
Fondamenti di Grafica Tridimensionale

Paolo Cignoni
p.cignoni@isti.cnr.it
<http://vcg.isti.cnr.it/~cignoni>

1

Local Reflection Models

- ❖ Incapsulano il comportamento puramente locale della luce rispetto ad una superficie.
- ❖ Come la luce si trasmette e si riflette
- ❖ Fisici ed empirici
- ❖ Scale dependent

3

Progetto

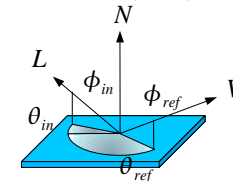
- ❖ MESH LAB
 - ❖ Sistema per il processing di unstructured mesh, quelle tipiche del 3d scanning.
- ❖ Sotto task
 - ❖ Interface Framework: action based, history (scriptability?), connectable.
 - ❖ Selection Tools, UI based, smart (connected components, approx connected component, magic wand?)
 - ❖ Filtering Tools: smoothing, decimation, cleaning
 - ❖ IO filters: Aggiungere un paio di formati in lettura/scrittura (obj, vrml e 3ds)
 - ❖ Rendering: Shadow, local noise, fake real materials

2

BRDF

- ❖ Bidirectional Reflectance Distribution Function
 - ❖ Magnitudo della luce riflessa in una direzione V quando la sup è illuminata da raggio di luce infinitamente sottile proveniente da L .

$$BRDF = f(\theta_{in}, \phi_{in}, \theta_{ref}, \phi_{ref}) = f(L, V)$$



4

BRDF

❖ Anisotropic

- ❖ La BRDF dipende anche da come è orientata la superficie
- ❖ Metallo lavorato

❖ Isotropic

- ❖ BRDF dipende solo da $\theta_{in}, \theta_{ref}$
- ❖ Phong
- ❖ Lambertian (dipende solo da θ_{in})

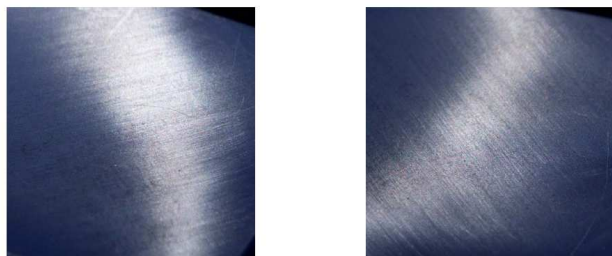
5

Anisotropic BRDF



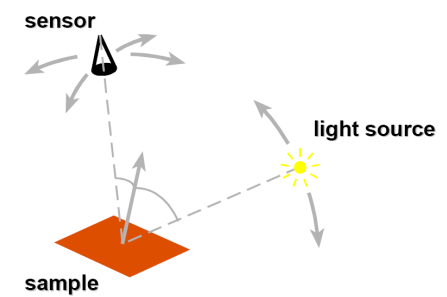
6

Anisotropic (Real!)



7

BRDF Measurement



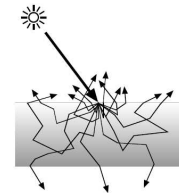
8

Rappresentazioni BRDF

- ❖ Tabulare...
 - ❖ Occorre un campionamento denso e uno schema di interpolazione sensato
- ❖ Fattorizzazione:
 - ❖ in due funzioni 2D da memorizzare come tabelle (e.g. Diff + spec)
- ❖ Spherical Harmonics
 - ❖ come serie di fourier sulla sup di una sfera
- ❖ Modelli Analitici
 - ❖ Compatti ma approx.

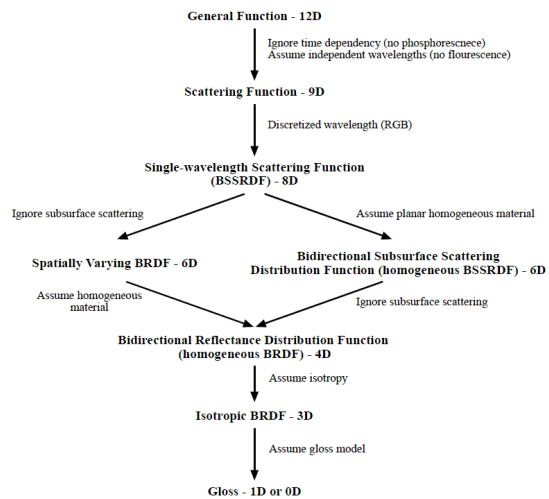
9

Subsurface Scattering



La luce incidente esce in un punto diverso (distante!) da quello in cui è entrato

10



Cook Torrance

- ❖ Modello analitico di BRDF *fisica*
 - ❖ Basata sulla simulazione di una data microgeometria
 - ❖ Si assume una superficie fatta da una serie di incisioni v-shaped simmetriche
 - ❖ Distribuzione gaussiana dell'orientamento delle microfacce

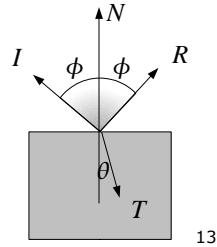


12

Snell's law

- ❖ Calcola la refrazione della luce quando passa tra due mezzi di differente indice rifrattivo μ_1, μ_2

$$\mu_1 \sin \theta = \mu_2 \sin \phi$$

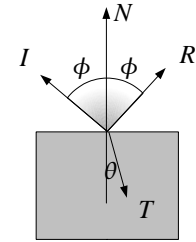


13

Snell's law

- ❖ Esempi:
 - ❖ Se hanno lo stesso RI ϕ, θ sono uguali
 - ❖ Un materiale opaco in un certo senso è considerabile avere un RI infinito.

$$\mu_1 \sin \theta = \mu_2 \sin \phi$$



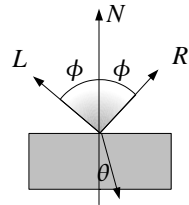
14

Fresnel Law

- ❖ Per calcolare la frazione di luce riflessa R e trasmessa T

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\phi - \theta)}{\sin^2(\phi + \theta)} + \frac{\tan^2(\phi - \theta)}{\tan^2(\phi + \theta)} \right]$$

$$T = 1 - R$$

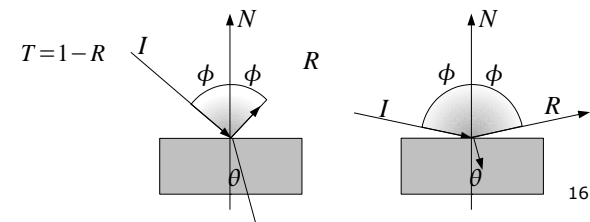


15

Fresnel Law

- ❖ Per calcolare la frazione di luce riflessa R e trasmessa T

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\phi - \theta)}{\sin^2(\phi + \theta)} + \frac{\tan^2(\phi - \theta)}{\tan^2(\phi + \theta)} \right]$$

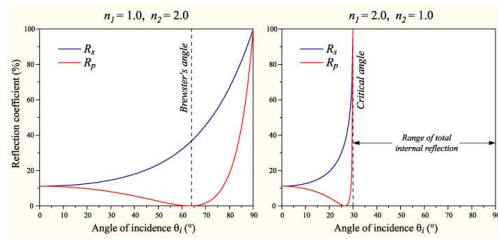


16

Fresnel Law

❖ I due termini si riferiscono alla polarizzazione della luce

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{R_s}{\sin^2(\phi - \theta)} + \frac{R_p}{\tan^2(\phi + \theta)} \right]$$



17

Fresnel

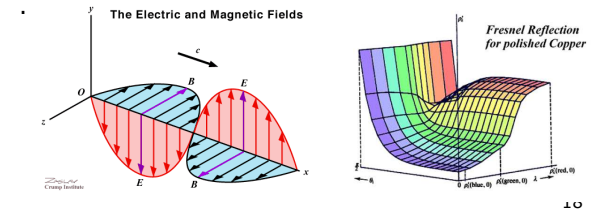
❖ Riflessi più forti guardando radente



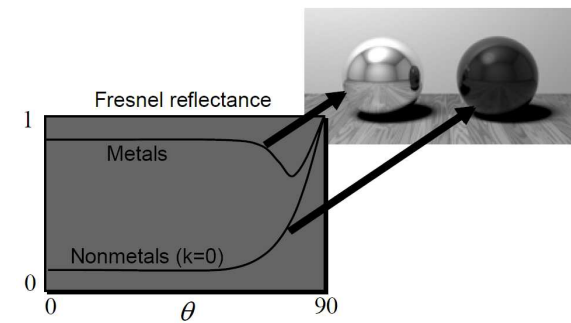
19

Nota Fresnel

Fresnel dipende dalla lung. D'onda
L'indice di rifrazione e' considerato come un numero complesso (per permettere attenuazione)
Questo spiega la variazione di colore nelle regioni speculari metalliche



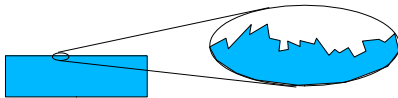
Fresnel Term



20

MicroGeometry

- ❖ Vale solo per superfici otticamente perfette.
- ❖ Le superfici vere sono sempre leggermente ruvide
 - ❖ Microgeometria
 - ❖ Scala piccola abbastanza da essere considerate solo statisticamente



21

Microgeometry

- ❖ È ancora una enorme semplificazione
 - ❖ Non solo microgeometria influenza come una superficie riflette
 - ❖ sporco
 - ❖ Difficile dire dove finisce la scala entro cui considerare le variazioni in modo statistico
 - ❖ Graffi e finiture.

22

MicroGeometry

- ❖ Si assume che
 - ❖ Le micro facce siano grandi rispetto alla lunghezza d'onda della luce
 - ❖ Il diametro della zona che sottende un sample di rendering (pixel) è grande abbastanza da contenere un campione statisticamente significativo della microgeometria

23

Cook Torrance

- ❖ Diffuse Term
 - ❖ È il solito termine lambertiano
- ❖ Specular Term

$$I_s = \frac{FDG}{N \cdot V}$$

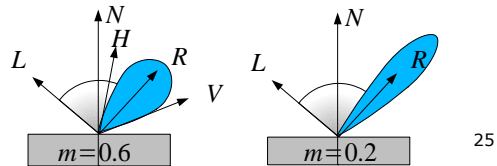
- ❖ D distribuzione microgeometria
- ❖ G termine Shadowing masking
- ❖ F Fresnel

24

Cook Torrance

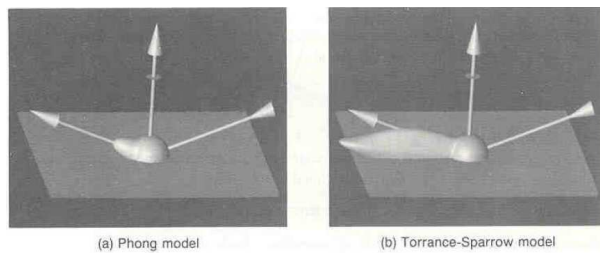
- ❖ Distribuzione normale microfaccie rispetto alla normale media della superficie
 - ❖ m deviazione standard della distribuzione
 - ❖ m controlla quanto e' liscia la superficie

$$D(H) = \frac{1}{4m^2 \cos^4 \beta} e^{-(\tan \beta / m)^2} \quad \beta = \arccos(N \cdot H)$$



25

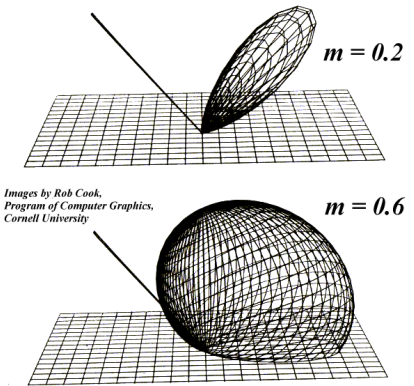
Phong vs Cook



(a) Phong model

(b) Torrance-Sparrow model

27



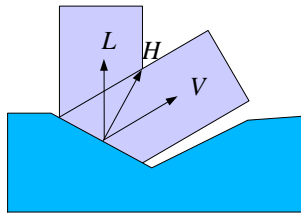
26

Geometric Attenuation

The geometric attenuation factor G accounts for microfacet shadowing. The factor G is in the range from 0 (total shadowing) to 1 (no shadowing). There are many different ways that an incoming beam of light can interact with the surface locally

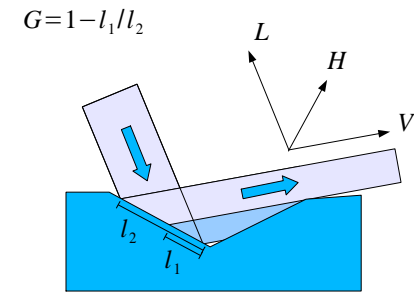
28

Shadowing and Masking



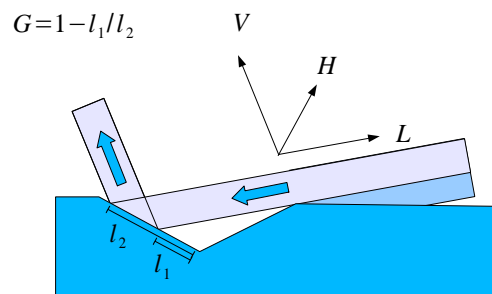
29

Shadowing ...



30

And Masking ...



31

Cook Torrance

❖ Masking and shadowing terms

$$G = 1 - l_1/l_2$$

$$G_m = 2 \frac{(N \cdot H)(N \cdot V)}{V \cdot H}$$

$$G_s = 2 \frac{(N \cdot H)(N \cdot L)}{V \cdot H}$$

$$G = \min(1, G_m, G_s)$$

32

Cook Torrance

- ❖ In conclusione lo Specular Term

$$I_s = \frac{FDG}{N \cdot V}$$

- ❖ F Fresnel

- ❖ Si approssima per luce perpendicolare $F_r = \frac{(\mu-1)^2}{(\mu+1)^2}$

- ❖ O per la luce che viene da un angolo phi rispetto alla normale della superficie

$$F_\phi = F_0 + (1 - \cos \phi)^5 (1 - F_0)$$