



MACH BANDS IN SHADING ALGORITHMS

LEGENDA

1. INTRODUZIONE – meccanismo visione (cenni)

2. SPIEGAZIONE FUNZIONALE DI:

- Occhio
- Retina
- Cervello

3. ILLUSIONI DI CHEVREUL

4. BANDE DI MACH

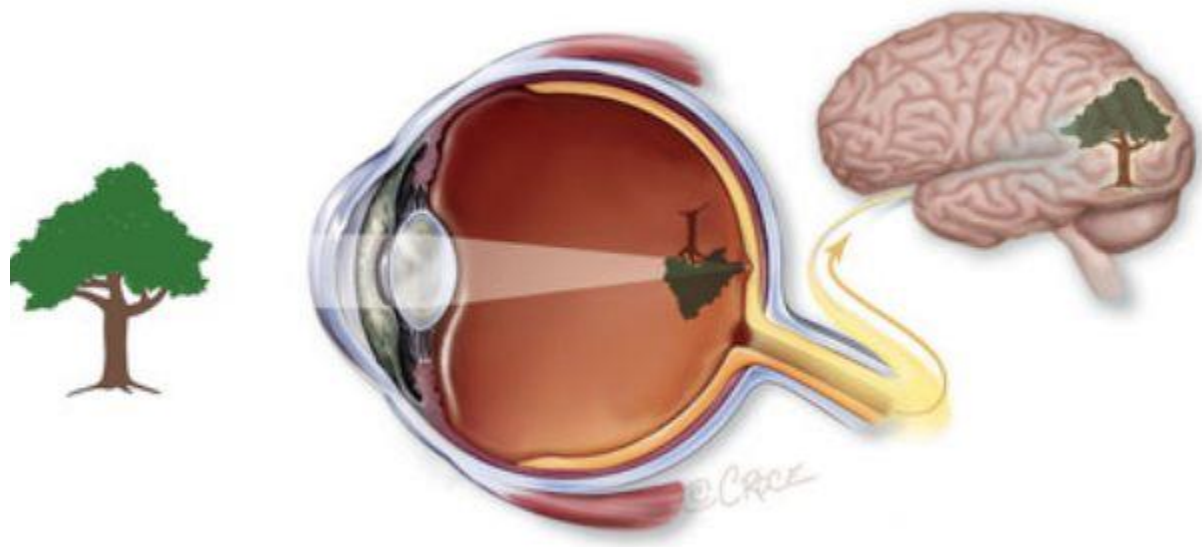
5. EFFETTO MACH

6. IMMAGINE DIGITALE

7. OMBREGGIATURA e descrizione dei 3 tipi

INTRODUZIONE

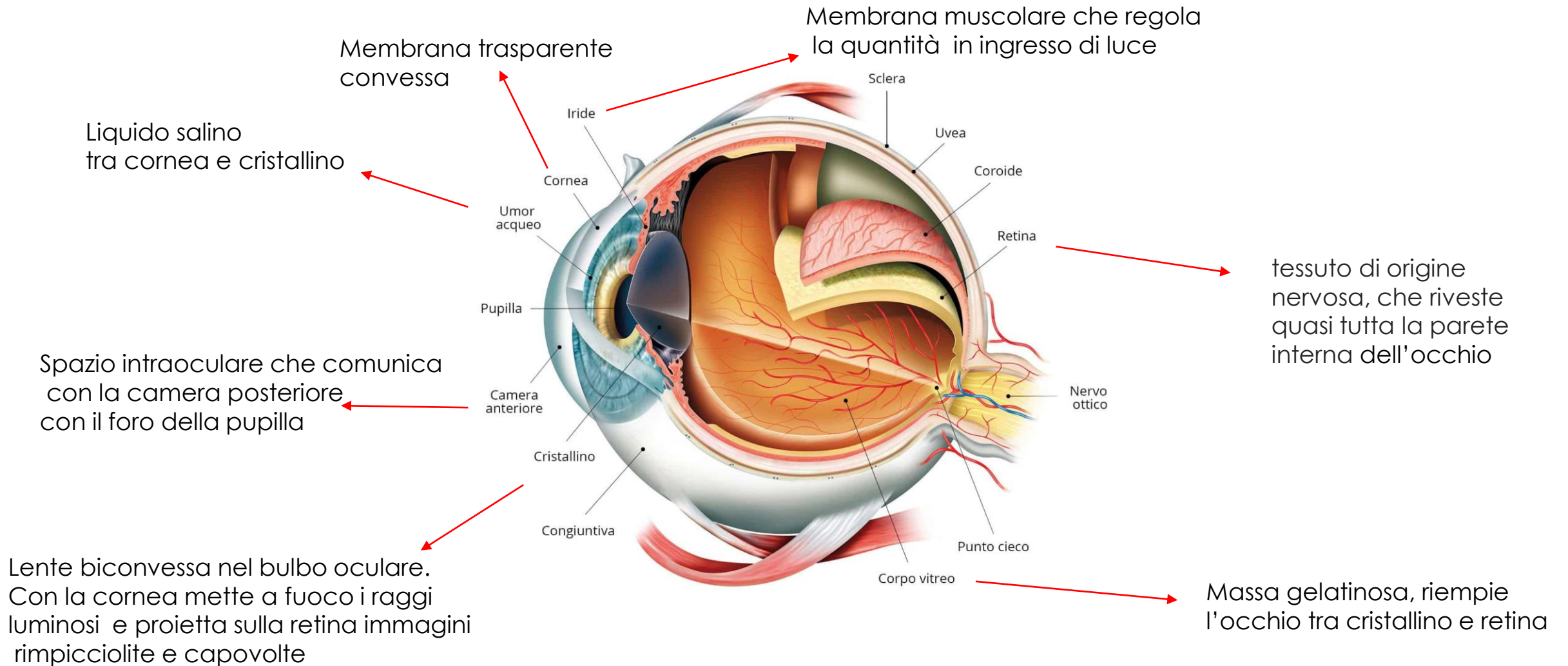
- MECCANISMO DELLA VISIONE



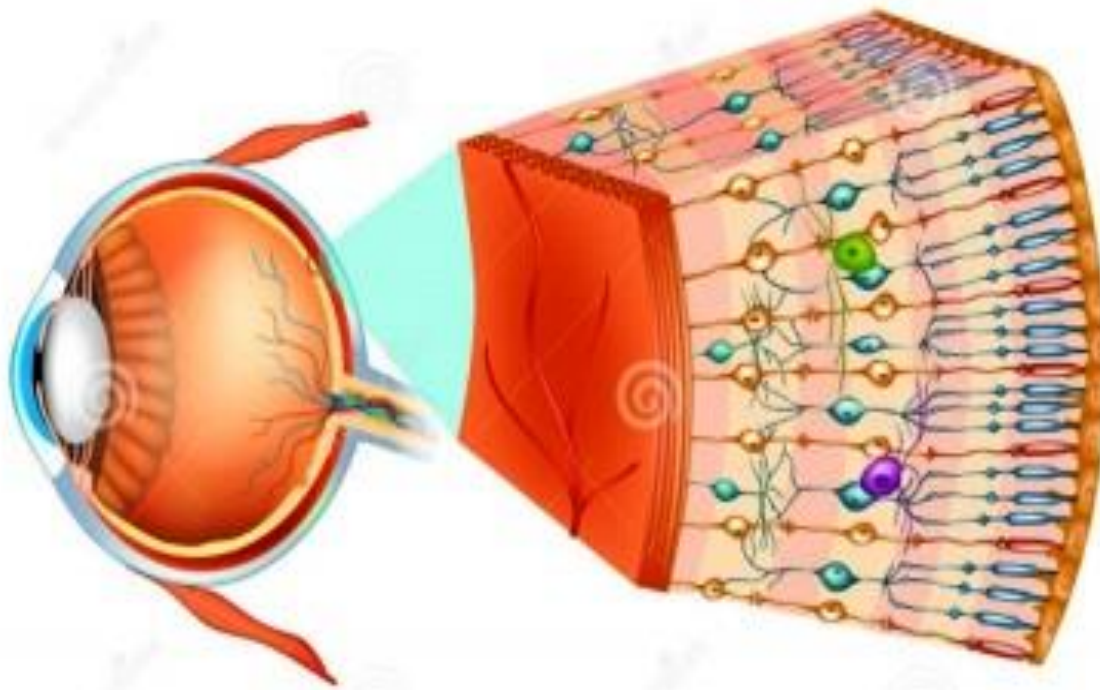
3 parti principali:

- Occhio : sistema ottico che forma e proietta le sue immagini su una superficie sensibile
- Retina : membrana sensoriale sensibile che raccoglie, elabora e trasmette informazioni ai centri superiori
- Cervello : ulteriore elaboratore di dati provenienti dalla retina e forma immagine definitiva

L'OCCHIO



RETINA



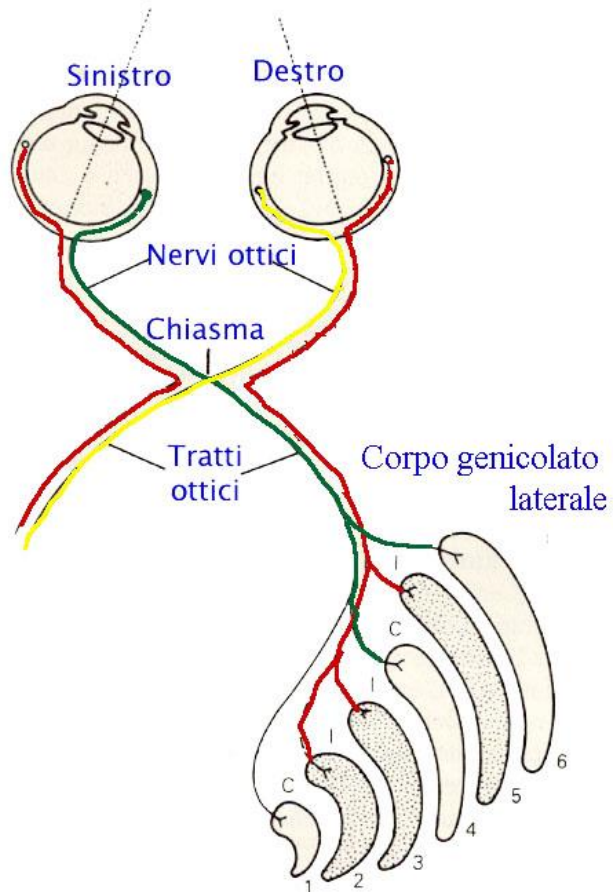
E' costituita dai fotorecettori:

- Coni – visione a colori
- Bastoncelli – visione monocromatica

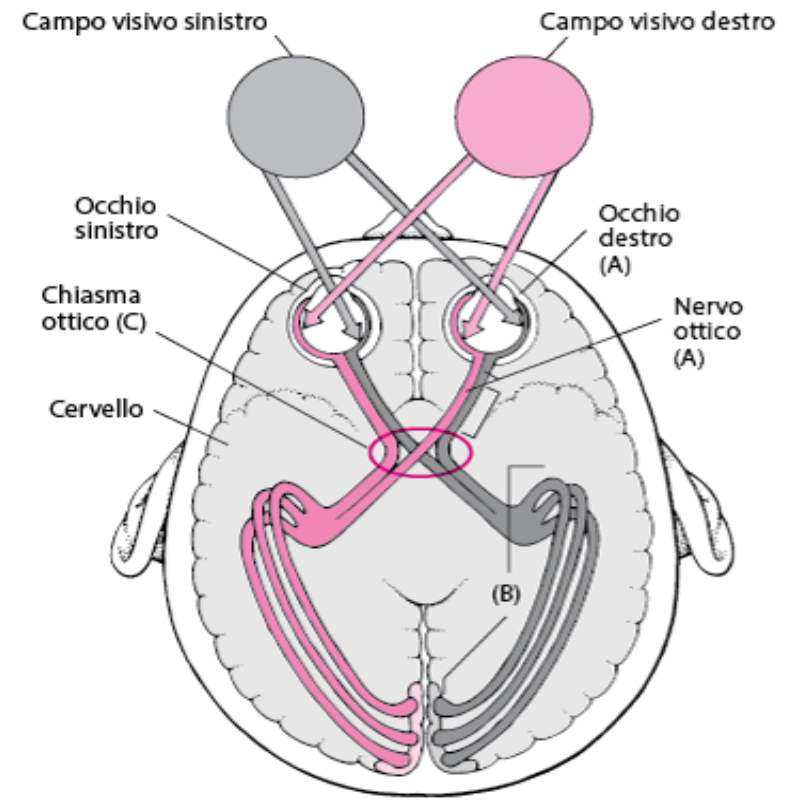
trasformano (trasduzione) in impulsi elettrici le informazioni (energia luminosa) e inviano questi segnali ai neuroni - le cellule orizzontali, bipolari, amacrine e ganglionari - connessi fra di loro ed effettuano una prima elaborazione del segnale visivo.

Gli assoni delle cellule gangliari si riuniscono in modo da formare il nervo ottico che conduce l'informazione visiva fuori dalla retina fino ai centri superiori, prima al corpo genicolato laterale e da qui alle aree corticali.

CERVELLO



Le fibre nervose provenienti da punti diversi della retina si dirigono verso punti diversi del nucleo genicolato (LGN) e della corteccia, ricreando così una mappa cerebrale della retina nel cervello.



ILLUSIONI DI CHEVREUL

Concetto di intensità della luce



Scoperta di Chevreul



Intensità luce fisica non è l'intensità luce percepita



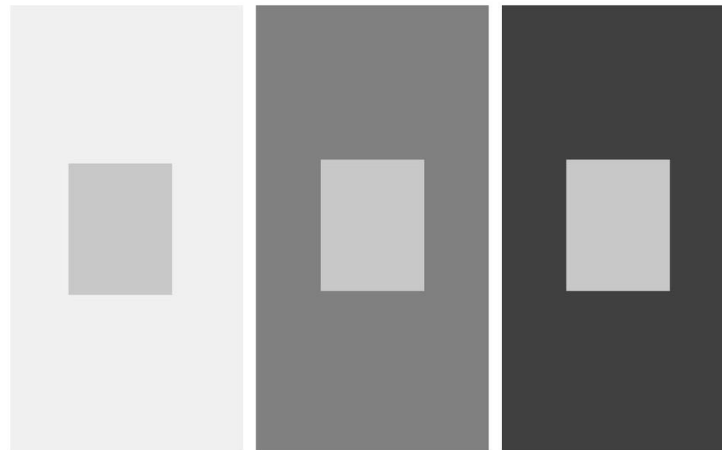
Fenomeno che si verifica tra colori vicini che si influenzano a vicenda, cambiando la percezione di quei colori.



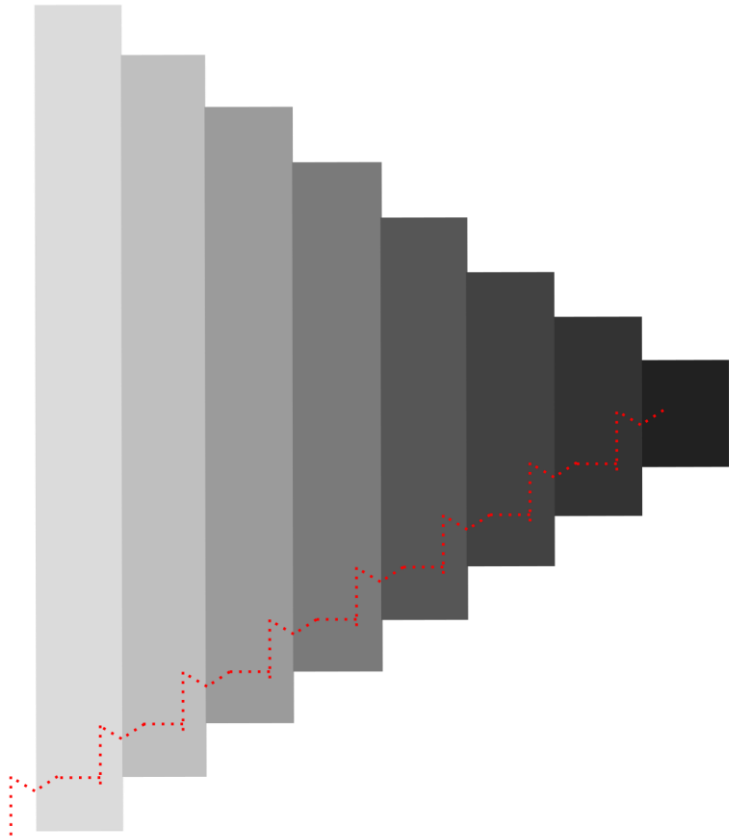
CONTRASTO
SIMULTANEO



Concetto esplorato da Ernst Mach, fornendo un modello di spiegazione chiamato **BANDE DI MACH**



COSA SONO LE BANDE DI MACH?



Insieme di più strisce di colore uniforme,
illusorie bande luminose e scure

Studio psicofisica e dei potenziali circuiti
neurali alla base di questo fenomeno

Paradigma ricco per sondare
meccanismi di visione precoce:
ruolo contorni nella percezione;
natura inibizione laterale sistema visivo;
percezione luminosità;
percezione linee e bordi;
linearità sistema visivo.

L'EFFETTO MACH

- È un effetto ottico
- Comprensione dipendenza tra percezione luce e illuminazione delle zone circostanti
- Passaggio da colori scuri a chiari porta alla percezione visiva di un colore più scuro nel margine di contatto di ogni striscia con quella più chiara



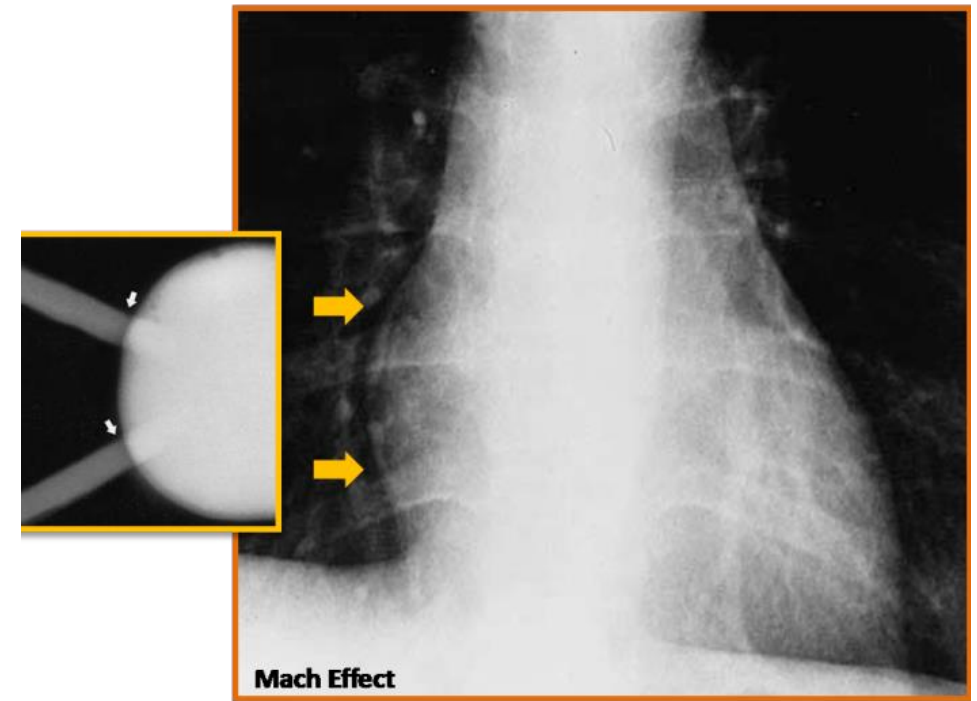
- Interazione laterale tra elementi nervosi della retina: cellule gangliari hanno effetto inibitorio tra loro in base alla percentuale di luce riflessa percepita all'interno di ogni banda.



- Banda più chiara porta a maggiore inibizione percettiva (contorno più scuro) e viceversa in caso di banda più scura.

L'EFFETTO MACH E L'IMMAGINE DIGITALE

Dato il nostro profilo scientifico legato alle scienze dell'informazione e non alle neuroscienze, abbiamo deciso di concentrare questa presentazione nella presenza dell'effetto visivo nelle immagini digitali, le sue implicazioni e alcuni algoritmi per contrastare il fenomeno.



L'IMMAGINE DIGITALE

E' la rappresentazione di un'immagine sul computer: sono pixel che costituiscono le unità minime di informazione luminosa.

Ogni pixel può essere rappresentato da un numero di bit dipendente dal numero di colori che può assumere.



Ogni bit rappresenta l'intensità dei rispettivi colori.

Ex. Colore : 1011 0000 1111

Intensità
nulla

Intensità
massima

OPPURE

- L'immagine digitale può essere rappresentata attraverso un insieme di punti uniti in linee o primitive grafiche che compongono l'immagine, con colori e sfumature.



IMMAGINE VETTORIALE



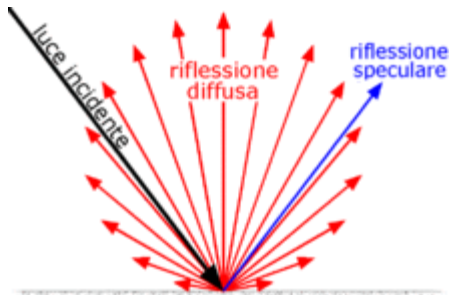
L'insieme di punti forma linee e poligoni, uniti in strutture più complesse, formando l'immagine voluta

L'OMBREGGIATURA

- E' l'implementazione di un modello di illuminazione e si utilizza un **modello di ombreggiatura** per calcolare intensità e colori per la riproduzione della superficie.

2 caratteristiche principali

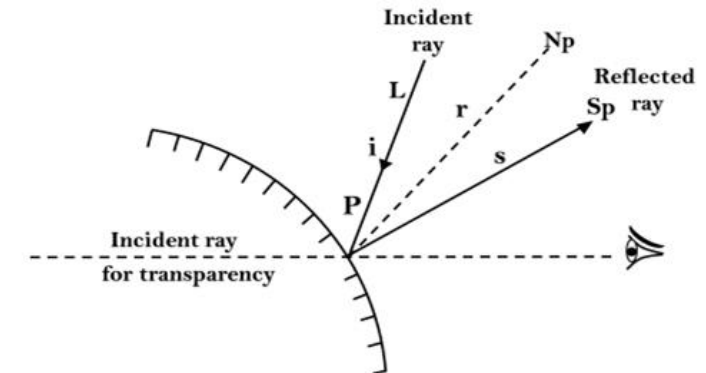
SUPERFICIE



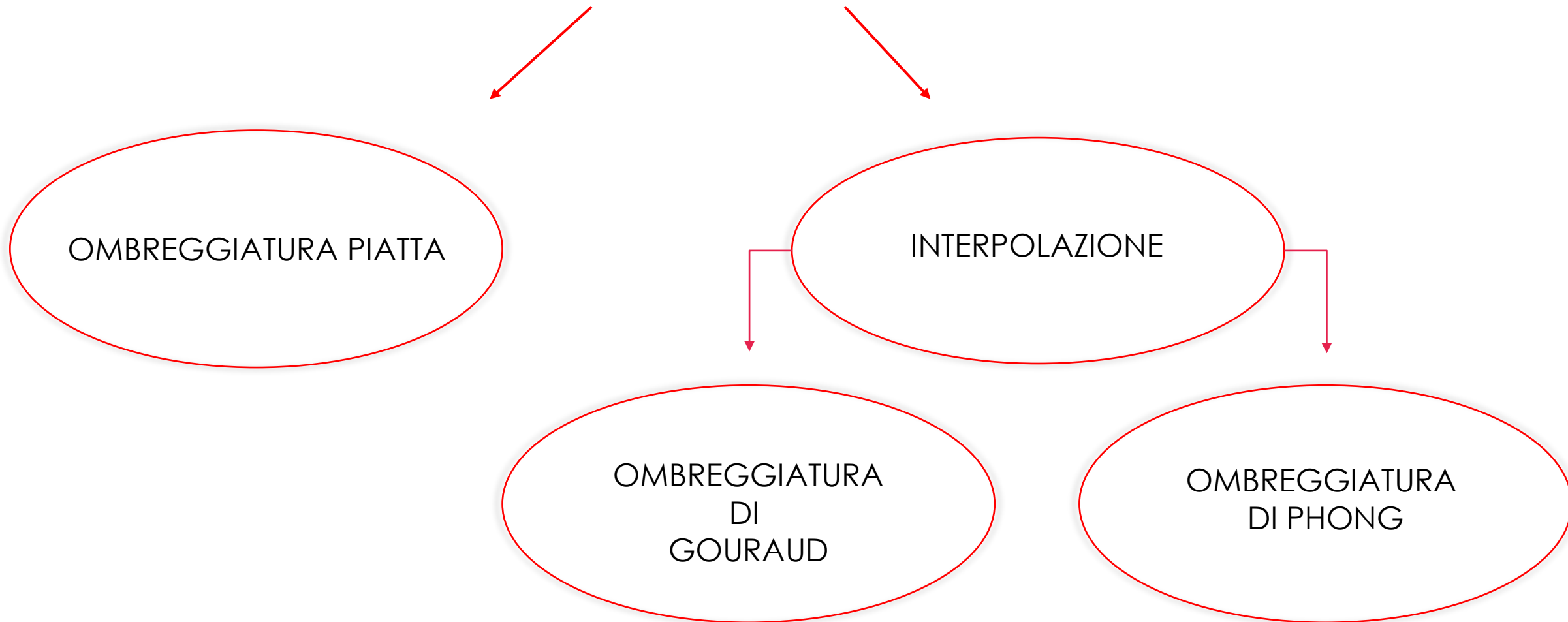
ILLUMINAZIONE

Riflettanza: quantità luce riflessa

L'ombreggiatura in computer grafica, è il modo in cui la luce interagisce con la mesh poligonale, in base all'assorbimento o la riflessione della luce, l'angolo di incidenza e l'angolo di visione e altre caratteristiche secondarie.



TIPI DI OMBREGGIATURA



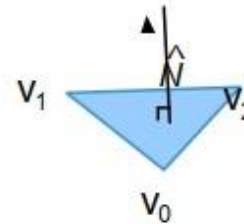
OMBREGGIATURA PIATTA

O AD INTENSITÀ COSTANTE

Modello di illuminazione utile per una riproduzione veloce e con poche risorse, di oggetti a **basso livello** di dettaglio e in questo modello ogni vertice di ogni triangolo della mesh poligonale è scelto come vertice chiave per quel triangolo. Calcolo la normale per ogni triangolo e ad ognuna calcolo l'intensità di luce , che in questo modello ha sempre lo stesso valore.



La **normale** di un singolo triangolo è il suo orientamento nello spazio:



$$N = (v_1 - v_0) \times (v_2 - v_0)$$

$$\hat{N} = \frac{N}{|N|}$$

IL PROBLEMA E LA SOLUZIONE

Il risultato sono spigoli apparenti dei singoli triangoli e l'effetto ottico delle **Mach Band**

PERCHE'?

Il contrasto fra zone di colore uniforme non sfugge mai al nostro occhio. (neanche se le zone sono molte, e la differenza fra loro è relativamente piccola).

Il **cervello** aumenta il contrasto fra le zone di colore uniformi!

SOLUZIONE: INTERPOLAZIONE

Ovvero la ricerca di una funzione matematica che **approssima l'andamento di un insieme di punti**, ossia la capacità di stimare un valore intermedio tra due valori esplicitamente indicati in una tabella o su un grafico a linee.

OMBREGGIATURA DI GOURAUD

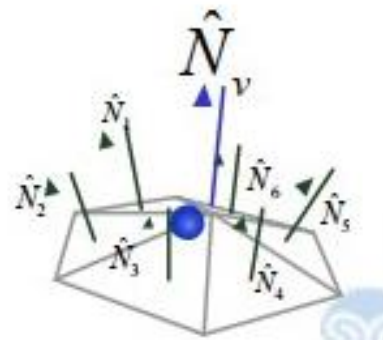
(PER VERTICE)

- L'ombreggiatura di Gouraud corregge il fattore discontinuità delle intensità dell'ombreggiatura piatta: riproduce una superficie poligonale, interpolando linearmente i valori delle intensità lungo la superficie.
- Ogni superficie poligonale viene riprodotta con un'ombreggiatura di tipo "Gouraud" mediante i seguenti calcoli:
 1. Determinando il vettore normale ad ogni vertice del poligono:

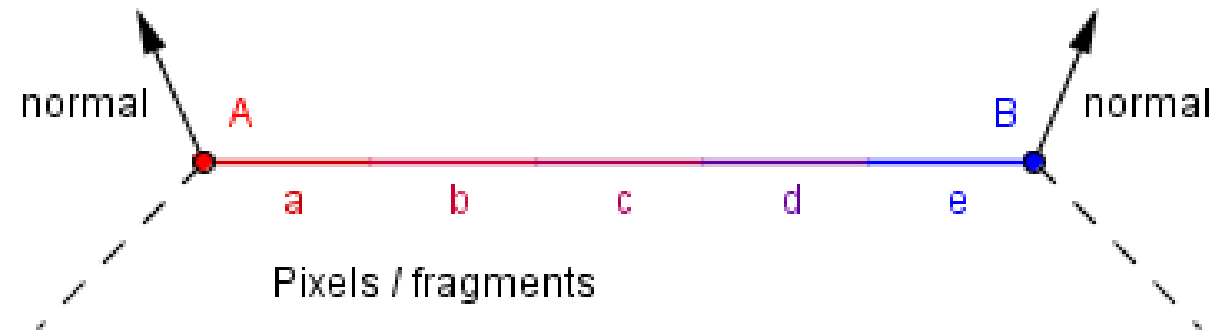
Normale di un vertice
condiviso da n triangoli:

$$N = \hat{N}_1 + \hat{N}_2 + \dots + \hat{N}_n$$

$$\hat{N} = \frac{N}{|N|}$$

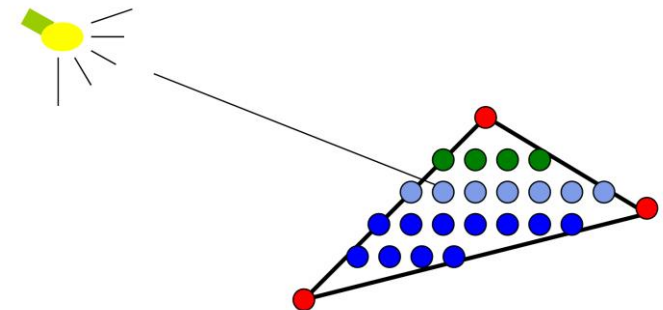


- 2- Applicando calcoli di illuminazione ad ogni vertice per determinarne l'intensità di luce ai vertici;

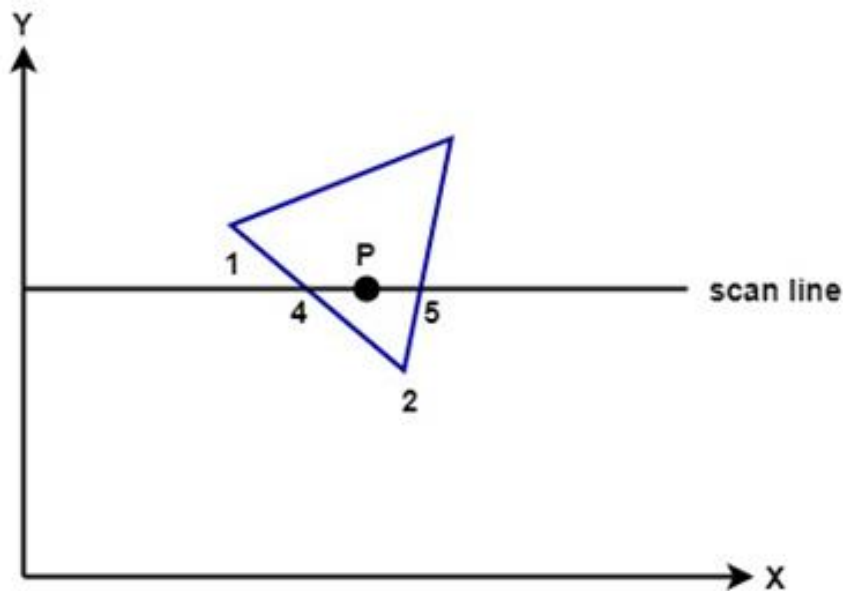


Abbiamo una normale per ogni vertice, dove viene anche calcolato il colore.

Quel colore viene poi interpolato lungo il poligono.



- 3- Interpolando linearmente le intensità di vertice lungo la superficie poligonale:
- Per ogni "scan line" le intensità nei punti di intersezione fra le "scan line" ed i bordi dei poligoni vengono linearmente interpolate dalle intensità nelle estremità dei bordi.



Un'intersezione fra i bordi del poligono con estremità **1** e **2** e la "scan line" al punto **4**. Un metodo veloce per ottenere le intensità nel punto **4** è quello di interpolare fra le intensità I_1 e I_2 usando solamente lo spostamento verticale della "scan line".

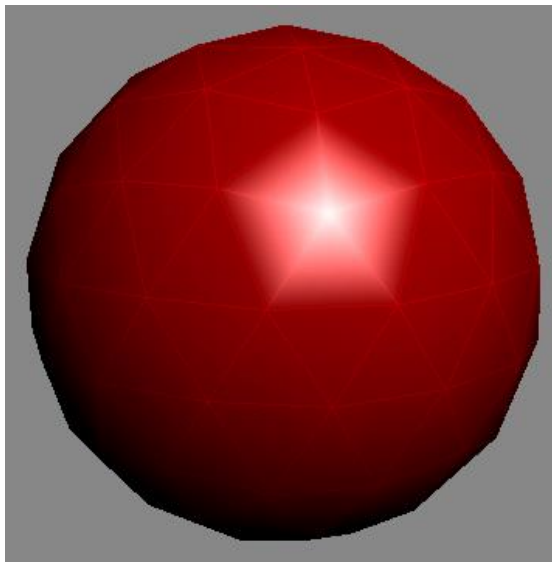
$$I_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} I_2$$

L'intensità nell'intersezione di destra di questa "scan line" (punto **5**) viene interpolata tramite i valori delle intensità nei vertici **2** e **3**.

Una volta calcolate le intensità di delimitazione per una "scan line", un punto interno, come il punto P nell'immagine sovrastante, viene interpolata tramite le intensità di delimitazione nei punti **4** e **5** come segue:

$$I_P = \frac{x_5 - x_P}{x_5 - x_4} I_4 + \frac{x_P - x_4}{x_5 - x_4} I_5$$

- esempio di un oggetto riprodotto con l'ombreggiatura di Gouraud :



I rilievi sulla superficie sono talvolta riprodotti con forme anomale e l'interpolazione dell'intensità lineare **può causare la comparsa delle bande di Mach**.
Una risoluzione può essere dividere la superficie in un maggior numero di poligoni oppure con la terza ombreggiatura, **Phong**.

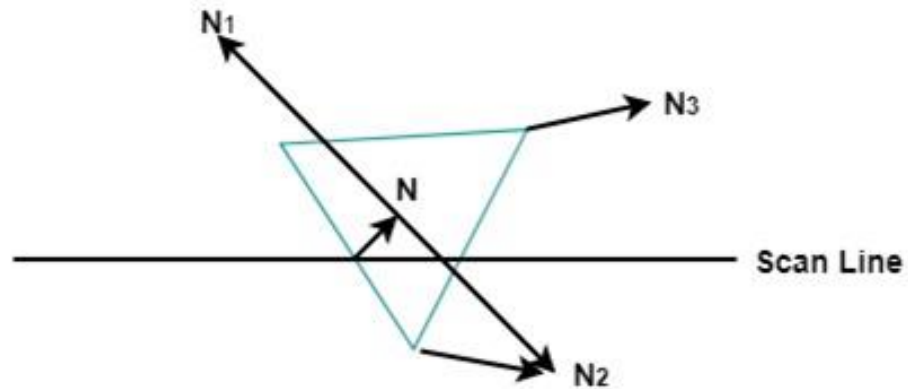
OMBREGGIATURA DI PHONG

(PER FRAMMENTO)

- **OBIETTIVO:**

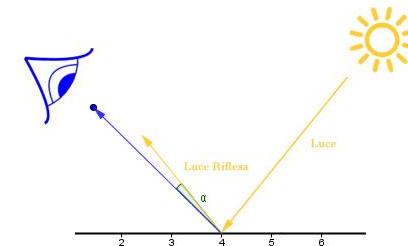
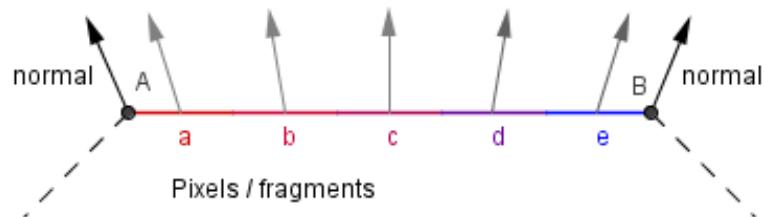
- interpolare prima il vettore normale, per poi applicare un modello di illuminazione ad ogni punto (frammento) sulla superficie.
 - Maggiore continuità nell'ombreggiatura e **massima riduzione dell'effetto «Bande di Mach»**.
- Una superficie poligonale viene riprodotta tramite i seguenti passaggi:
 1. Si calcola la media unitaria del vettore normale ad ogni vertice.
 2. Vengono linearmente interpolati le normali di vertice lungo la superficie del poligono.
 3. In fine, viene applicato un modello di illuminazione lungo ogni "scan line" per poter calcolare le intensità di ogni pixel per punto di superficie.

- L'interpolazione lungo un bordo del polinomio, fra due vertici:



$$\mathbf{N} = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \mathbf{N}_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} \mathbf{N}_2$$

Il calcolo delle intensità ottenuto usando un **vettore normale approssimato** su ogni punto lungo la “scan line” produce un risultato molto più accurato dell’ interpolazione diretta delle intensità, come fatto nell’ombreggiatura di Gouraud.



L'aspetto meno positivo di questo algoritmo rimane la necessità di una potenza di calcolo significativamente più grande.

RISULTATO FINALE

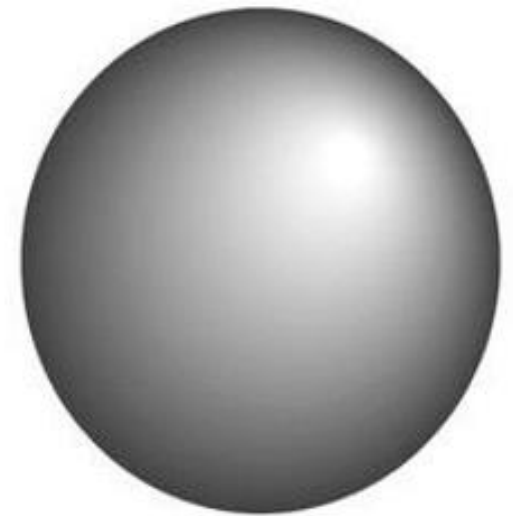
OMBREGGIATURA PIATTA



OMBREGGIATURA DI GOURAUD



OMBREGGIATURA DI PHONG





REFERENZE:

- An investigation of the Mach Phenomenon and its relation to visual image evaluation - Rochester Institute of Technology;
- Methods of Reducing the Visibility of Mach Bands during Gouraud Shading - Shaun Bangay -Rhodes University;
- JavaTpoint - Computer Graphics;
- Corso di GiD - Prof. Marco Tarini - Università degli Studi di Milano;
- Matplotlib.org;
- WebGL Shader Applet - Prof. Thorsten Thormählen - Marburg University.