

Rendering

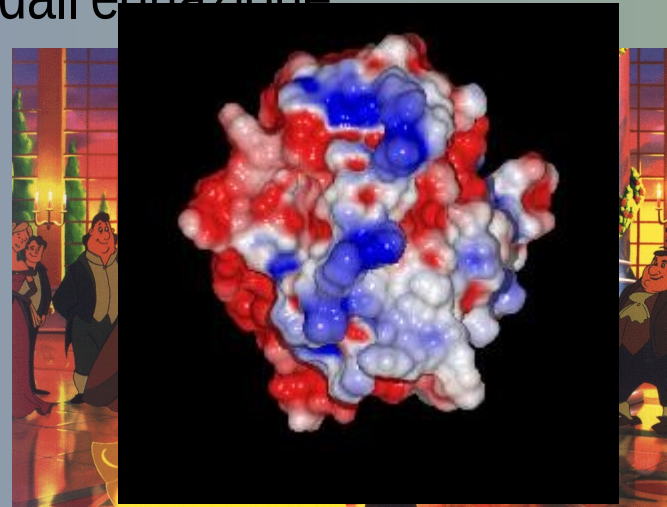
È quel processo di creazione di un'immagine bidimensionale a partire da un modello tridimensionale

Tale immagine deve tendere a rappresentare ciò che otterrei fotografando la scena tridimensionale a partire da un punto al suo interno

Rendering

I campi d'applicazione:

- progettazione CAD delle industrie meccaniche
- rendering d'ambienti interni per l'industria dell'arredamento e del mobile
- simulazione di scene inesistenti in realtà come cartoni animati o effetti speciali di fantascienza.
- rappresentazione di molecole e proteine in campo bio-medico
- rappresentazione di superfici matematiche a partire dall'equazione



Shading-model

- Per la visualizzazione di un'immagine in modo realistico è necessario tenere conto anche del fenomeno delle ombre proprie e portate che caratterizzano la scena
- Si utilizza un modello d'illuminazione (shading-model) che descrive i fattori che determinano il colore di una superficie in un determinato punto descrivendo le interazioni tra le luci e le superfici tenendo conto delle proprietà delle superfici stesse e della natura della radiazione luminosa incidente

Modello di illuminazione di Phong

- è un semplice modello d'illuminazione al tempo stesso efficiente e aderente alla realtà fisica, e consente di ottenere un buon *rendering* delle immagini

Modello di illuminazione di Phong

- Nel modello di Phong, la riflessione della radiazione luminosa viene modellata in termini di tre componenti additive:
- **diffusa**
- **speculare**
- **ambiente**

$$I = I_a + I_d + I_s = R_a L_a + R_d L_d + R_s L_s$$

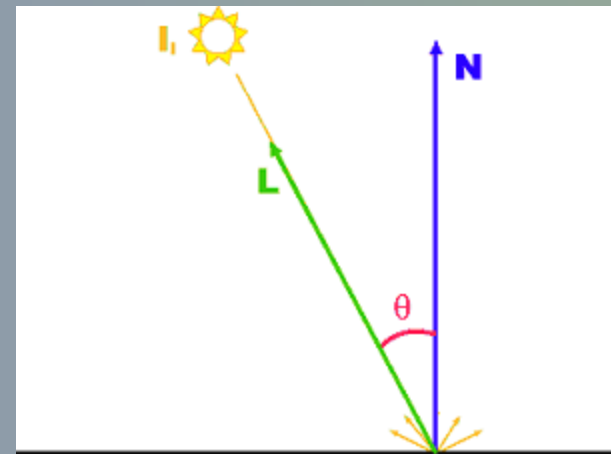
Riflessione ambiente

- La componente ambiente si riflette in tutte le direzioni con uguale intensità ed è usata per schiarire le zone d'ombra
- Essa approssima il fenomeno dell'inter-riflessione tra gli oggetti
- La componente ambiente si assume distribuita uniformemente, con intensità L_a uguale in ogni punto della superficie
- Parte di questa luce è assorbita, e parte è riflessa dalla superficie in base al valore del coefficiente di riflessione ambiente

$$I_a = k_a L_a$$

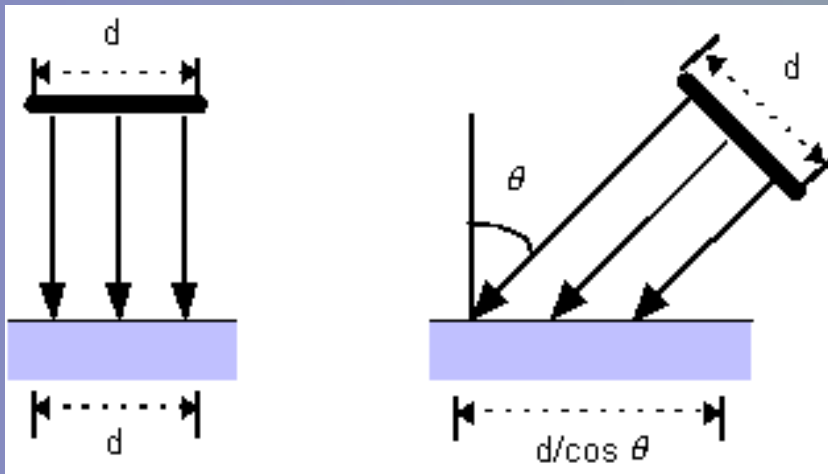
Riflessione diffusa

- La riflessione diffusa è la componente della radiazione luminosa riflessa da una superficie perfettamente diffusiva ugualmente verso qualsiasi direzione
- La componente diffusa è direzionale, si riflette proporzionalmente all'angolo di incidenza con la superficie riflettente in tutte le direzioni e quindi è identica per tutti gli osservatori



Riflessione diffusa

La riflessione diffusa si può caratterizzare matematicamente, in accordo alla legge di Lambert, nel seguente modo

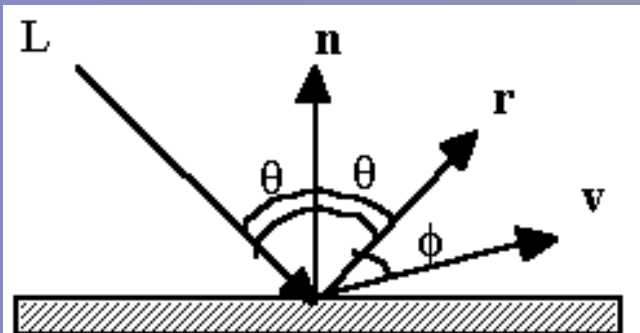


$$I_d = k_d L_d \cos \theta$$

k_d è il **coefficiente di riflessione** che approssima il grado di diffusività della superficie, ossia la frazione di luce incidente che viene riflessa.

Riflessione speculare

La componente speculare è direzionale e si riflette lungo una direzione privilegiata (funzione della direzione di incidenza e della normale alla superficie)



$$I_s = k_s L_s \cos^a \phi$$

Il coefficiente k_s rappresenta la frazione di luce speculare riflessa
L'esponente a è chiamato **coefficiente di brillantezza**

Galileo

Questo fenomeno era già noto a Galileo che se ne servì per dimostrare la tesi secondo cui la Luna presenta una superficie scabrosa

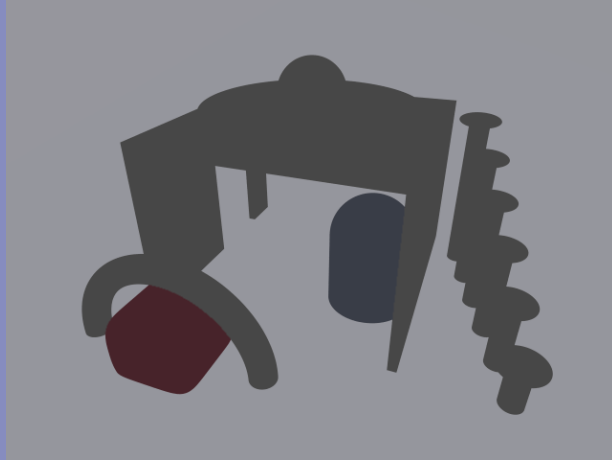


“E’ noto che la diversità delle vedute, nel rimirar superficie brunite, cagiona differenze tali di apparenze, che per imitare e rappresentare in pittura una corazza brunita, bisogna accoppiare neri schietti e bianchi, l’uno accanto all’altro, in parti di essa arme dove il lume cade egualmente”

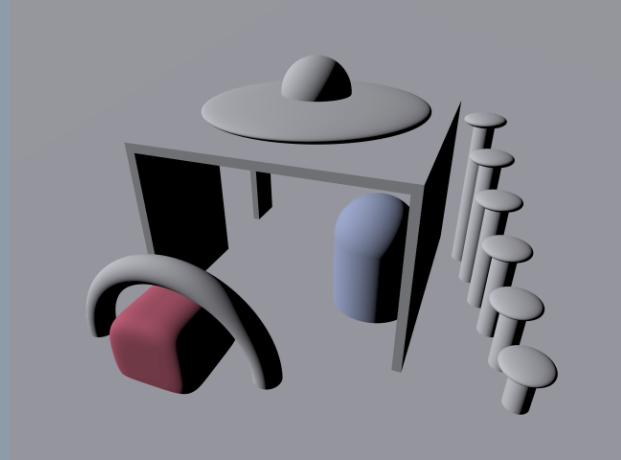
Illuminazione nel metodo di Phong

- Complessivamente, l'equazione di illuminazione del modello di Phong risulta uguale a

$$I = \frac{1}{a + bd + cd^2} \left(k_d L_d (l \cdot n) + k_s L_s (r \cdot v)^\alpha \right) + k_a L_a$$



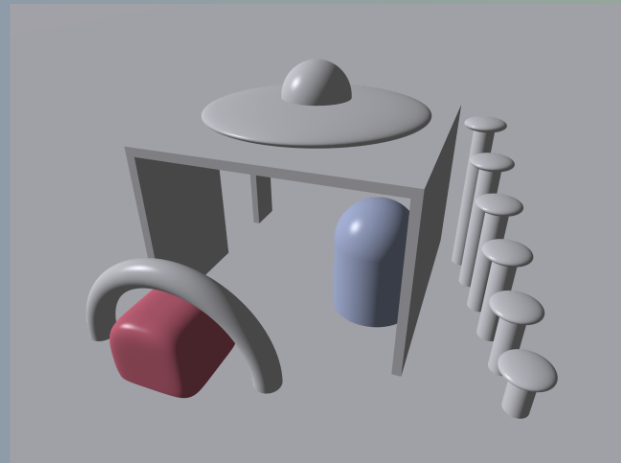
Componente ambientale



Componente diffusiva



Componenti specularare



Modello locale

Rendering globale

Il modello d'illuminazione di Phong è un modello locale, ovvero non considera le relazioni tra i vari elementi della scena

non permette di modellare:

- la **riflessione diffusa** tra gli oggetti nella scena (inter-riflessione)
- la **riflessione speculare** e la **rifrazione** di radiazioni tra gli oggetti
- le **ombre portate**, ovvero quelle proiettate da un oggetto su un altro

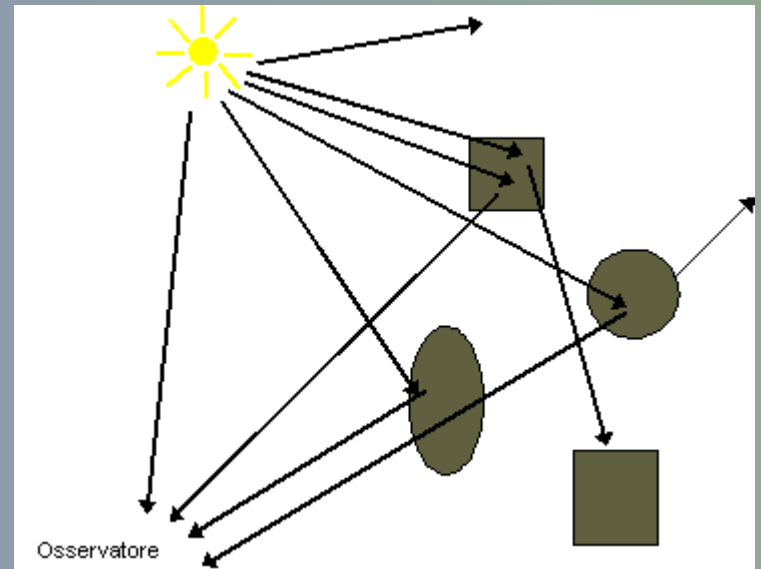
Ray Tracing

Il metodo Ray tracing permette di modellare oltre al fenomeno della riflessione anche:

- **La rifrazione**
- **La riflessione speculare tra oggetti**
- **Le ombre portate**

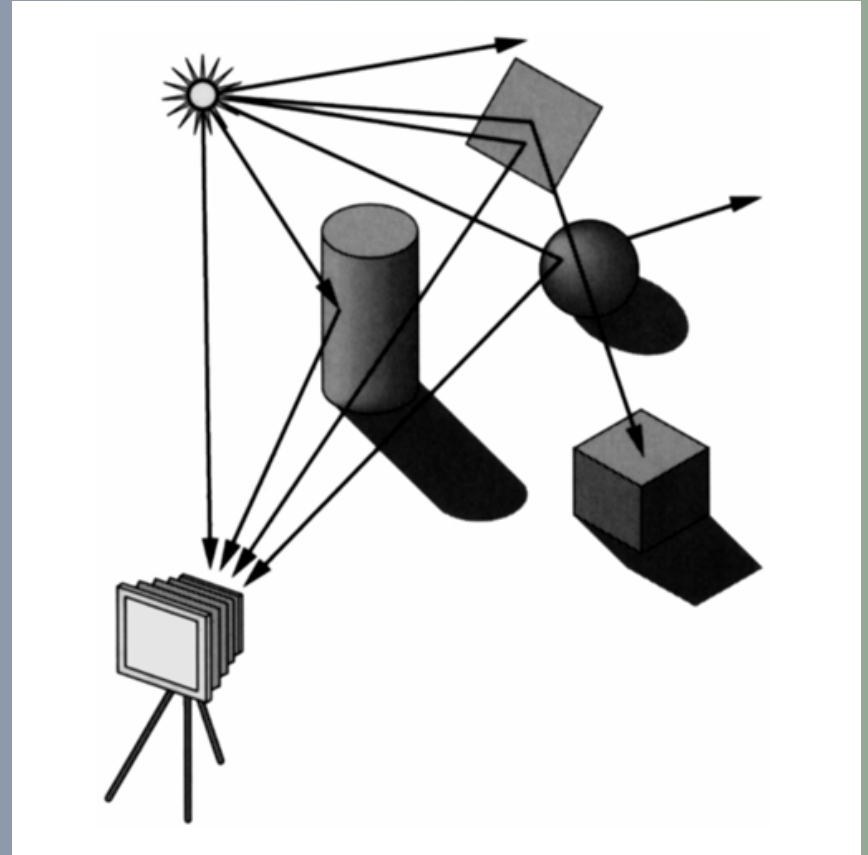
Ray Tracing

Il metodo si basa sull'osservazione che i soli raggi luminosi uscenti da una sorgente che contribuiscono alla visualizzazione dell'immagine sono quelli che raggiungono l'osservatore



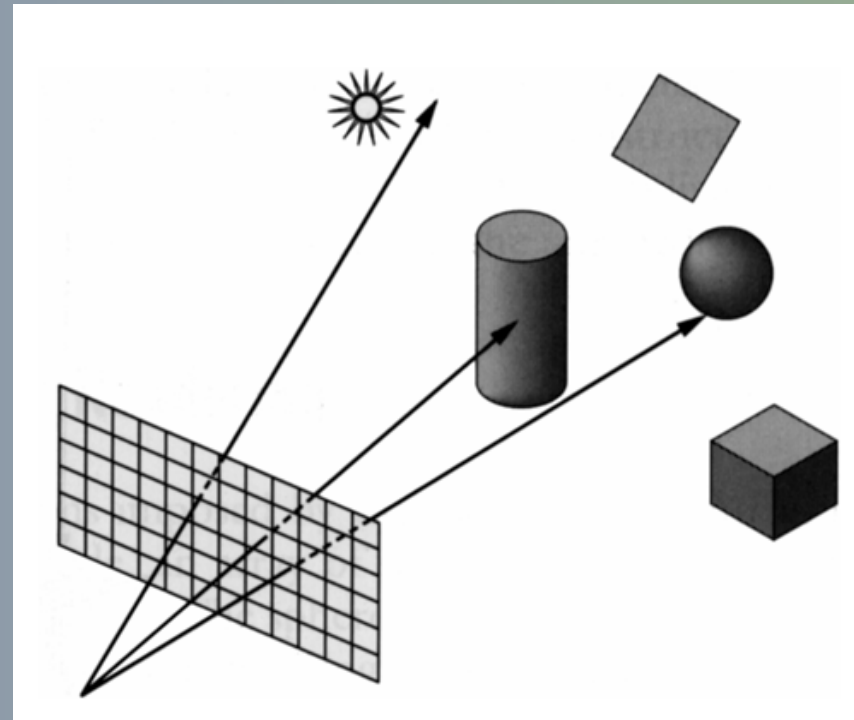
Ray Tracing

- Un raggio luminoso potrà raggiungere l'osservatore in maniera diretta oppure in seguito all'interazione con le superfici degli oggetti della scena
- Ma la maggior parte dei raggi non raggiungerà l'osservatore e quindi non contribuirà all'immagine



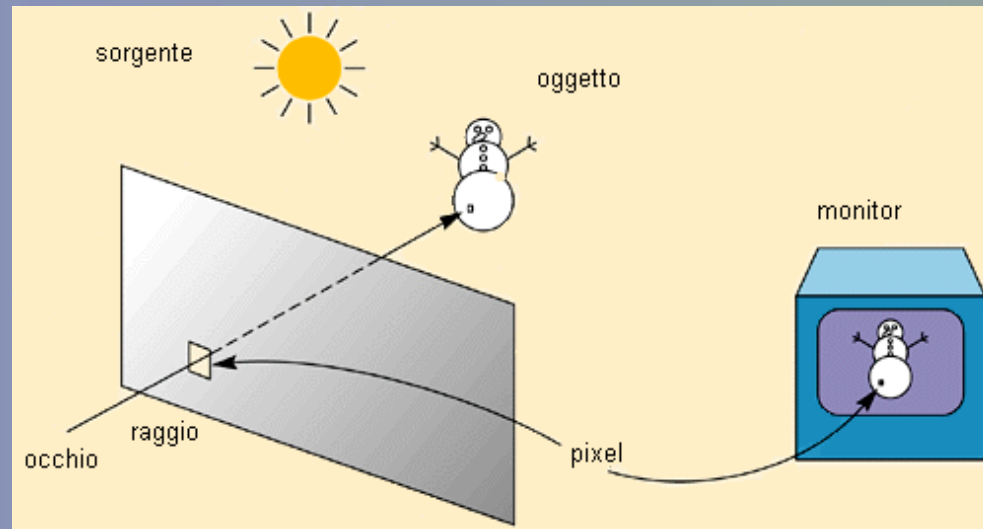
Ray Tracing

Si possono determinare con facilità i raggi che contribuiscono all'immagine se invertiamo la loro traiettoria e consideriamo solo quelli che partono dalla posizione dell'osservatore



Raggio primario

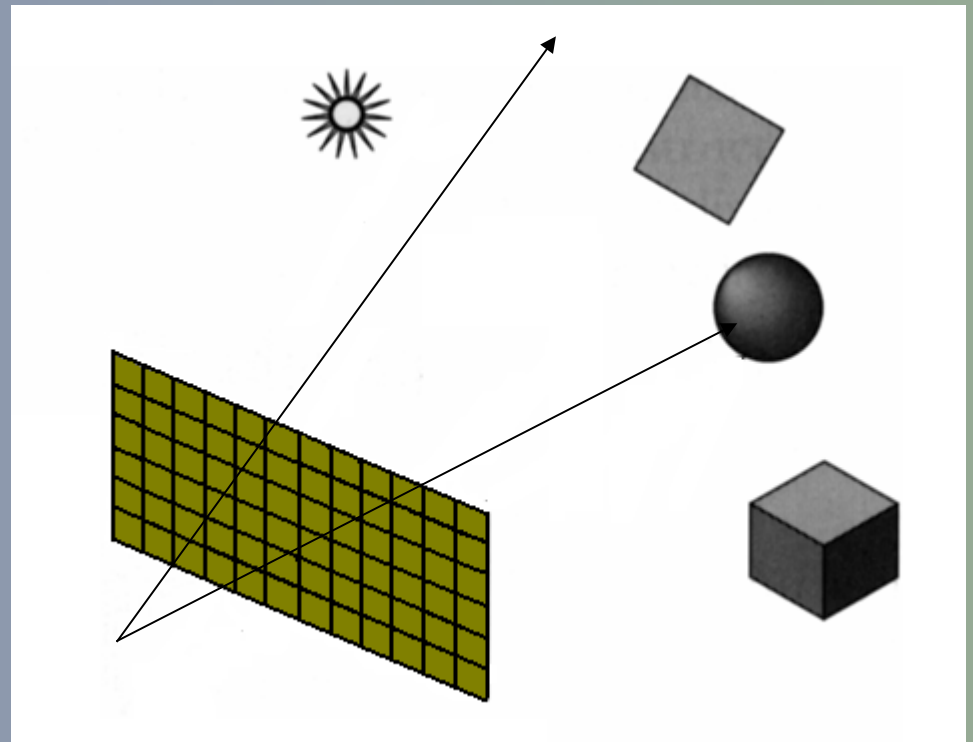
- Si simula all'indietro il cammino compiuto dalla radiazione luminosa per giungere all'osservatore
- Poiché si deve assegnare un colore a ciascun pixel, si deve considerare almeno un raggio luminoso per ogni pixel



Raggio primario

Ciascun raggio primario può:

- **Intersecare una superficie**
- **Andare all'infinito senza colpire alcun oggetto**

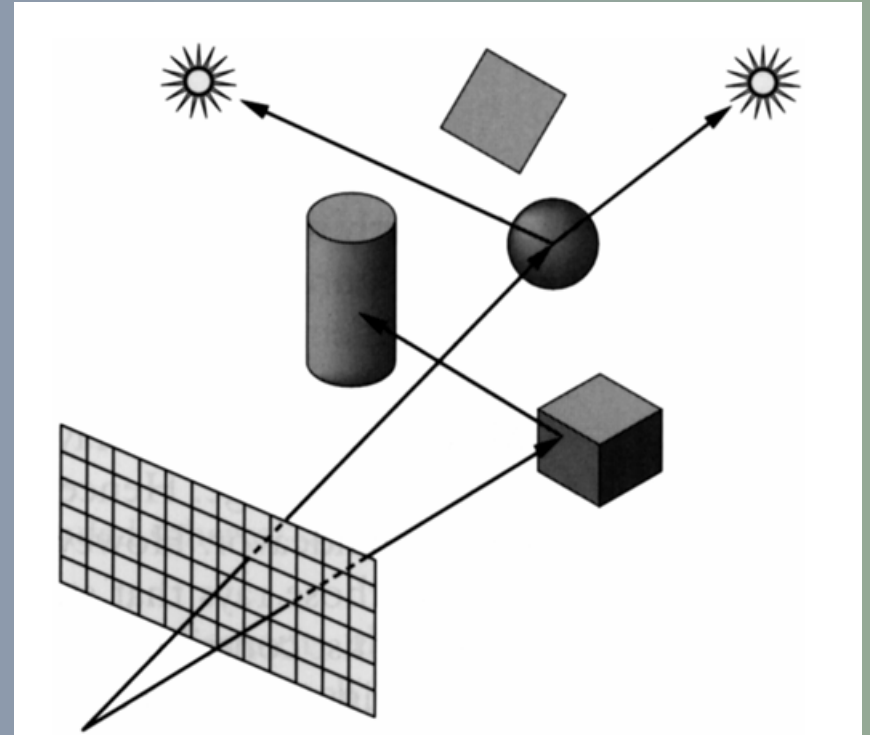


Raggio primario

- Ai pixel che corrispondono a raggi che vanno all'infinito senza intersezioni viene assegnato un colore di sfondo
- Per i raggi che colpiscono le superfici è richiesto il calcolo di una gradazione di colore per il punto d'intersezione

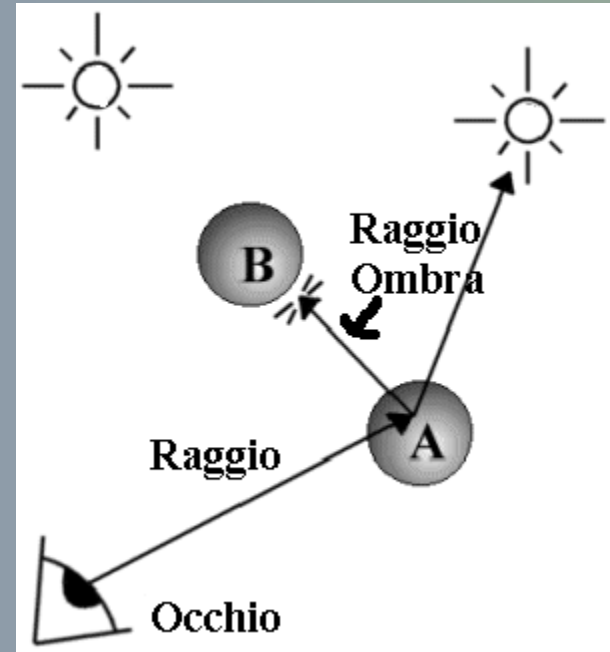
Raggio ombra

- Prima di applicare il modello di riflessione, si controlla se il punto d'intersezione tra il raggio primario e la superficie è illuminato
- Per fare ciò si genera e si traccia un raggio ombra, diretto dal punto sulla superficie verso ogni sorgente luminosa



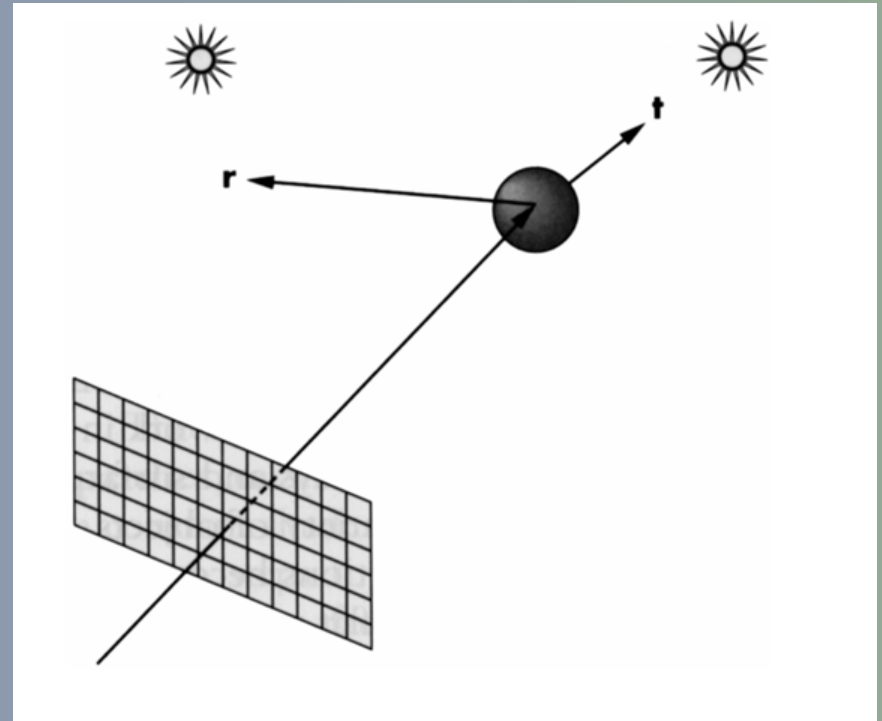
Raggio ombra

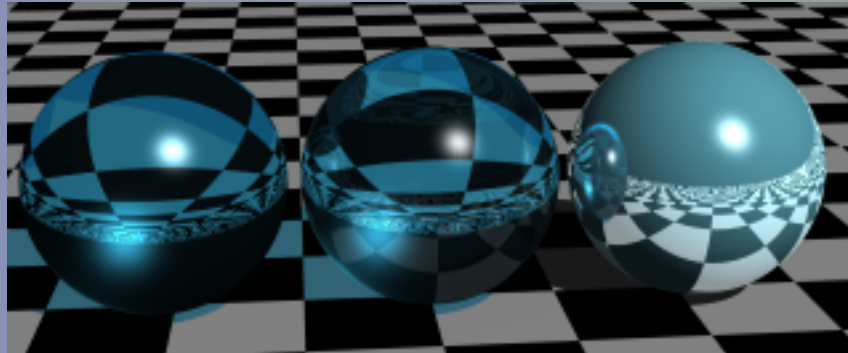
- Se il raggio ombra interseca una superficie prima di arrivare alla sorgente significa che la luce non illumina il punto



Riflessione e Rifrazione

- Quando un raggio primario colpisce una superficie non totalmente trasparente esso si suddivide in raggio trasmesso e raggio speculare
- Raggio trasmesso e raggio speculare sono trattati ricorsivamente come raggi primari





Quella di sinistra è trasparente (rifrazione), quella di destra è a specchio (riflessione speculare) e quella centrale ha entrambe le caratteristiche

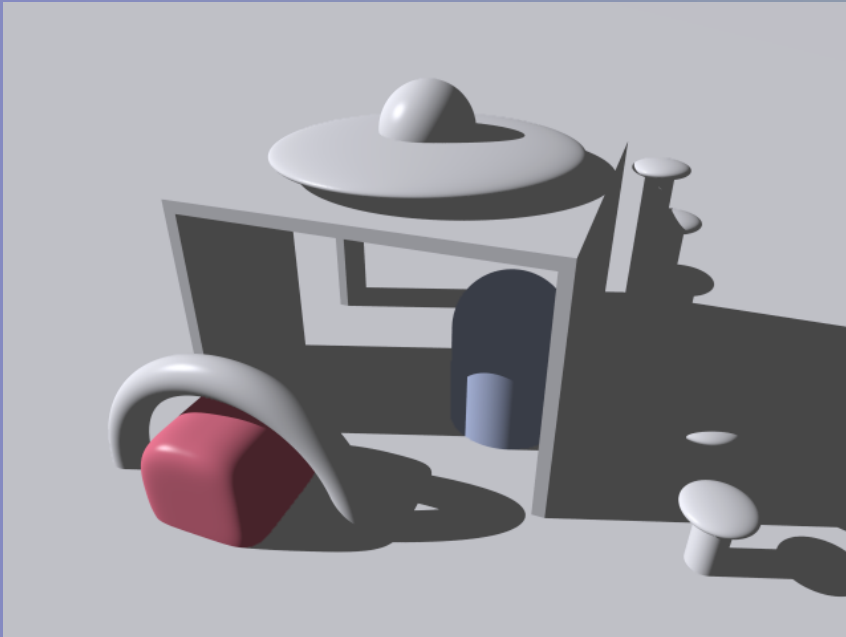
Svantaggi

- La gestione della componente diffusa dell'illuminazione, realizzata usando un modello solo locale, non riesce invece a rappresentare i fenomeni di inter-riflessione della luce tra gli oggetti della scena.
- Elevato costo computazionale, dovuto principalmente al calcolo delle intersezioni
- Il calcolo delle intersezioni è problematico per molti tipi di superficie

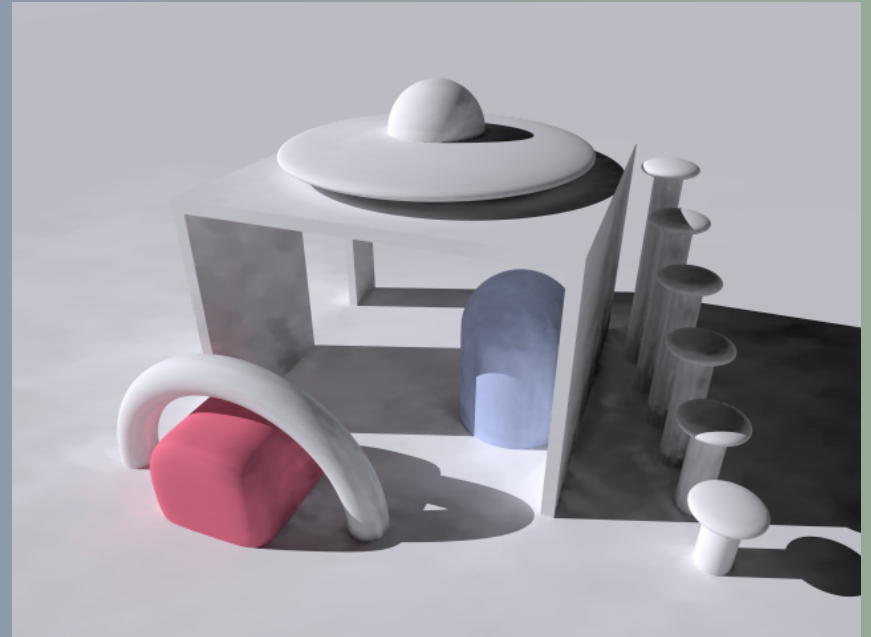
Radiosity

- Apporta ulteriori miglioramenti alle qualità fotorealistiche dell'immagine poiché tiene conto anche del fenomeno fisico della inter-riflessione tra gli oggetti
- Infatti, nel mondo reale, quando una superficie ha una componente di luce riflettente, essa non solo appare nella nostra immagine, ma illumina anche le superfici vicine

Effetto Radiosity



Ray tracer



Radiosity

Rappresentazione degli oggetti

Per fare il rendering di una scena tramite il metodo Ray-tracing devo disporre di un linguaggio che mi permetta di descrivere gli oggetti che compongono tale scena.

Per ogni tipo di oggetto il Ray-tracer deve essere in grado di determinare:

- le intersezioni tra i raggi luminosi e l'oggetto stesso
- la direzione normale alla superficie dell'oggetto in ogni suo punto illuminato

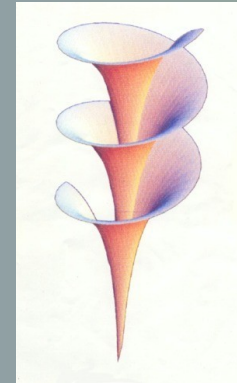
Superficie del Dini

$$S(u,v) = \begin{cases} x = a \cos(u) \sin(v) \\ y = a \sin(u) \sin(v) \\ z = a(\cos(v) + \ln(\tan(v/2))) + bu \end{cases}$$

dove

$$u \in [0, 4\pi]; v \in [0, 2]$$

$$a = 1, b = \frac{1}{5}$$

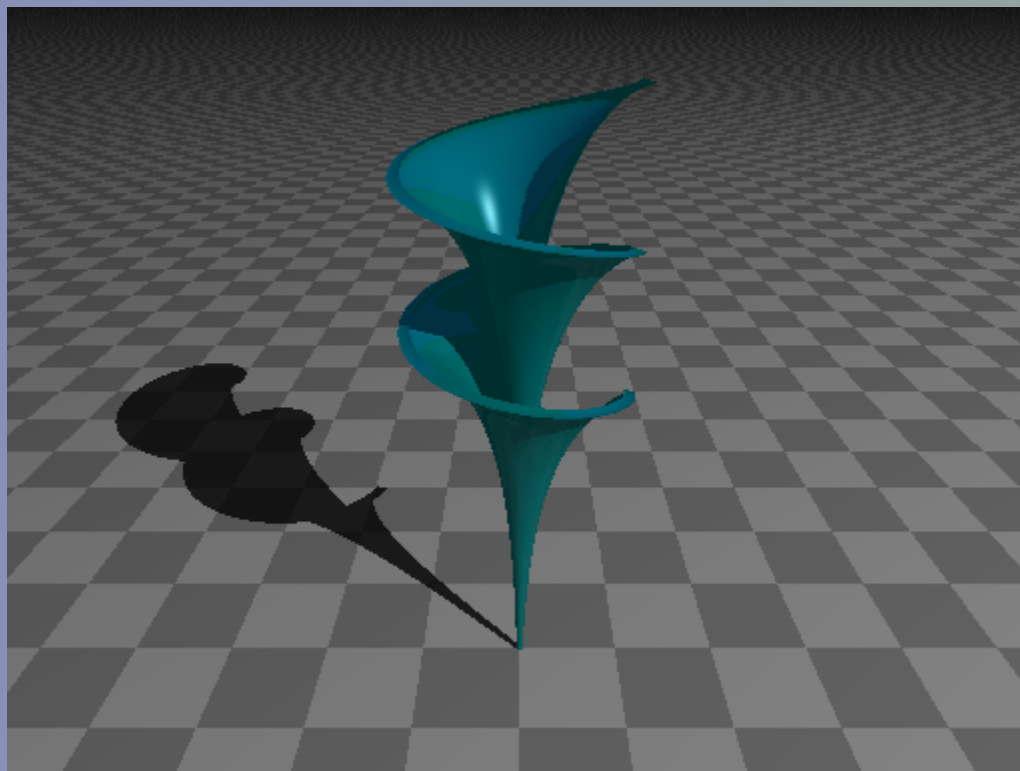


La superficie del Dini in pov-ray

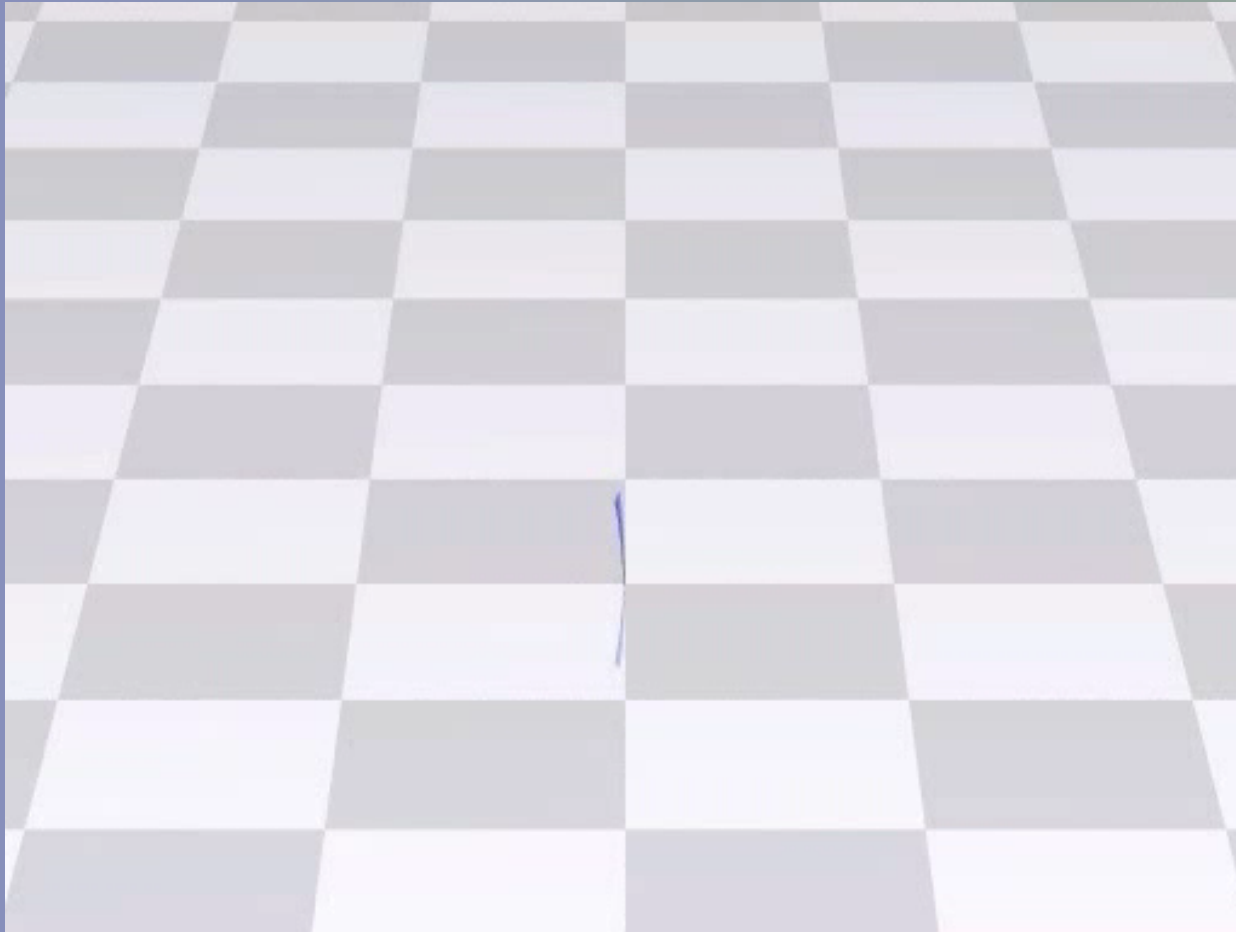
```
#include "colors.inc"
#include "textures.inc"
background { color rgb<0,0.3,1>}
// Equazioni parametriche della superficie del Dini
parametric {
function {cos(u)*sin(v)}
function {sin(u)*sin(v)}
function {cos(v)+ln(tan(v/2))+0.2*u}
<0,0.001>,<4*pi,2>
contained_by { box {<-3,-3,-3>,<3,3,3>} }
max_gradient 3 accuracy 0.001
precompute 18 x,y,z
texture{ pigment {rgb<0,0.4,0.4>}
finish{
ambient 0.4
diffuse 0.6
phong 0.5 }
```

```
rotate <-90,0,0>
}
//Camera e sorgente luminosa
camera {
location <0,3,-6>
look_at <0,0,0> }
light_source {<10,10,-10>}
plane{y,-3
pigment {checker color White color Grey
}
}
```

Superficie del Dini



Effetti ottenibili con pov ray



- La superficie del Dini appare come un fiore crescente

Superfici in forma implicita

- Lo stesso procedimento può essere svolto in maniera approssimata quando si ha a che fare con superfici descrivibili in forma implicita:

$$G = \{ (x, y, z) : f(x, y, z) \leq 0 \}$$

Superfici in forma implicita

Si tratta di determinare la più piccola t soluzione positiva dell'equazione

$$f(P + tD) = 0$$

Mentre la normale alla superficie è calcolata nel punto di incidenza $\nabla f(P + tD)$

Superfici in forma parametrica

Quando però considero superfici espresse in forma parametrica, il discorso si complica

$$S = \left\{ \varphi(u, v) : (u, v) \in D \subseteq \mathbb{R}^2 \right\}$$

$$\varphi : D \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$\varphi(u, v) = \begin{bmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{bmatrix}$$

Superfici in forma parametrica

La normale alla superficie è data dal semplice prodotto esterno

$$\frac{\partial \varphi}{\partial u} \wedge \frac{\partial \varphi}{\partial v}$$

Mentre il t cercato è il minimo tale che

$$P + tD = \varphi(u, v)$$

sistema di tre equazioni in tre incognite, generalmente non lineare, non è facilmente risolvibile