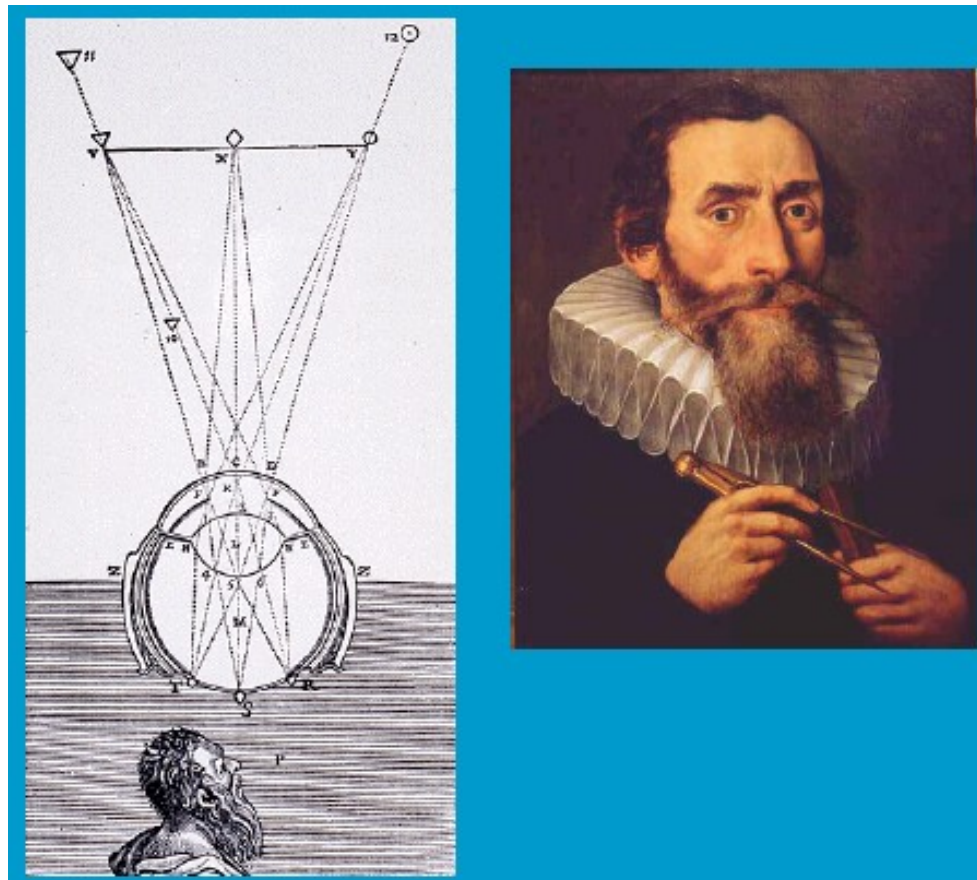
# Demolizione della teoria emissionista

- La teoria emissionista fu demolita da Ibn-al-Haytham (965-1039 d.C.) con un esperimento che mostrò l'esistenza del fenomeno della persistenza retinica delle immagini.



# Keplero

- Nel 1604 Keplero pone fine alla disputa sviluppando la moderna teoria delle immagini retiniche.



# Teoria moderna

Source emits photons



Photons travel in a straight line



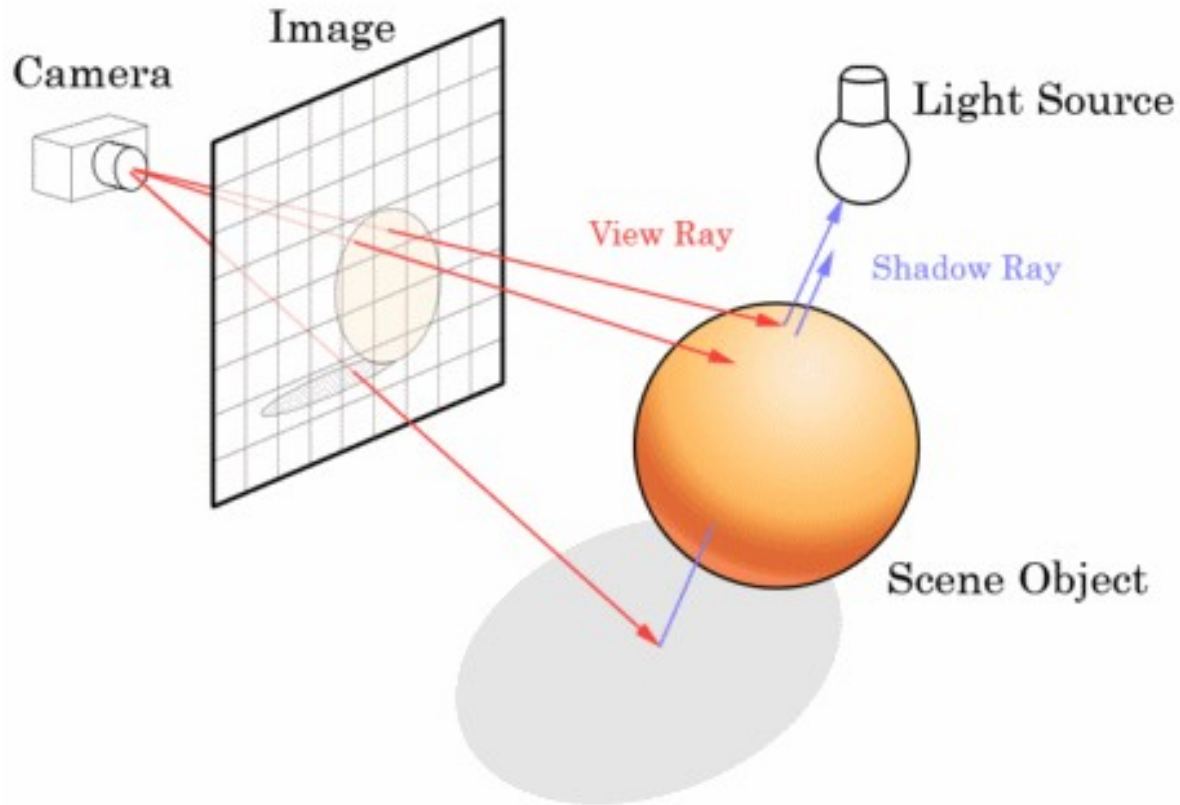
And then some reach the eye/camera.



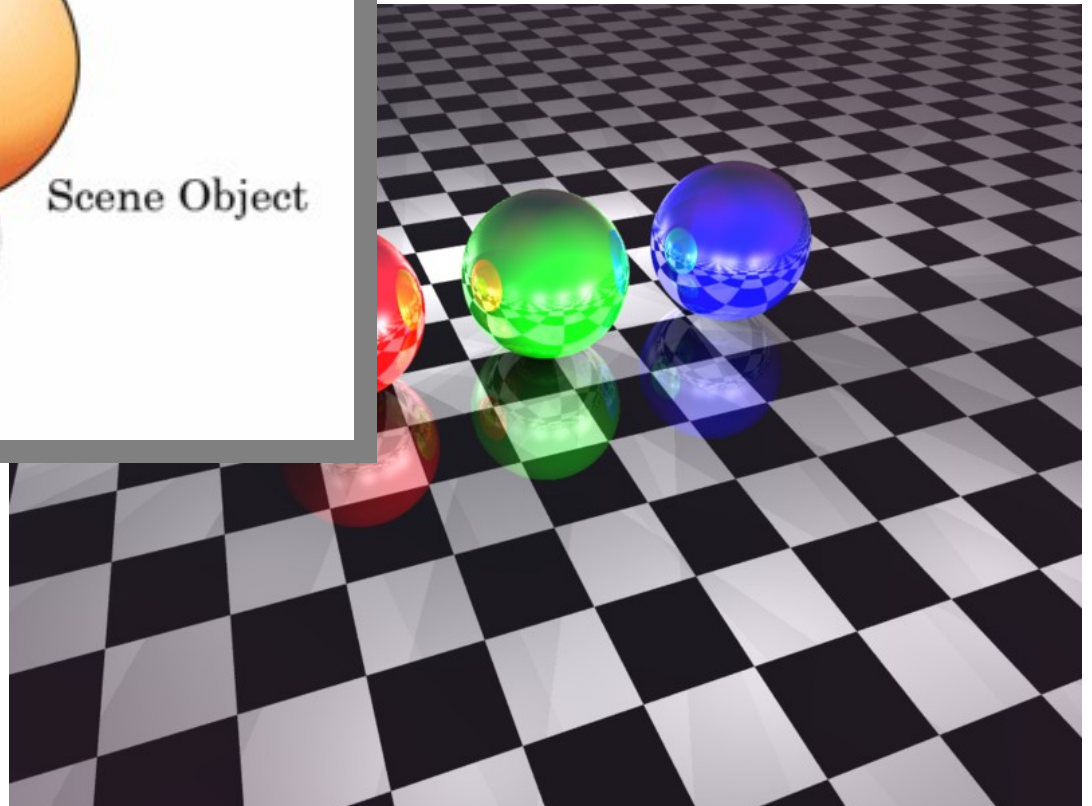
When they hit an object they:

- bounce off in a new direction
- or are absorbed

# Teoria emissionista è morta?

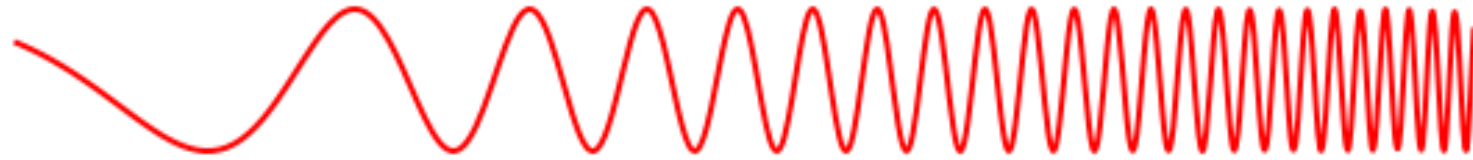
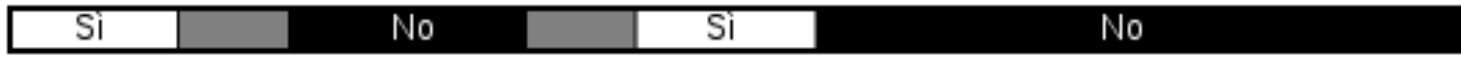


**RAY  
TRACING**



# Luce e lo spettro elettromagnetico

Penetra l'atmosfera terrestre?



Tipo di radiazione

**Radio**

**Microonde**

**Infrarosso**

**Visibile**

**Ultravioletto**

**Raggi X**

**Raggi Gamma**

Lunghezza d'onda (m)

$10^3$

$10^{-2}$

$10^{-5}$

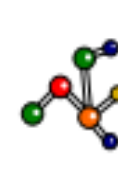
$0.5 \times 10^{-6}$

$10^{-8}$

$10^{-10}$

$10^{-12}$

Scala approssimativa della lunghezza d'onda



Edifici

Esseri umani

Farfalle

Punta di un ago

Protozoi

Molecole

Atomi

Nuclei atomici

Frequenza (Hz)

$10^4$

$10^8$

$10^{12}$

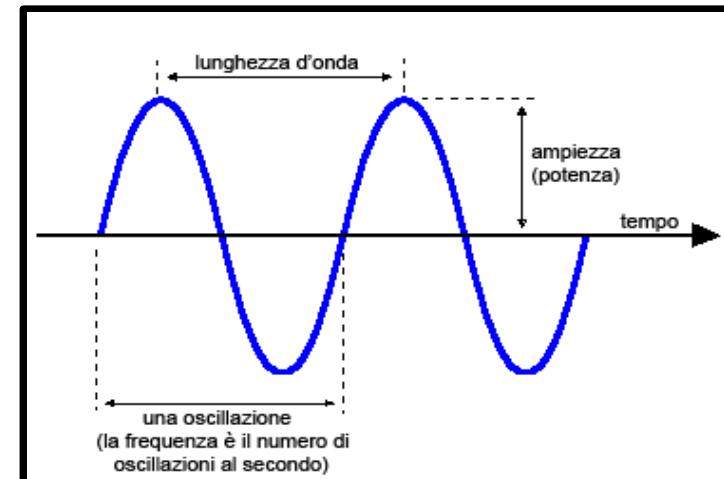
$10^{15}$

$10^{16}$

$10^{18}$

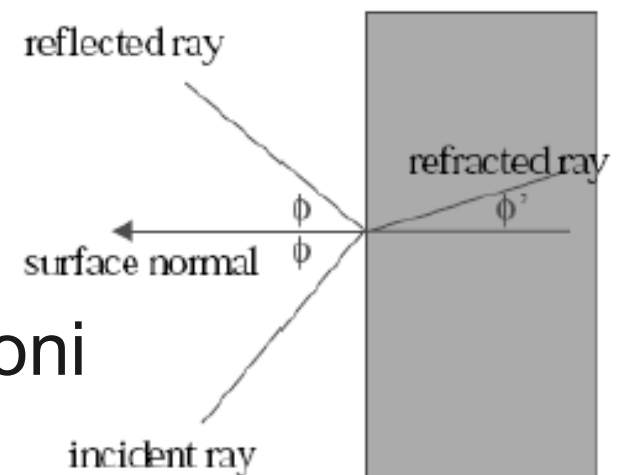
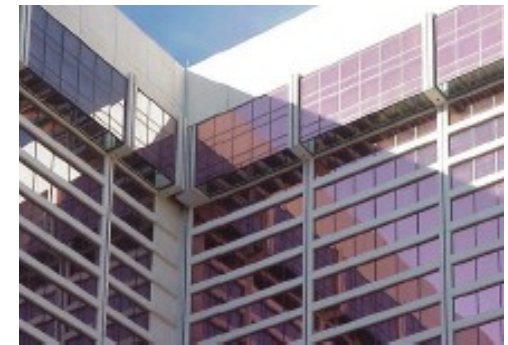
$10^{20}$

- La luce è la parte dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano.
- L'intervallo è circa  $0.43 \mu\text{m}$  (violetto) –  $0.79 \mu\text{m}$  (rosso).
- La luce manifesta proprietà di onde e particelle (fotoni).



# Interazione luce/oggetti

- Raggi di luce lasciano la sorgente luminosa e viaggiano lungo linee drette.
- Quando un raggio colpisce un punto di un oggetto:
  - a) parte della luce viene assorbita, e convertita in altra forma di energia (es. calore)
  - b) parte passa attraverso l'oggetto (rifrazione)
  - c) parte viene riflessa (anche in direzioni multiple).

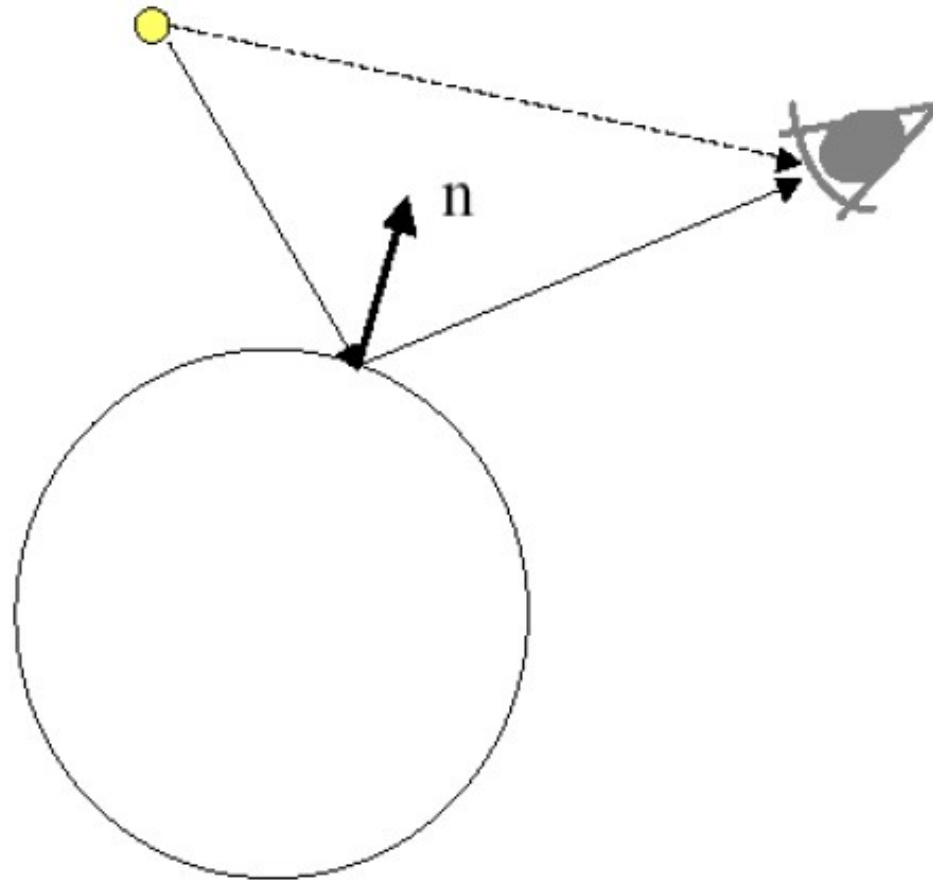


# Tipi di sorgenti luminose

- Tipi di base:
  - a) **puntuali**
  - b) **direzionali** (puntuali a distanza infinita)
  - c) **areali** (unione di sorgenti puntuali).
- Campo luminoso descrive la distribuzione delle sorgenti luminose.

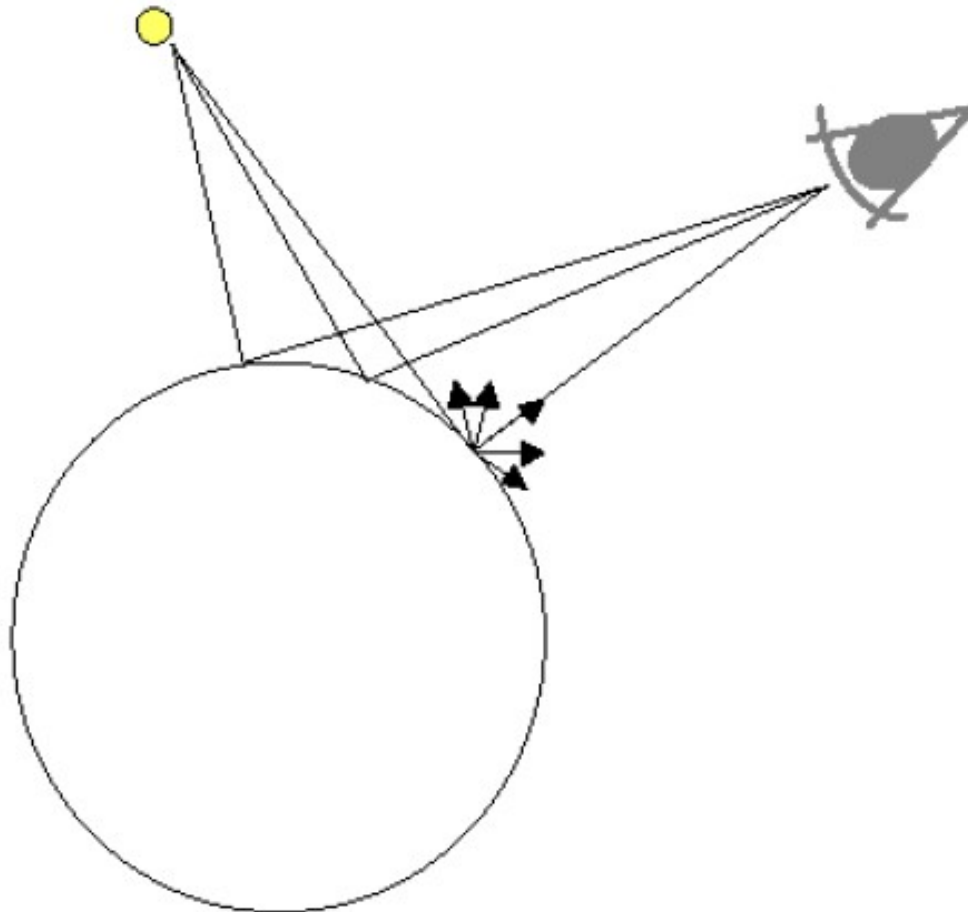
# Luce

- Immaginiamo una sfera a specchio in una stanza perfettamente buia, illuminata da una sorgente puntuale. Cosa vediamo?



# Luce

- Immaginiamo una sfera colorata di bianco in una stanza perfettamente buia, illuminata da una sorgente puntuale. Cosa vediamo?



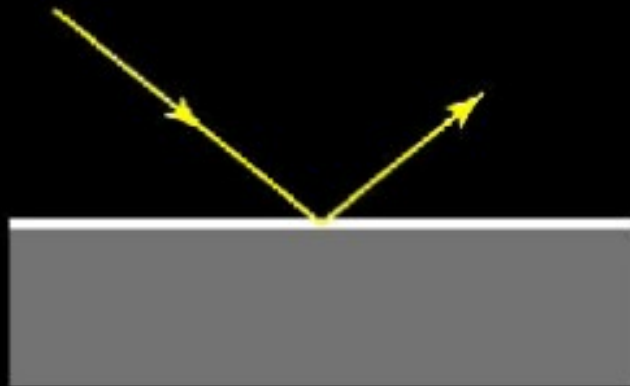
# Luce e materiali



conductor



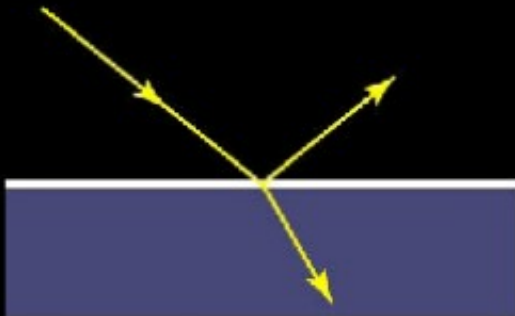
conductor plus  
microgeometry



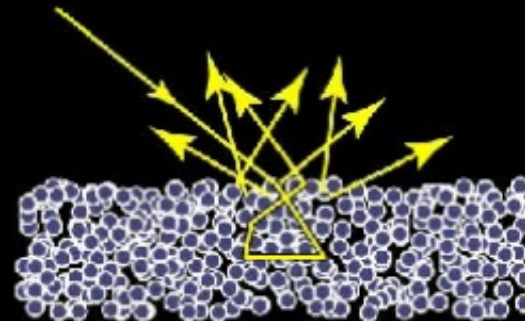
# Luce e materiali



insulator



insulator plus  
microgeometry

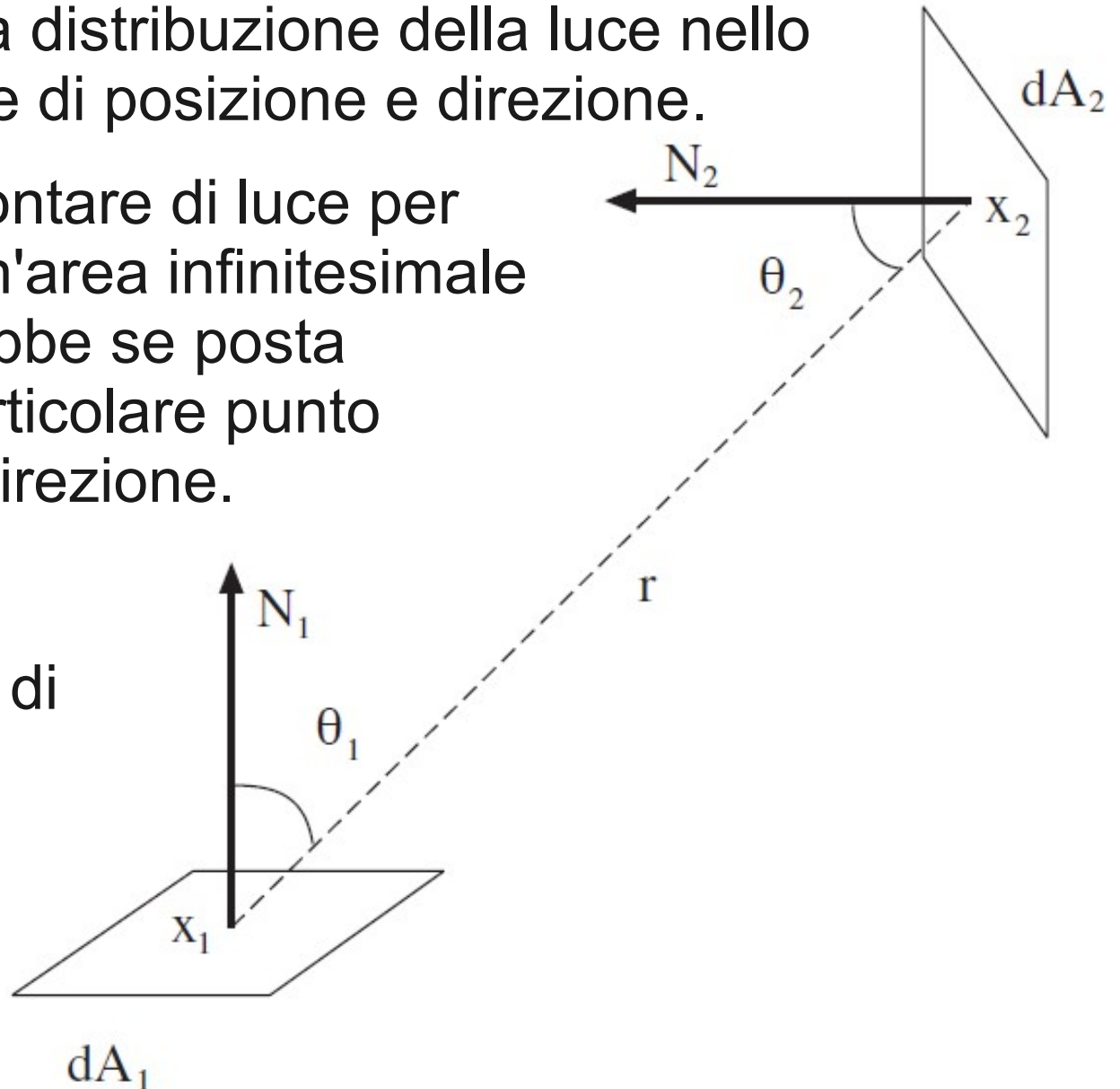


# Radianza

- La radianza misura la distribuzione della luce nello spazio come funzione di posizione e direzione.
- La radianza è l'ammontare di luce per unità di tempo che un'area infinitesimale di superficie riceverebbe se posta nello spazio in un particolare punto con una particolare direzione.

$$L(\mathbf{x}, \theta, \phi)$$

- Assumiamo assenza di interazioni con l'aria.



# Luce sulle superfici

- Quando la luce colpisce una superficie può essere
  - a) assorbita
  - b) rifratta
  - c) diffusa
  - d) riflessa
- Luce che colpisce la pelli può essere diffusa a varie profondità, riflessa dal sangue o dalla melanina che contiene.
- Assunzioni:
  - radianza che lascia un punto è dovuta a radianza arrivata in quel punto
  - nessun fenomeno di fluorescenza.

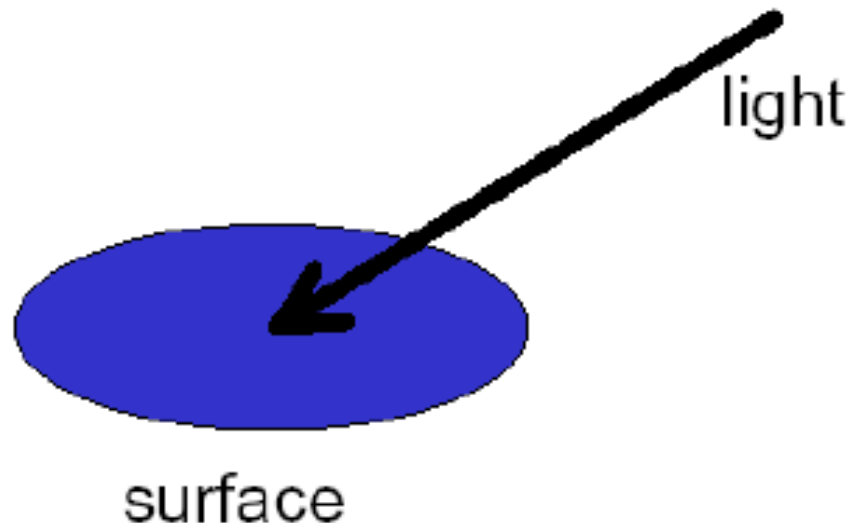
# Fluorescenza

- La fluorescenza è quel fenomeno per cui alcune superfici assorbono luce ad una lunghezza d'onda e la emettono a diverse lunghezze d'onda.
- Gli scorpioni mostrano fenomeni di fluorescenza trasformando illuminazione a raggi x in luce visibile.
- I denti umani invece trasformano l'ultravioletto in un blu debole.



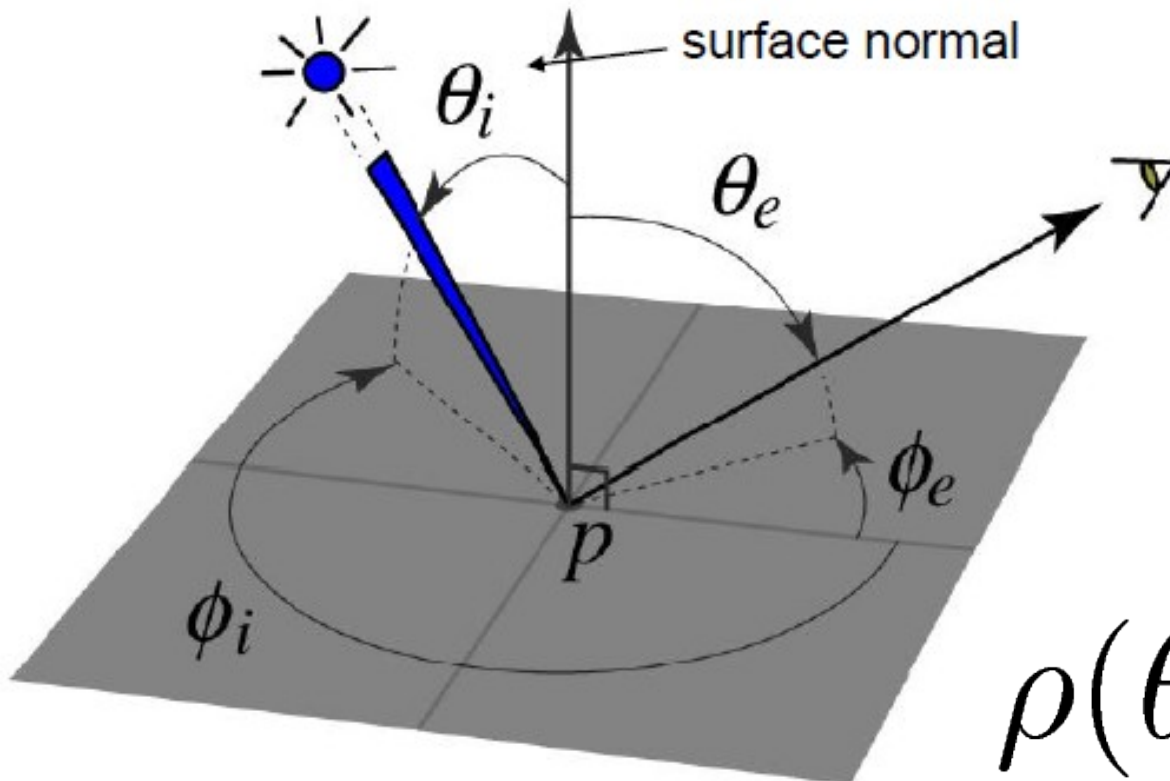
# Irradianza

- L'irradianza è una funzione per rappresentare l'ammontare di luce per unità di tempo che colpisce una superficie infinitesimale.



# BRDF

- Funzione di distribuzione della riflessione bidirezionale.
- Proporzione di luce che arriva con angolo  $(\theta_i, \phi_i)$  vs quella che viene emessa con angolo  $(\theta_e, \phi_e)$

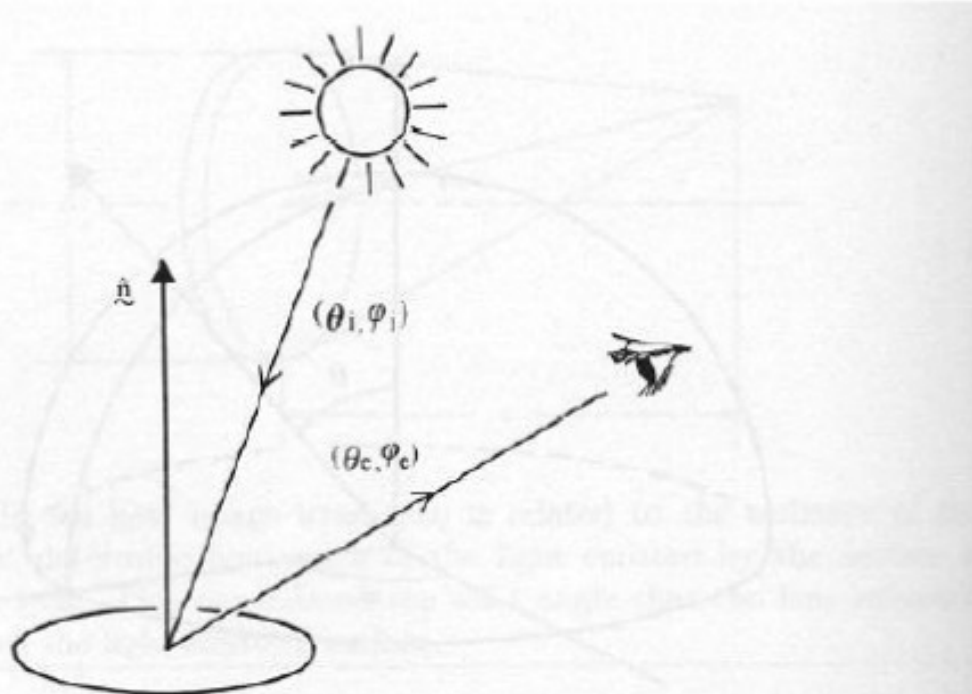


$$\rho(\theta_i, \phi_i, \theta_e, \phi_e)$$

# BRDF

- Quanto luminosa appare una superficie se viene vista da una certa direzione ed è illuminata da un'altra direzione?

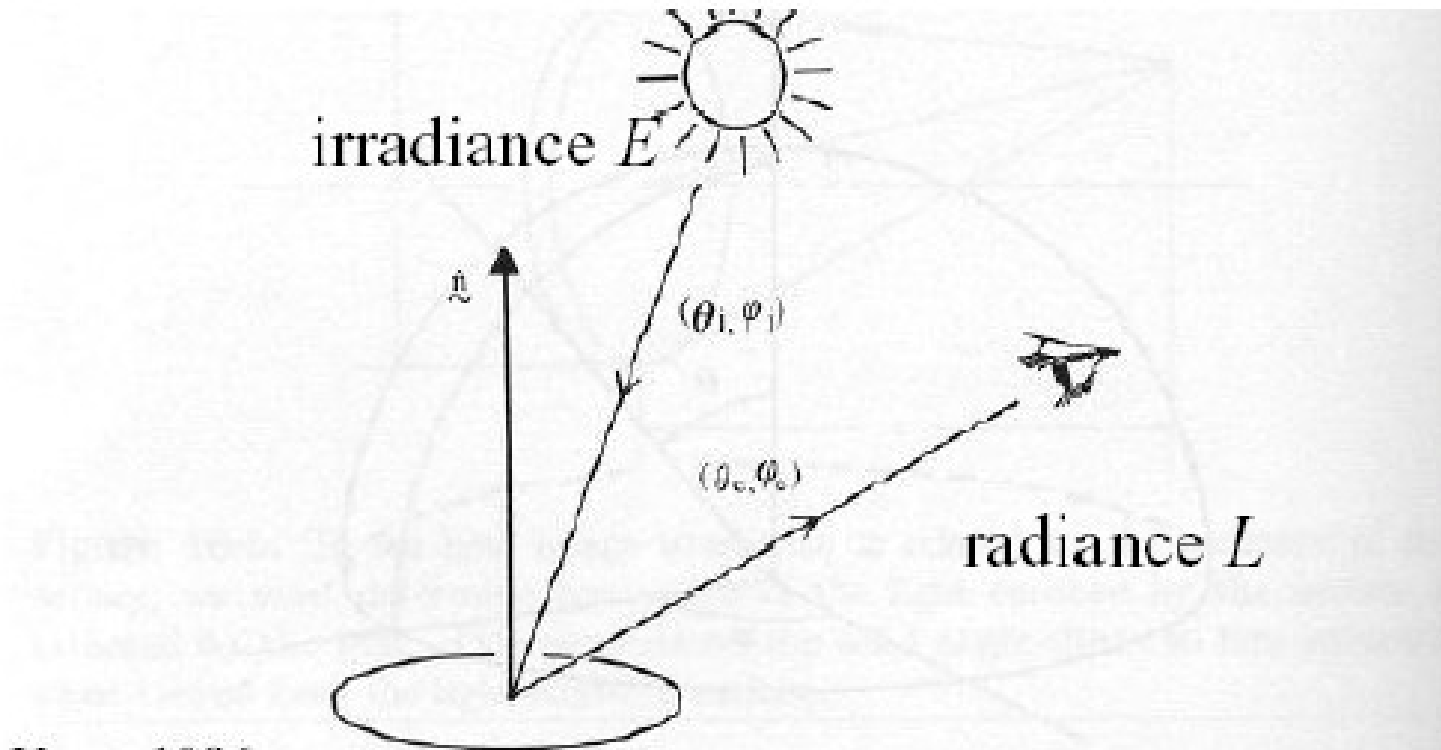
## Scene Radiance



Hom, 1986

**Figure 10-7.** The bidirectional reflectance distribution function is the ratio of the radiance of the surface patch as viewed from the direction  $(\theta_e, \phi_e)$  to the irradiance resulting from illumination from the direction  $(\theta_i, \phi_i)$ .

# BRDF



Horn, 1986

**Figure 10-7.** The bidirectional reflectance distribution function is the ratio of the radiance of the surface patch as viewed from the direction  $(\theta_e, \phi_e)$  to the irradiance resulting from illumination from the direction  $(\theta_i, \phi_i)$ .

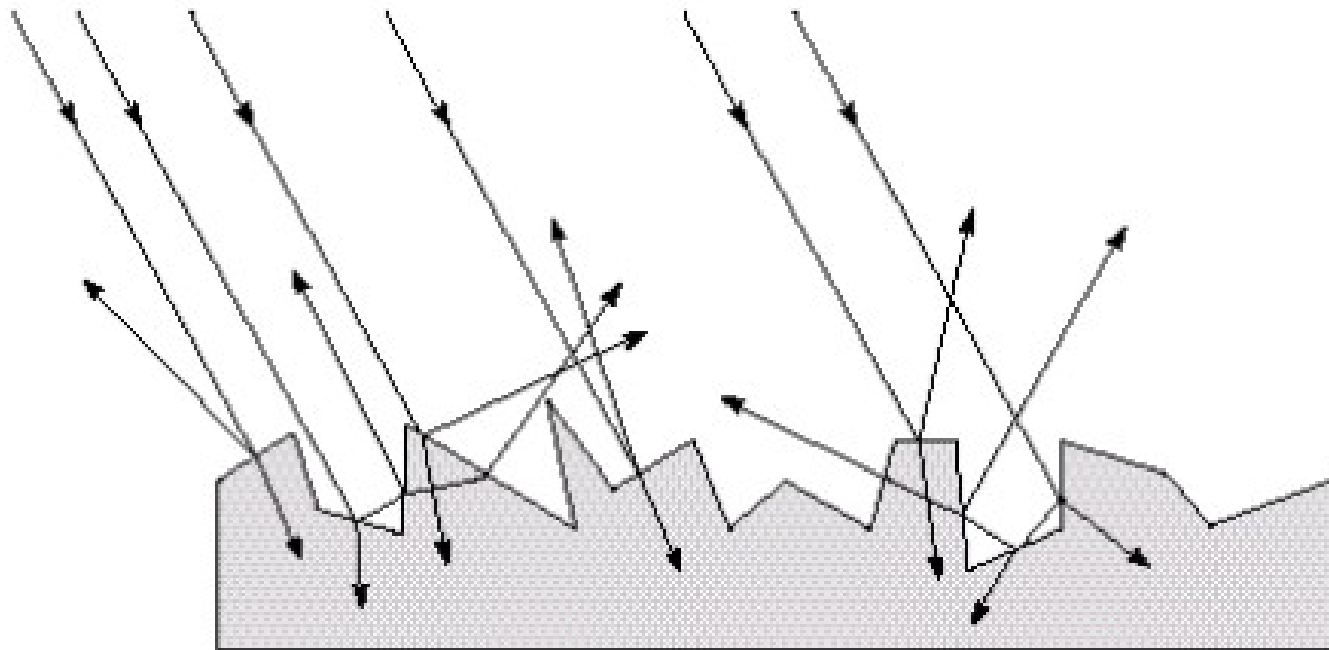
$$\rho(\theta_i, \phi_i, \theta_e, \phi_e) = \frac{L(\theta_e, \phi_e)}{E(\theta_i, \phi_i)}$$

# Radiosità

- La radianza dipende dall'angolo.
- Per certi materiali (vestiti di cotone) la dipendenza della luce riflessa dall'angolo è debole o inesistente.
- Se la radianza che lascia una superficie non dipende dall'angolo di uscita allora la radiosità è la unità di misura appropriata.
- La **radiosità** misura l'ammontare totale di luce che lascia la superficie per unità di area.

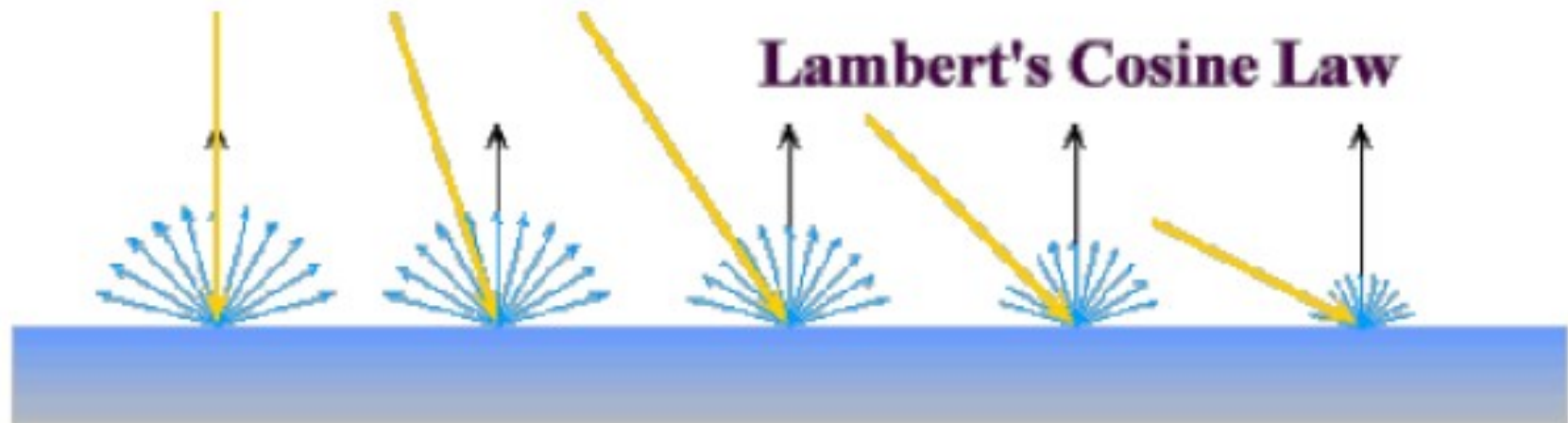
# Riflessione diffusa

- Micro sfaccettature diffondono la luce che arriva in modo casuale
- Effetto: luce riflessa in modo uniforme in tutte le direzioni.

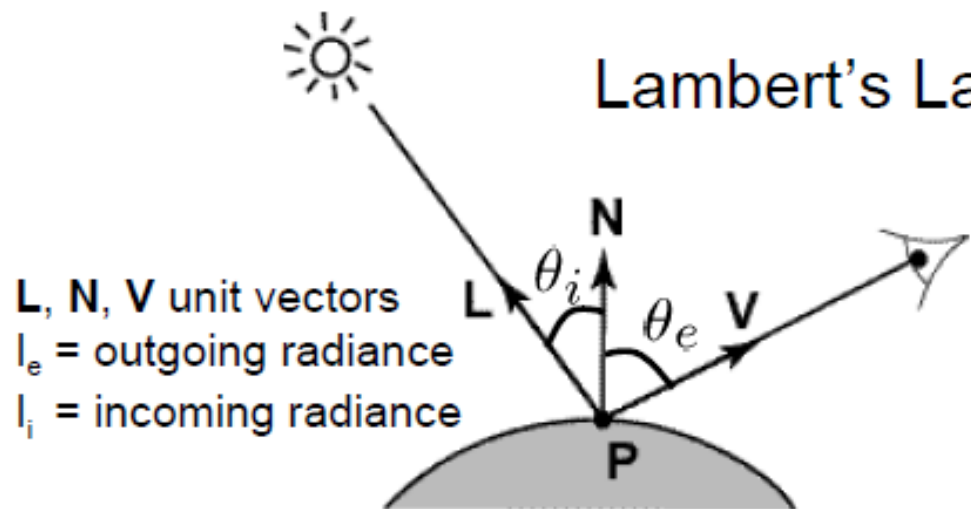


# Riflessione diffusa

- La riflessione diffusa segue la legge di Lambert
  - la luminosità percepita non dipende dall'angolo di osservazione
  - la luminosità dipende dalla direzione dell'illuminazione
  - modello più usato in visione



# Legge di Lambert



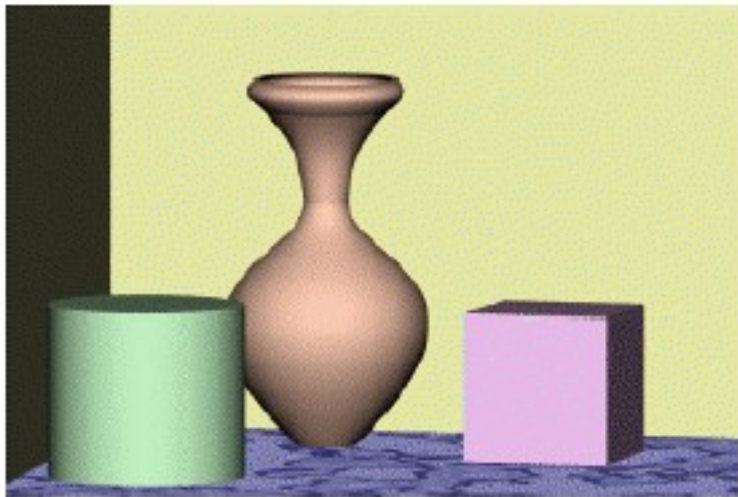
$$\text{Lambert's Law: } I_e = k_d \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} I_i$$

$k_d$  is called **albedo**

BRDF for **Lambertian surface**

$$\rho(\theta_i, \phi_i, \theta_e, \phi_e) = k_d \cos \theta_i$$

# Superfici lambertiane



Scene

(Oren and Nayar)



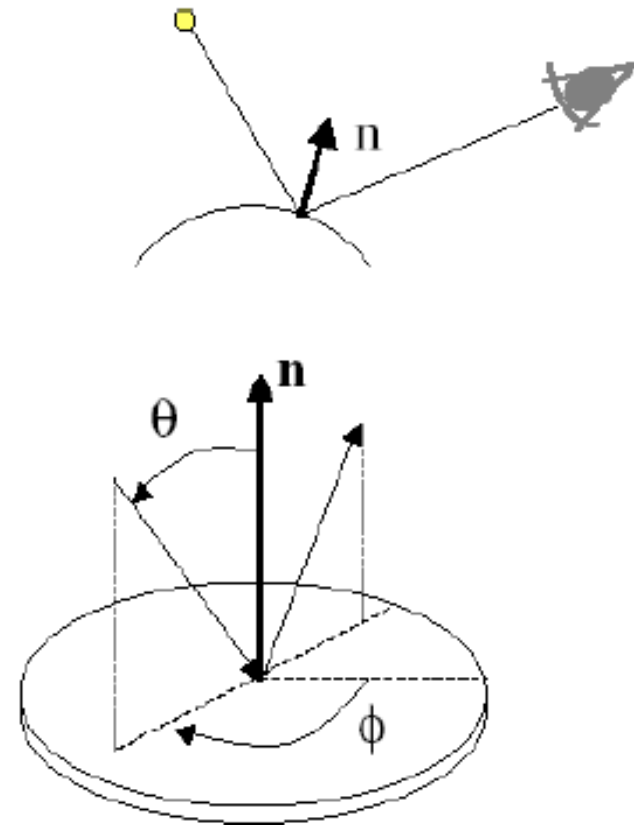
Lambertian sphere as the light  
moves.

(Steve Seitz)

# Superfici speculari

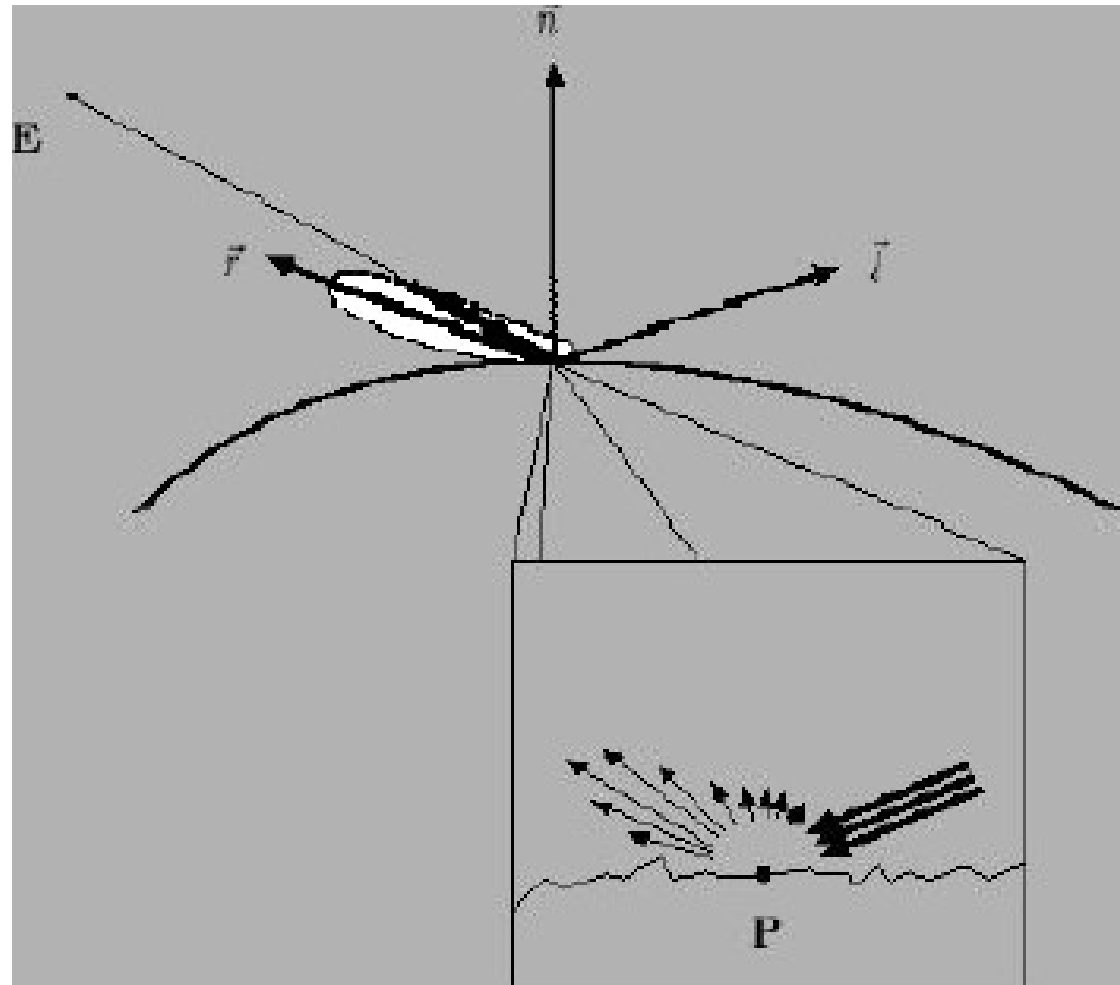
- La radiazione che arriva da una direzione lascia la superficie nella direzione speculare.
- La riflessione avviene rispetto alla normale alla superficie.

$$L(\theta_e, \phi_e) = E(\theta_e, \pi - \phi_e)$$



# Superfici speculari

- Nella realtà parte dell'energia viene assorbita e trasformata.

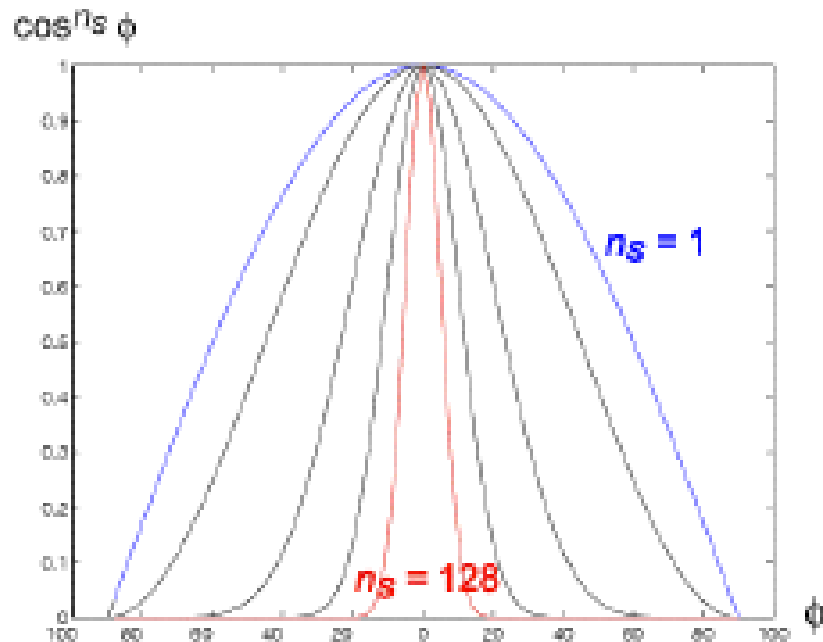


# Superfici speculari

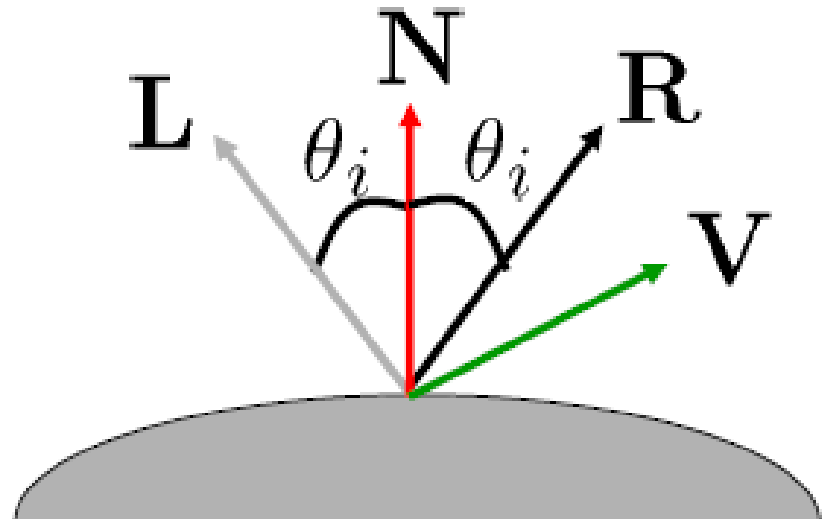
- Uno specchio perfetto riflette la luce secondo la normale.

$$I_e = \begin{cases} I_i & \text{if } \mathbf{V} = \mathbf{R} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

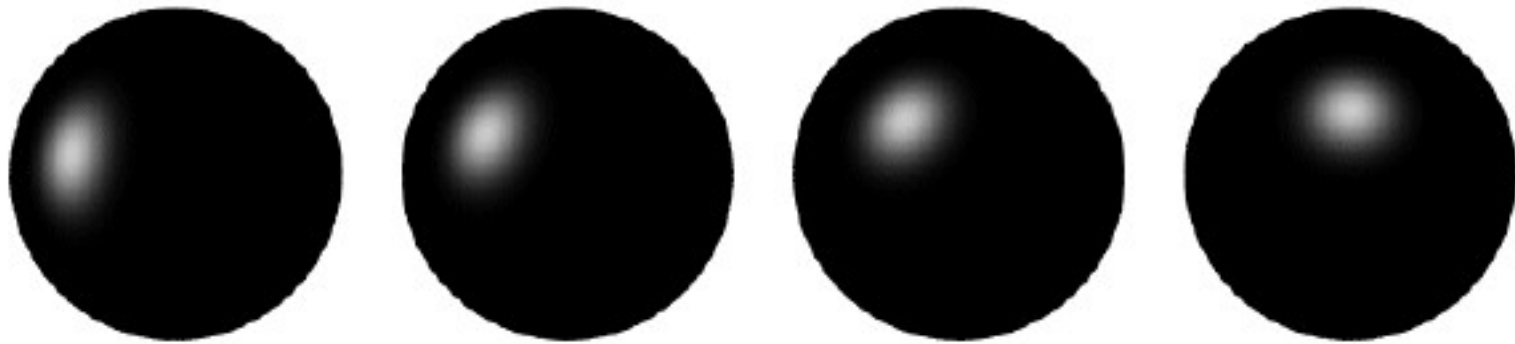
- Uno specchio quasi perfetto presentano degli highlight.



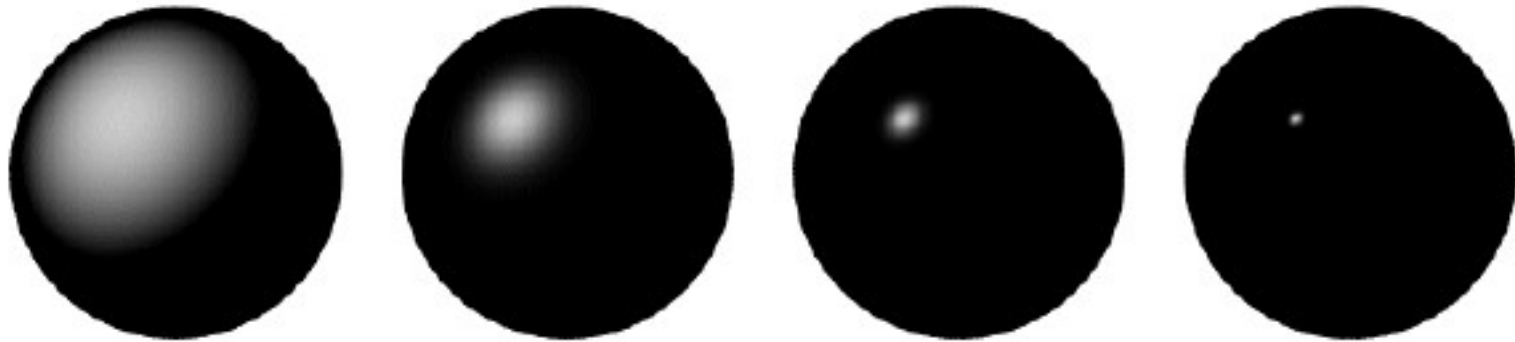
$$I_e = k_s (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^{n_s} I_i$$



# Superfici speculari



- Moving the light source



- Changing  $n_s$

# Modello di Phong

- Modello che approssima la riflessione delle superfici
  - termine diffusivo
  - termine speculare

$$I_e = k_a I_a + I_i \left[ k_d (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})_+ + k_s (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})_+^{n_s} \right]$$

$\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{N}$ ,  $\mathbf{V}$  unit vectors

$I_e$  = outgoing radiance

$I_i$  = incoming radiance

$I_a$  = ambient light

$k_a$  = ambient light reflectance factor

$(x)_+ = \max(x, 0)$