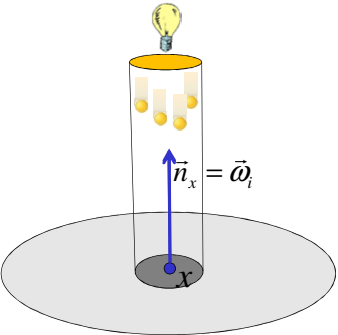


Computazione lighting

- Eseguita nel *vertex shader* o nel *fragment shader*

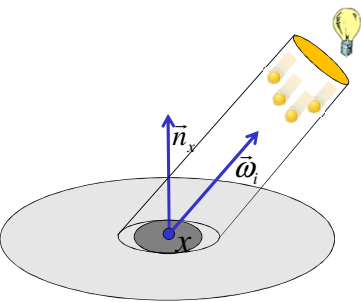
Sottoproblema

- Dalla dir $\vec{\omega}_i$ arrivano L lumens (N "palle da tennis"): quante ne riceve un intorno di x ?



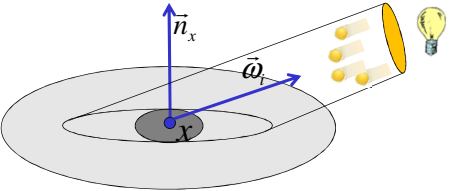
Sottoproblema

- Dalla dir $\vec{\omega}_i$ arrivano L lumens (N "palle da tennis"): quante ne riceve un intorno di x ?



Sottoproblema

- Dalla dir $\vec{\omega}_i$ arrivano L lumens (N "palle da tennis"): quante ne riceve un intorno di x ?



Sottoproblema

- Dalla dir $\vec{\omega}_i$ arrivano L lumens ("N palle da tennis"): quante ne riceve un intorno di x ?

Soluz: $\cos(\alpha)L$
 $= (\vec{\omega}_i \cdot \vec{n})L$
 "La legge del coseno"

Johann Heinrich Lambert
 1728 - 1777

Modello di illuminazione base

luce finale
 =
 ambiente
 +
 riflessione
 +
 emissione

Componente ambiente

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

senza

con

Modello di illuminazione base

RGB finale
 =
 ambiente
 +
 riflessione
 +
 emissione

 solo componente ambiente

 } riflessione diffusa
 +
 } riflessione speculare

Componente *riflessione diffusa*

- Esibita nella realtà da (per es):
 - gesso
 - legno (quasi)
 - materiali molto opachi (nel senso di "non lucidi")
 - Detta anche
 - **diffuse** reflection
 - **Lambertian** reflection
- opaco in [ita] significa anche "non trasparente" :)
 Confronta con [eng]:
 dull – not shiny (not "glossy")
 opaque – not transparent
- I materiali che esibiscono questo comportamento si dicono "diffusivi" o "Lambertiani"

Componente *riflessione diffusa*

- **Perché:**
- a livello microscopico...
 la superficie presenta micro-sfaccettature caotiche che riflettono la luce in una direzione "casuale"
- Raggi incidenti

Raggi riflessi in tutte le direzioni

Superficie diffusiva
- (dopo una o più riflessioni interne!)

Componente *riflessione diffusa*

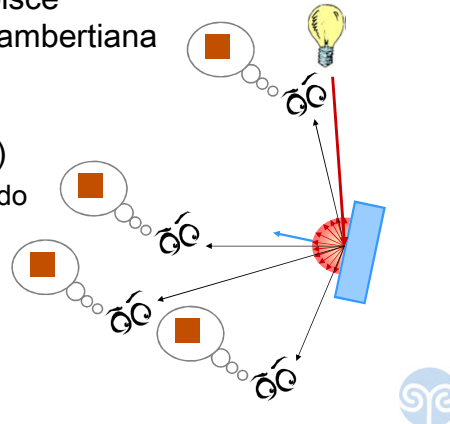
- La luce che colpisce una superficie Lambertiana si riflette in tutte le direzioni (nella semisfera)
 - nello stesso modo
-

Componente *riflessione diffusa*

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

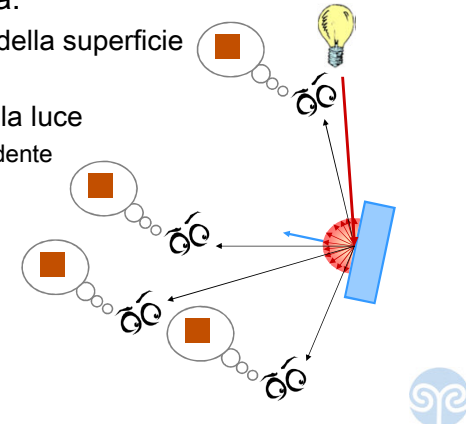
Componente *riflessione diffusa*

- 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*

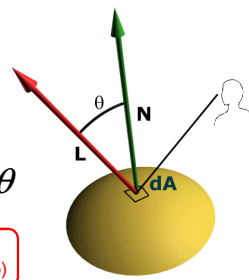
- Dipende solo da:
 - l'orientamento della superficie **N**
 - (cioè la sua "normale")
 - la direzione della luce **L**
 - (cioè del raggio incidente)

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

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

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

moltiplicazione componente per componente

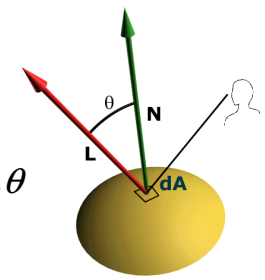


Componente *riflessione diffusa*

- 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)

Cosine Law: $E_0 = E \cdot \cos(\theta)$

Light Measurement Handbook by Alex Pyar

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

Componente riflessione diffusa

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

se angolo è compreso fra 0° e 90°,
else: 0,
(oggetto in ombra di se stesso)

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

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

nota: ciascuno dei "puntini" in questa equazione rappresenta una operazione diversa!

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 (BRDF) di alcuni materiali reali ☺
 - ma non poi molti ☹
 - modello fisicamente coerente ☺
 - per es, conserva l'energia
 - molto semplice da calcolare ☺



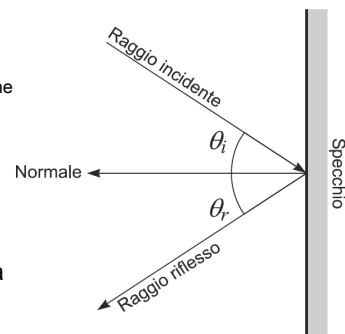
Ligthing Locale: un semplice modello

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



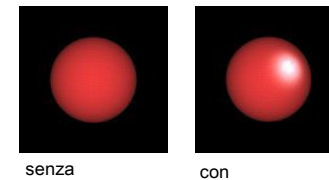
Componente *riflessione speculare*

- Fenomeno molto semplice (concettualmente): fotoni che “rimbalzano”
 - come palline!
 - NB: natura corpuscolare del fotone
 - 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)



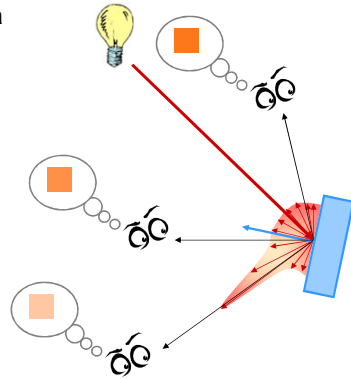
Componente *riflessione speculare*

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



Componente *riflessione speculare*

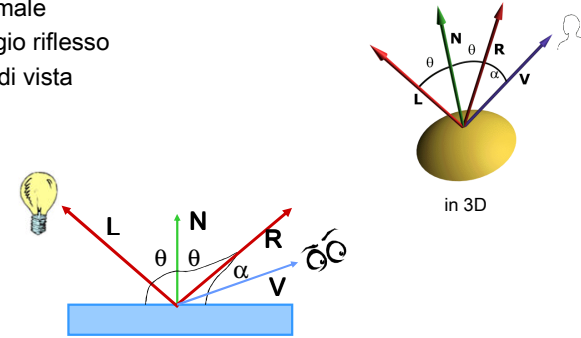
- Idea base:
la luce **non** viene riflessa da materiali **lucidi** in maniera eguale in tutte le direzioni



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*

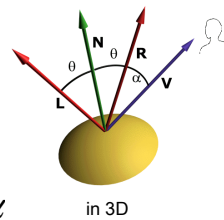
- L: raggio incidente
- N: normale
- R: raggio riflesso
- V: dir. di vista



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*

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

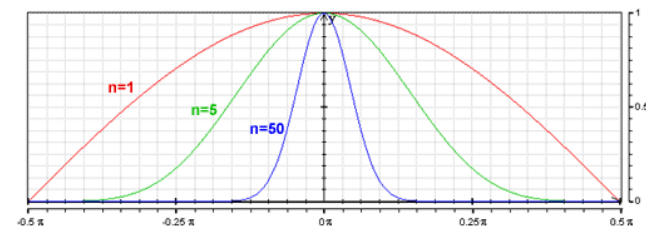


$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*

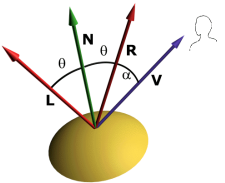
- Elevando il coseno ad una potenza, si ottengono riflessi piu' piccoli e brillanti



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*

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



in 3D

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

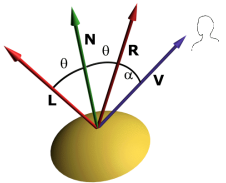
$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos^n \alpha$$

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*

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



in 3D

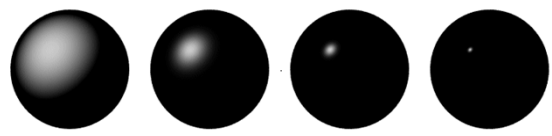
$$I_{spec} = I_{luce\ spec} \cdot k_{materiale\ spec} \cdot \cos \alpha$$

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

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente *riflessione speculare*



$n = 1$ $n = 5$ $n = 10$ $n = 100$

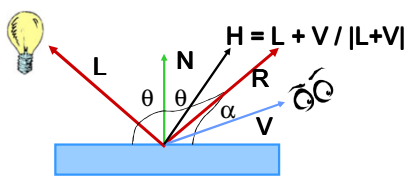
Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

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



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Componente riflessione speculare

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

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

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



Jim Blinn
(MEGA-MEGA-GURU)

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

I 4 fattori che consideriamo

luce finale
=
ambiente
+
riflessione diffusa
+
riflessione speculare
+
emissione



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Materiali...

Material	k_{amb}	k_{diff}	k_{spec}	n
Emerald	0.0214 0.1348 0.0214 0.55	0.0766 0.81424 0.0766 0.55	0.823 0.72711 0.823 0.55	76.8
Jade	0.105 0.2225 0.105 0.95	0.84 0.99 0.84 0.95	0.192236 0.192236 0.192236 0.95	12.8
Obsidian	0.00375 0.05 0.00005 0.82	0.19275 0.97 0.22025 0.82	0.332741 0.330034 0.344405 0.82	26.4
Pearl	0.25 0.20725 0.20725 0.92	1.0 0.82 0.82 0.92	0.399048 0.399048 0.399048 0.92	11.204
Ruby	0.1745 0.61175 0.61175 0.55	0.81424 0.04126 0.04126 0.55	0.72711 0.82659 0.82659 0.55	76.8
Turquoise	0.1 0.18725 0.1845 0.8	0.9 0.74191 0.8155 0.8	0.207234 0.30029 0.30029 0.8	12.8
Black Plastic	0.0 0.0 0.0 1.0	0.01 0.01 0.01 1.0	0.80 0.80 0.80 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	0.20412 0.22929 0.02441 1.0	0.78092 0.69807 0.12725 1.0	0.882107 0.841178 0.807881 1.0	27.8074
Bronze	0.12725 0.12725 0.054 1.0	0.74191 0.8264 0.1444 1.0	0.30029 0.271908 0.168711 1.0	25.6
Polished Brass	0.25 0.1485 0.09495 1.0	0.4 0.2306 0.1036 1.0	0.74497 0.46501 0.20021 1.0	76.8
Chrome	0.25 0.25 0.25 1.0	0.4 0.4 0.4 1.0	0.74497 0.4 0.74497 1.0	76.8



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Equazione di lighting: modellazione delle luci

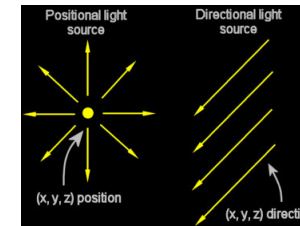
$$I_{tot} = I_{luce\ ambient} \cdot k_{materiale\ ambient} + I_{luce\ diffuse} \cdot k_{materiale\ diffuse} \cdot (\hat{L} \cdot \hat{N}) + I_{luce\ specular} \cdot k_{materiale\ specular} \cdot (\hat{H} \cdot \hat{N})^n + k_{materiale\ emission} \cdot \frac{(\hat{L} + \hat{V})}{|\hat{L} + \hat{V}|}$$

proprietà della luce

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

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



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

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

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Modellazione delle luci: luci posizionali

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

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Esempio di Equazione di lighting


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

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

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Tipi di luci

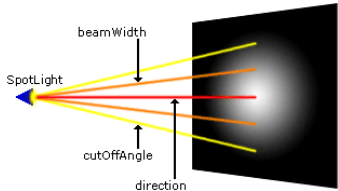
- Tipi di luci:
 - posizionali
 - direzionali
 - spot-lights
 - (faretti)



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Spotlights

- Definite da tre parametri:



Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria

Esempio di Equazione di Lighting

caratteristiche della luce
 caratteristiche del materiale
 dati dalla scena

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

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

$$f_{effetto\ spotlight} = f(\hat{L} \cdot \hat{spot_direction}, \hat{spot_cutoff_Angle}, \hat{spot_beamwidth})$$

Marco Tarini - Computer Graphics - 2011/12 - Università dell'Insubria