

Corso di Visione Artificiale



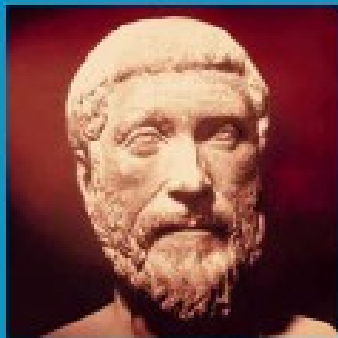
Radiometria

Samuel Rota Bulò

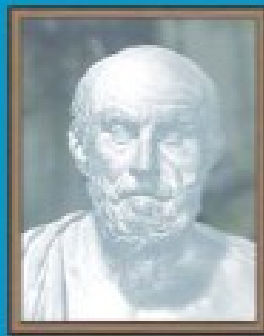
Teoria emissionista

- **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



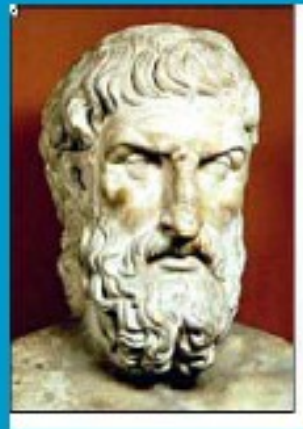
Teoria intramissionista

- **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

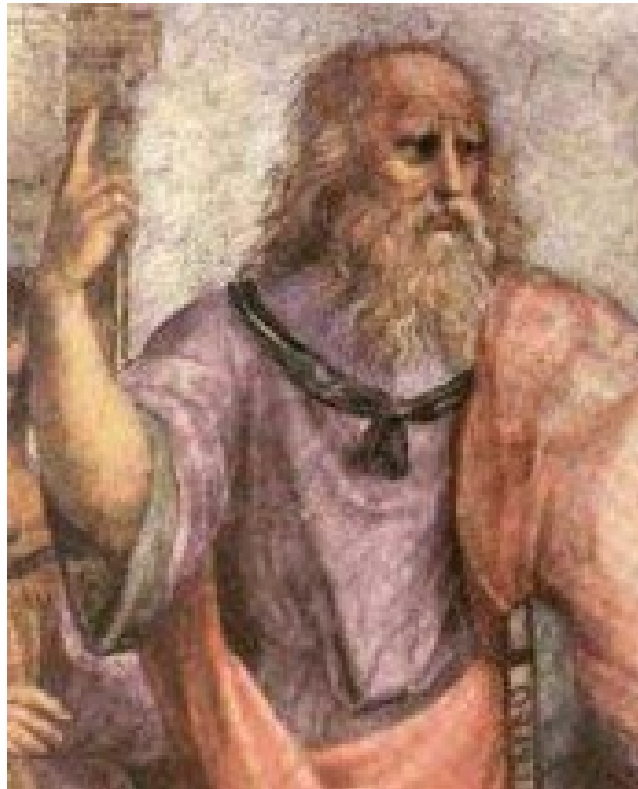


Lucrezio



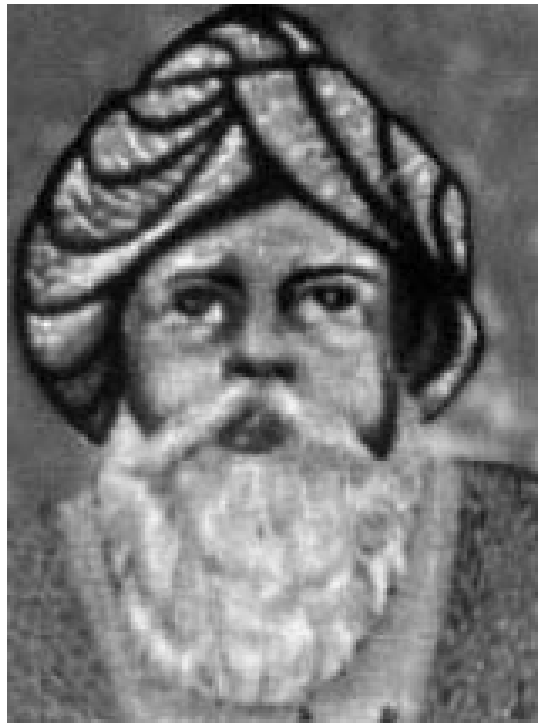
Combinazione delle due

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



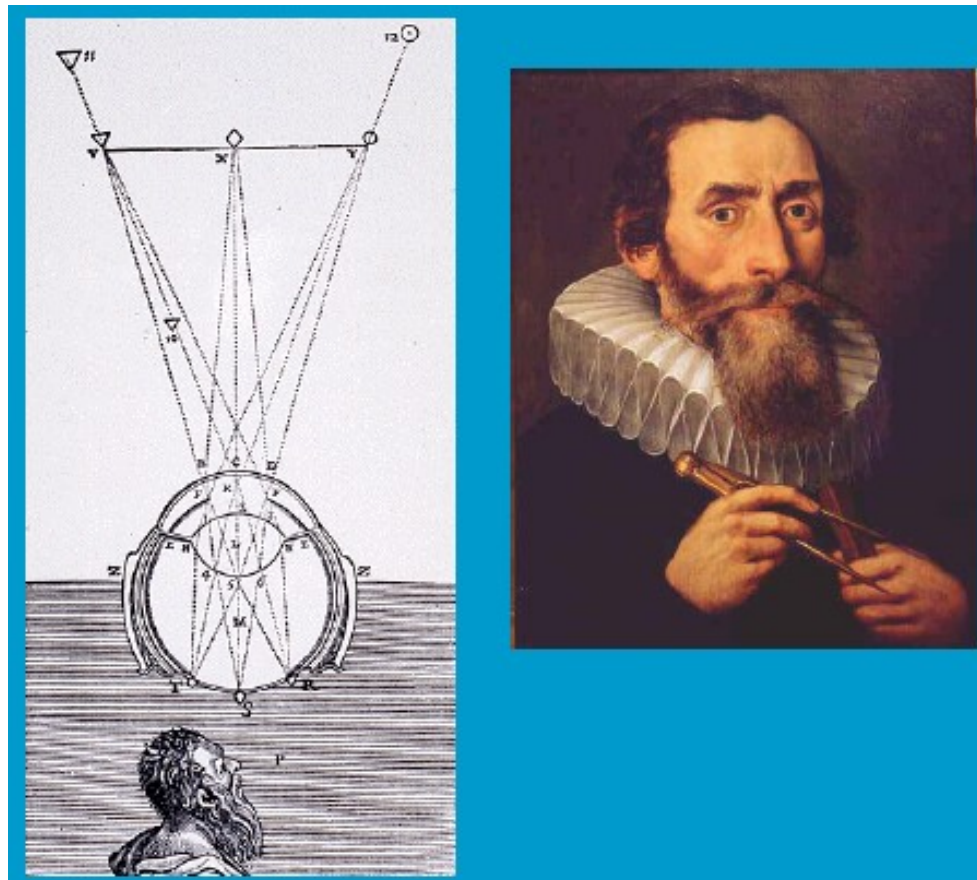
Demolizione della teoria emissionista

- 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



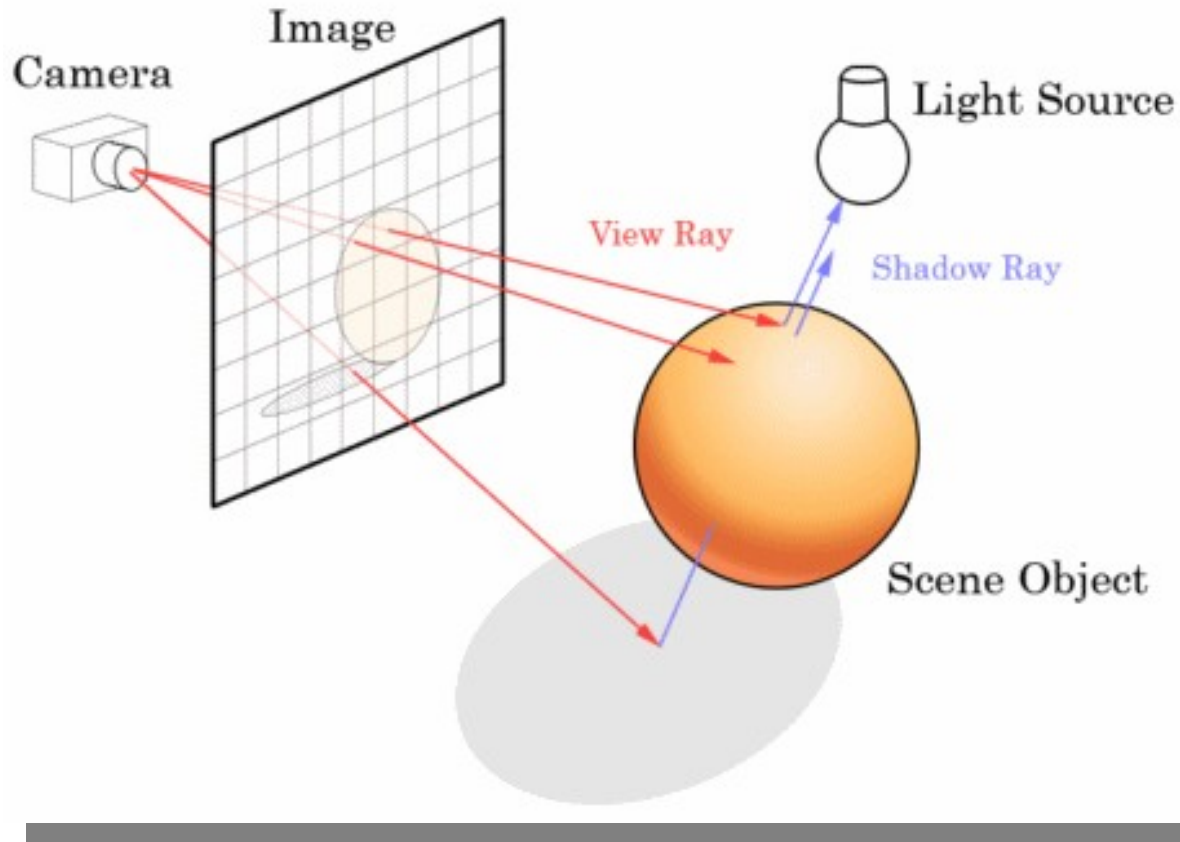
And then some reach the eye/camera.



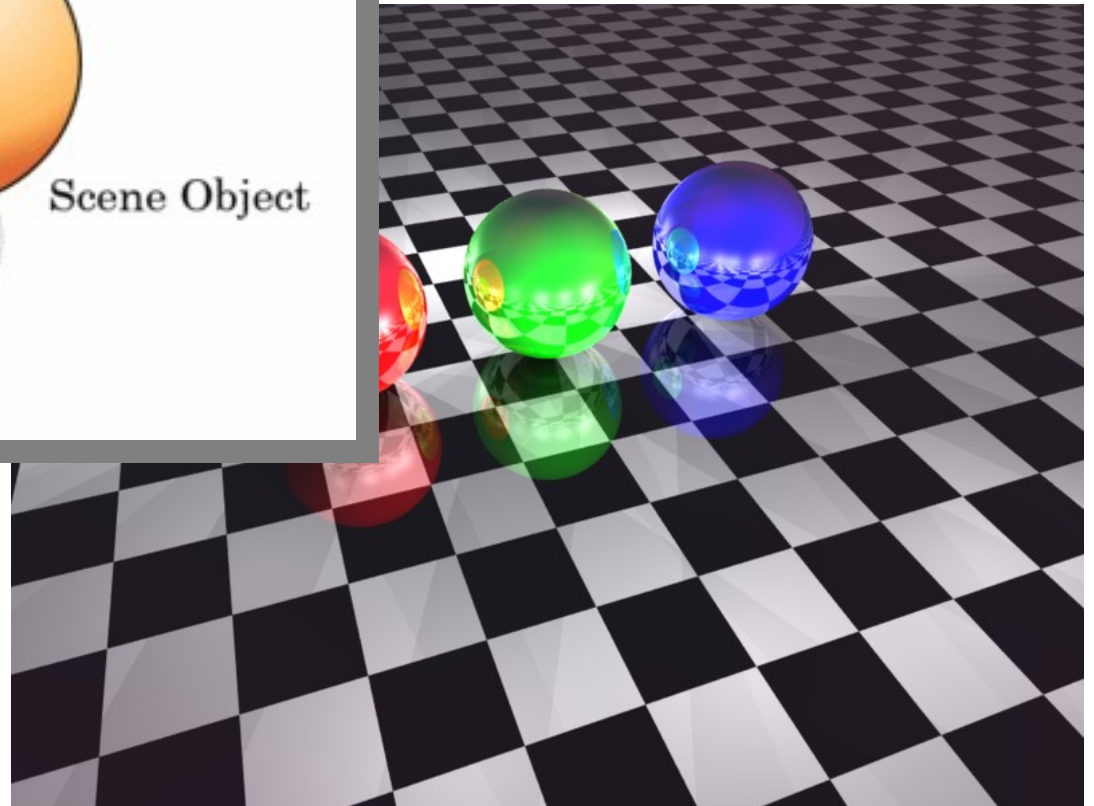
When they hit an object they:

- bounce off in a new direction
- or are absorbed

Teoria emissionista è morta?

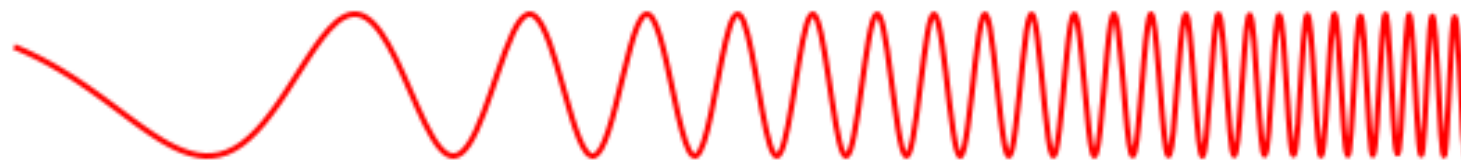
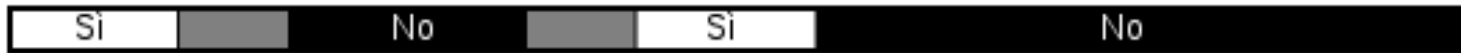


**RAY
TRACING**

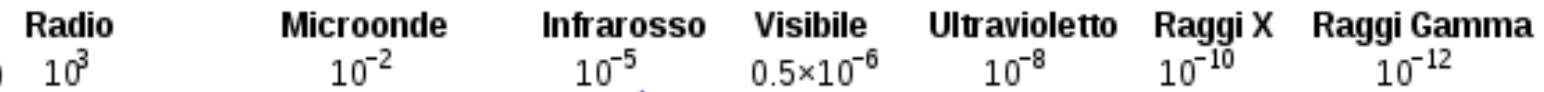


Luce e lo spettro elettromagnetico

Penetra l'atmosfera terrestre?



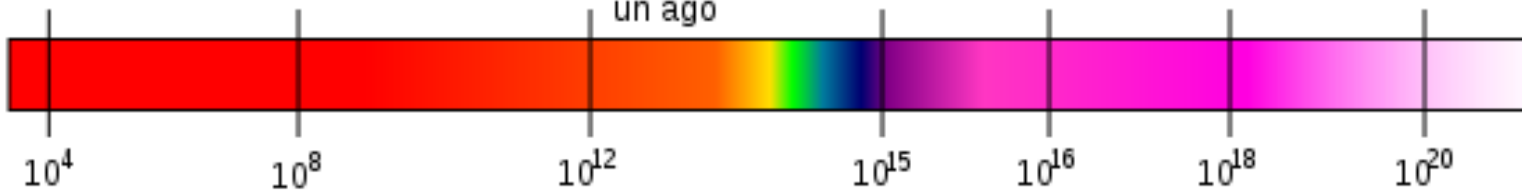
Tipo di radiazione
Lunghezza d'onda (m)



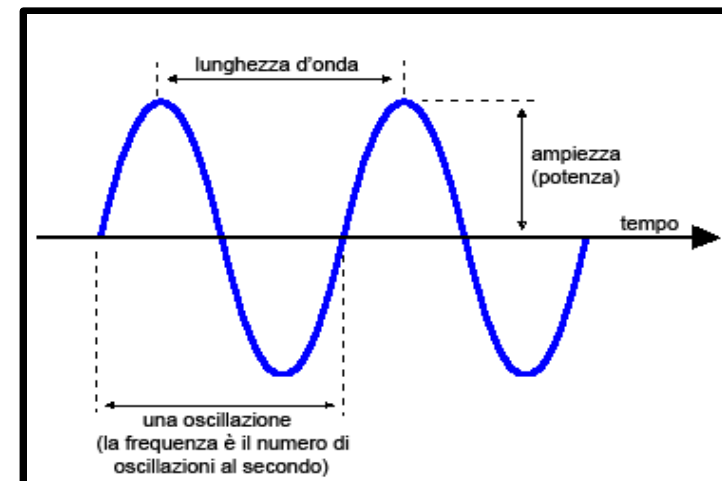
Scala approssimativa della lunghezza d'onda



Frequenza (Hz)

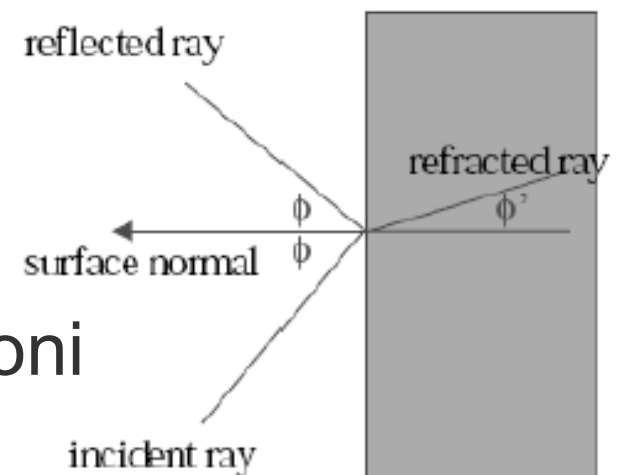
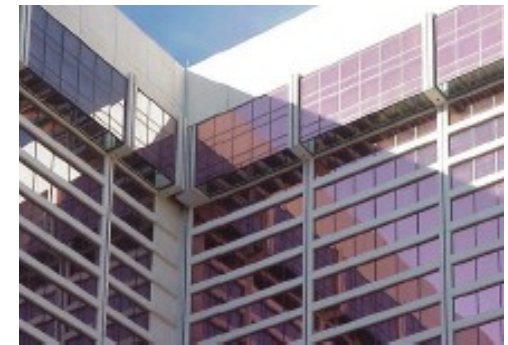


- La luce è la parte dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano.
- L'intervallo è circa $0.43 \mu\text{m}$ (violetto) – $0.79 \mu\text{m}$ (rosso).
- La luce manifesta proprietà di onde e particelle (fotoni).



Interazione luce/oggetti

- Raggi di luce lasciano la sorgente luminosa e viaggiano lungo linee rette.
- 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).

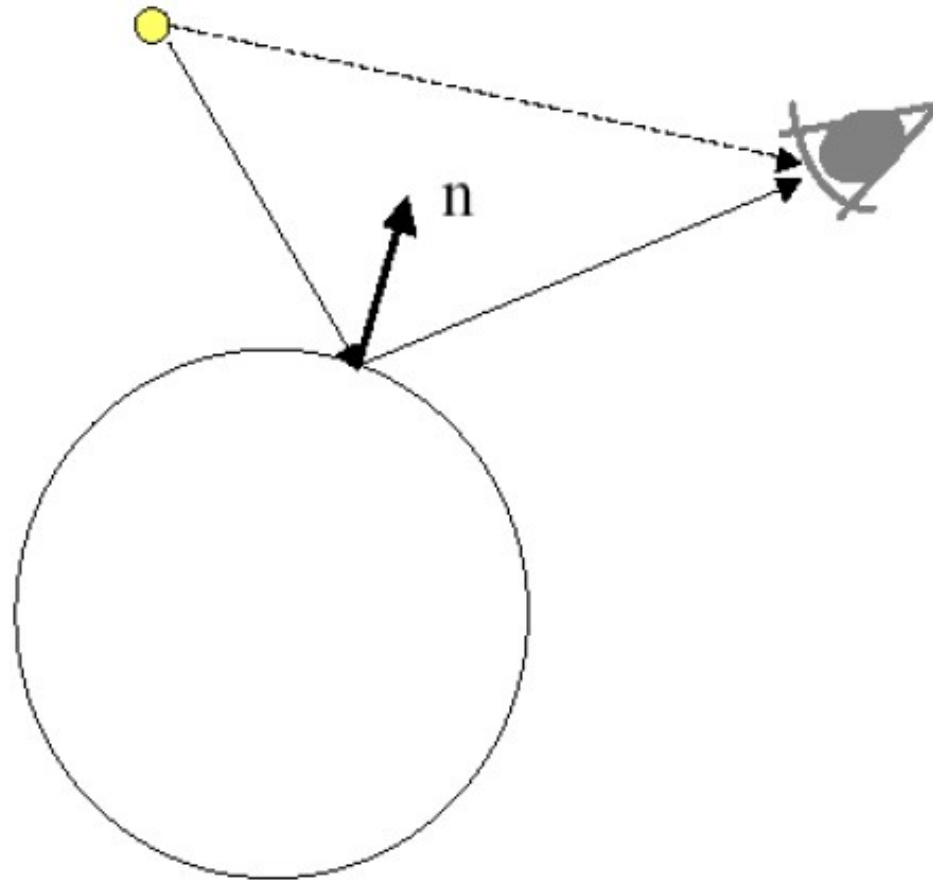


Tipi di sorgenti luminose

- 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.

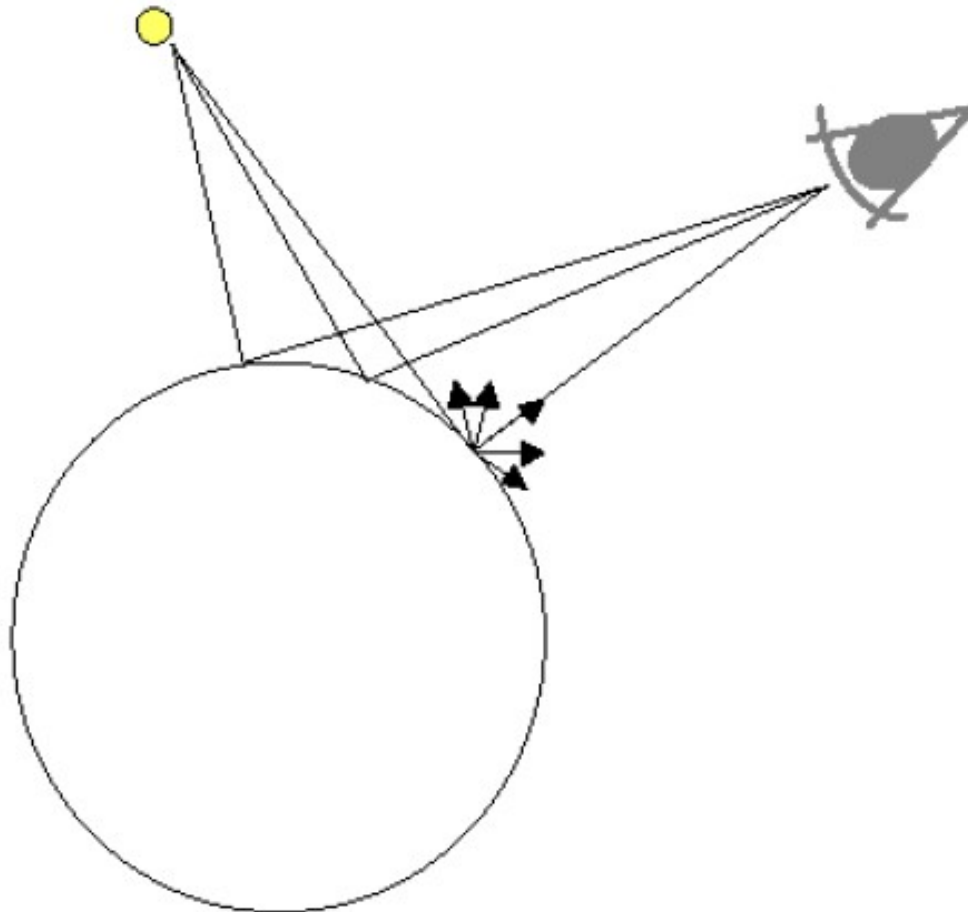
Luce

- 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?



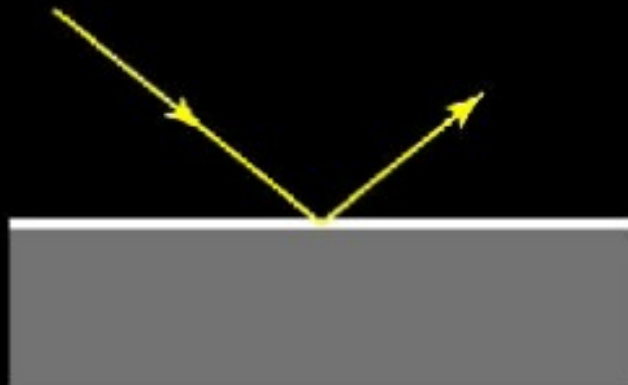
Luce e materiali



conductor



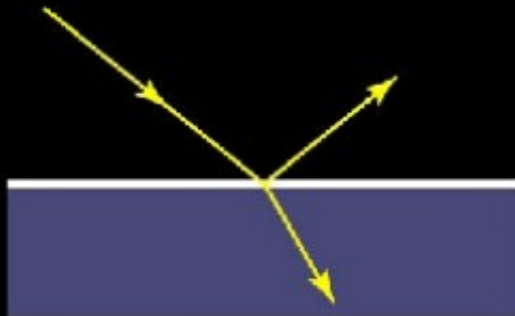
conductor plus
microgeometry



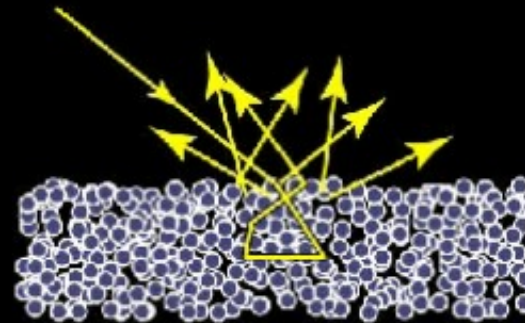
Luce e materiali



insulator



insulator plus
microgeometry

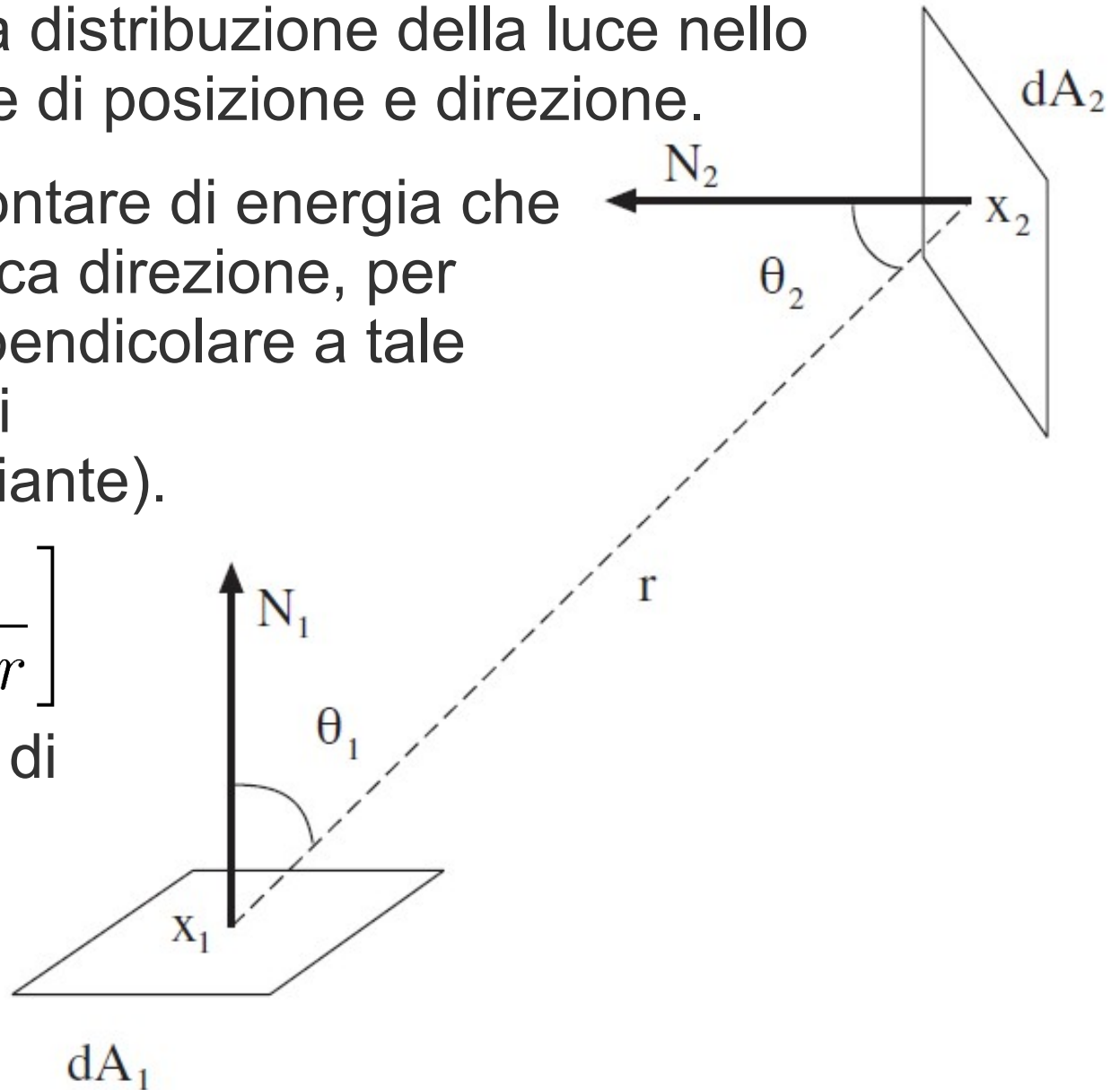


Radianza

- La radianza misura la distribuzione della luce nello spazio come funzione di posizione e direzione.
- La radianza è l'ammontare di energia che viaggia in una specifica direzione, per unità di area per perpendicolare a tale direzione, per unità di angolo solido (steradiante).

$$L(\mathbf{x}, \theta, \phi) \left[\frac{W}{m^2 \cdot sr} \right]$$

- 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.

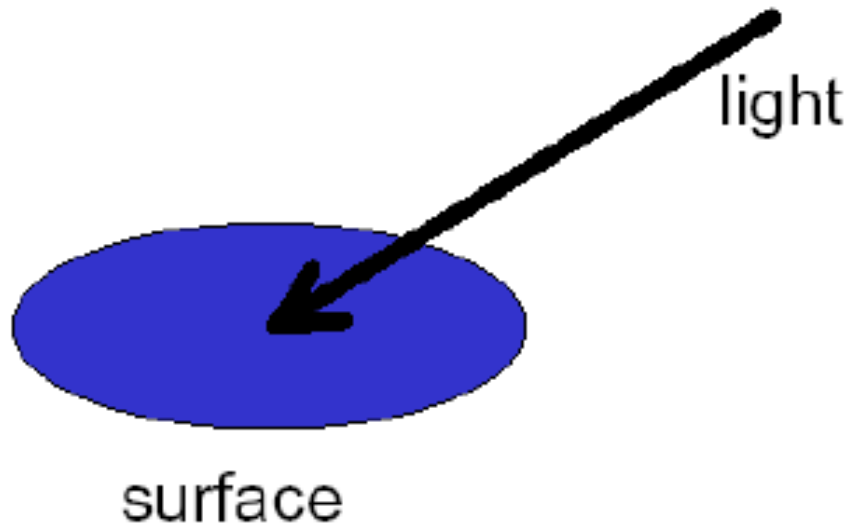
Fluorescenza

- La fluorescenza è quel fenomeno per cui alcune superfici assorbono luce ad una lunghezza d'onda e la emettono a lunghezze d'onda diverse.
- 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

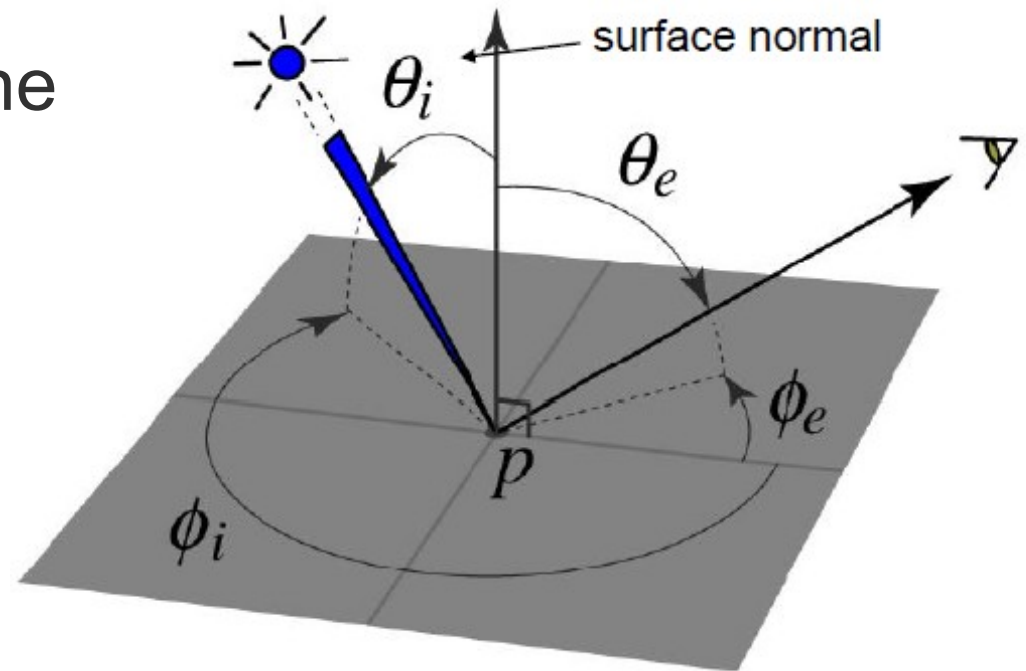
- L'irradianza è una funzione per rappresentare l'ammontare di energia per unità di tempo che colpisce un'unità di area.



$$I(P) = \int_{\Omega} L_i(P, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

BRDF

- Funzione di distribuzione della riflettanza bidirezionale.
- Rapporto tra radianza emessa nella direzione (θ_e, ϕ_e) e irradianza che arriva con angolo (θ_i, ϕ_i) da una regione differenziale di angolo solido $d\omega$



$$\rho_{bd}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) = \frac{L_e(\theta_e, \phi_e)}{L_i(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega} \left[\frac{1}{sr} \right]$$

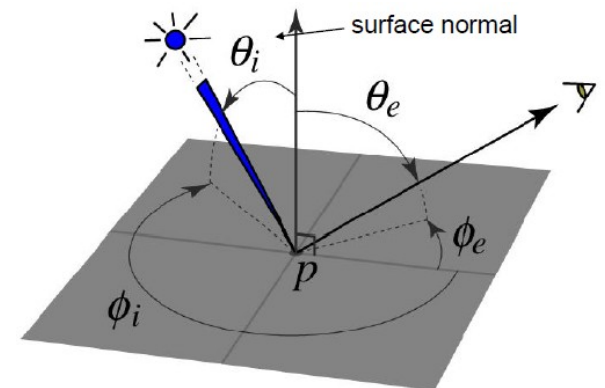
BRDF

- Possiamo calcolare la radianza che lascia una superficie a seguito di un'irradianza da una direzione particolare come utilizzando la BRDF:

$$L_e(P, \theta_e, \phi_e) = \rho_{bd}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) L_i(P, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega$$

- Possiamo calcolare la radianza che lascia una superficie a seguito di un'irradianza (indipendentemente dalla direzione) con:

$$L_e(P, \theta_e, \phi_e) = \int_{\Omega} \rho_{bd}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) L_i(P, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega$$



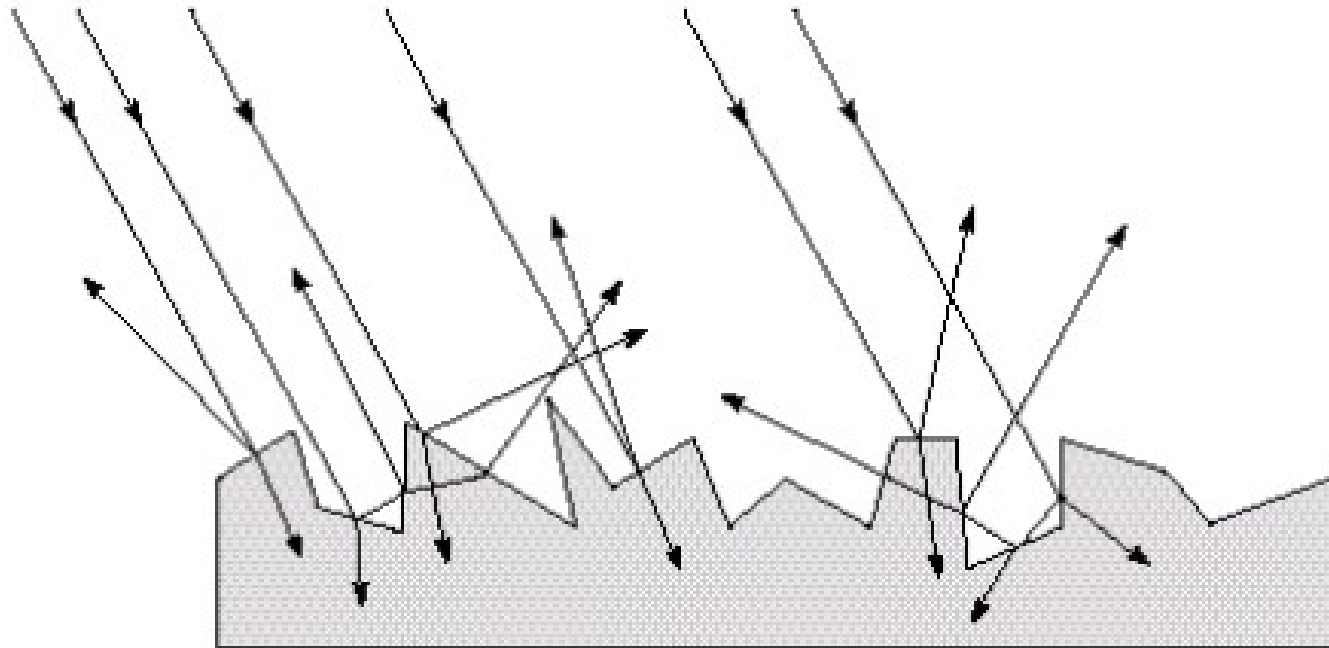
Radiosità

- 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 energia per unità di tempo che lascia la superficie per unità di area.

$$B(P) = \int_{\Omega} L(P, \theta_e, \phi_e) \cos \theta_e d\omega$$

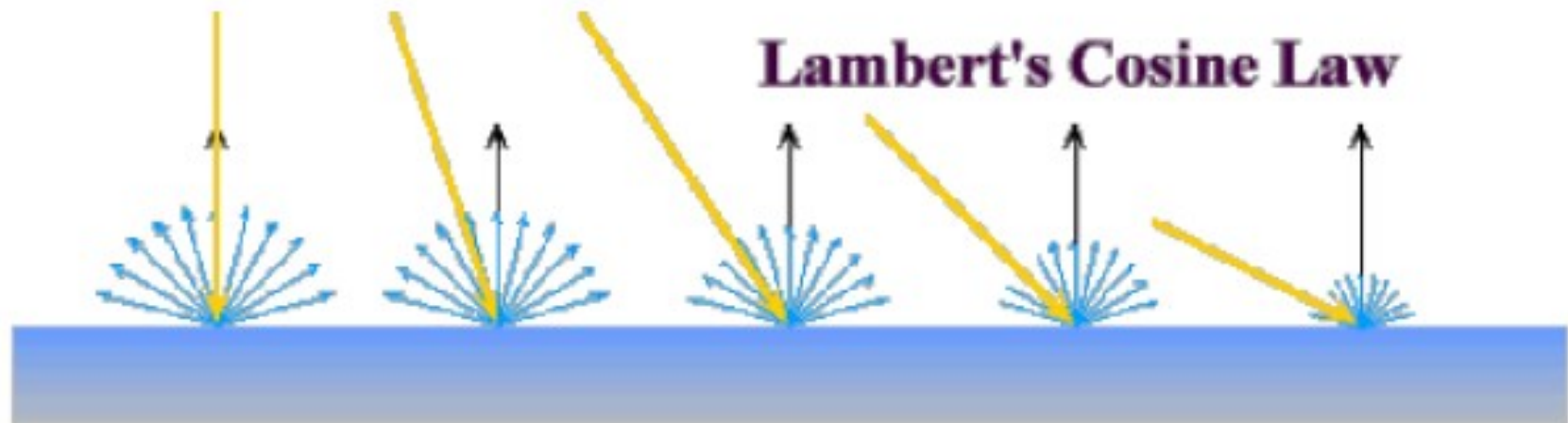
Riflessione diffusa

- 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



Riflettanza emisferica direzionale

- Misurare la BRDF è tipicamente difficile and non particolarmente ripetibile.
- La luce che lascia una superficie è in molti casi largamente indipendente dall'angolo di uscita.
- Una misura naturale delle proprietà riflettive di una superficie è la riflettanza emisferica direzionale.
- Misura la frazione di irradianza incidente in una data direzione che è riflessa dalla superficie, indipendentemente dalla direzione di riflessione.

$$\begin{aligned}\rho_{dh}(\theta_i, \phi_i) &= \frac{\int_{\Omega} L_e(P, \theta_e, \phi_e) \cos \theta_e d\omega_e}{L_i(P, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega_i} \\ &= \int_{\Omega} \rho_{bd}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_e d\omega_e\end{aligned}$$

Superfici Lambertiane e albedo

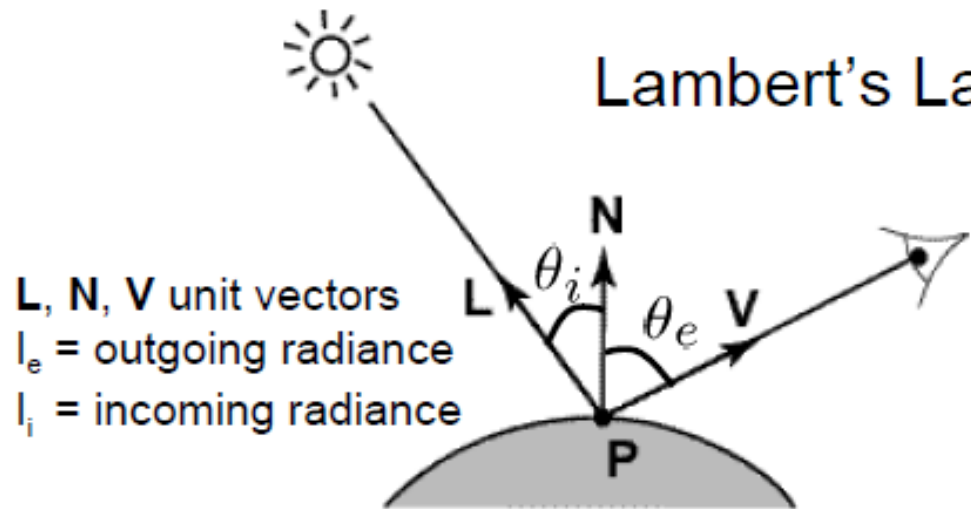
- Per alcune superfici, la riflettanza emisferica direzionale non dipende dalla direzione di illuminazione.
- La radianza che lascia la superficie è indipendente dall'angolo.

$$\rho_{bd}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) = \rho_{bd}$$

- Parliamo di superfici diffusive ideali o **Lambertiane**.
- In questi casi la riflettanza emisferica direzionale è detta **albedo**.

$$\rho_d = \int_{\Omega} \rho_{db}(\theta_e, \phi_e, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_e d\omega_e = \pi \rho_{bd}$$

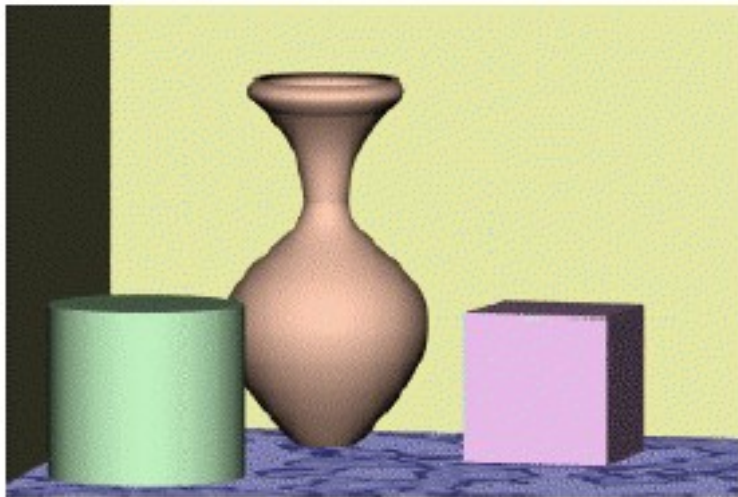
Legge di Lambert



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

k_d is called **albedo**

Superfici lambertiane



Scene

(Oren and Nayar)

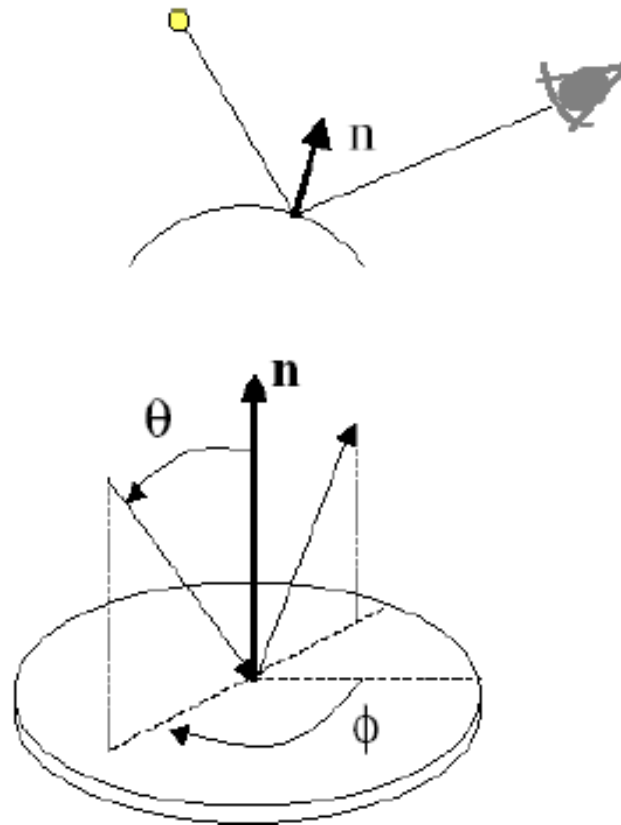


Lambertian sphere as the light
moves.

(Steve Seitz)

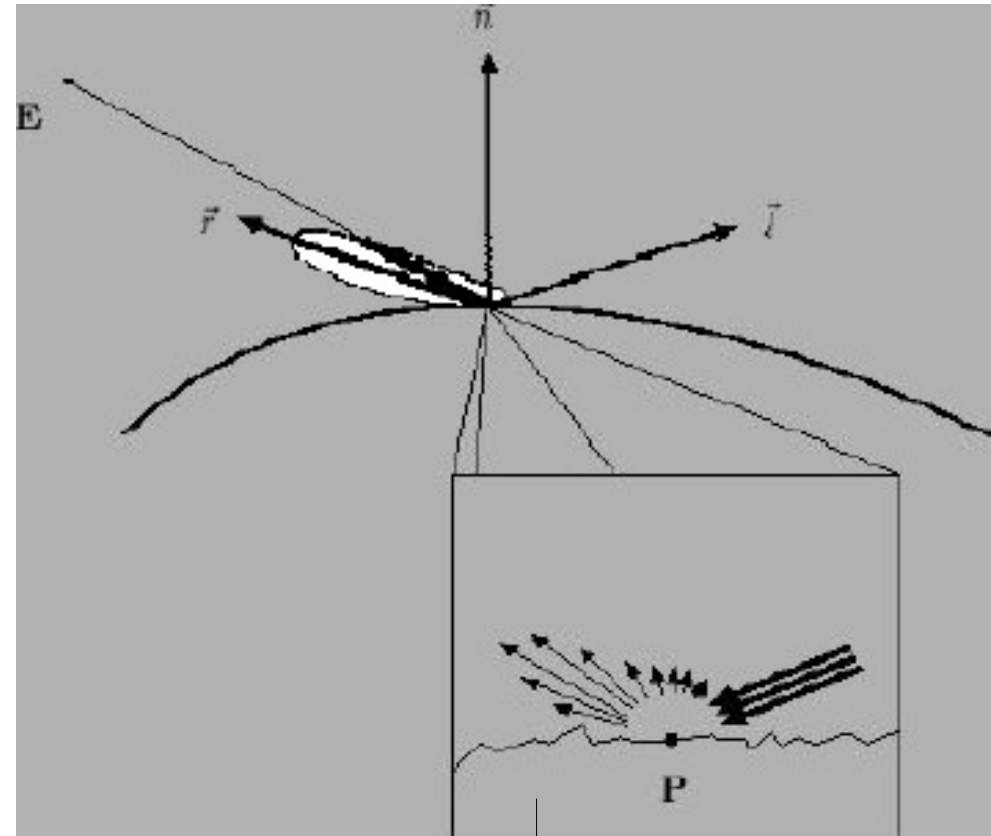
Superfici speculari

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



Superfici speculari

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



albedo
speculare

$$L(P, \theta_e, \phi_e) = \rho_s(P) L(P, \theta_s, \phi_s) \cos^n(\theta_s - \theta_e)$$

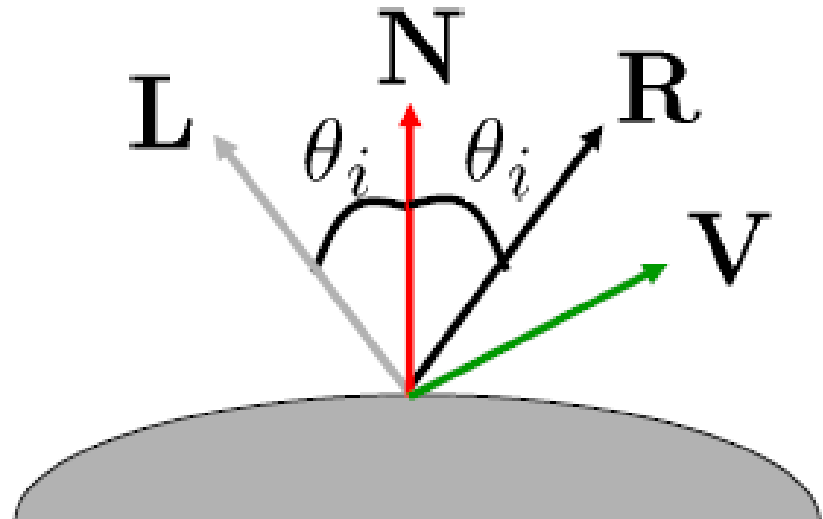
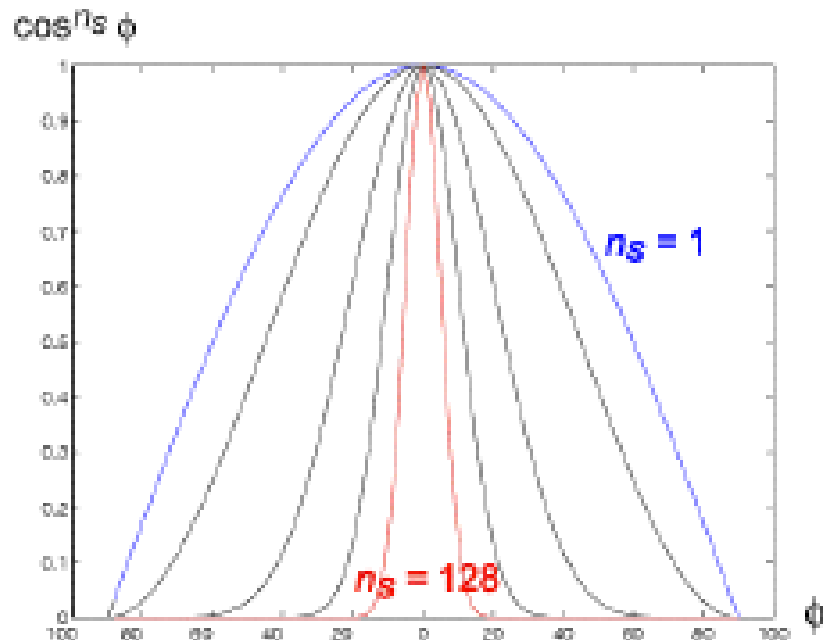
Superfici speculari

- Uno specchio perfetto riflette la luce secondo la normale.

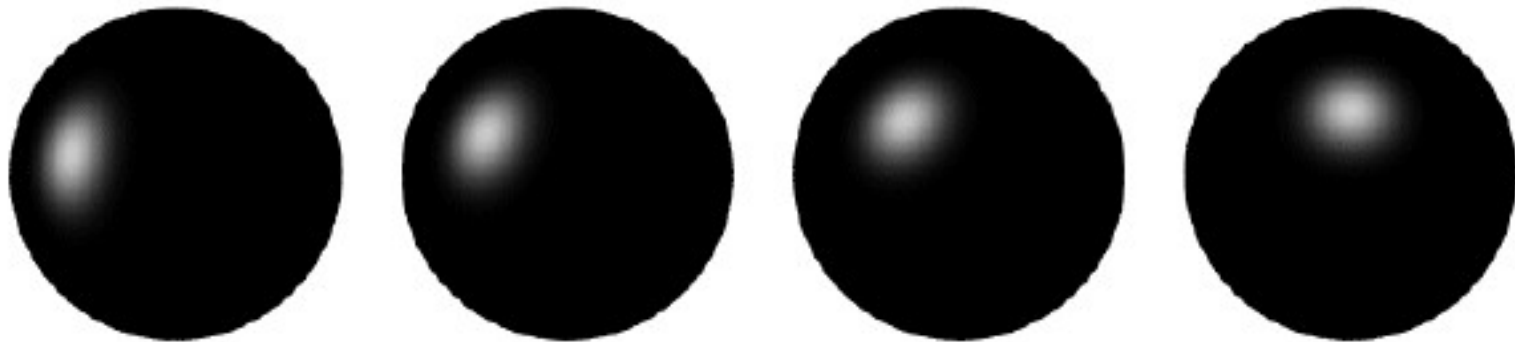
$$I_e = \begin{cases} I_i & \text{if } \mathbf{V} = \mathbf{R} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Uno specchio quasi perfetto presentano degli highlight.

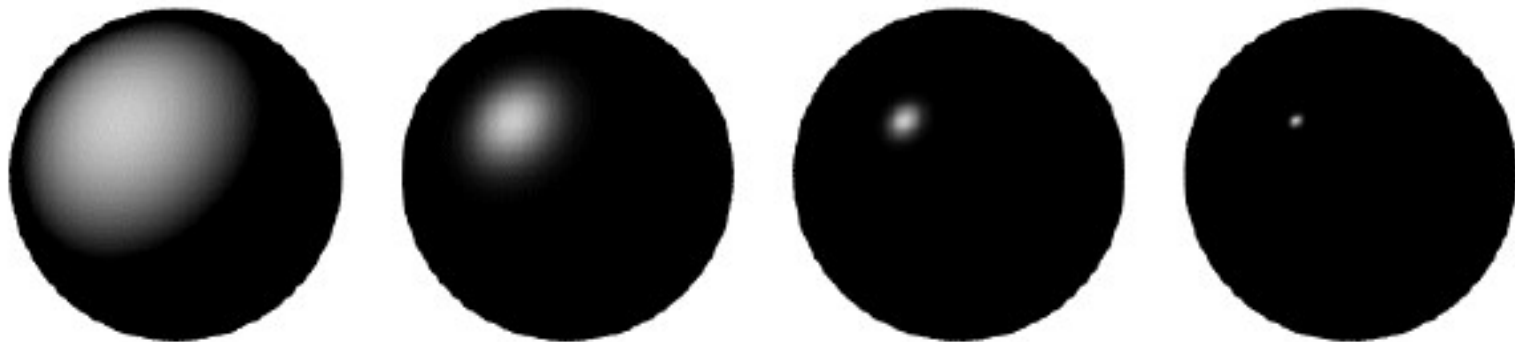
$$I_e = k_s (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})_+^{n_s} I_i$$



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

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