

Marco Tarini - Computer Graphics 2020/2021
Università degli Studi di Milano

lighting part II



37

Modelli (o equazioni) di lighting

- ✓ L'**equazione di lighting** vista è molto semplice
 - ⇒ consiste esclusivamente di una **componente di riflessione diffusa**
 - ⇒ prevede materiali altrettanto semplici, descritti esclusivamente dal **base color**
 - ⇒ però è **physically based** – il fenomeno ottico modellato è accuratamente riprodotto (eccetto che per la **tricromia RGB**)
- ✓ E' un esempio di modello di illuminazione locale
- ✓ Il questo modello:
 - ⇒ il «materiale» è descritto unicamente dal base color (detto anche diffuse color, o albedo se in bianco e nero)
 - ⇒ le luci sono discrete, e descritte da una direzione e una intensità (quest'ultima, specificata per canale R,G,B nel caso di luci colorate)
 - ⇒ L'unico aspetto geometrico che è rilevante è la normale del punto illuminato. In particolare, la direzione di osservazione non conta. È un modello «view independent».



42

Modelli (o equazioni) di lighting

✓ Vediamo in questa lezione una eq solo leggermente più complicata che aggiunge:

- ⇒ una componente **ambient**
 - modella (approssimando brutalmente) effetti di **lighting globale**
- ⇒ una componente di **riflessione speculare**
 - modella (approssimando molto) **BRDF non Lambertiane** di materiali materiali lucidi, con riflessi speculari



43

I 3 addendi nel modello di Lighting di OpenGL

Luce finale

=

ambiente

+

riflessione



riflessione **diffusa**

+

riflessione **speculare**



48

I 4 addendi nel modello di Lighting di OpenGL

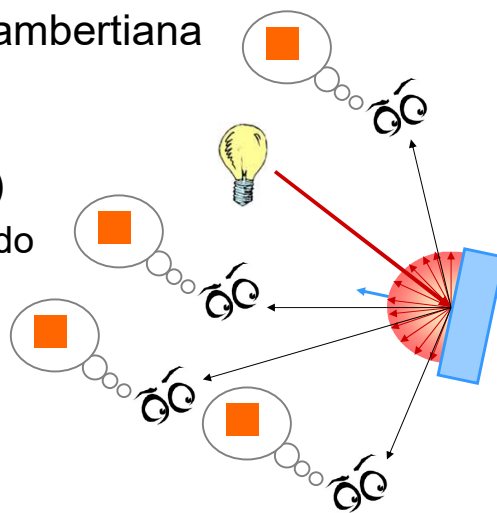
luce finale
=
ambiente
+
riflessione diffusa
+
riflessione speculare



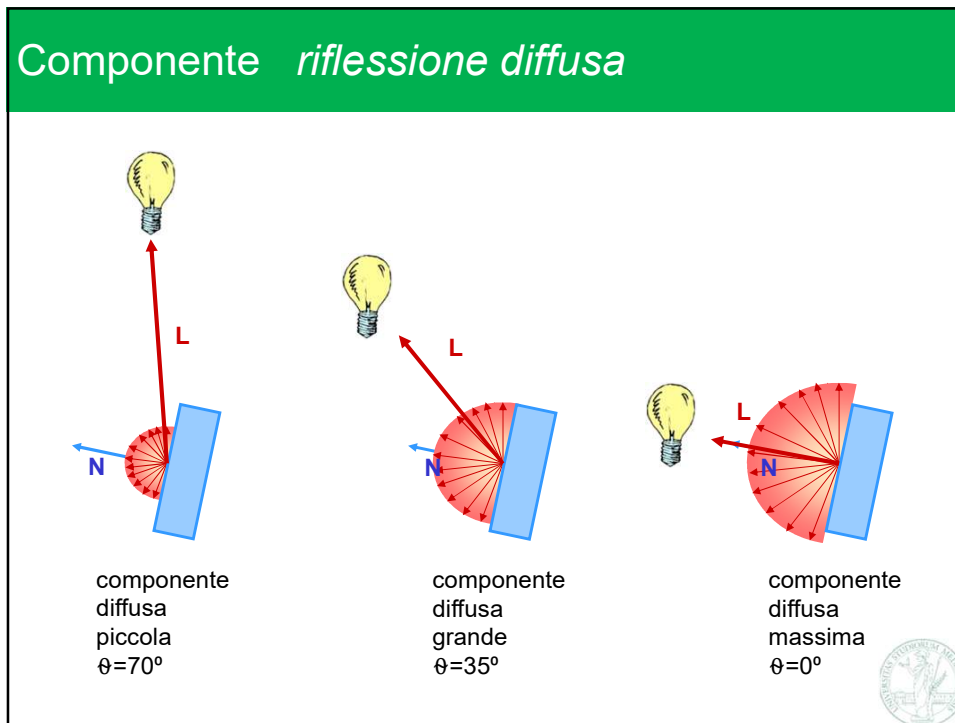
49

Componente *riflessione diffusa*

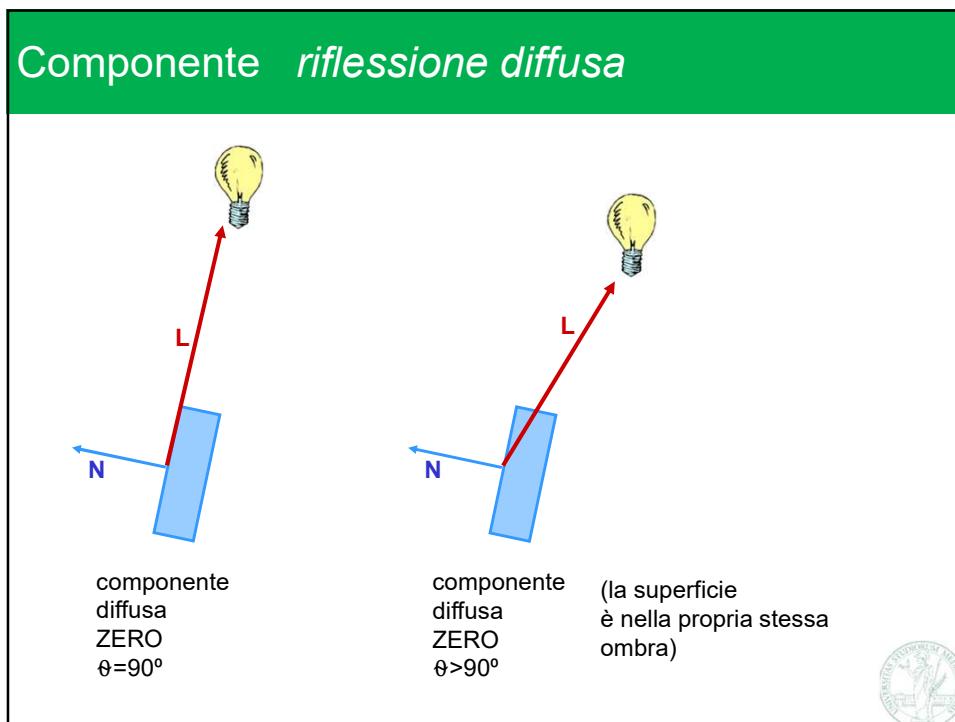
- ✓ La luce che colpisce una superficie Lambertiana si riflette in tutte le direzioni (nella semisfera)
⇒ nello stesso modo



50



51



52

I 4 fattori che consideriamo

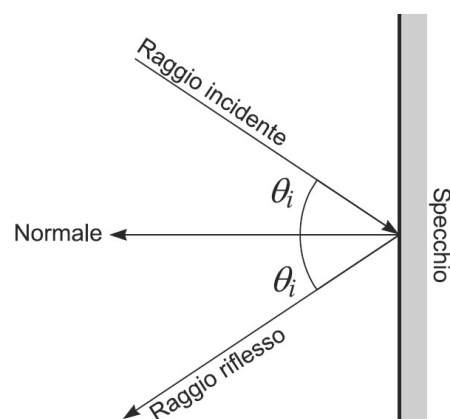
$$\begin{aligned} \text{luce finale} &= \\ &\text{ambiente} \\ &+ \\ &\text{riflessione diffusa} \\ &+ \\ &\text{riflessione speculare} \end{aligned}$$



54

Componente *riflessione speculare*

- ✓ Fenomeno molto semplice (concettualmente):
fotoni che “rimbalzano”
 - ⇒ come se fossero palline!
 - NB: natura corpuscolare del foton
 - ⇒ il rimbalzo dipende dalla normale della superficie
 - in formula?
- ✓ **Microscopicamente:**
la normale delle “*microfacets*” si discosta poco da quella della superficie macroscopica (meno se ne discosta, in media, maggiormente speculare apparirà la sup)



55

Componente *riflessione speculare*

- ✓ "Specular" reflection
⇒ detta anche «Phong» reflection

- ✓ Per materiali lucidi
⇒ con riflessi brillanti
⇒ "highlights"



senza



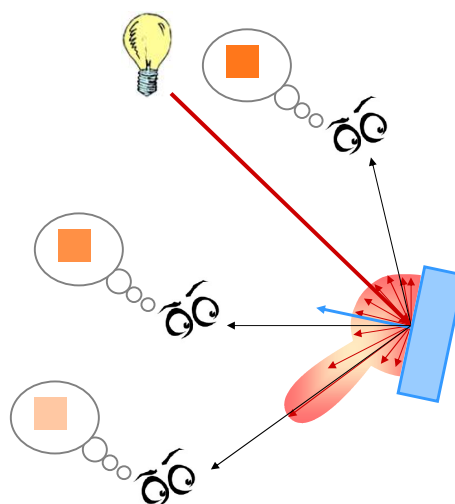
con



56

Componente *riflessione speculare*

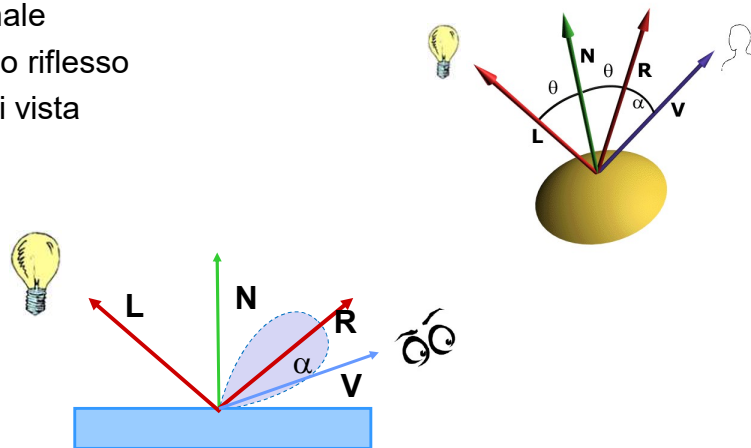
- ✓ Idea base:
la luce **non** viene riflessa
da materiali **lucidi**
in maniera eguale
in tutte le direzioni
- ✓ Riflessione
view-dependent



57

Componente *riflessione speculare*

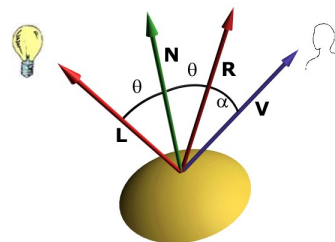
L: raggio incidente
N: normale
R: raggio riflesso
V: dir. di vista



58

Componente *riflessione speculare*

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

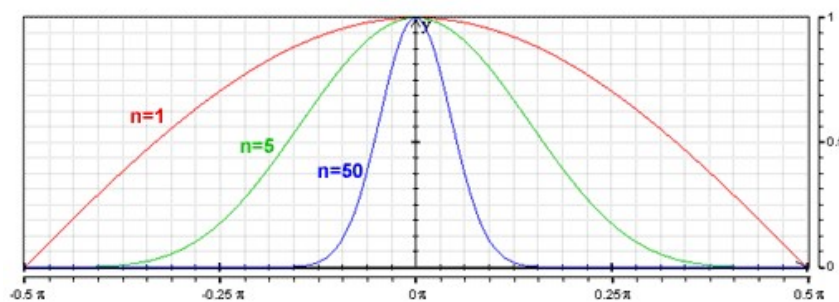


$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

59

Componente *riflessione speculare*

- ✓ Elevando il coseno ad una potenza >1 , si ottengono riflessi piu' piccoli e brillanti



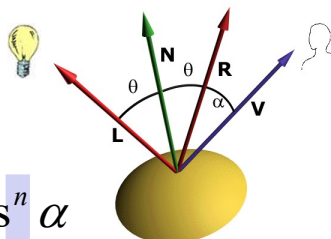
60

Componente *riflessione speculare*

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

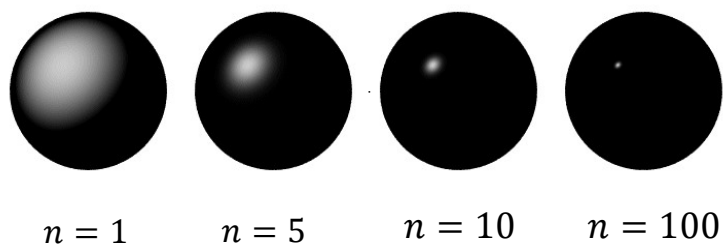
$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos^n \alpha$$

"specular" o "specular color" (determina quanto siano *intensi* i riflessi)
 "glossiness" o "shininess" o "specular exponent" (determina quanto siano *concentrati* i riflessi)
 fanno parte del "materiale" (la descriz. delle caratteristiche della sostanza di cui è fatto l'oggetto)



61

Componente *riflessione speculare* Effetto della “glossiness”

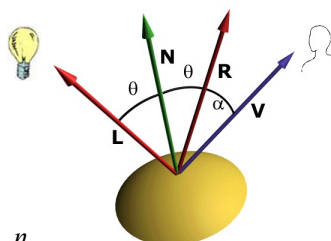


62

Componente *riflessione speculare*

✓ Phong reflection model

⇒ by Bui-Tuong Phong, 1975



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

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

direzione di luce riflessa specularmente.

$$\hat{R} = -\hat{L} + 2 (\hat{L} \cdot \hat{N}) \hat{N}$$

63

Componente riflessione speculare variante di Blinn

• Blinn-Phong light model:

- formulazione semplificata del light model di Phong
- risultati simili, formula lievemente diversa
- Intuizione: $\mathbf{V}$ è (quasi) in direzione di $\mathbf{R}$

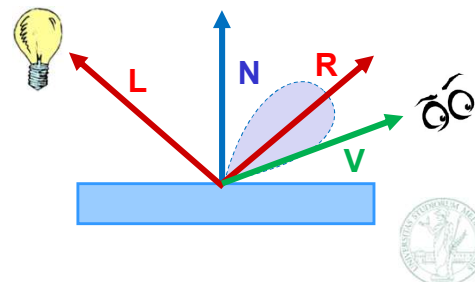
$\mathbf{N}$ è (quasi) la ^{sse} media (rinormalizzata) fra $\mathbf{V}$ e $\mathbf{L}$

"half-way" vector

- Questo non richiede il calcolo di $\mathbf{R}$!



Jim Blinn
(pioniere della CG)



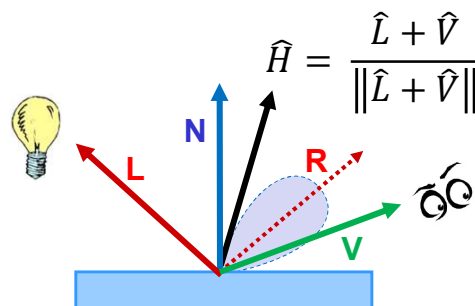
64

Componente riflessione speculare (due formule alternative)

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

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

"half-way" vector



65

I 3 addendi nel modello di Lighting di OpenGL

$$\begin{aligned} &\text{luce finale} \\ &= \\ &\quad \text{ambiente} \\ &+ \\ &\quad \text{riflessione diffusa} \\ &+ \\ &\quad \text{riflessione speculare} \end{aligned}$$



66

Componente *ambiente*

- ✓ **Modella** (ma in modo estremamente semplificato)
la luce che arriva
 - ⇒ da luci non modellate
 - ⇒ da luci che raggiungono l'oggetto attraverso riflessioni multiple (un effetto globale)
- ✓ Equivale all'assunzione:
"un pò di luce raggiunge ogni punto di ogni superficie da ogni direzione"
 - ⇒ per es. anche i punti in ombra
- ✓ Piccola **costante** additiva
 - ⇒ che non dipende dalla normale della superficie



67

Componente *ambiente*

✓ prodotto fra:

⇒ “ambient color” del materiale (R_M G_M B_M)

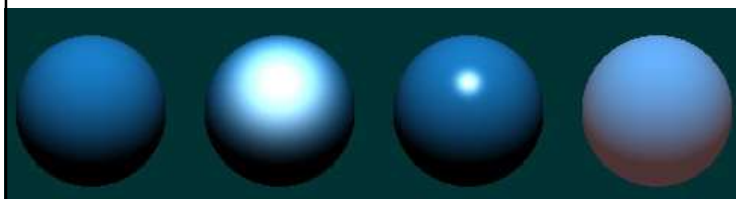
⇒ colore della luce (R_L G_L B_L)

⇒ nb: si tratta di un prodotto
componente per componente



68

Componente *ambiente*



senza



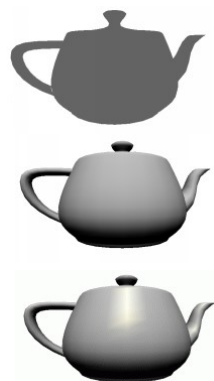
con



69

I 4 fattori che consideriamo

luce finale
=
ambiente
+
riflessione diffusa
+
riflessione speculare



70

Scene con luci molteplici

- ✓ Quando una scena è illuminata da molte luci, ciascuna genera un contributo di riflessione (diffusiva e speculare) che si somma agli altri
⇒ E all'unica componente ambient
- ✓ Ciascuna luce è dotata della sua direzione e intensità (eventualmente, per canale)
- ✓ Nota: aggiungendo molte luci, si rischia di saturare il valore risultante del lighting



74

Modellazione delle luci

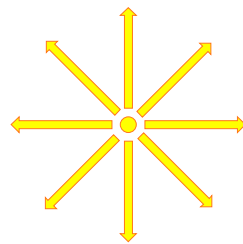
✓ Quanto vale la direzione L ?

⇒ costante nella scena: fonti di luci "direzionali"

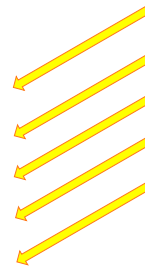
- modella fonti di luce molto distanti, per es, il sole

⇒ varia nella scena: fonti di luci "posizionali"

- modella fonti di luci vicine, per es, lampadine



LUCE POSIZIONALE



LUCE DIREZIONALE



75

Luci posizionali e direzionali

✓ Luce direzionale:

⇒ È data la direzione $\hat{L}$ della luce è data,
che è la stessa per tutti i punti da illuminare

✓ Luce posizionale:

⇒ è data la posizione della luce L_{POS}

⇒ la direzione della luce viene computata per
ogni punto P da illuminare come:

$$\hat{L} = \frac{(P - L_{POS})}{\|P - L_{POS}\|}$$

⇒ Inoltre, posso introdurre fattori di attenuazione
dipendenti dalla *distanza*
della luce $d_L = \|P - L_{POS}\|$



76

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

a si usano
costanti minori di 2
(quella fisicamente corretta)
per rendere meno decisa
l'attenuazione della luce
con la distanza

$$f_{attenuazione_luce} = \left(\frac{1}{d_L^2} \right)$$



77

Recap: equazione di lighting con molteplici luci, modello di Blinn-Phong

$$I_{tot} = I_{intensità_luce_ambient} \cdot k_{diffuse_material} + \sum_i \left(\begin{array}{l} I_{intensità_luce_i} \cdot k_{diffuse_material} \cdot (\hat{L}_i \cdot \hat{N}) + \\ I_{intensità_luce_i} \cdot k_{specular_material} \cdot \left(\frac{\hat{L}_i + \hat{V}}{\|\hat{L}_i + \hat{V}\|} \cdot \hat{N} \right)^n \end{array} \right) \cdot f_{attenuazione_luce_i}$$



79