

Grafica Computazionale

Lighting

Fabio Ganovelli

fabio.ganovelli@gmail.com

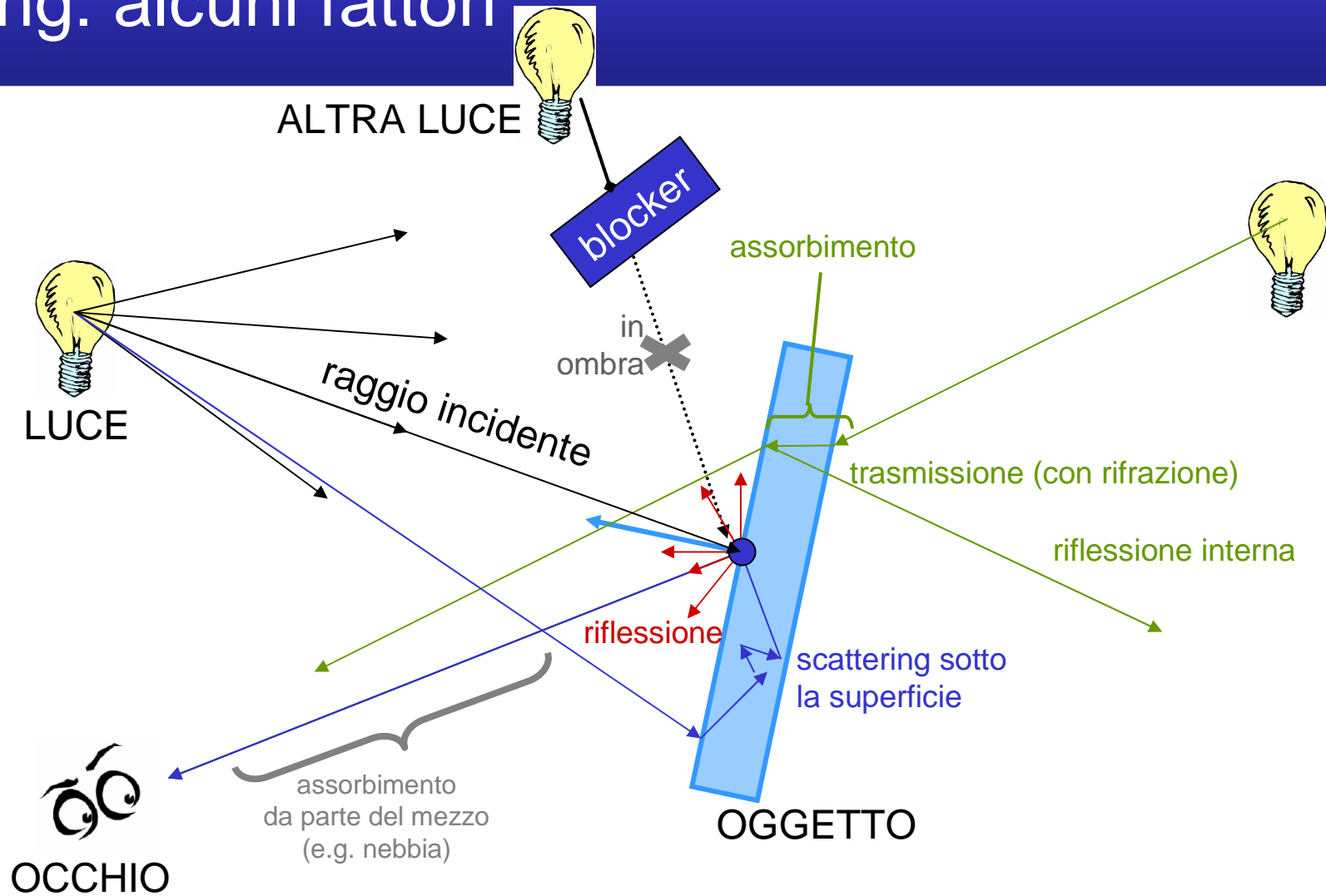
a.a. 2006-2007

*Dalle diapositive a corredo del libro: "Fondamenti di Grafica Tridimensionale Interattiva"
R. Scateni, P. Cignoni, C. Montani e R. Scopigno - McGrawHill Italia*

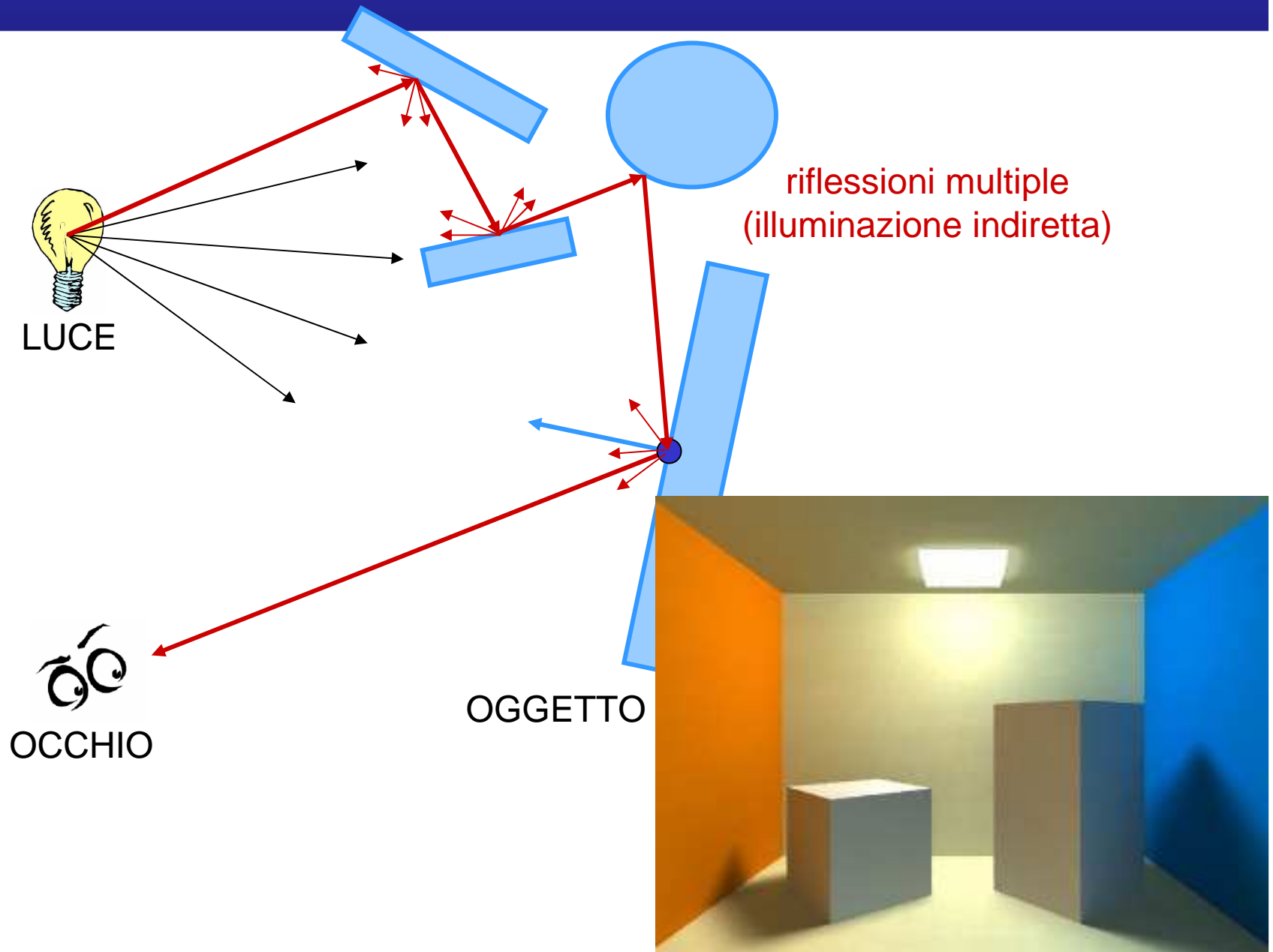
Lighting

- L'altra metà del rendering
- Determinare la luce
 - quanta luce
 - di che colore
- che arriva
 - da un punto della scena
 - all'occhio
- Problema complesso...

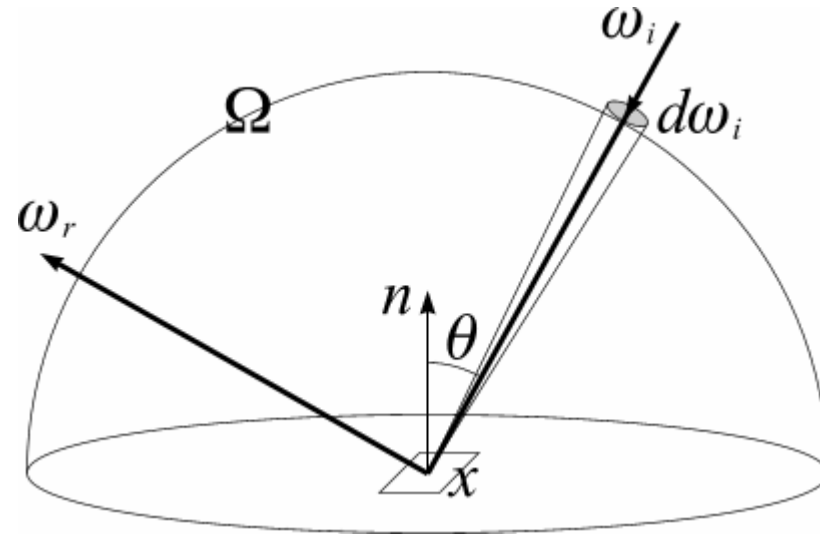
Lighting: alcuni fattori



Lighting: alcuni fattori



L'equazione della radianza



$$L_o(x, \vec{\omega}_r) = L_e(x, \vec{\omega}_r) + L_r(x, \Omega)$$

$$L_o(x, \vec{\omega}_r) = L_e(x, \vec{\omega}_r) + \int_{\Omega} f_r(x, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) L_i(x, \vec{\omega}_i) (\vec{\omega}_i \cdot \vec{n}) d\vec{\omega}_i$$

L'equazione della radianza

$$L_o(x, \vec{\omega}_r) = L_e(x, \vec{\omega}_r) + L_r(x, \Omega)$$

- ❖ La luce visibile in un punto della scena è data dalla somma della luce riflessa più la luce emessa

$$L_o(x, \vec{\omega}_r) = L_e(x, \vec{\omega}_r) + \int_{\Omega} f_r(x, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) L_i(x, \vec{\omega}_i) (\vec{\omega}_i \cdot \vec{n}) d\vec{\omega}_i$$

- ❖ La luce riflessa è un integrale
- ❖ Somma i contributi di tutte le sorgenti luminose presenti nella scena e tiene conto dell'angolo di riflessione

L'equazione della radianza: parametri

x punto sulla superficie in cui si calcola l'equazione;

$\vec{\omega}_r$ direzione che unisce il punto alla posizione dell'osservatore

$\vec{\omega}_i$ direzione da cui proviene il raggio incidente

f_r funzione che determina la frazione riflessa di luce incidente

$\vec{\omega}_i \cdot \vec{n}$ coseno dell'angolo di incidenza rispetto alla normale alla superficie

L'equazione della radianza

- ❖ Calcolo esatto dell'equazione della radianza: operazione complessa e molto costosa
- ❖ Sistema di grafica interattiva: formula utilizzabile per tutti i punti della scena più volte al secondo
- ❖ Semplificazione dell'equazione

Il modello di Phong

- ❖ Simula il comportamento di materiali opachi
- ❖ Non modella la rifrazione: no materiali trasparenti o semi-trasparenti
- ❖ Visione complessiva dominata dall'animazione
- ❖ Non adatto per immagini singole (necessitano di modelli globali)

Lighting: globale VS locale

Illuminazione locale

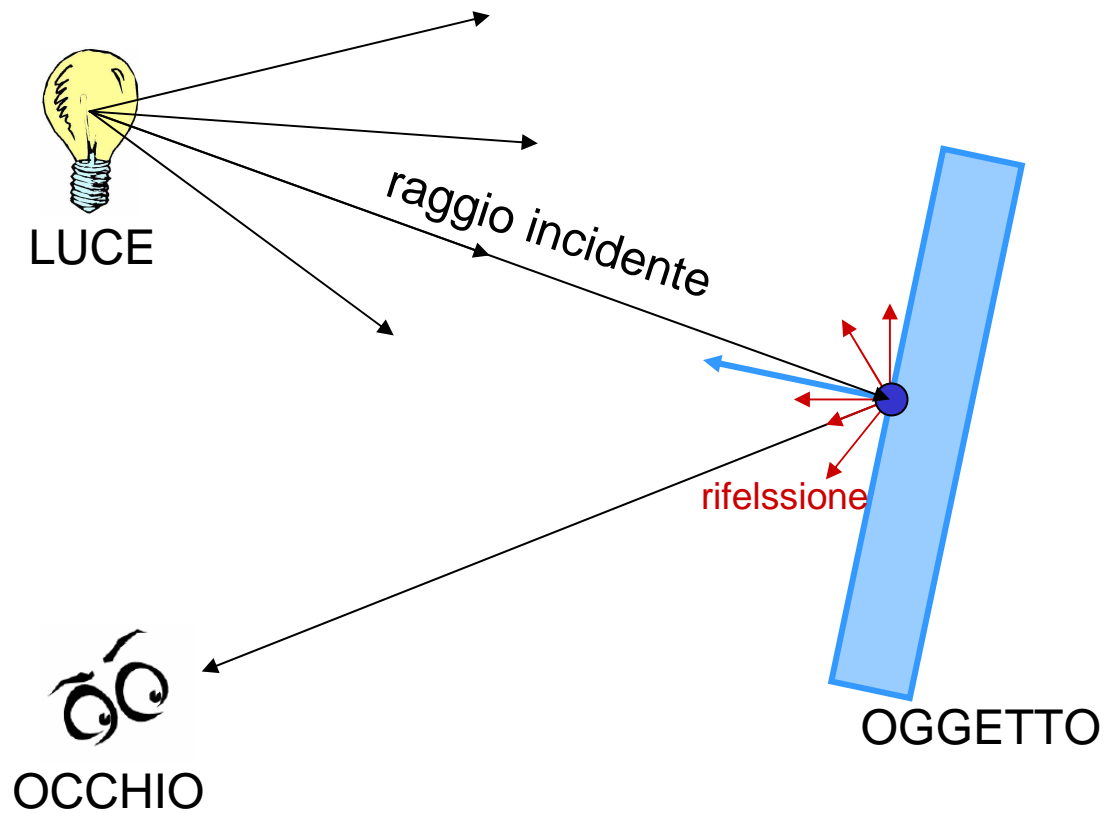
- tiene conto solo di:
 - condizioni di luce
 - N. luci
 - loro pos
 - loro colore
 - pezzetto della superficie da illuminare
 - orientamento (normale)
 - caratteristiche ottiche
 - » per es, colore
- il resto del mondo non c'è

Illuminazione globale

- riflessioni multiple
- ombre
- scattering sottosuperficiale
- rifrazione
- ...

torna molto più facile da fare con il nostro Hardware

Lighting locale



Cosa è facile fare

- Illuminazione **locale**:
 - riflessioni della luce su oggetti
 - con proprietà ottiche molto semplici
 - con multiple fonti di luci
 - ma molto semplici: puntiformi
- Illuminazione **globale**:
 - riflessioni multiple
 - in maniera BRUTALMENTE approssimata
 - assorbimento da parte del mezzo
 - assunzioni semplificanti (nebbia uniforme)
 - tutto il resto solo "a fatica"
 - escogitando algoritmi ad-hoc che si adattano al nostro l'HW

I 3 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione

+

emissione

per ogni addendo,
ho una componente R, G e B.

definite sia per l'oggetto,
(sotto forma di attributi per vertice)
sia per ogni luce che uso

le proprietà ottiche dell'oggetto,
(di solito sono attributi per vertice)
nel loro insieme sono dette
il suo "materiale"

terminologia OpenGL

Componente *emissione*

- LEDs, lampadine...
- Non dipende dalle luci
 - solo dall'oggetto
- E' solo una componente additiva
 - costante per R, G e B
- Nota: non manda mica luce ad oggetti vicini
 - non e' illuminazione globale
 - per fare cio', devo settare una altra luce

I 3 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione

+

emissione

Componente *ambiente*

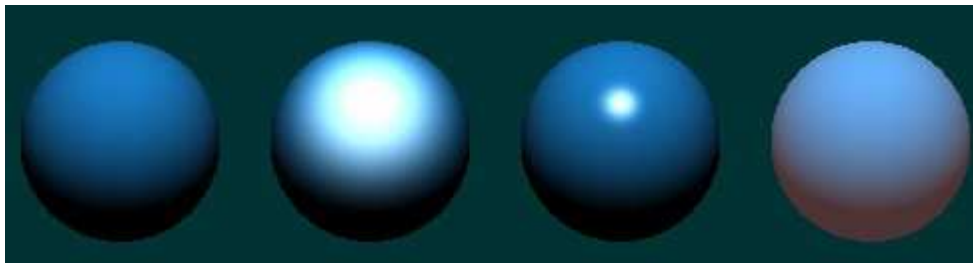
- Modella (grossolanamente) la luce che arriva attraverso riflessioni multiple
- Assunzione:
"un pò di luce raggiunge da tutte le direzioni ogni superficie"
– anche quelle in ombra
- Piccola **costante** additiva
– non dipende dalla normale della superficie

Componente *ambiente*

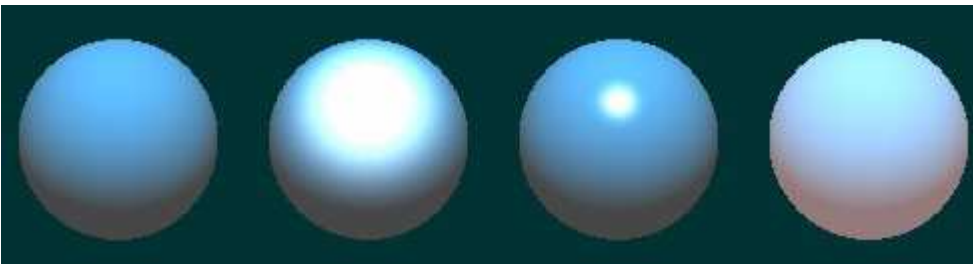
- prodotto fra:
 - colore “ambiente” del materiale (R_M G_M B_M)
 - colore “ambiente” della luce (R_L G_L B_L)
- Nota: possono essere colori RGB diversi
 - prodotto componente per componente

Componente *ambiente*

- Modella (grossolanamente) la luce che arriva da tutte le direzioni attraverso riflessioni multiple



senza



con

I 3 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione

+

emissione



riflessione diffusa

+

riflessione speculare

I 4 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione diffusa

+

riflessione speculare

+

emissione



Componente *riflessione diffusa*

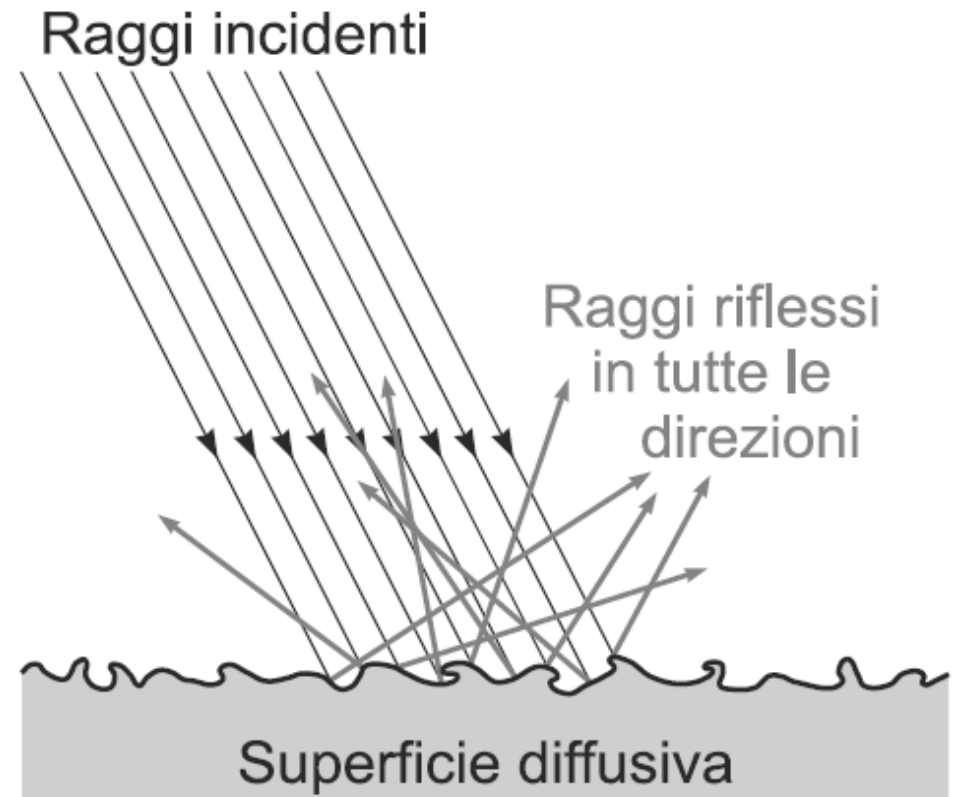
- Esibita nella realtà da (per es):
 - gesso
 - legno (quasi)
 - materiali molto opachi (non lucidi)
- Detta anche
 - diffuse reflection
 - Lambertian reflection



Johann
Heinrich
Lambert
1728 - 1777

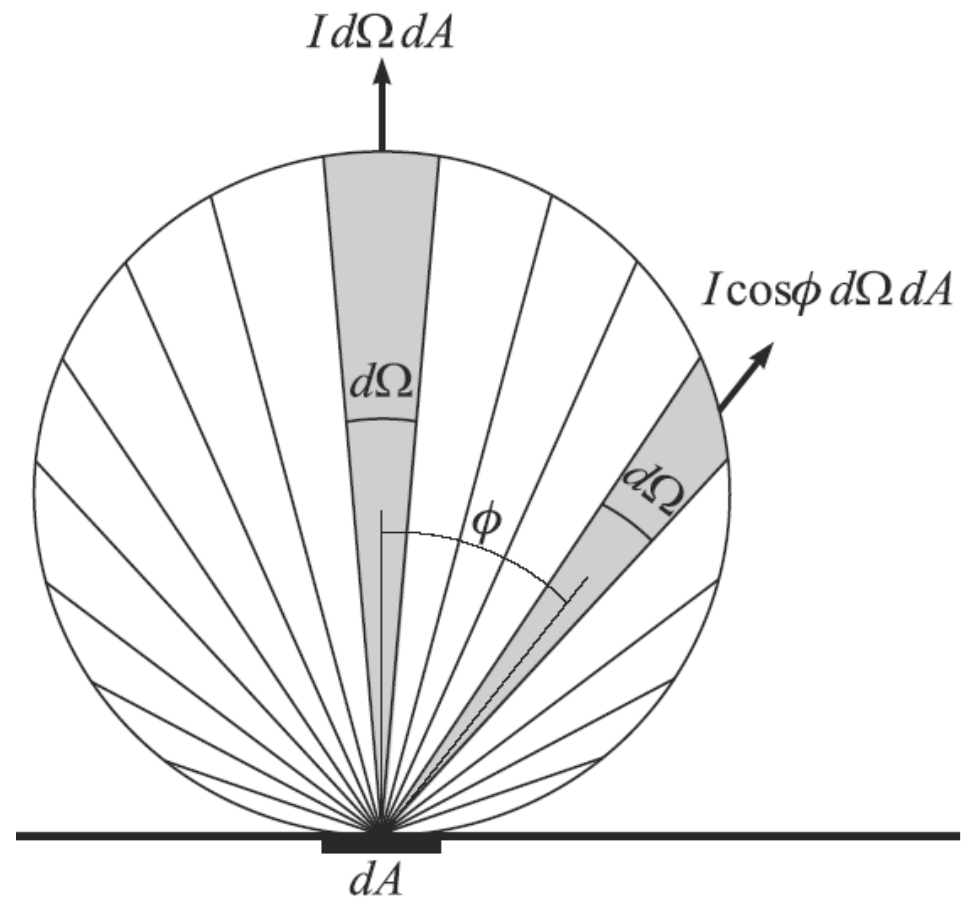
Legge di Lambert

- Materiali molto opachi (es. gesso e legno) hanno una superficie che, a livello microscopico, ha piccole sfaccettature che riflettono la luce in una direzione casuale



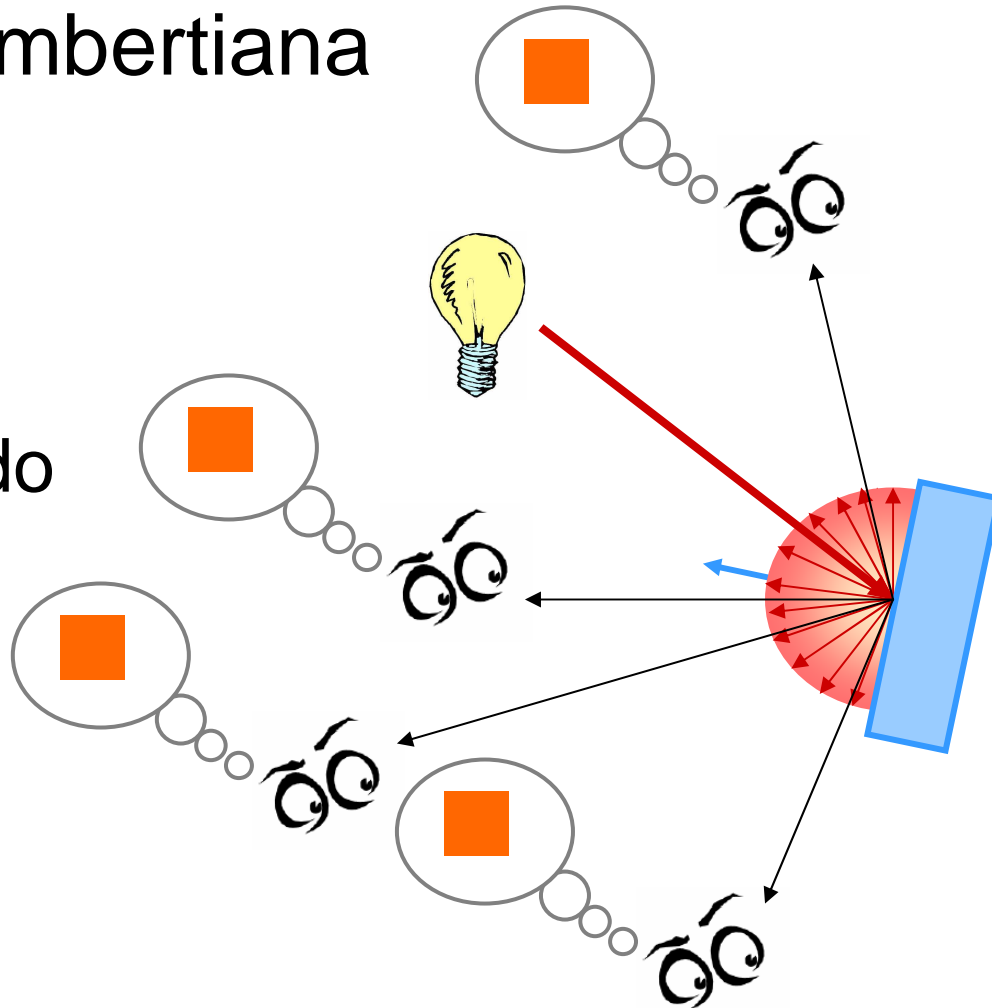
Legge di Lambert

- Integrando su scala macroscopica: la luce si riflette uniformemente verso tutte le direzioni, con intensità proporzionale al rapporto tra la direzione del raggio incidente e la normale alla superficie in quel punto



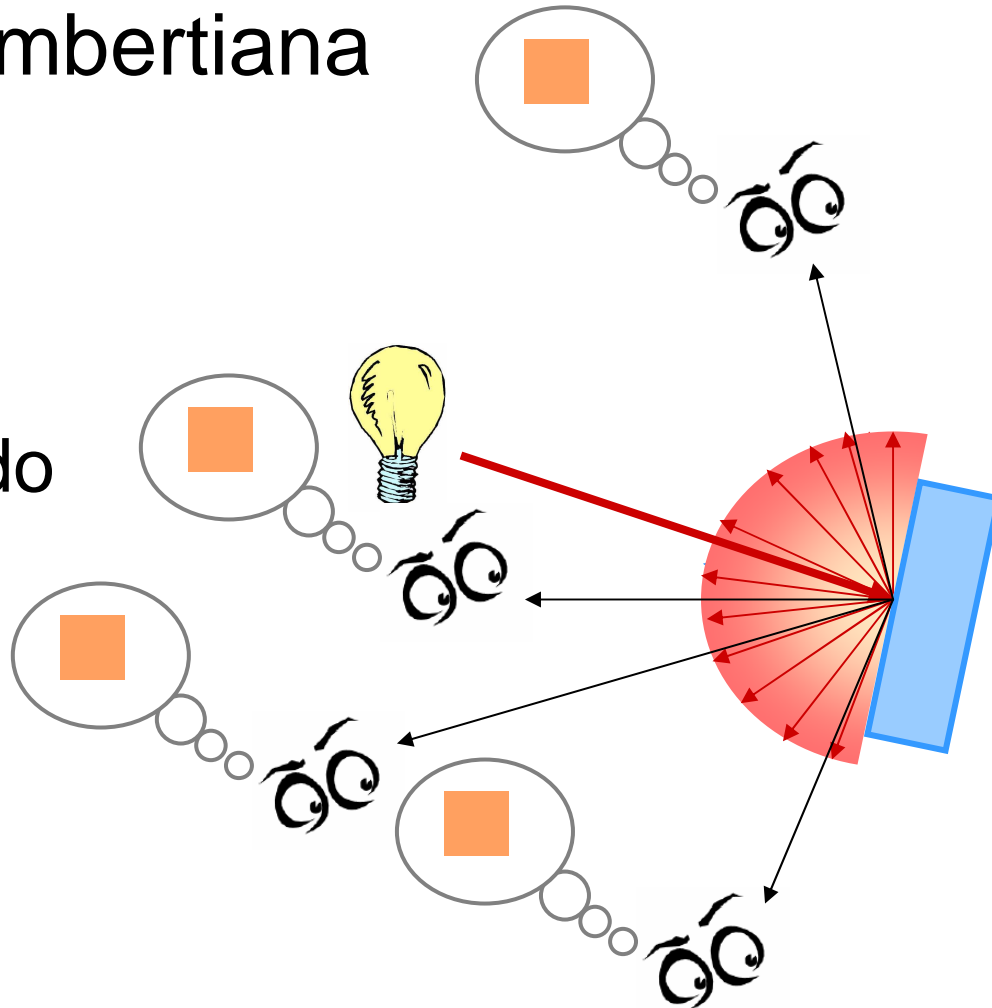
Componente *riflessione diffusa*

- La luce che colpisce una superficie lambertiana si riflette in tutte le direzioni (nella semisfera)
 - nello stesso modo



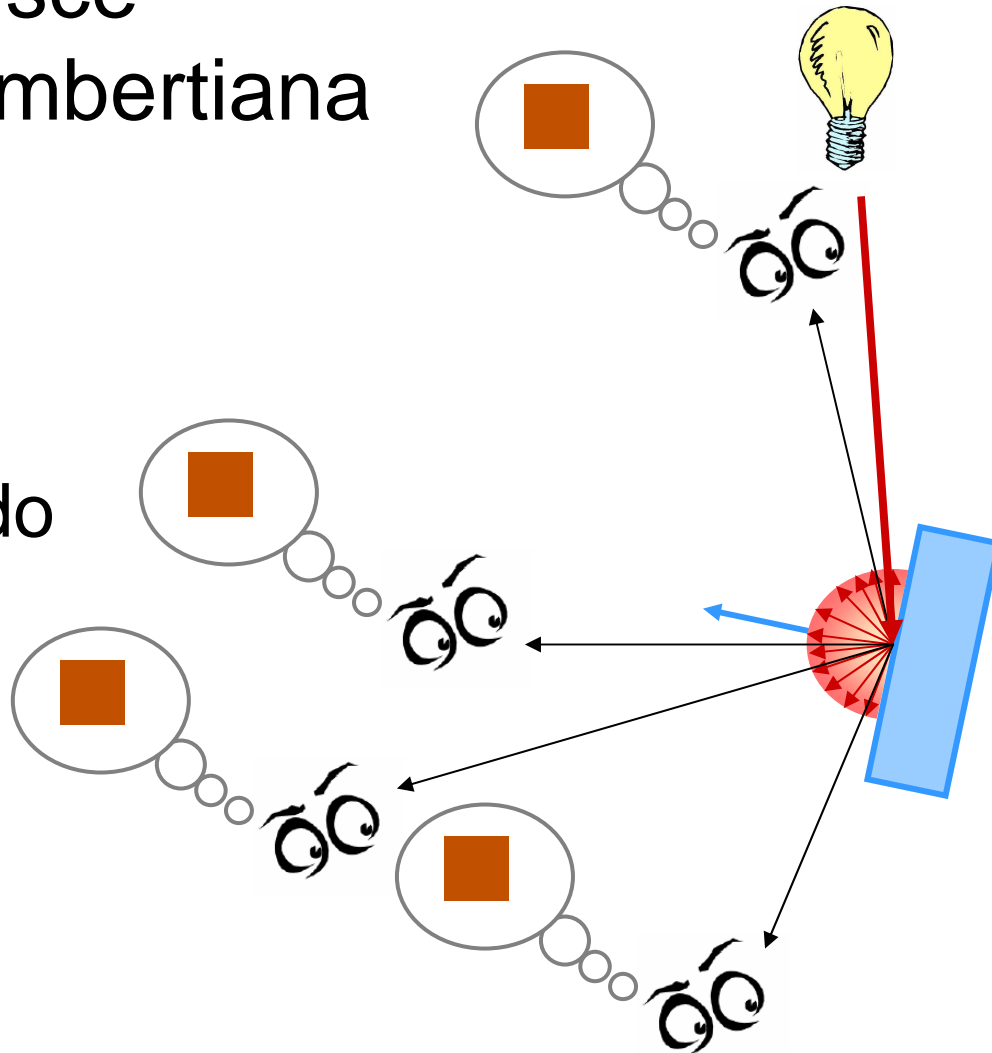
Componente *riflessione diffusa*

- La luce che colpisce una superficie lambertiana si riflette in tutte le direzioni (nella semisfera)
– nello stesso modo



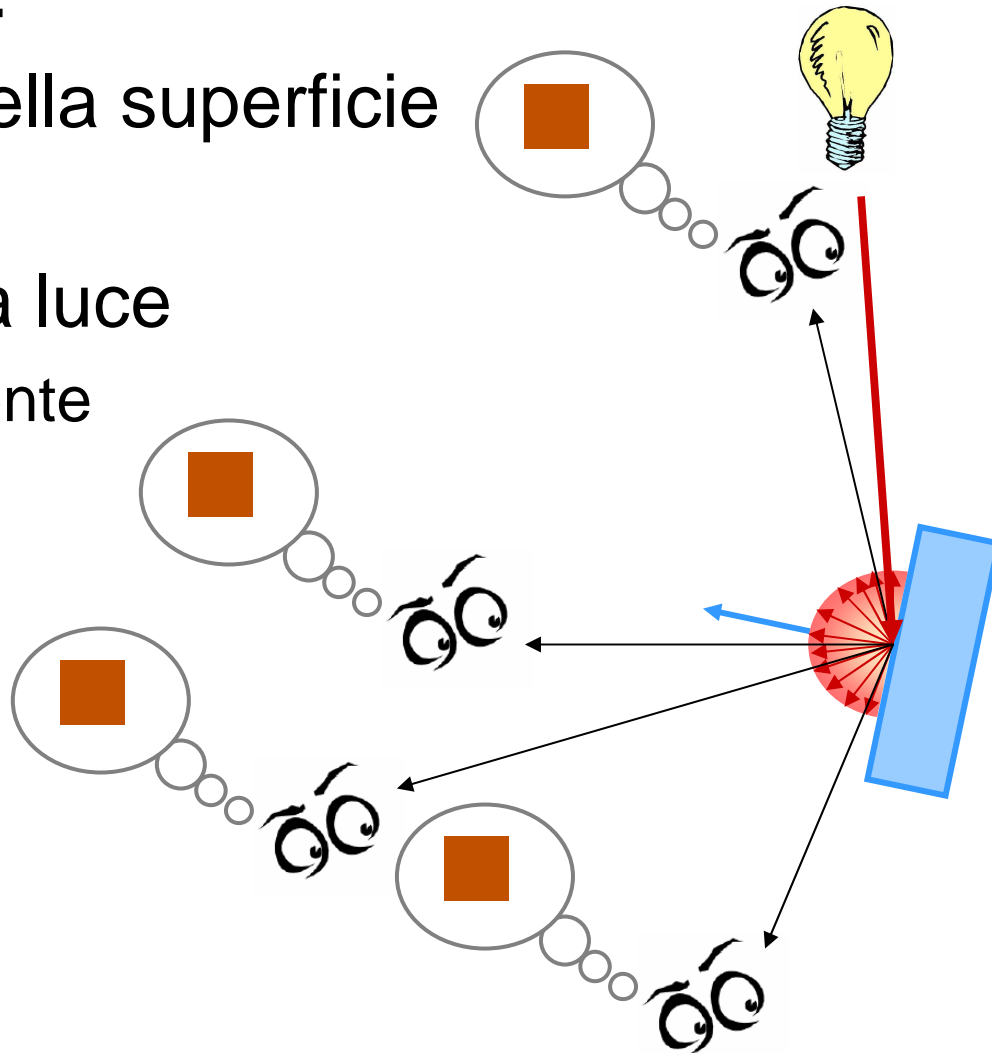
Componente *riflessione diffusa*

- La luce che colpisce una superficie lambertiana si riflette in tutte le direzioni (nella semisfera)
 - nello stesso modo



Componente *riflessione diffusa*

- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie
 - (la "normale")
 - la direzione della luce
 - del raggio incidente



Componente *riflessione diffusa*

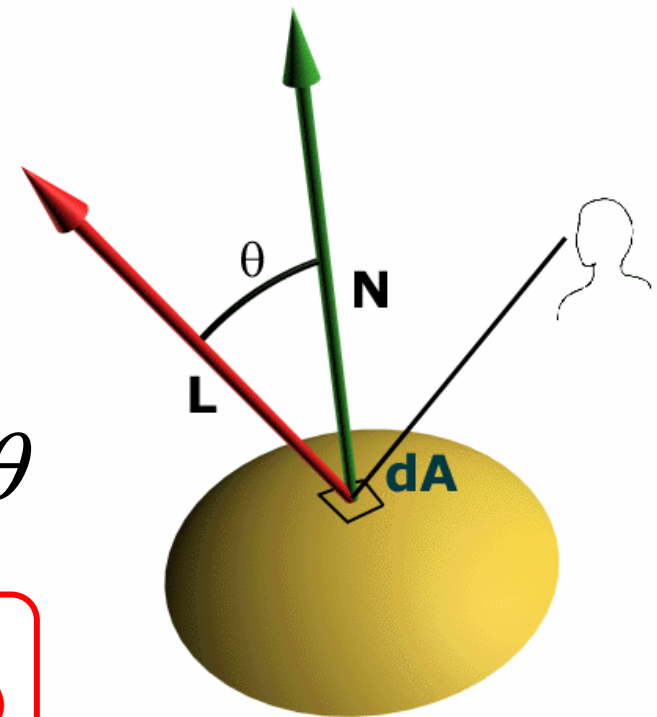
- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie **N**
 - (cioè la sua "normale")
 - la direzione della luce **L**
 - (cioè del raggio incidente)

$$I_{diff} = I_{luce\ diff} \cdot k_{materiale\ diff} \cdot \cos \theta$$

R, G, B
(di solito bianco: 1,1,1)

R, G, B
(il "colore" dell'oggetto)

moltiplicazione componente per componente

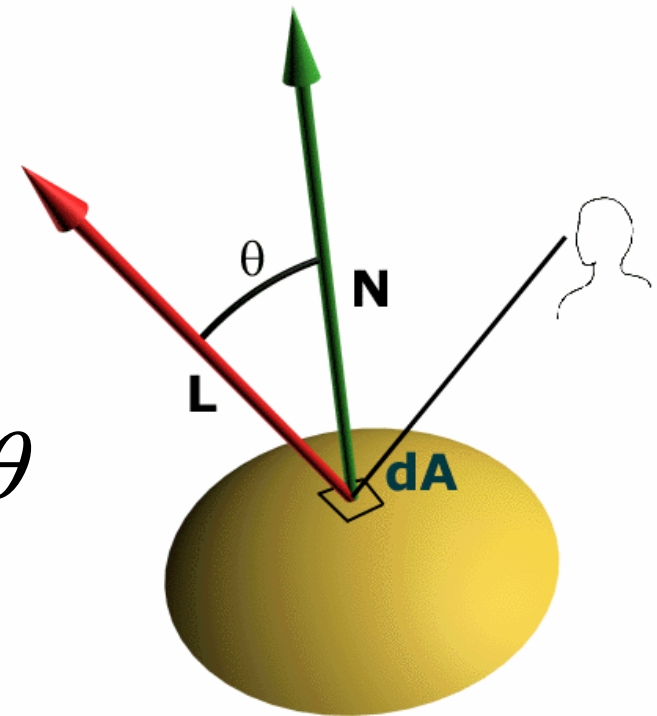


Componente *riflessione diffusa*

- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie **N**
 - (cioè la sua "normale")
 - la direzione della luce **L**
 - (cioè del raggio incidente)

$$I_{diff} = I_{luce\ diff} \cdot k_{materiale\ diff} \cdot \cos \theta$$

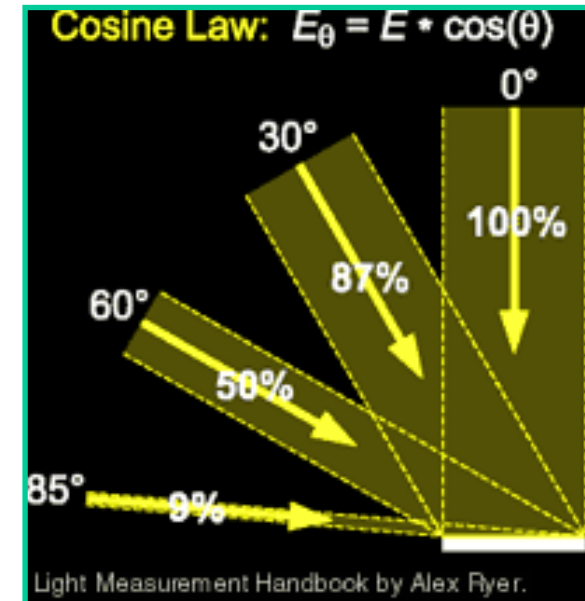
fa parte del
"materiale"
(caratteristica
dell'oggetto)



Componente *riflessione diffusa*

- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie **N**
 - (cioè la sua "normale")
 - la direzione della luce **L**
 - (cioè del raggio incidente)

$$I_{diff} = I_{luce\ diff} \cdot k_{materiale\ diff} \cdot \cos \theta$$



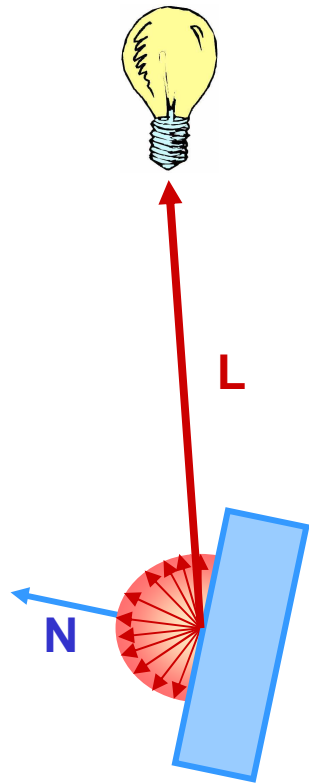
Componente *riflessione diffusa*

- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie **N**
 - (cioè la sua "normale")
 - la direzione della luce **L**
 - (cioè del raggio incidente)

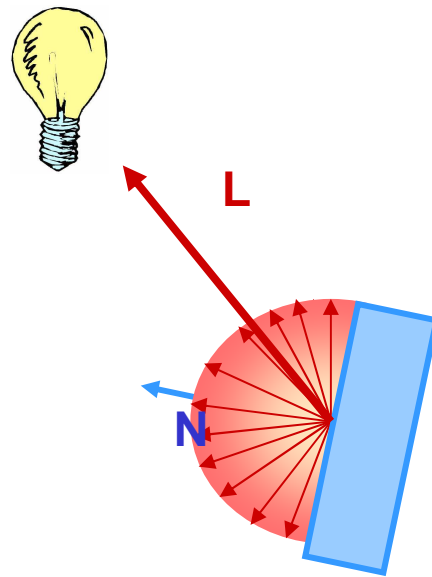
angolo compreso fra 0° e 90° ,
senno fa 0,
(oggetto in ombra di se stesso)

$$I_{diff} = I_{luce\ diff} \cdot k_{materiale\ diff} \cdot \cos \theta$$
$$= I_{luce\ diff} \cdot k_{materiale\ diff} \cdot (\hat{N} \cdot \hat{L})$$

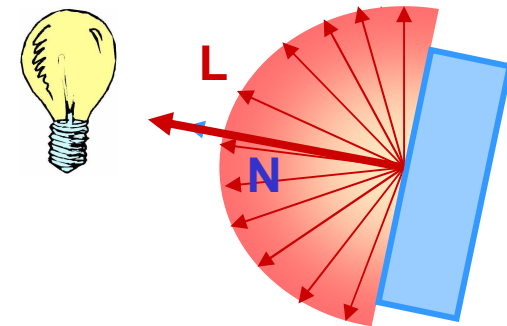
Componente *riflessione diffusa*



componente
diffusa
piccola
 $\theta = 70^\circ$

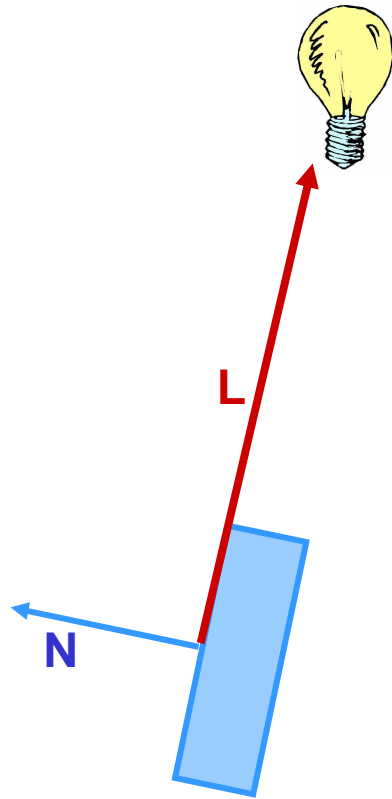


componente
diffusa
grande
 $\theta = 35^\circ$

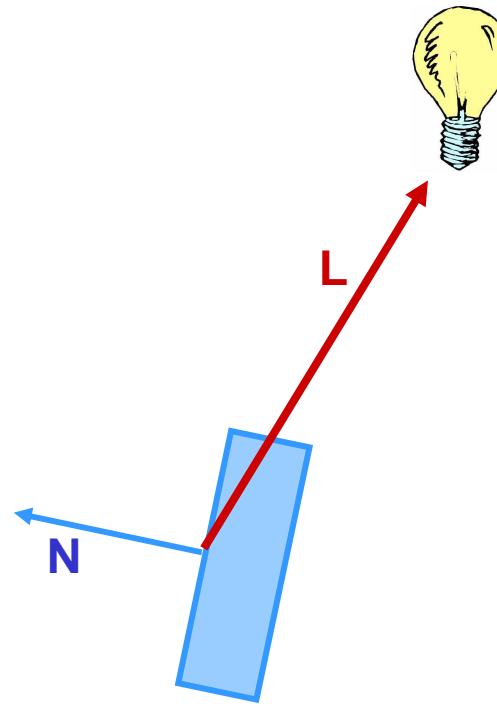


componente
diffusa
massima
 $\theta = 0^\circ$

Componente *riflessione diffusa*



componente
diffusa
ZERO
 $\theta = 90^\circ$



componente
diffusa
ZERO
 $\theta > 90^\circ$

(la superficie
è nella propria stessa
ombra)

Componente *riflessione diffusa*

- Proprietà
 - modello fedele delle caratteristiche ottiche di alcuni materiali reali 😊
 - ma di pochi materiali 😞

 - modello fisicamente coerente 😊
 - per es, conserva l'energia
 - molto semplice da calcolare 😊

I 4 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione diffusa

+

riflessione speculare

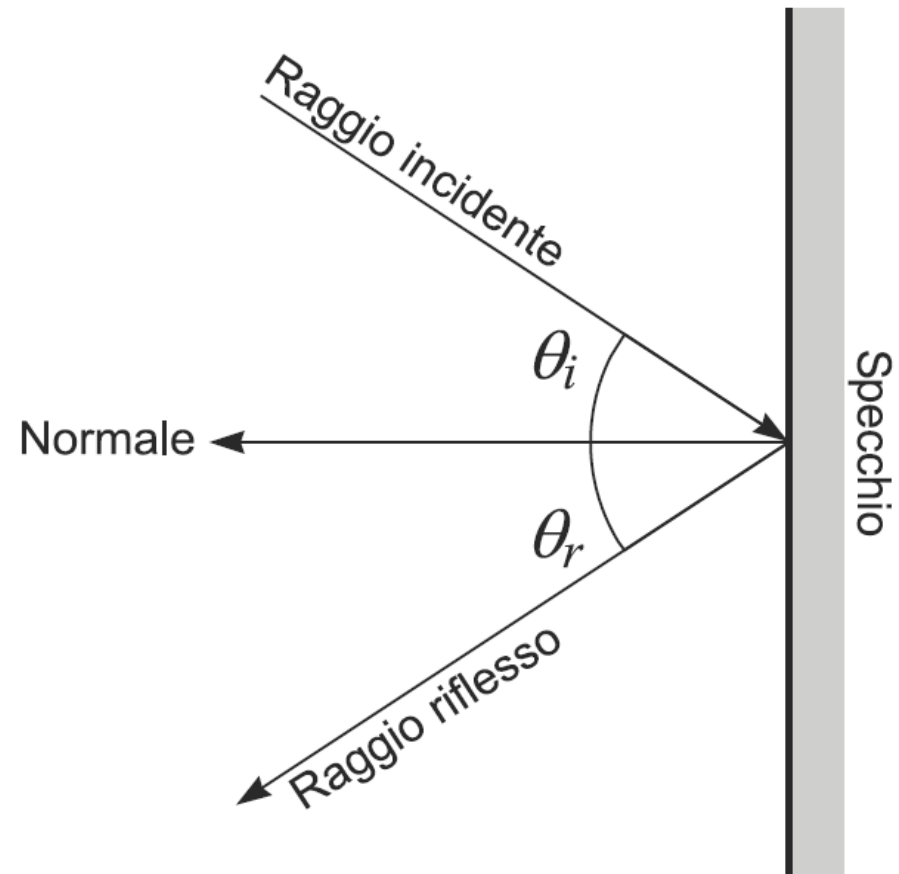
+

emissione



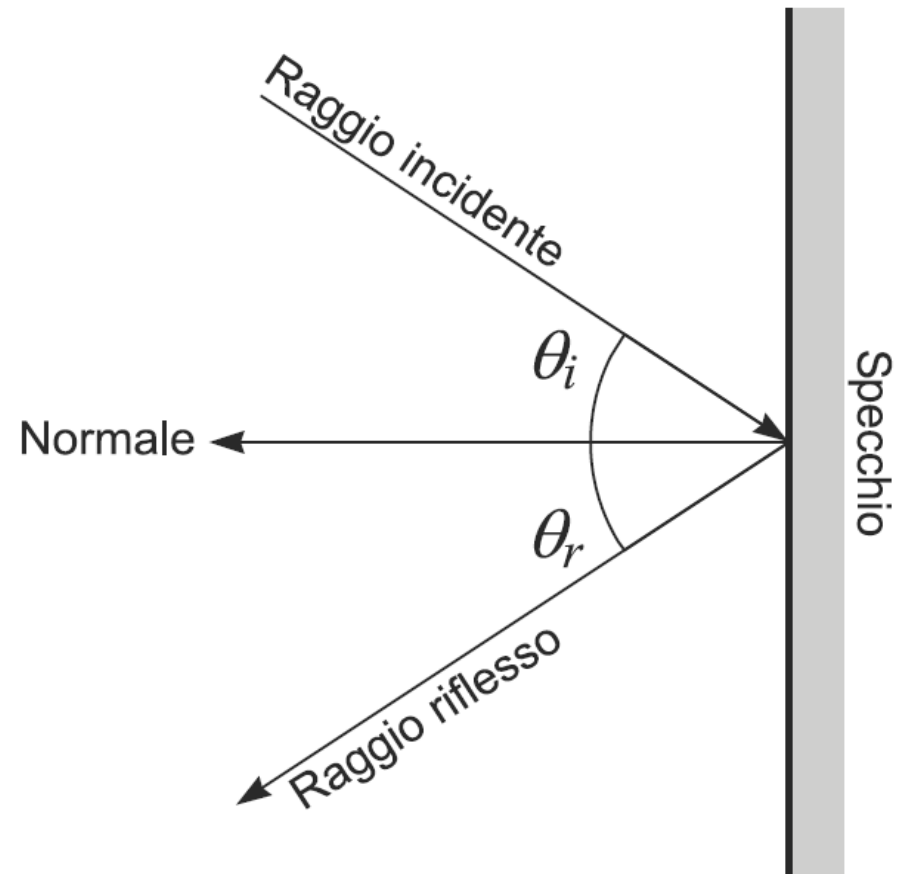
Legge di Fresnel

- Quando un raggio di luce passa da un mezzo ad un altro con diverso indice di rifrazione raggiunta la superficie di separazione parte del raggio viene riflessa e parte trasmessa
- La somma delle energie dei due raggi è uguale all'energia del raggio originale



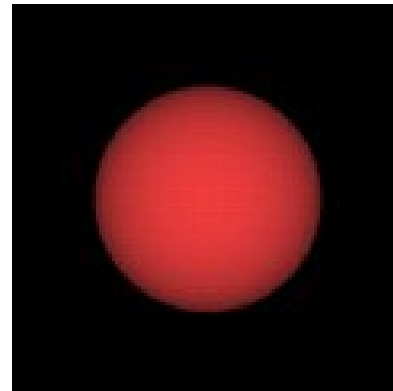
Legge di Fresnel

- Se da aria a corpo solido non c'è rifrazione si ha solo riflessione
- L'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione
- Vale per materiali molto lisci e lucidi

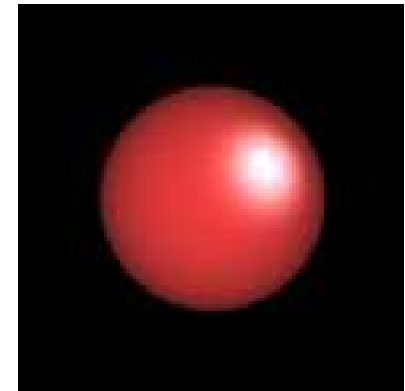


Componente *riflessione speculare*

- "Specular" reflection
- Per materiali lucidi
 - con riflessi brillanti
 - ("highlights")



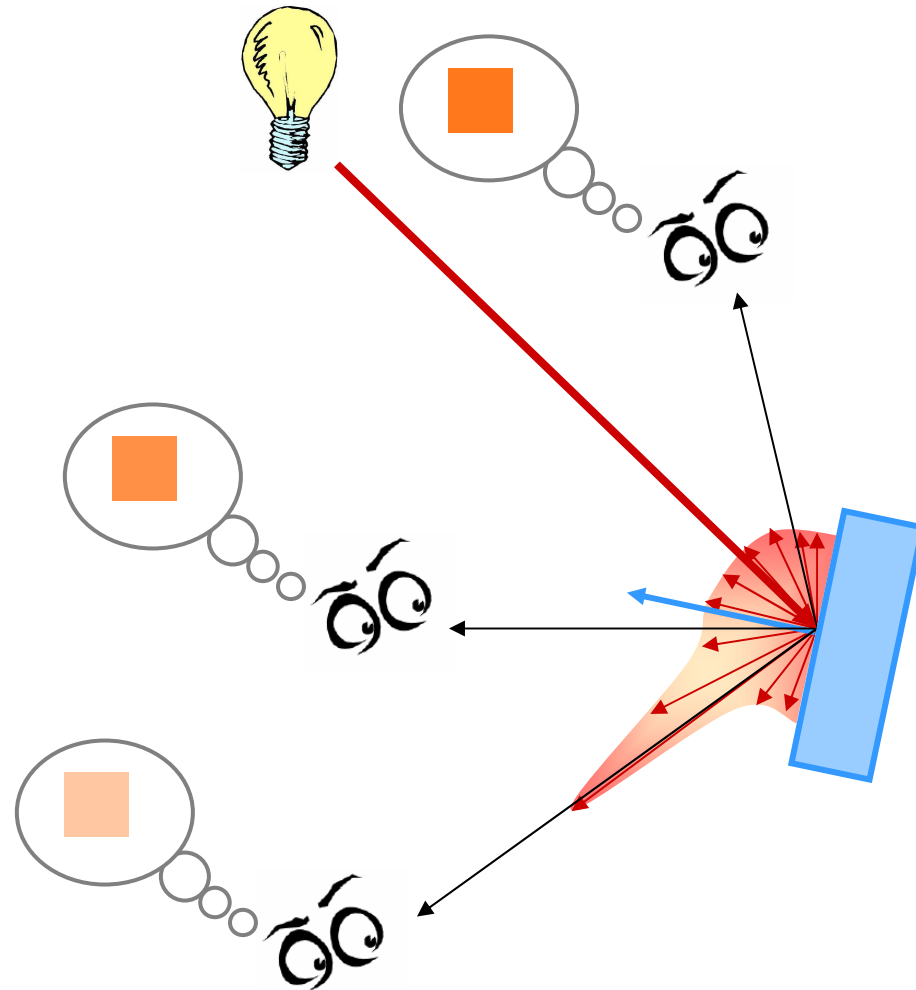
senza



con

Componente *riflessione speculare*

- Idea base:
la luce **non** viene riflessa
da materiali **lucidi**
in maniera eguale
in tutte le direzioni



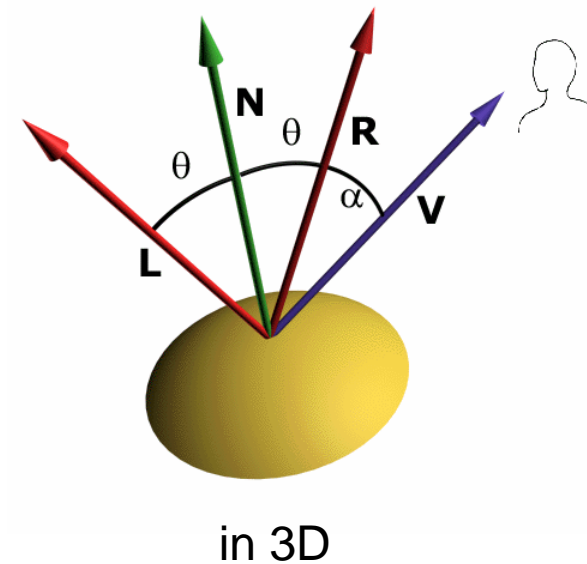
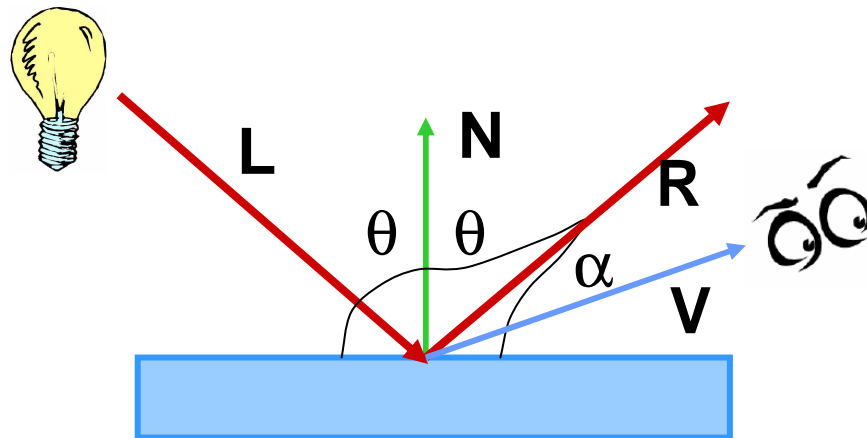
Componente *riflessione speculare*

L: raggio incidente

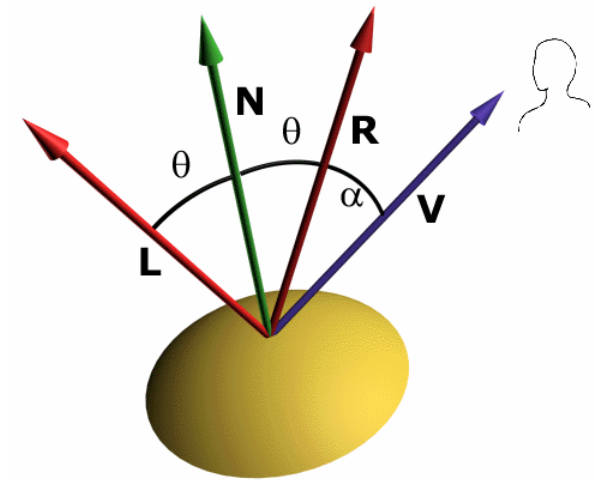
N: normale

R: raggio riflesso

V: dir. di vista



Componente *riflessione speculare*

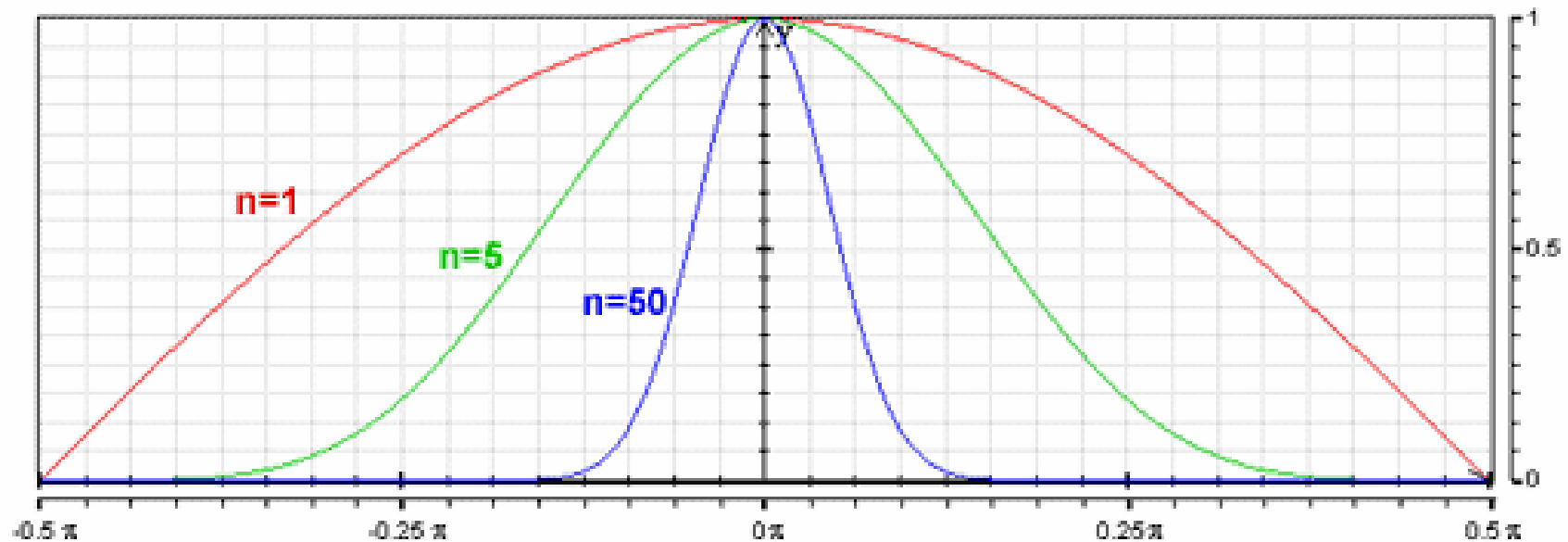


$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

in 3D

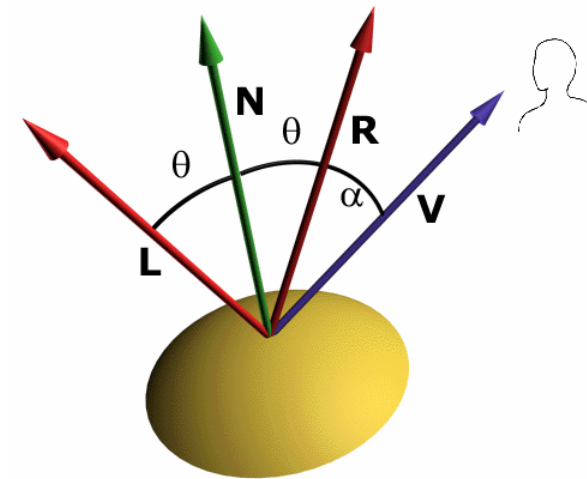
Componente *riflessione speculare*

- Elevando il coseno ad una potenza, si ottengono riflessi piu' piccoli e brillanti



Componente *riflessione speculare*

- Phong light model
 - by Bui-Tuong Phong, 1975



in 3D

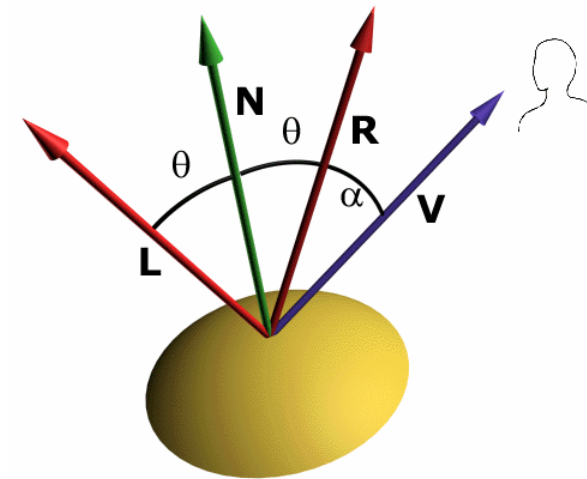
$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos^n \alpha$$

fanno parte del "materiale"
(caratteristiche dell'oggetto)

Componente *riflessione speculare*

- Phong light model
 - by Bui-Tuong Phong, 1975



in 3D

$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

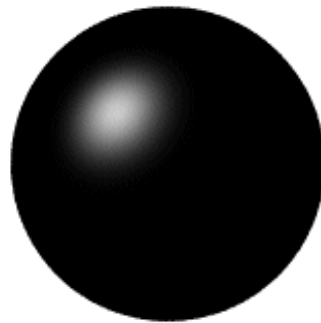
$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos^n \alpha$$

$$= I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot (\hat{R} \cdot \hat{V})^n$$

Componente *riflessione speculare*



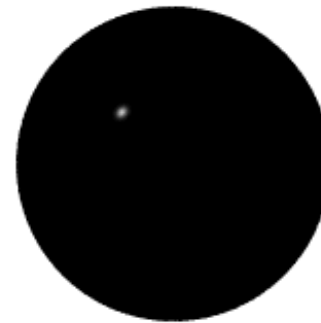
$n = 1$



$n = 5$



$n = 10$



$n = 100$

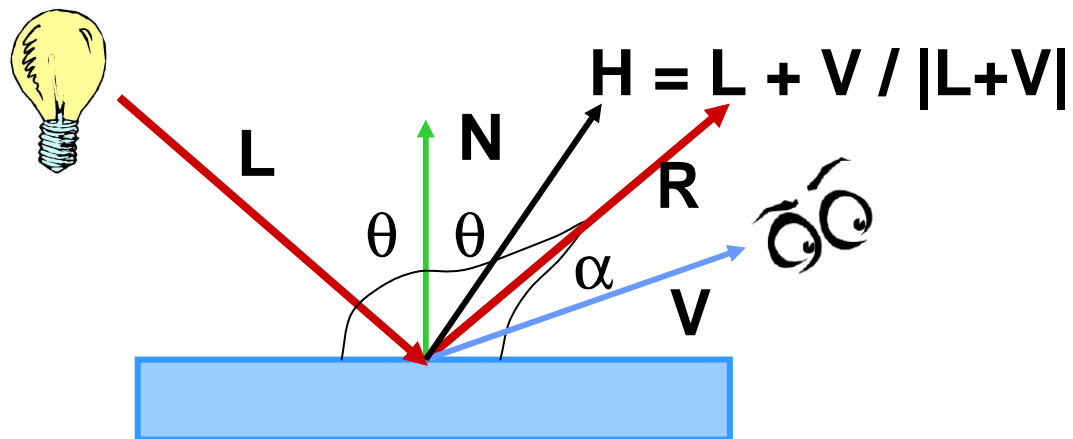
Componente *riflessione speculare*

- Blinn-Phong light model:
 - semplificazione del Phong light model
 - risultati simili, formula diversa:

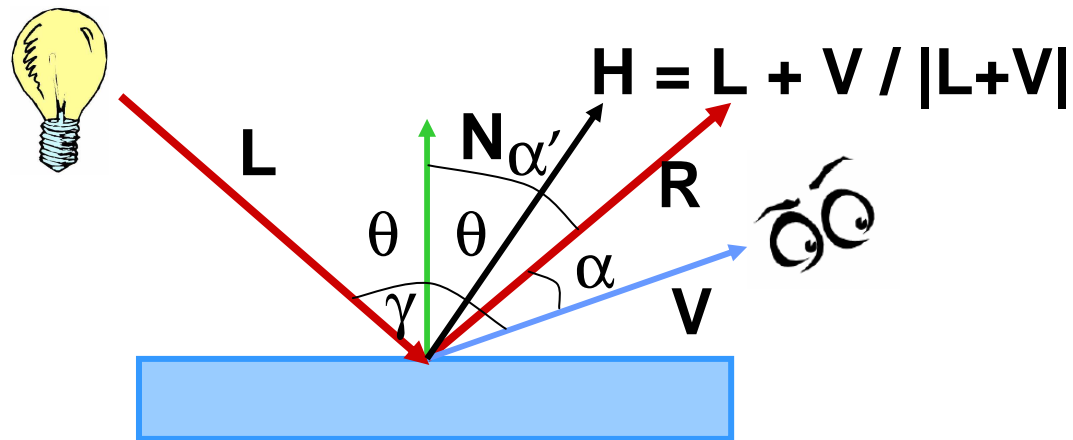
phong: $I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot (\hat{R} \cdot \hat{V})^n$

blinn-phong: $I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot (\hat{H} \cdot \hat{N})^n$

"half-way" vector



Half Way Vector



$$\alpha = \gamma - 2\theta, \quad \alpha' = \frac{\gamma}{2} - \theta \Rightarrow \alpha' = 2\alpha$$

Componente *riflessione speculare*

- Blinn-Phong light model:
 - semplificazione del Phong light model
 - risultati simili, formula diversa:

phong: $I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot (\hat{R} \cdot \hat{V})^n$

blinn-phong: $I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot (\hat{H} \cdot \hat{N})^n$



Jim Blinn

(MEGA-MEGA-GURU)

I 4 fattori che consideriamo

luce finale

=

ambiente

+

riflessione diffusa

+

riflessione speculare

+

emissione



Equazione di lighting in totale

$$I_{tot} = I_{luce\ ambient} \cdot k_{materiale\ ambient} + I_{luce\ diffuse} \cdot k_{materiale\ diffuse} \cdot (L \cdot N) + I_{luce\ specular} \cdot k_{materiale\ specular} \cdot (H \cdot N)^n + k_{materiale\ emission}$$

proprietà del materiale

proprietà della luce

Materiali...

Material	GL_AMBIENT	GL_DIFFUSE	GL_SPECULAR	GL_SHININESS
Emerald	0.0215 0.1745 0.0215 0.55	0.07568 0.61424 0.07568 0.55	0.633 0.727811 0.633 0.55	76.8
Jade	0.135 0.2225 0.1575 0.95	0.54 0.89 0.63 0.95	0.316228 0.316228 0.316228 0.95	12.8
Obsidian	0.05375 0.05 0.06625 0.82	0.18275 0.17 0.22525 0.82	0.332741 0.328634 0.346435 0.82	38.4
Pearl	0.25 0.20725 0.20725 0.922	1.0 0.829 0.829 0.922	0.296648 0.296648 0.296648 0.922	11.264
Ruby	0.1745 0.01175 0.01175 0.55	0.61424 0.04136 0.04136 0.55	0.727811 0.626959 0.626959 0.55	76.8
Turquoise	0.1 0.18725 0.1745 0.8	0.396 0.74151 0.69102 0.8	0.297254 0.30829 0.306678 0.8	12.8
Black Plastic	0.0 0.0 0.0 1.0	0.01 0.01 0.01 1.0	0.50 0.50 0.50 1.0	32
Black Rubber	0.02 0.02 0.02 1.0	0.01 0.01 0.01 1.0	0.4 0.4 0.4 1.0	10
Brass	0.329412 0.223529 0.027451 1.0	0.780392 0.568627 0.113725 1.0	0.992157 0.941176 0.807843 1.0	27.8974
Bronze	0.2125 0.1275 0.054 1.0	0.714 0.4284 0.18144 1.0	0.393548 0.271906 0.166721 1.0	25.6
Polished Bronze	0.25 0.148 0.06475 1.0	0.4 0.2368 0.1036 1.0	0.774597 0.468561 0.200621 1.0	76.8
Chrome	0.25 0.25 0.25 1.0	0.4 0.4 0.4 1.0	0.774597 0.774597 0.774597 1.0	76.8



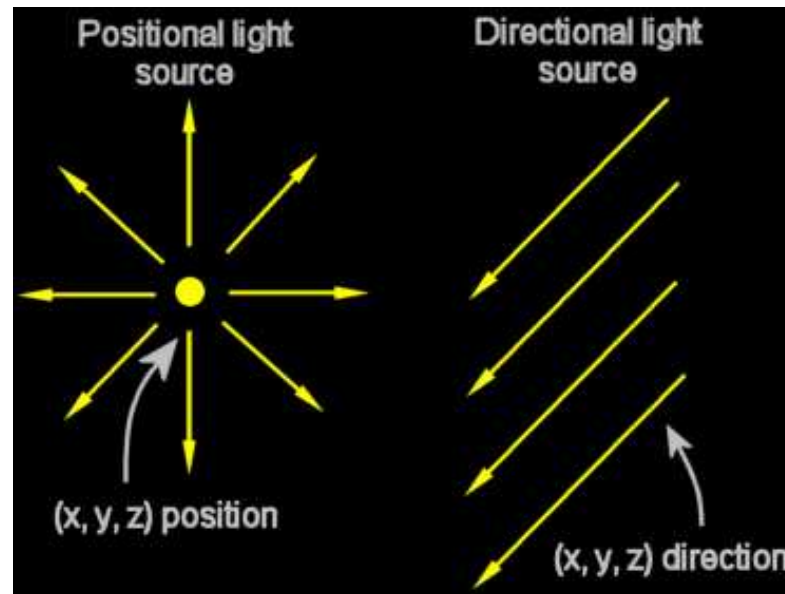
Equazione di lighting: modellazione delle luci

$$I_{tot} = I_{luce\ ambient} \cdot k_{materiale\ ambient} +$$
$$I_{luce\ diffuse} \cdot k_{materiale\ diffuse} \cdot (\hat{L} \cdot \hat{N}) +$$
$$I_{luce\ specular} \cdot k_{materiale\ specular} \cdot (\hat{H} \cdot \hat{N})^n +$$
$$k_{materiale\ emission} \frac{(\hat{L} + \hat{V})}{|\hat{L} + \hat{V}|}$$

proprietà della luce

Modellazione delle luci

- Come varia L?
 - costante nella scena: fonti di luci "direzionali"
 - buono per fonti di luce molto distanti, e.g. il sole
 - varia nella scena: fonti di luci "posizionali"
 - buono per fonti di luci vicine, e.g. lampadine



Modellazione delle luci: luci posizionali

- Nelle luci posizionali, si può attenuare l'intensità in funzione della distanza
- In teoria (per la fisica) intensità = 1 / distanza²

$$f_{\text{attenuazione luce}} = \left(\frac{1}{c \cdot d_L^2} \right)$$

Modellazione delle luci: luci posizionali

- In pratica, questo porta ad attenuazioni della luce troppo repentine
- Invece usiamo:

$$f_{\text{attenuazione luce}} = \min\left(\frac{1}{c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L^2}, 1\right)$$

Equazione di lighting

$$I_{tot} = \left(\begin{array}{l} I_{luce\ ambient} \cdot k_{materiale\ ambient} + \\ I_{luce\ diffuse} \cdot k_{materiale\ diffuse} \cdot (L \cdot N) + \\ I_{luce\ specular} \cdot k_{materiale\ specular} \cdot (H \cdot N)^n \end{array} \right) \cdot f_{attenuazione\ luce} + k_{materiale\ emission}$$

$$f_{attenuazione\ luce} = \min \left(\frac{1}{c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L^2}, 1 \right)$$

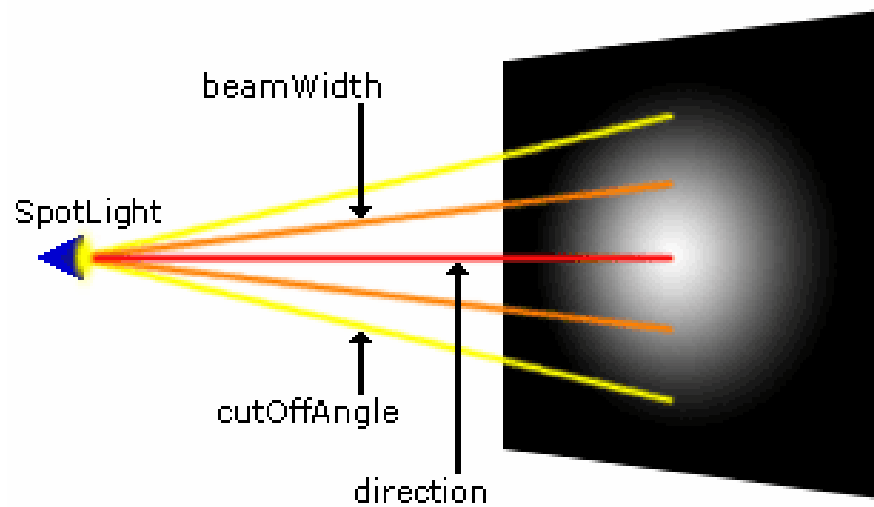
Tipi di luci

- Tipi di luci:
 - posizionali
 - direzionali
 - spot-lights
 - (faretti)



Spotlights

- Definite da tre parametri:



Equazione di lighting

$$I_{tot} = \left(\begin{array}{l} I_{luce\ ambient} \cdot k_{materiale\ ambient} + \\ I_{luce\ diffuse} \cdot k_{materiale\ diffuse} \cdot (L \cdot N) + \\ I_{luce\ specular} \cdot k_{materiale\ specular} \cdot (H \cdot N)^n \end{array} \right) \cdot \begin{array}{l} f_{attenuazione\ luce} \\ f_{effetto\ spotlight} \end{array} + k_{materiale\ emission}$$

$$f_{attenuazione\ luce} = \min \left(\frac{1}{c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L^2}, 1 \right)$$

$$f_{effetto\ spotlight} = f(L, spot_{direction}, spot_{cutoff\ Angle}, spot_{beam\ width})$$