

# La visione spaziale: NGL e corteccia primaria



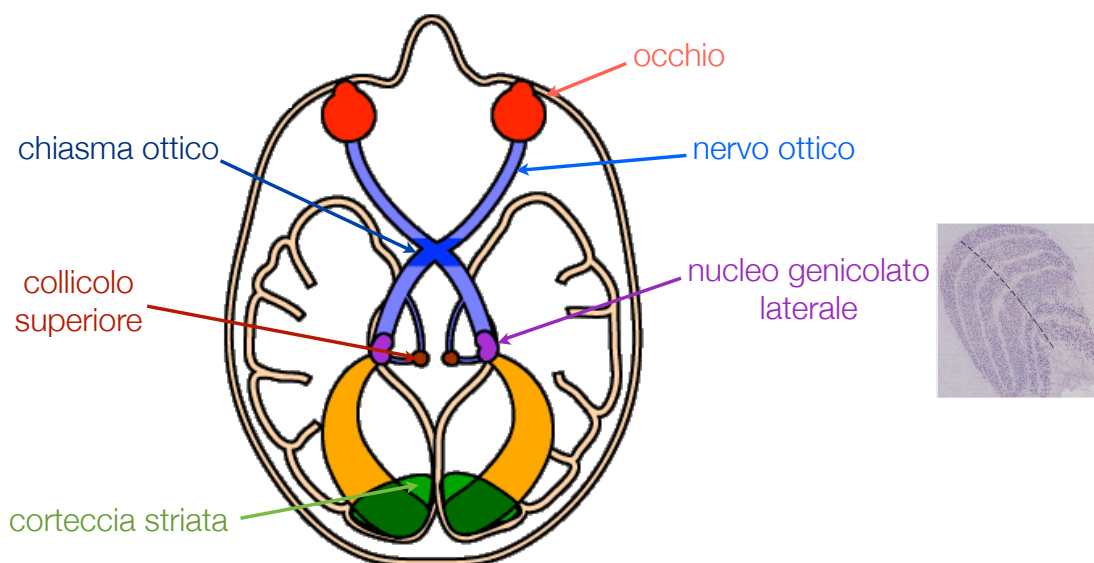
Corso di Principi e Modelli della Percezione

Prof. Giuseppe Boccignone

Dipartimento di Informatica  
Università di Milano

[boccignone@di.unimi.it](mailto:boccignone@di.unimi.it)  
[http://boccignone.di.unimi.it/PMP\\_2015.html](http://boccignone.di.unimi.it/PMP_2015.html)

Visione spaziale:  
//il nucleo genicolato laterale (NGL)

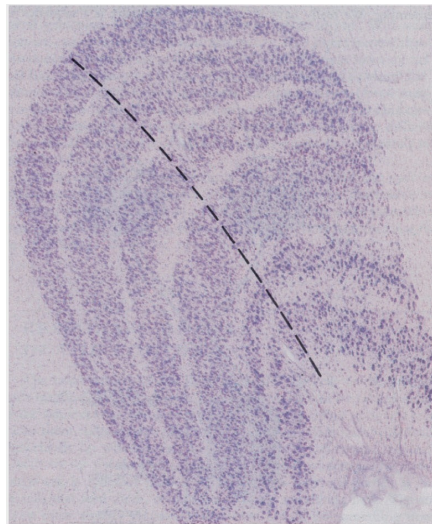


## Visione spaziale:

### //il nucleo genicolato laterale (NGL)

---

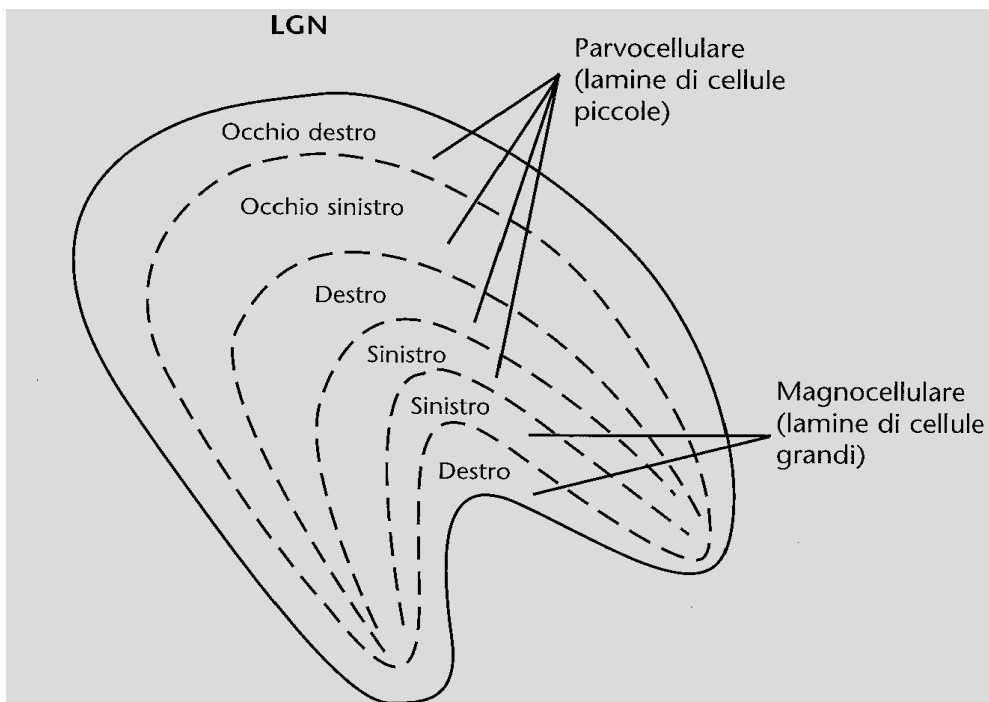
- Due nuclei genicolati laterali (NGL): Gli assoni delle cellule gangliari retiniche fanno sinapsi con queste strutture
- Un relè fra retina e corteccia visiva



## Visione spaziale:

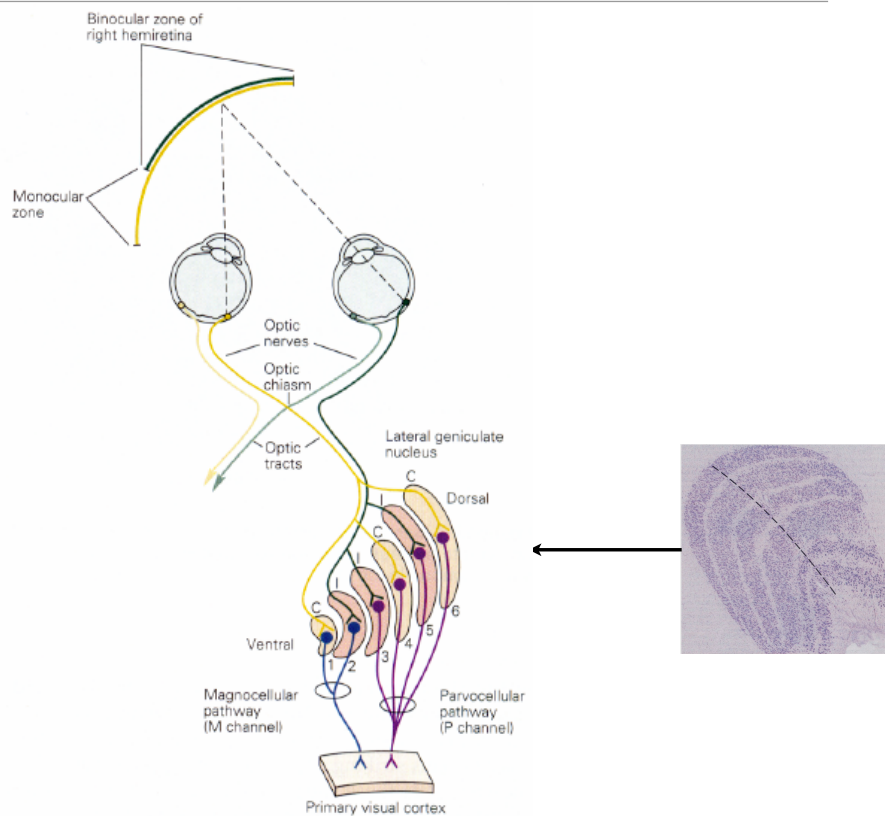
### //il nucleo genicolato laterale (NGL)

---



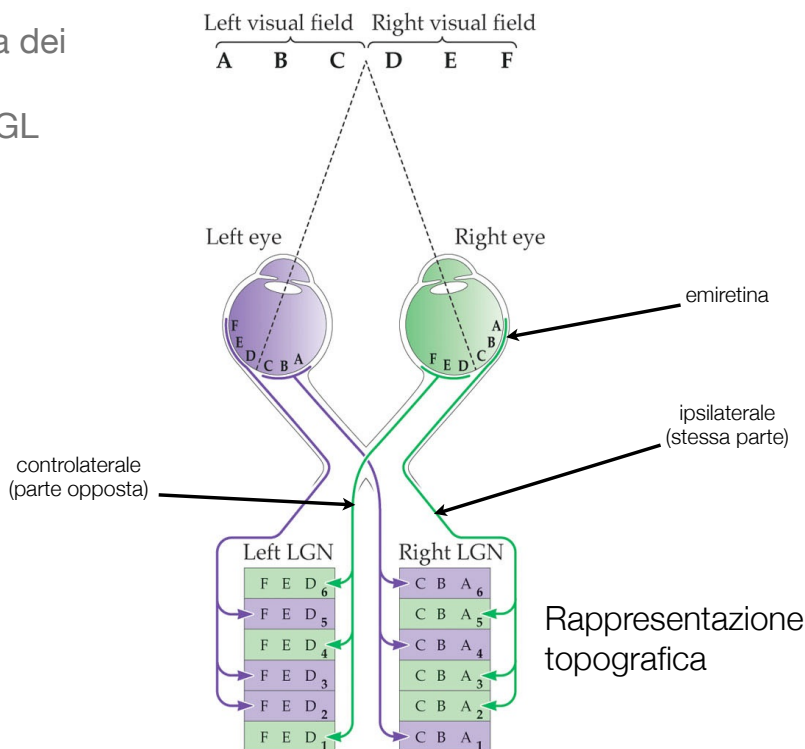
# Visione spaziale: //il nucleo genicolato laterale (NGL)

- Due nuclei genicolati laterali (NGL): Gli assoni delle cellule gangliari retiniche fanno sinapsi con queste strutture
- Un relè fra retina e corteccia visiva
- Struttura a strati
- A ciascun genicolato arriva l'informazione relativa all'emicampo visivo contralaterale



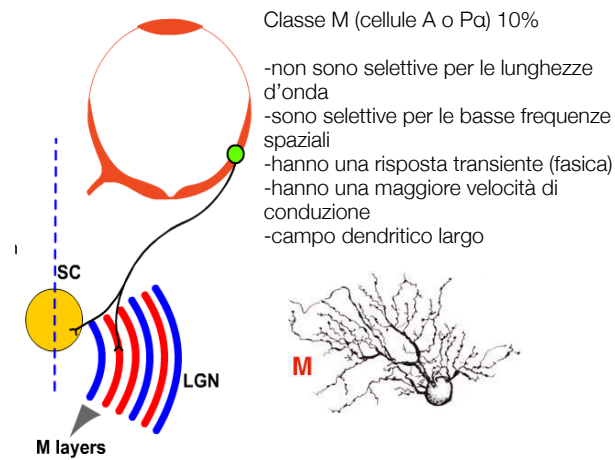
# Visione spaziale: //il nucleo genicolato laterale (NGL)

- La disposizione topografica dei campi recettivi delle cellule gangliari è riprodotta nel NGL
- Ogni strato possiede una mappa completa dell'emiretina.



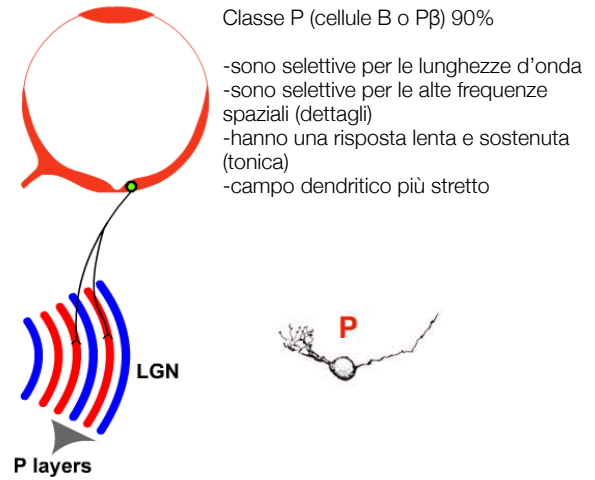
# Il nucleo genicolato laterale (NGL)

## //cellule magno e parvo



Strati magnocellulari del NGL

Analisi di movimento

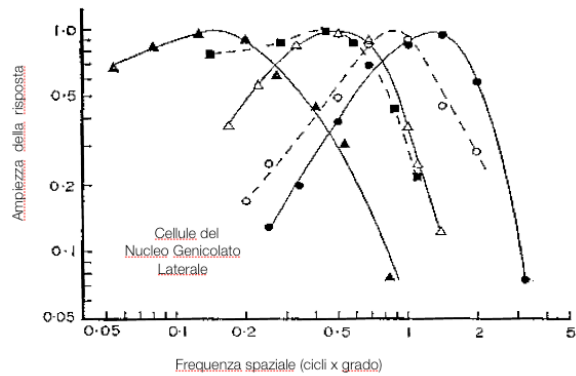
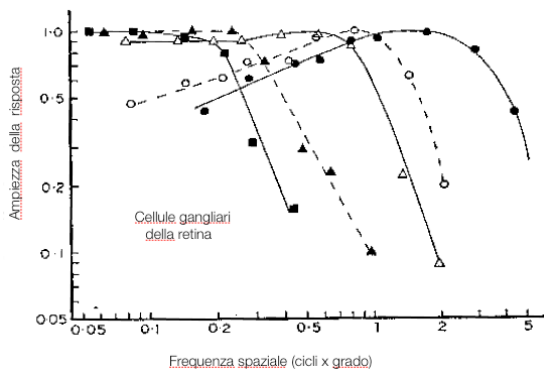


Strati parvocellulari del NGL

Analisi di forme e colore

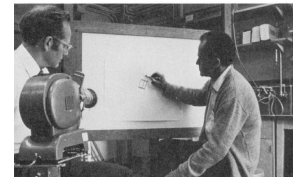
# Il nucleo genicolato laterale (NGL)

## //selettività alle frequenze spaziali

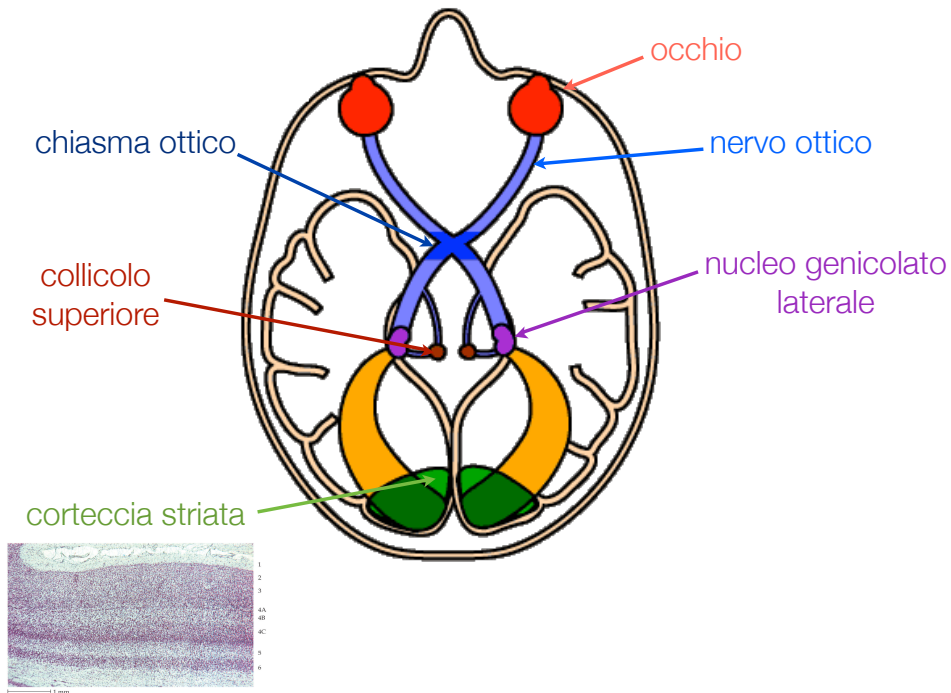




# Visione spaziale: //la corteccia striata

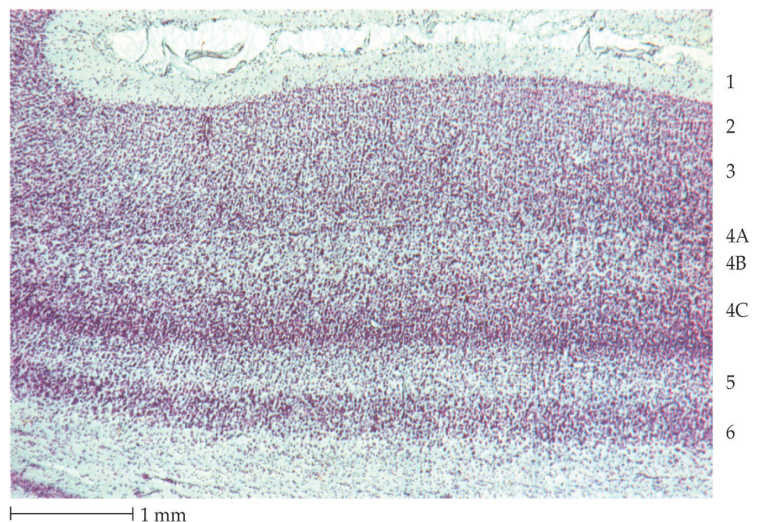


David Hubel e Torsten Wiesel

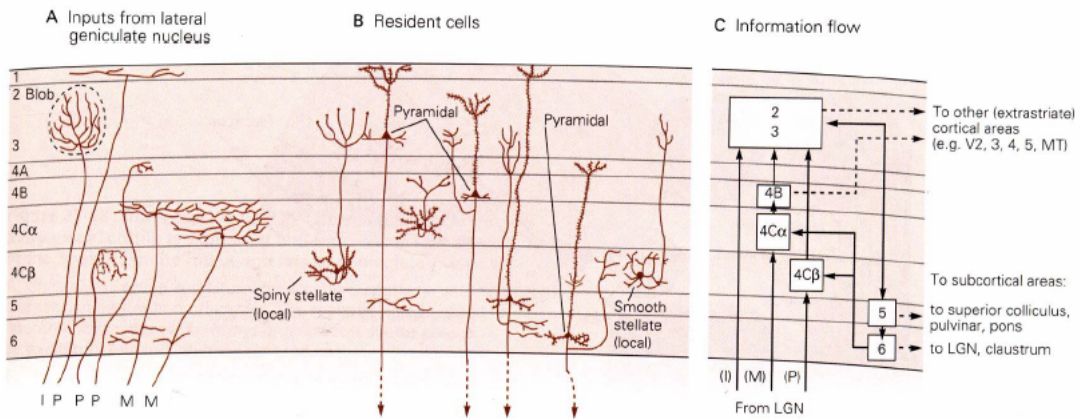
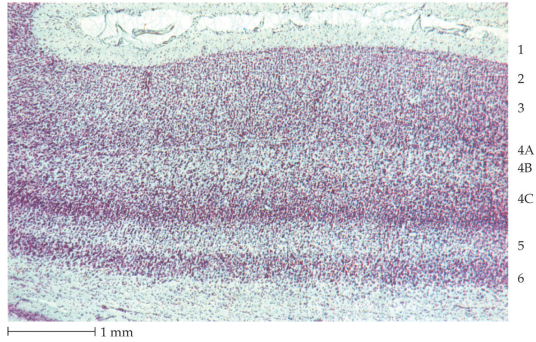


# Visione spaziale: //la corteccia striata

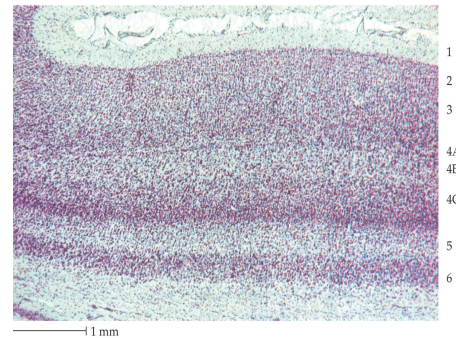
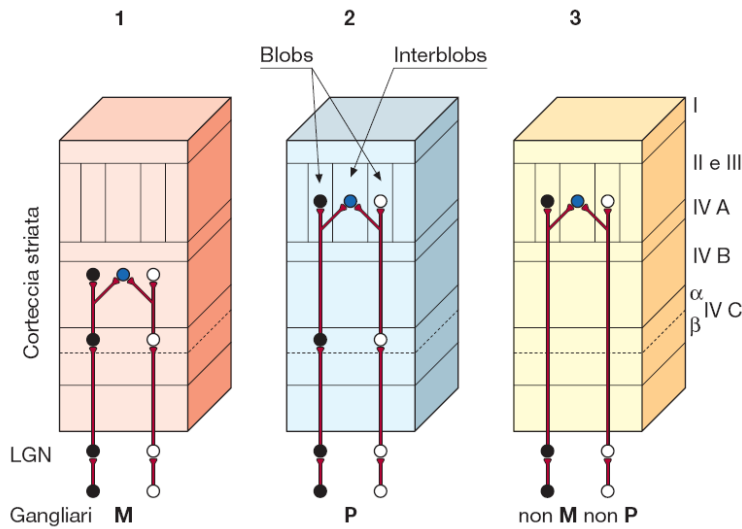
- Anche conosciuta come corteccia visiva primaria o V1
- Le maggiori trasformazioni dell'informazioni visiva hanno luogo nella corteccia striata
- Contiene circa 200 MILIONI di cellule



# Visione spaziale: //la corteccia striata



# Visione spaziale: //la corteccia striata: selezione informazione



Via magnocellulare:  
localizzazione e  
movimento  
(dove)

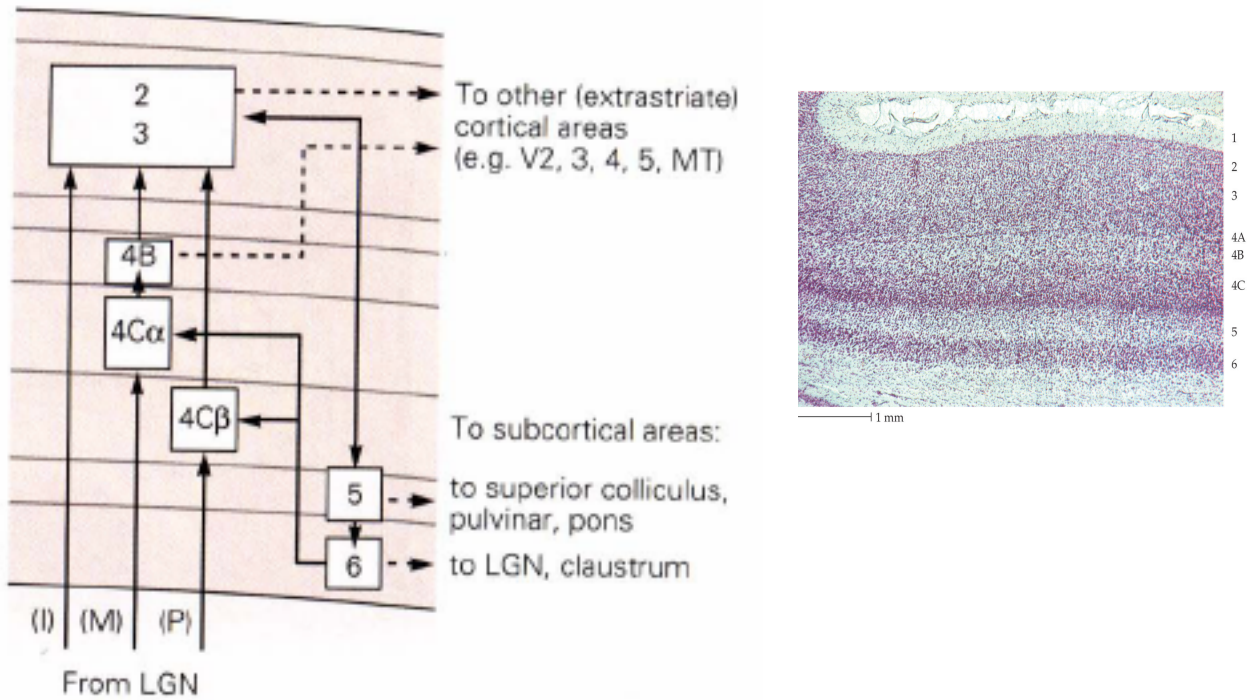
Vie parvicellulare- blob:  
percezione dei colori  
e parvicellulare-interblob:  
analisi delle forme  
(cosa)

Vie binoculari  
tridimensionalità  
dell'oggetto



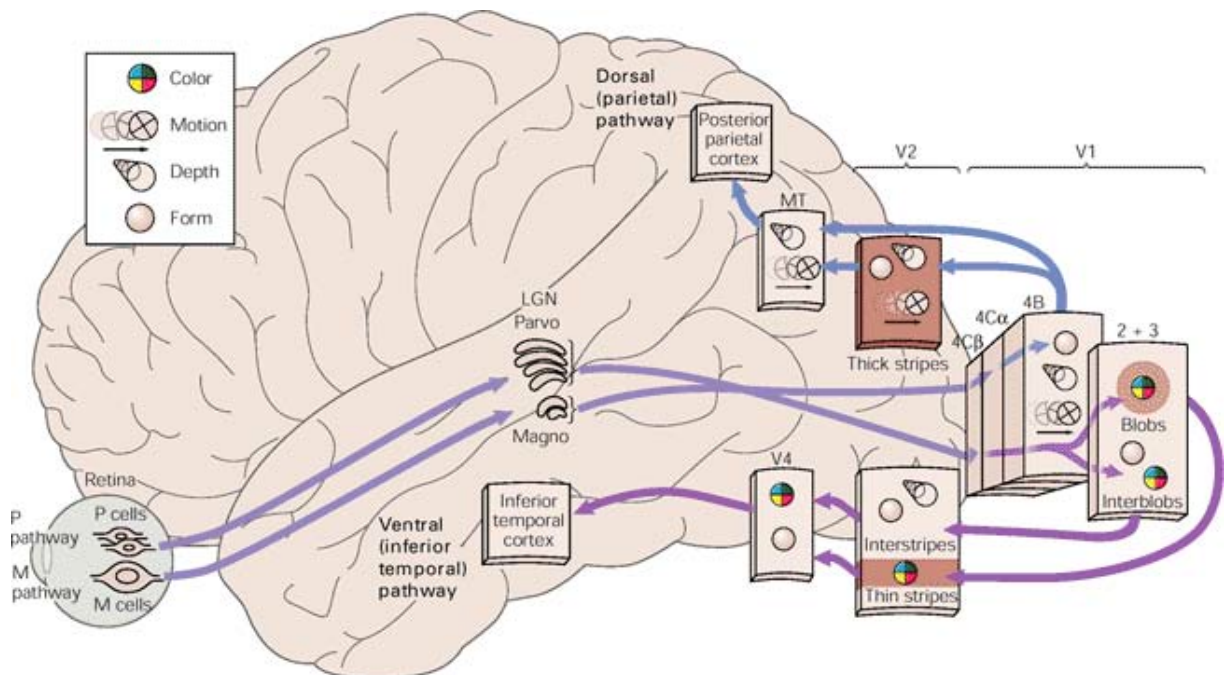
Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione



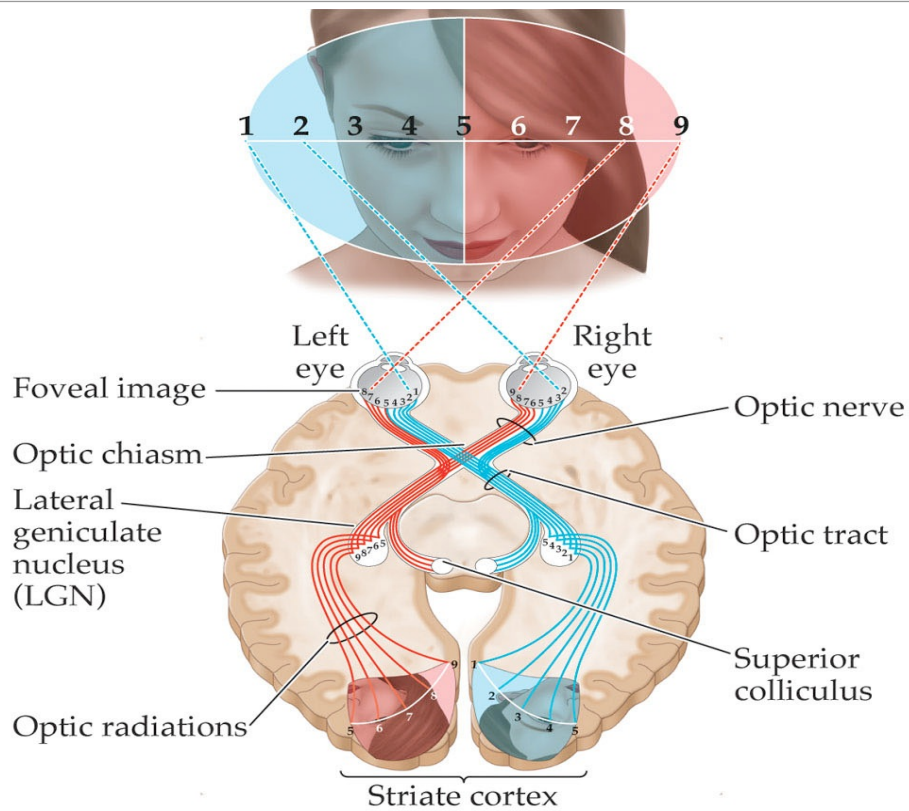
Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione



# Visione spaziale:

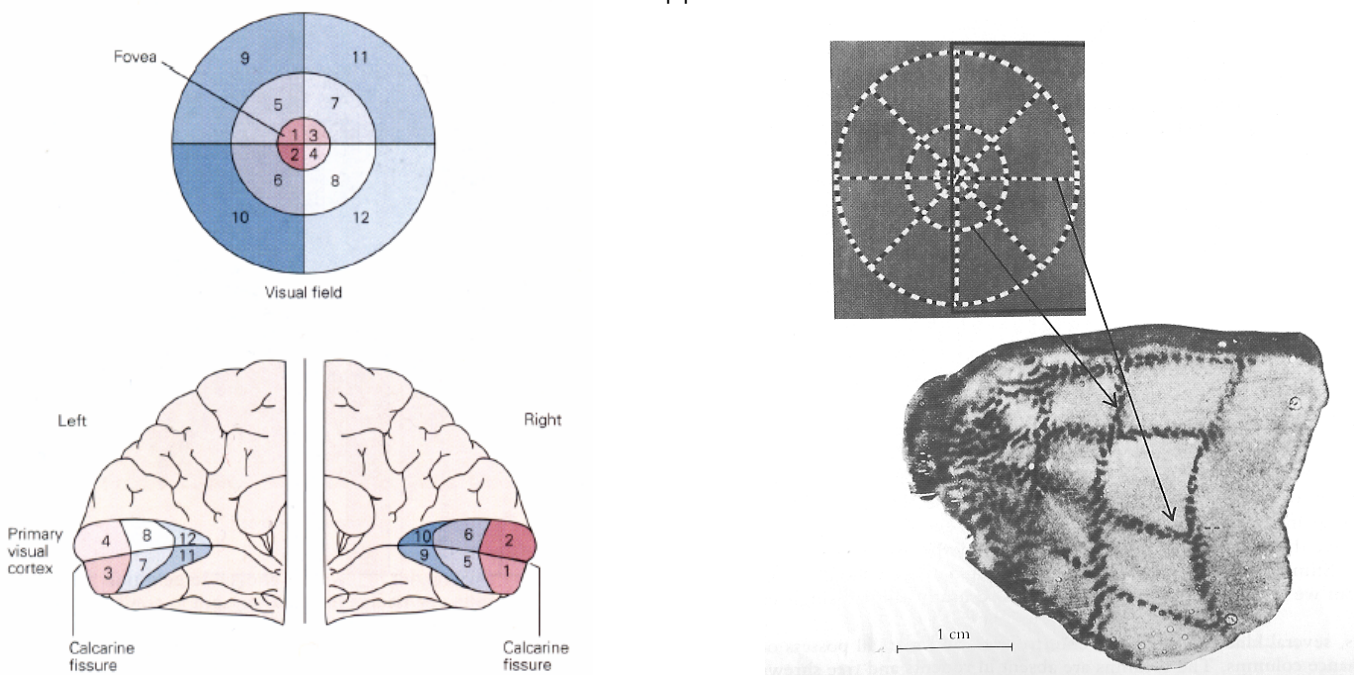
## //la corteccia striata: mappatura topografica



# Corteccia striata:

## //mappatura topografica e multirisoluzione

Nella corteccia visiva esiste una mappa (deformata) del campo visivo. La fovea è sovrarappresentata.



Visione spaziale:

//la corteccia striata: mappatura topografica

---

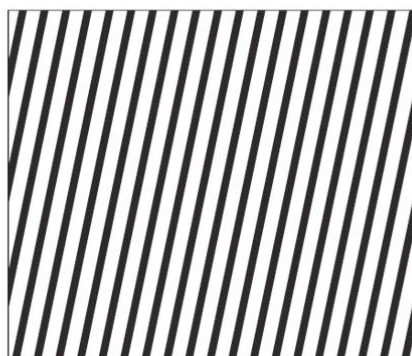
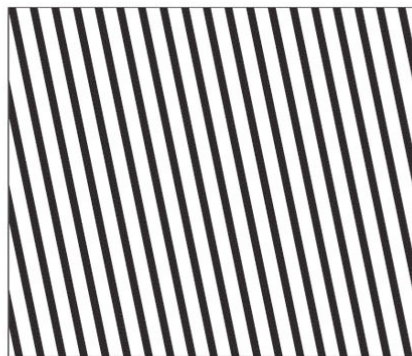
- L'acuità visiva decresce in maniera sistematica con il grado di eccentricità



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

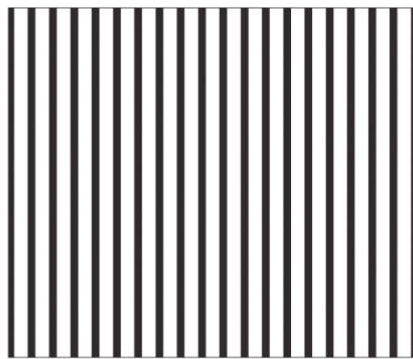
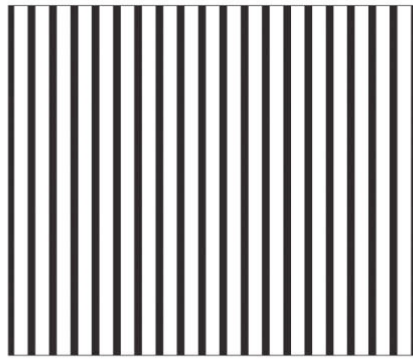
---



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

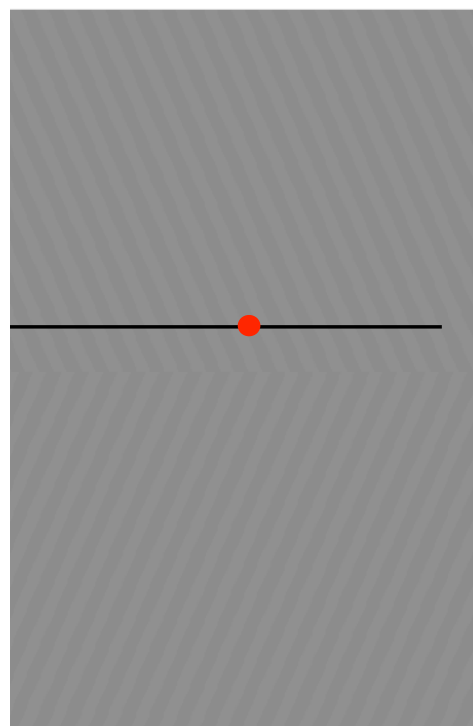
---



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

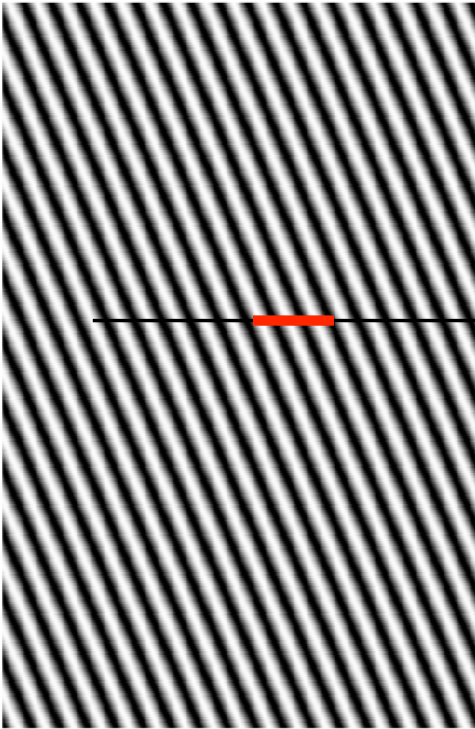
---



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

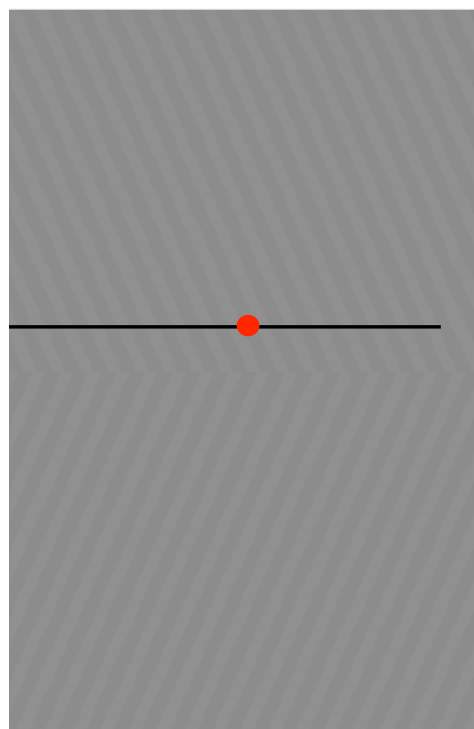
---



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

---

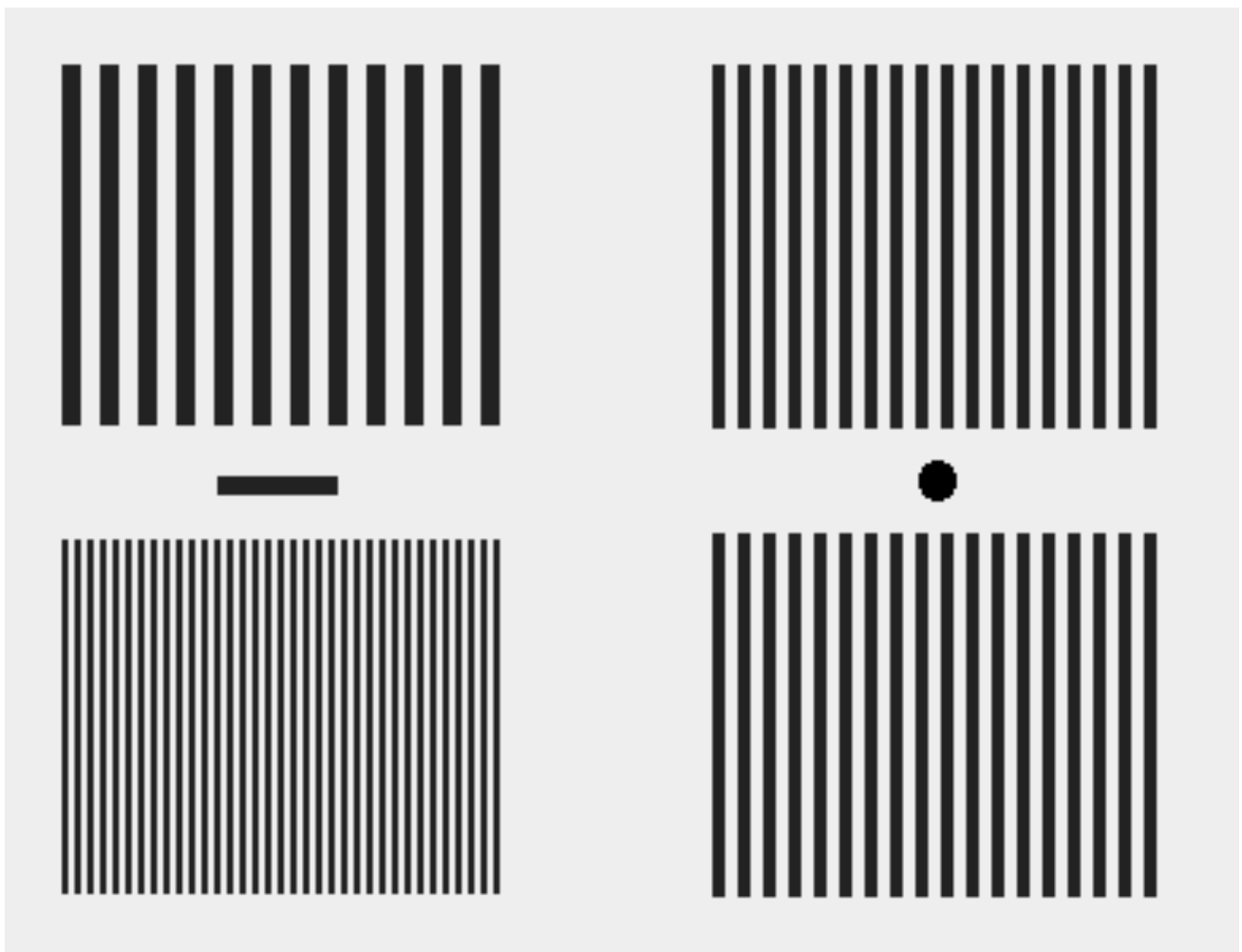
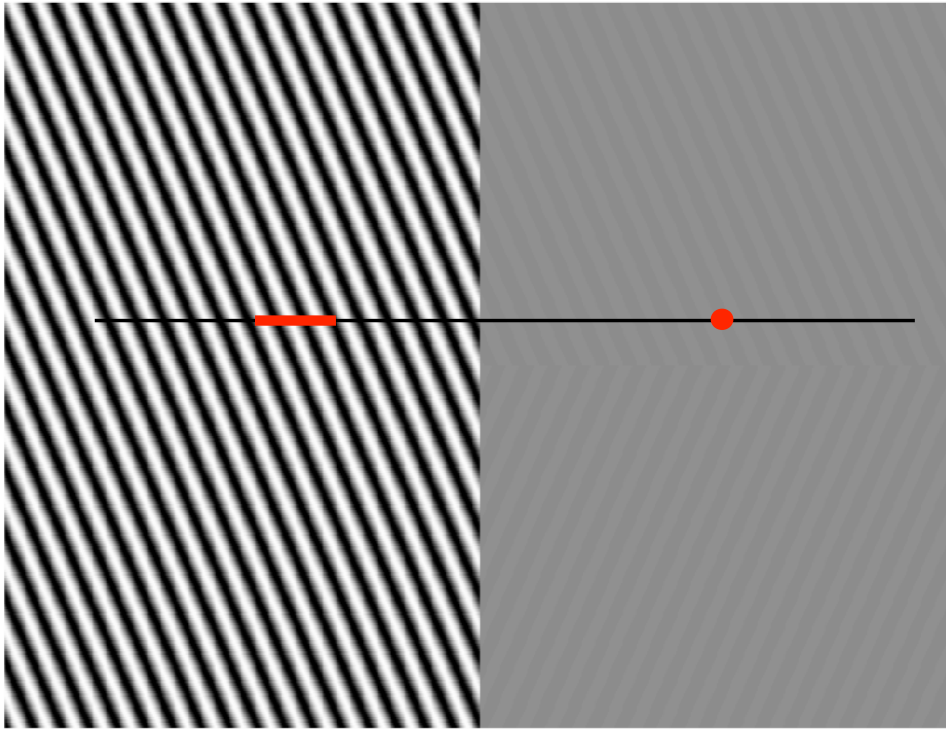




# La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

---



# La corteccia striata

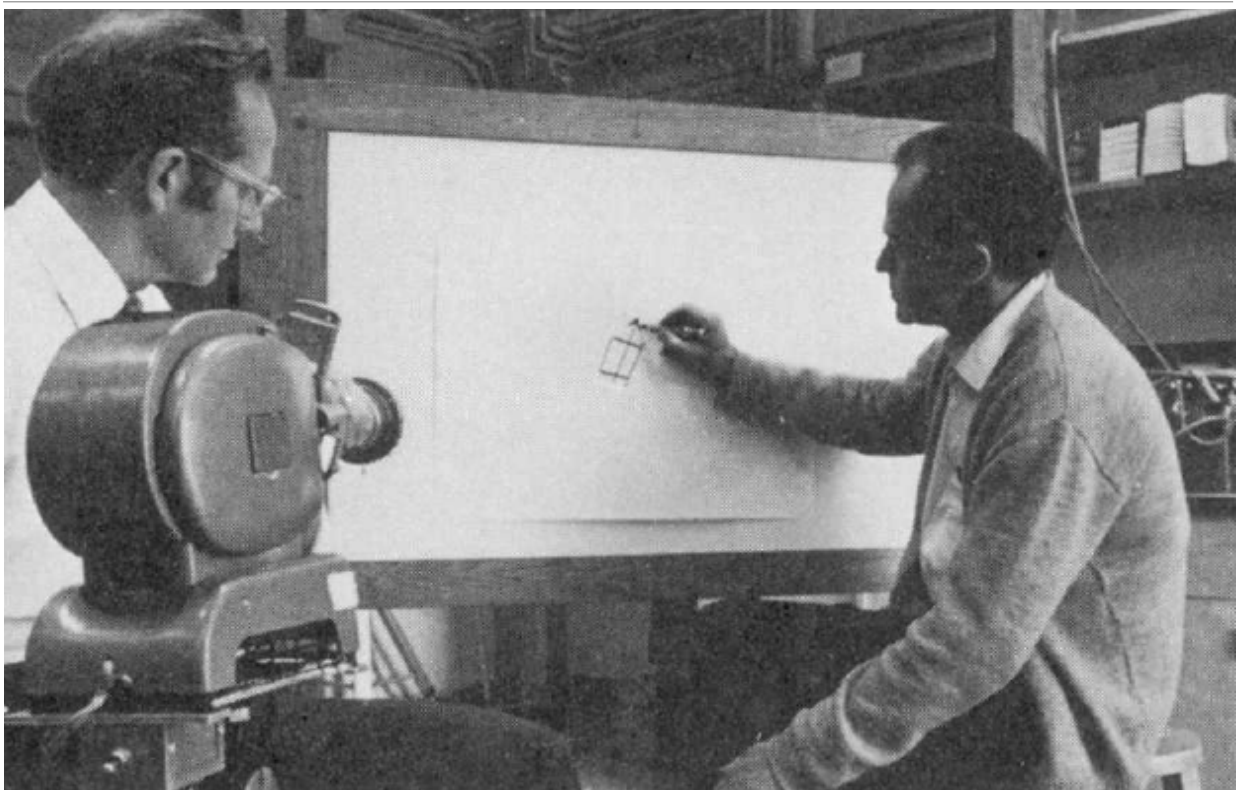
//adattamento selettivo: tilt after effect

---

- **Post-immagine di orientamento (Tilt aftereffect):** Illusione percettiva riguardante l'orientamento di uno stimolo che scaturisce dall'essersi adattati precedentemente ad un certo orientamento
  - Tale illusione supporta l'idea che il sistema visivo umano comprende singoli neuroni selettivi per orientamenti diversi

Visione spaziale:

//la corteccia striata: Hubel e Wiesel

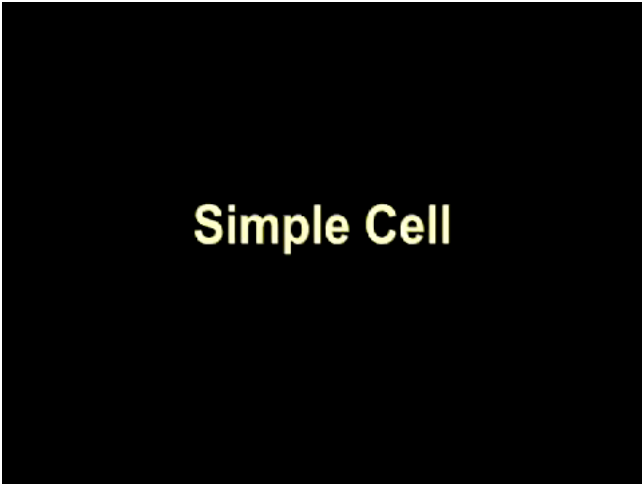
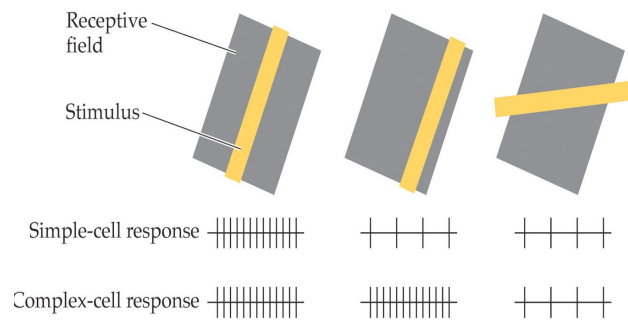


# La corteccia striata

//campi recettivi: rilevamento di features

---

- Cellule semplici vs. cellule complesse

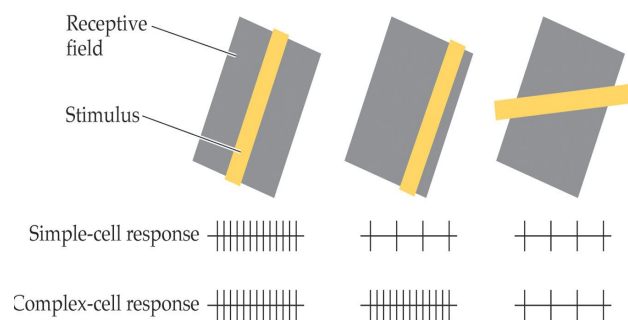


# La corteccia striata

//campi recettivi: rilevamento di features

---

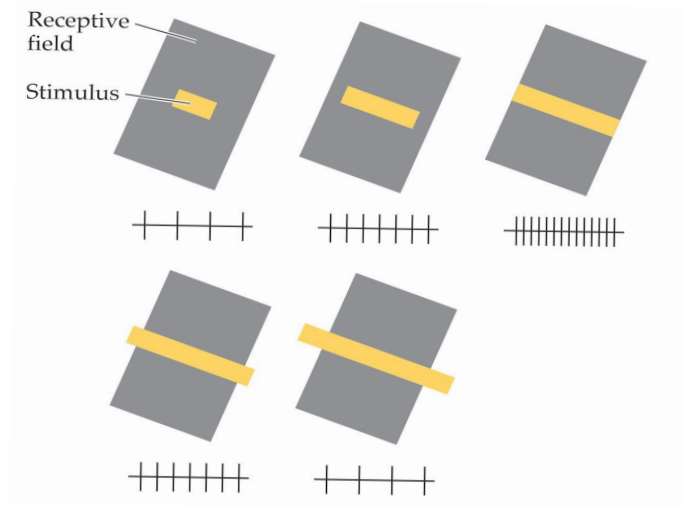
- Cellule semplici vs. cellule complesse



# La corteccia striata

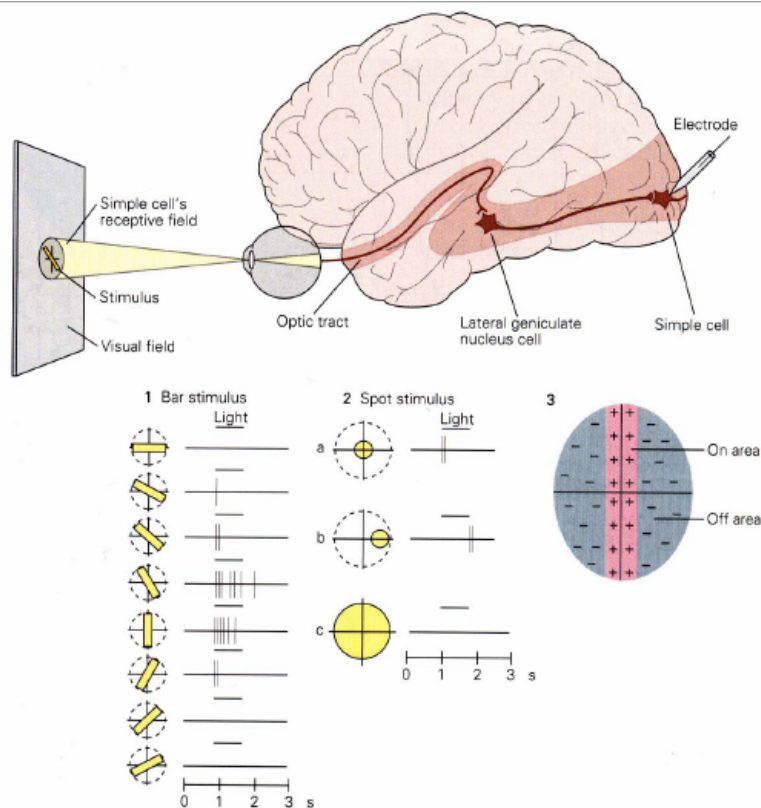
## //campi recettivi: rilevamento di features

- Cellule con margini di arresto: Queste cellule della corteccia striata aumentano il proprio ritmo di scarica se uno stimolo barra è ingrandito fino a coprire completamente il loro campo recettivo ma diminuiscono la loro attività se lo stimolo diviene ancora più grande



# La corteccia striata

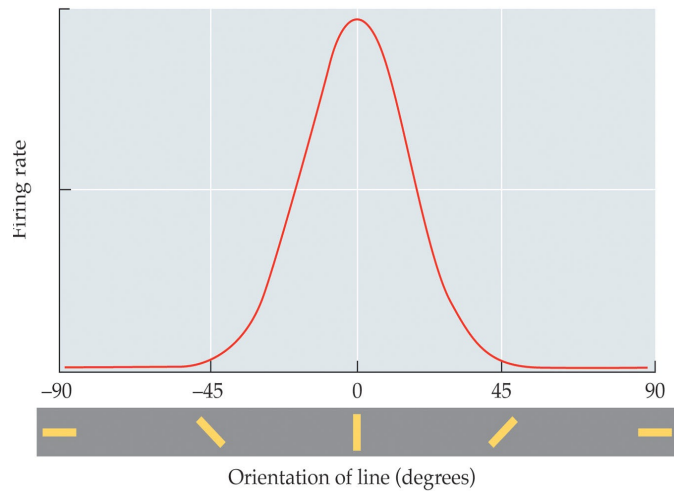
## //campi recettivi: orientamento



# La corteccia striata

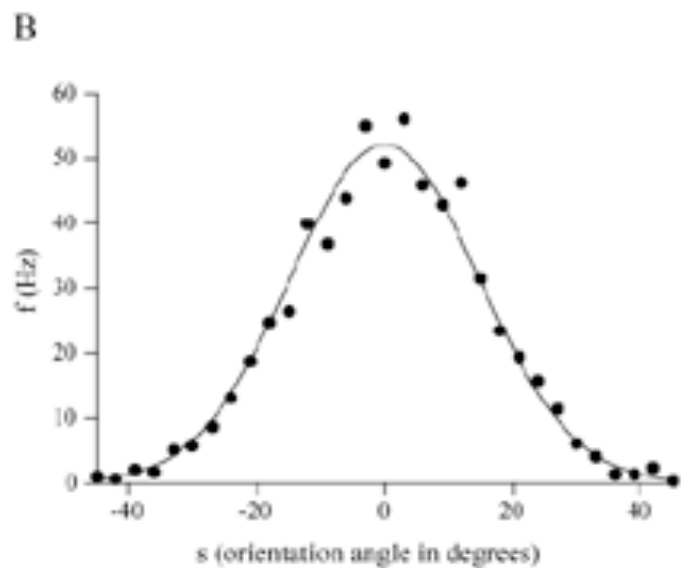
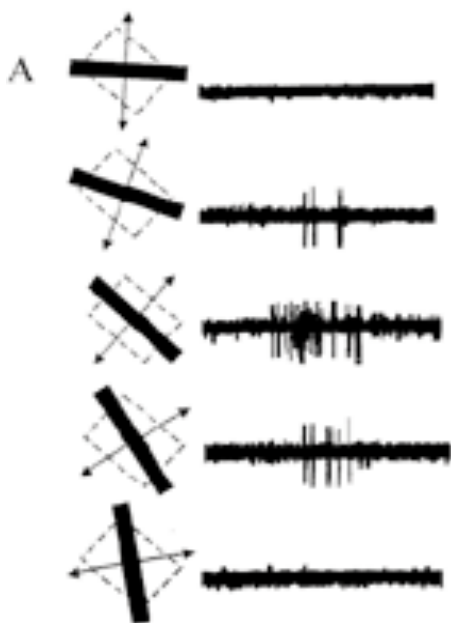
## //campi recettivi: orientamento

- Risposta selettiva all'orientamento: Tendenza dei neuroni nella corteccia striata a rispondere in maniera ottimale a certi orientamenti e con meno vigore ad altri



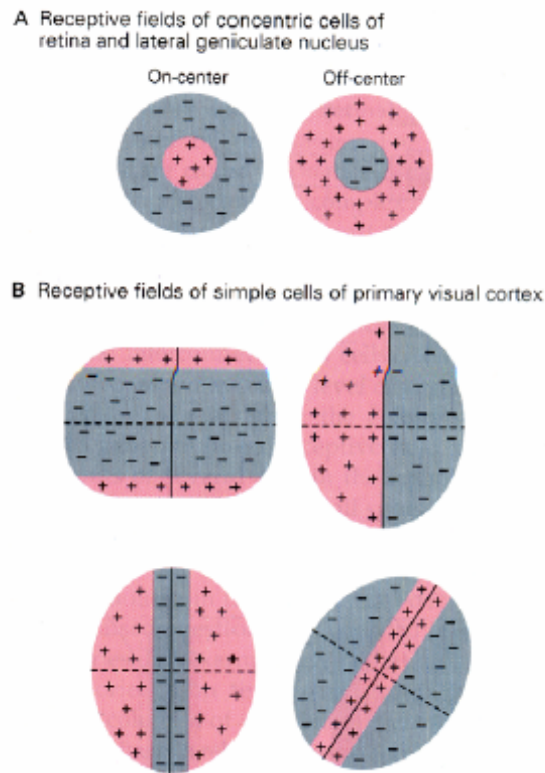
# La corteccia striata

## //campi recettivi: orientamento



# La corteccia striata

## //campi recettivi: orientamento

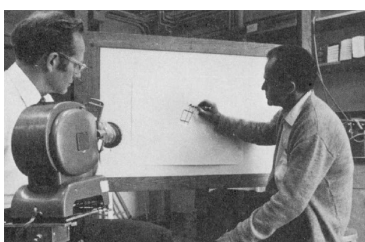


# La corteccia striata

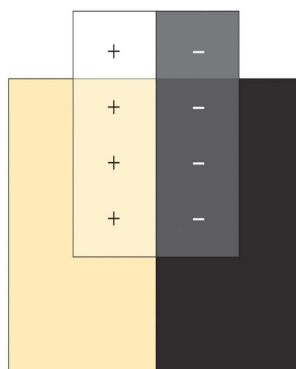
## //campi recettivi: rilevamento di features

- Molte cellule corticali rispondo preferentemente a:

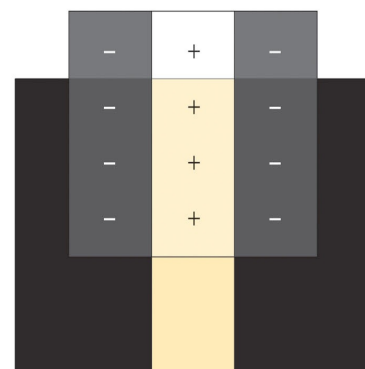
- Linee in movimento
- Barre
- Contorni
- Reticoli
- Direzioni di spostamento



### Cellule semplici



Rilevatori di bordi (Edge detector)

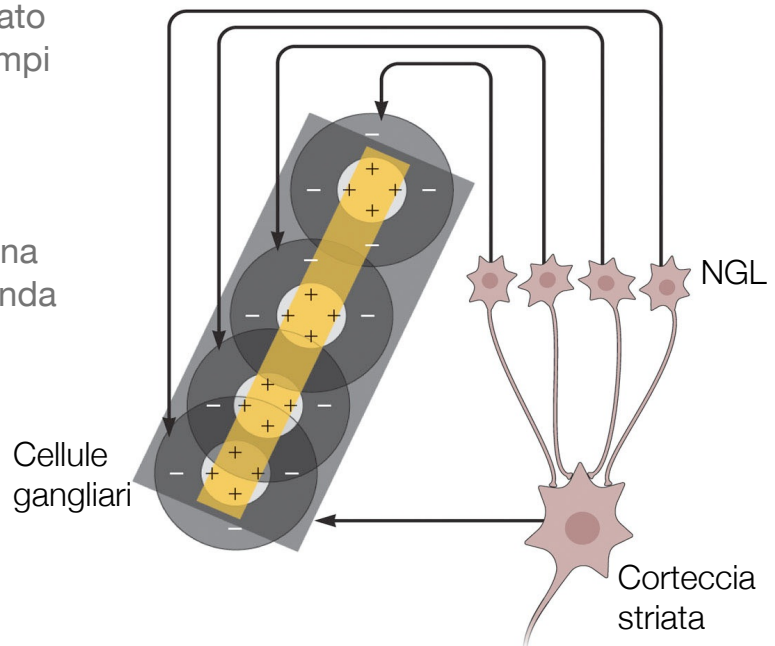
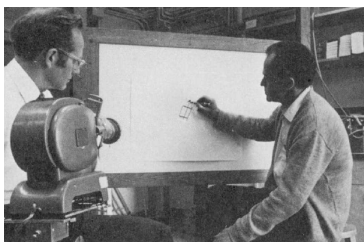


Rilevatori di strisce (Stripe detector)

# La corteccia striata

## //campi recettivi: rilevamento di features

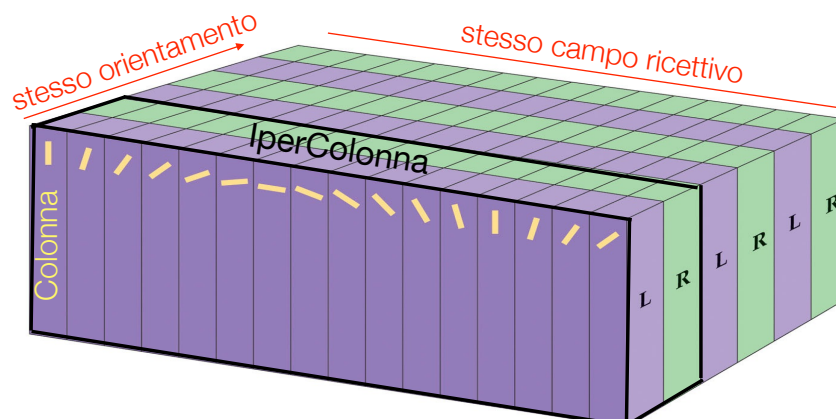
- Come possono i campi recettivi circolari del Nucleo Genicolato Laterale trasformarsi nei campi recettivi allungati della corteccia striata?
- Hubel e Wiesel proposero una spiegazione a questa domanda davvero molto semplice



# La corteccia striata

## //campi recettivi: colonne e ipercolonne

- **Colonna:** Un arrangiamento verticale di neuroni
  - Hubel and Wiesel: Trovarono un sistematico progressivo cambiamento nell'orientamento preferito da colonna a colonna; tutti gli orientamenti erano compresi in una distanza di circa 0.5 mm
- **Ipercolonna:** Un blocco di 1-mm di corteccia striata che contiene “tutti i meccanismi necessari per le analisi che la corteccia striata viene chiamata ad eseguire, in una determinata e minuscola parte del campo visivo” (Hubel, 1982)

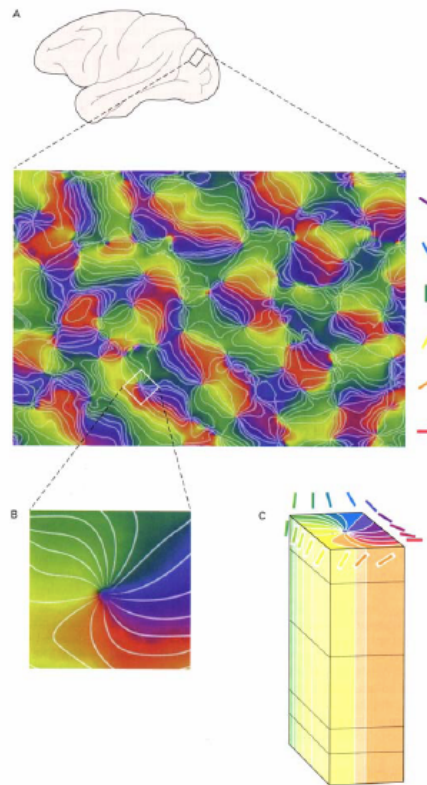




# La corteccia striata

## //organizzazione

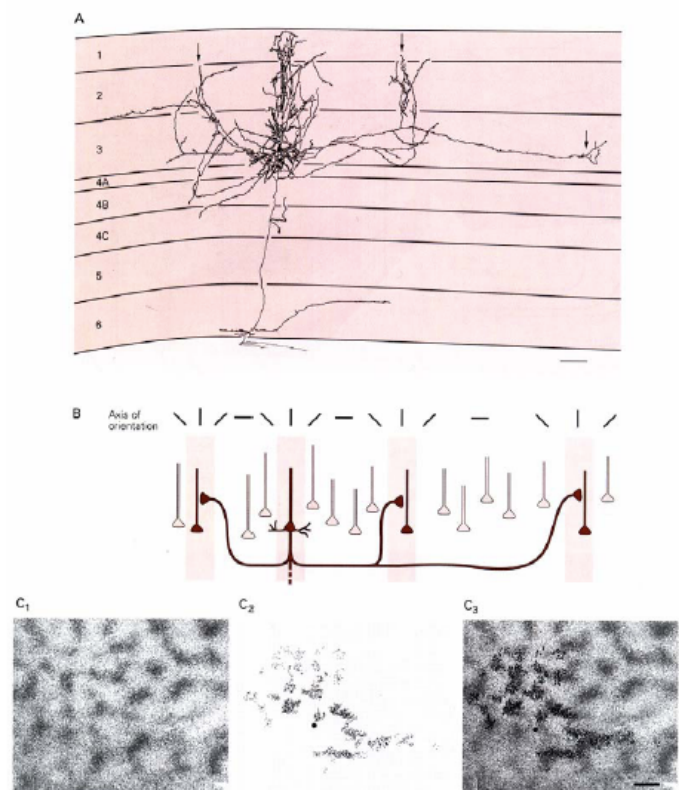
- Le cellule con uguale orientamento preferenziale sono raggruppate in colonne.
- Le colonne di orientamento sono disposte a “girandola”.



# La corteccia striata

## //moduli

- Organizzazione modulare della corteccia visiva:
  - moduli con proprietà simili sono connessi tra loro da connessioni orizzontali.



# La corteccia striata

## //campi recettivi: dominanza oculare

---

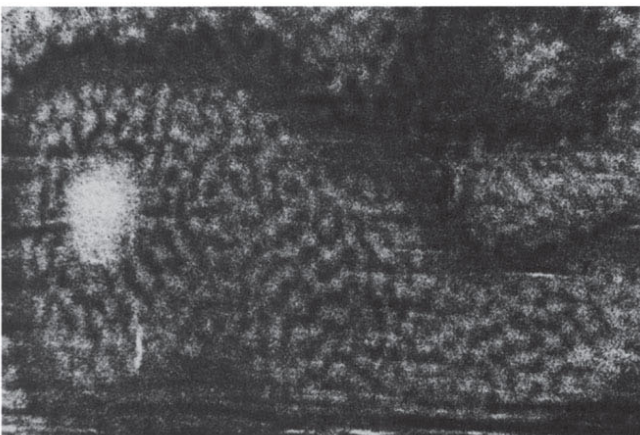
- La corteccia visiva primaria è la prima stazione del sistema visivo in cui compaiono cellule che ricevono informazione da entrambi gli occhi (cellule binoculari).
- Ogni cellula in LGN:
  - risponde o ad un occhio o all'altro
  - mai ad entrambi,
- Ogni cellula della **corteccia striata**:
  - può rispondere sia ad inputs da un occhio che a quelli dell'altro occhio
- **Dominanza oculare**: proprietà dei neuroni della corteccia striata
  - la risposta è più rapida quando lo stimolo è presentato a un occhio piuttosto che all'altro

# La corteccia striata

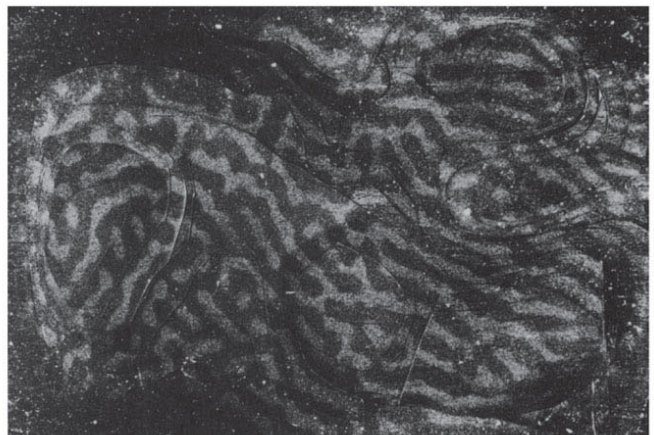
## //binoculari

---

(a) Orientation columns



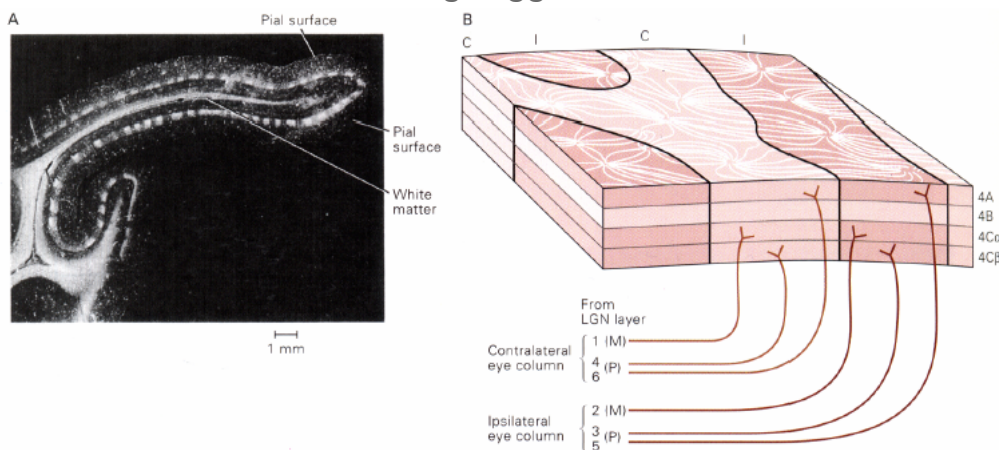
(b) Ocular dominance columns



# La corteccia striata

## //campi recettivi: cellule binoculari

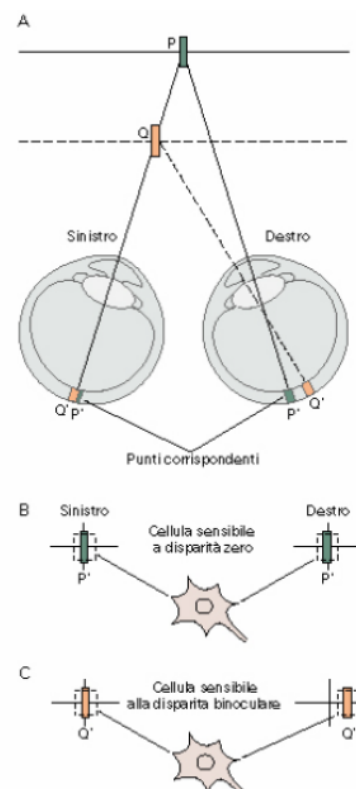
- La corteccia visiva primaria è la prima stazione del sistema visivo in cui compaiono cellule che ricevono informazione da entrambi gli occhi (cellule binoculari).
- Queste cellule sono eccitabili dalla stimolazione di una sola piccola area di campo visivo (campo recettivo) che però è vista da entrambi gli occhi. Le cellule binoculari sono in grado di valutare la profondità e permettono di stimare la distanza a cui siamo dagli oggetti



# La corteccia striata

## //campi recettivi: cellule binoculari

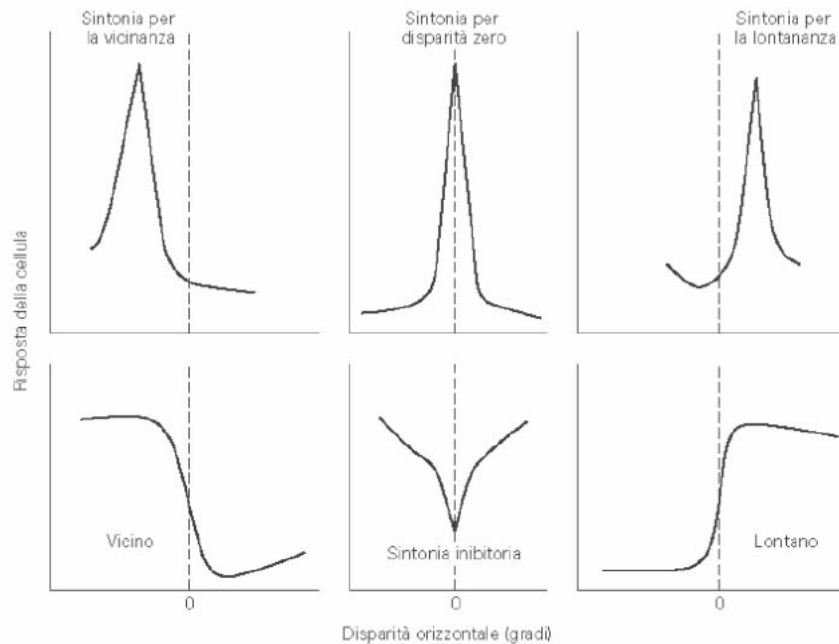
- Queste cellule sono eccitabili dalla stimolazione di una sola piccola area di campo visivo (campo recettivo) che però è vista da entrambi gli occhi.
- Le cellule binoculari sono in grado di valutare la profondità e permettono di stimare la distanza a cui siamo dagli oggetti
  - valutano il diverso angolo formato dallo stesso stimolo visivo sui due occhi
  - La differenza di angolo si chiama disparità



## La corteccia striata

//campi recettivi: cellule binoculari

---

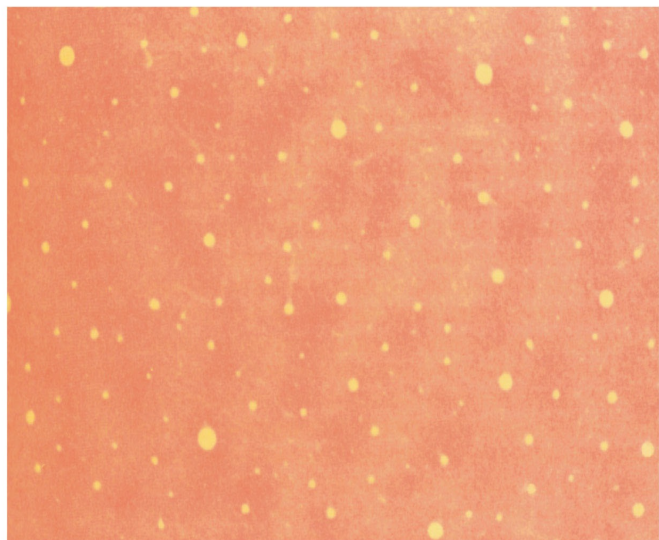


## La corteccia striata

//blobs e colore

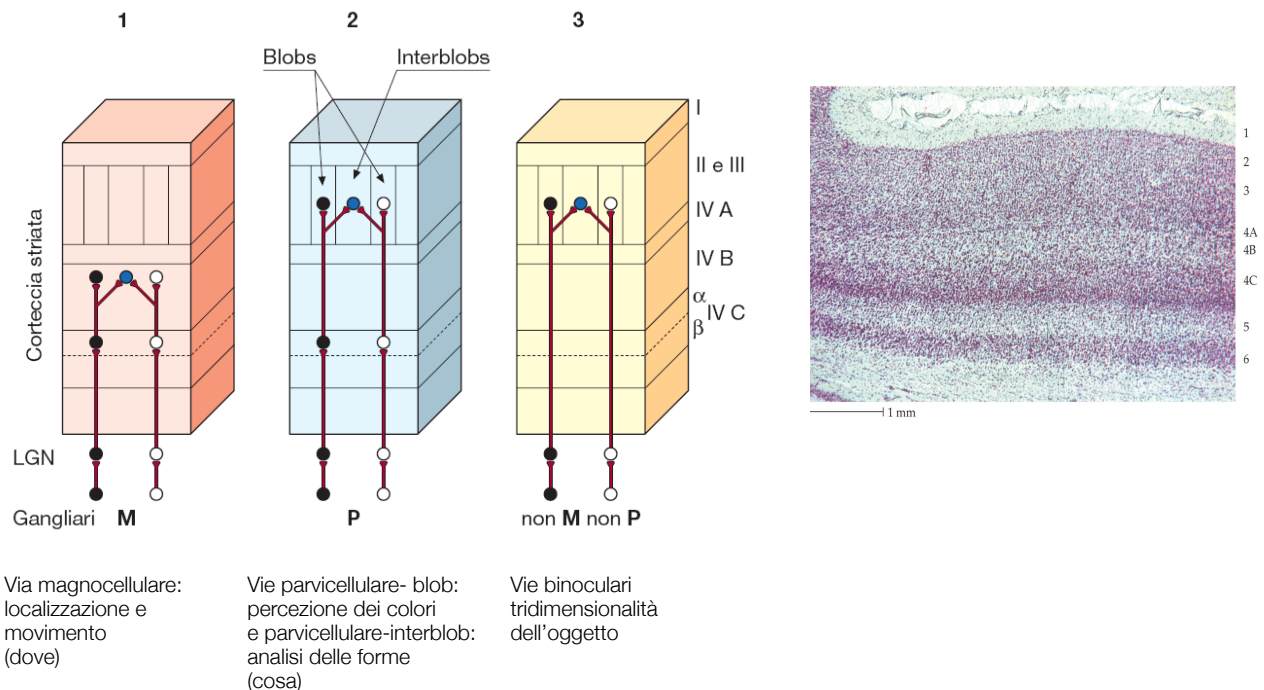
---

- La corteccia visiva contiene anche delle zone rivelabile con la colorazione per la citocromo ossidasi dette "blob".
- Le cellule dei blob appartengono agli strati 2-3 e sono coinvolti nel riconoscimento dei colori ma non sono sensibili all'orientazione.





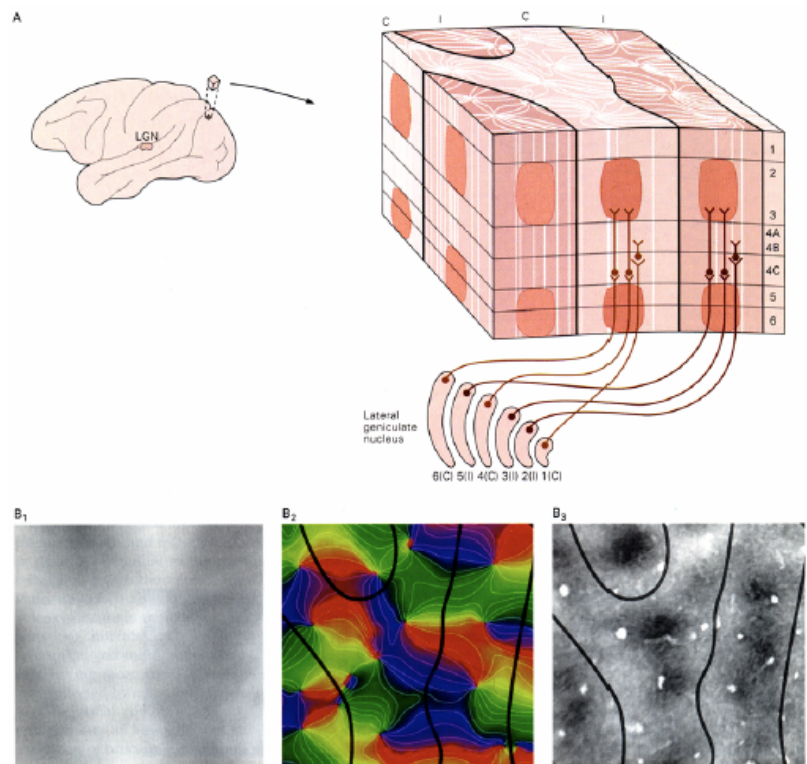
# Visione spaziale: //la corteccia striata: visione verticale



## La corteccia striata

### //campi recettivi: colonne e ipercolonne

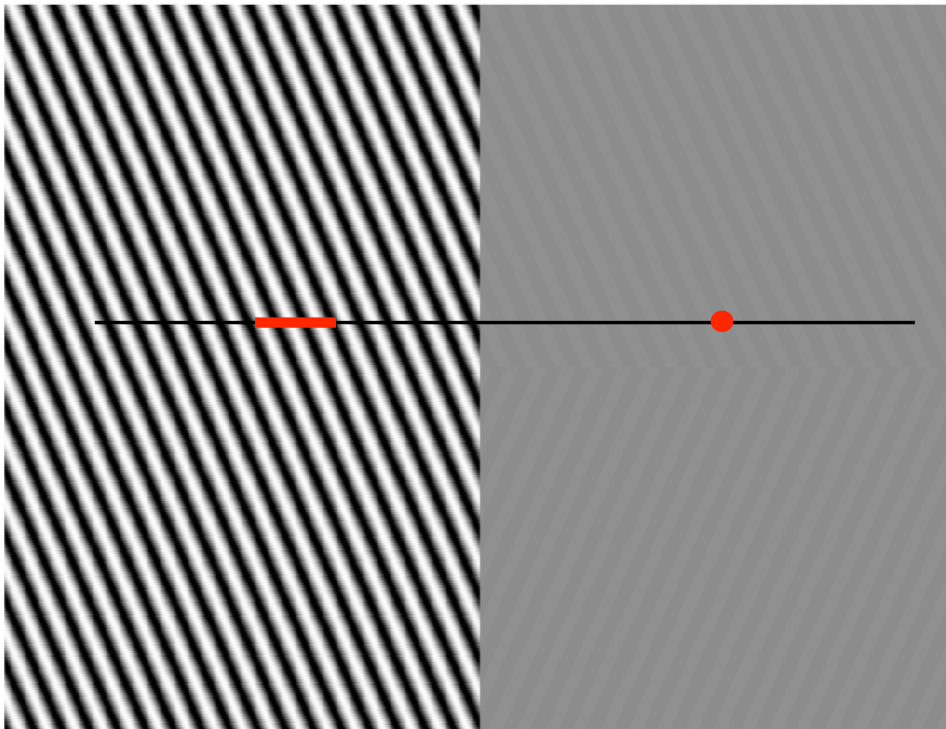
- Le cellule con campi recettivi nella stessa area di campo visivo sono raggruppate e formano un ipercolonna:
  - contiene le cellule che rispondono ad entrambi gli occhi, a tutti gli orientamenti e un blob per l'analisi del colore



# La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

---



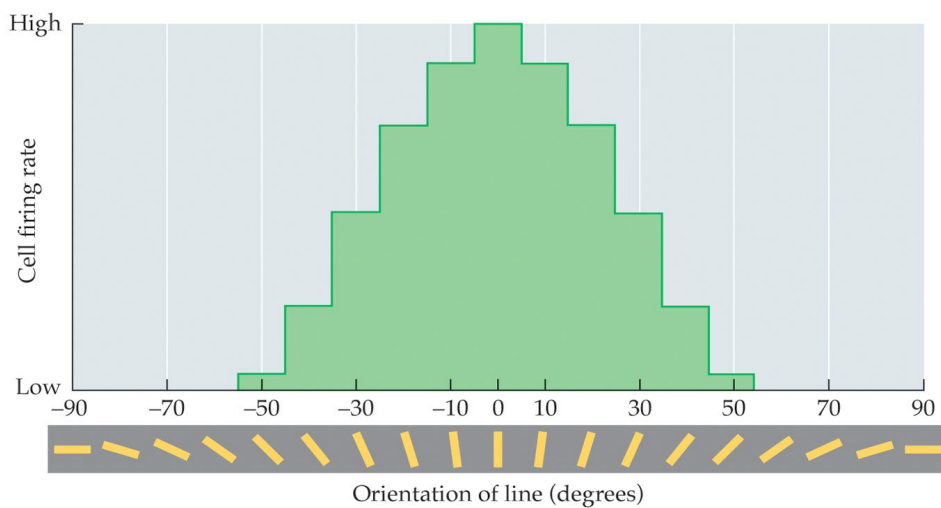
# La corteccia striata

//adattamento selettivo

---

- La diminuzione della risposta di un organo di senso ad una stimolazione continuata

Prima dell' esposizione allo stimolo (striscia di 20°)



Adapt to 20° stripes



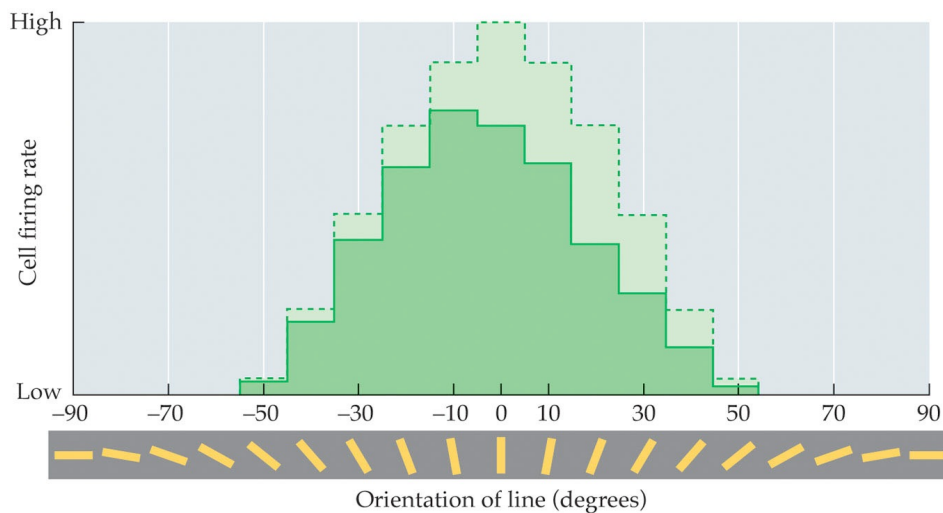
# La corteccia striata

## //adattamento selettivo

---

- La diminuzione della risposta di un organo di senso ad una stimolazione continuata

Dopo l'esposizione allo stimolo (striscia di 20°)

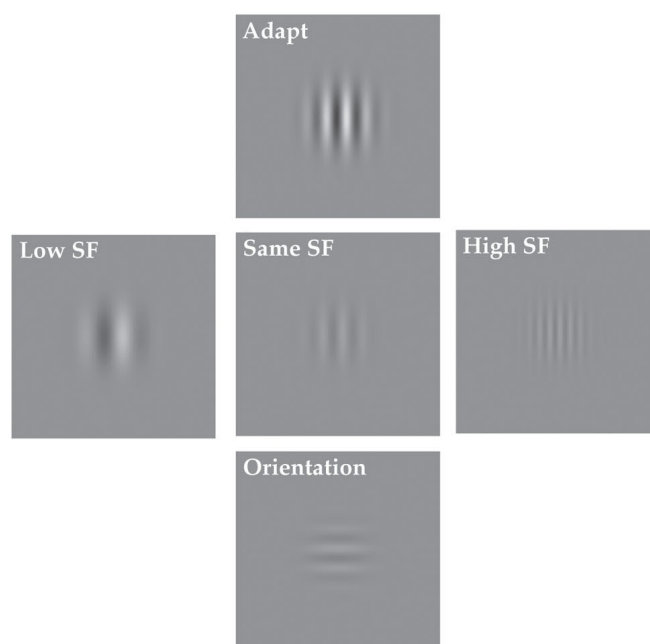


# La corteccia striata

## //adattamento selettivo: specificità freq.spaziale

---

- **Adattamento selettivo:** E' un indizio a favore del fatto che il sistema visivo umano contenga neuroni selettivi per la frequenza spaziale



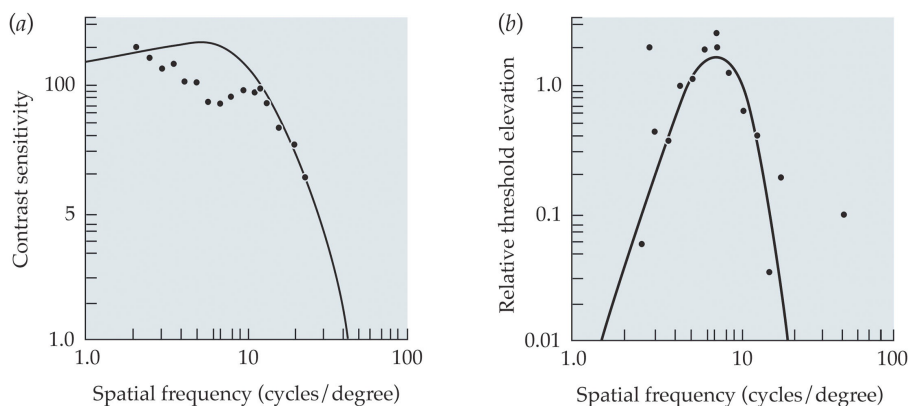


# La corteccia striata

## //adattamento selettivo: specificità freq.spaziale

---

- **Adattamento selettivo:** E' un indizio a favore del fatto che il sistema visivo umano contenga neuroni selettivi per la frequenza spaziale



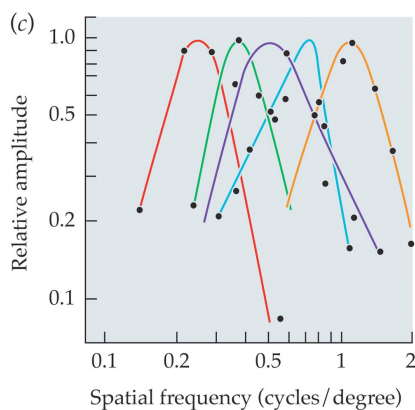
# La corteccia striata

## //adattamento selettivo: specificità freq.spaziale

---

- Gli esperimenti sull'adattamento producono prove molto robuste che l'orientamento e la frequenza spaziale sono codificati dai neuroni in qualche posto del sistema percettivo umano

- Gatti e scimmie: Corteccia striata, non nella retina o nel Nucleo Genicolato Laterale



- La percezione degli umani risulta essere simile a quella di gatti e scimmie per quanto riguarda l'adattamento selettivo

# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione

---

- Canali distinti per frequenze spaziali distinte
- Perché il sistema visivo dovrebbe usare filtri basati sulle frequenze spaziali per analizzare le immagini?
  - Frequenze spaziali diverse enfatizzano tipi diversi di informazione

(a) Complete image



(b) Low-frequency component



(c) High-frequency component

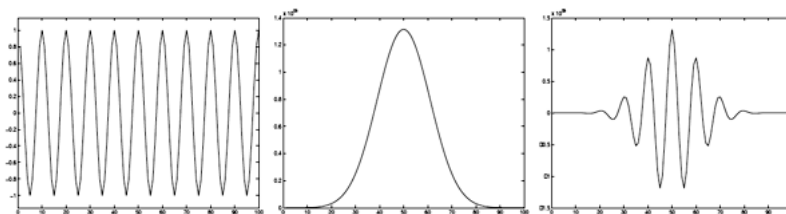


# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

---

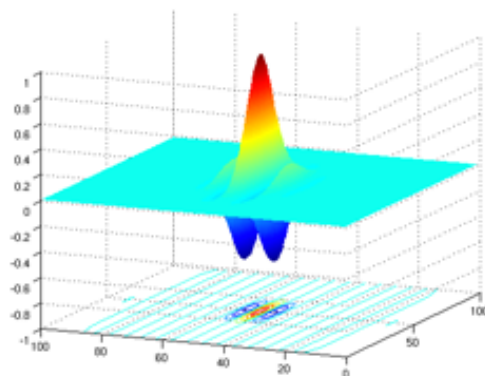
- Possiamo modellare le cellule semplici della corteccia mediante filtri di Gabor



Funzione  
sinusoidale

Funzione  
Gaussiana

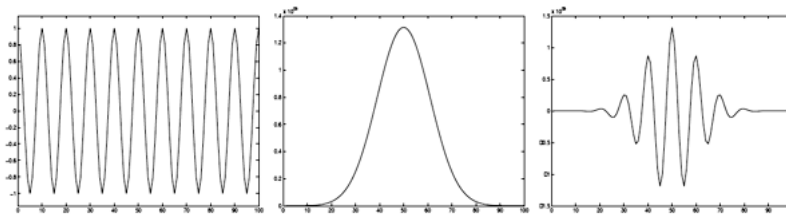
Filtro di  
Gabor



# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

- Una possibile forma è la seguente



Funzione sinusoidale

Funzione Gaussiana

Filtro di Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$$

Parte reale

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \sin\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$$

Parte immaginaria

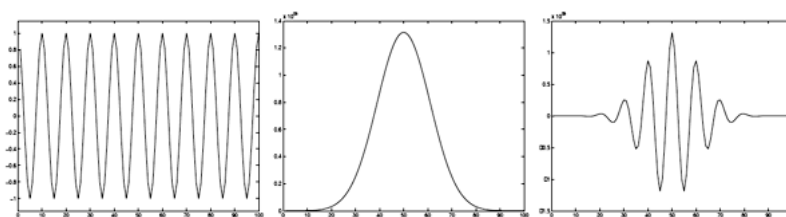
$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

- Una possibile forma è la seguente



Funzione sinusoidale

Funzione Gaussiana

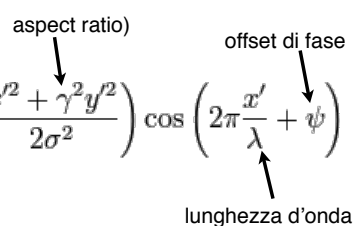
Filtro di Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$$

Parte reale

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \leftarrow \text{orientazione}$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

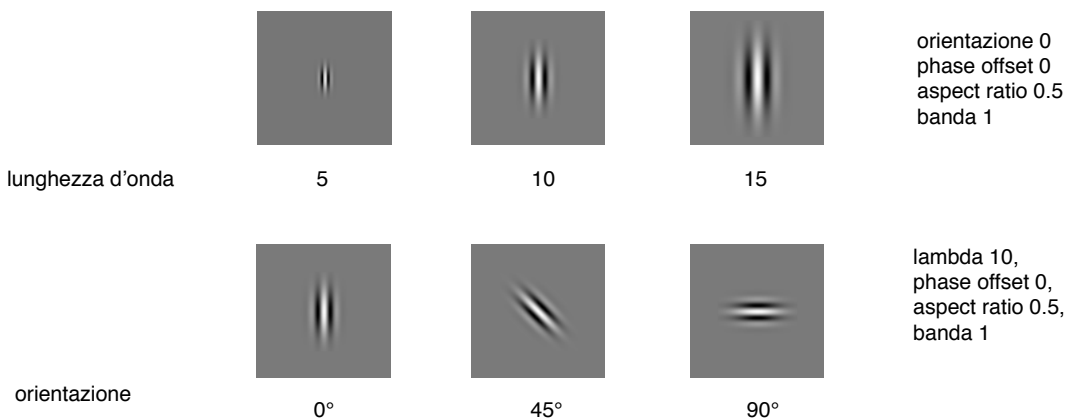


# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad \text{Parte reale}$$

aspect ratio) offset di fase  
 $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$  ← orientazione  
 $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$   
 lunghezza d'onda

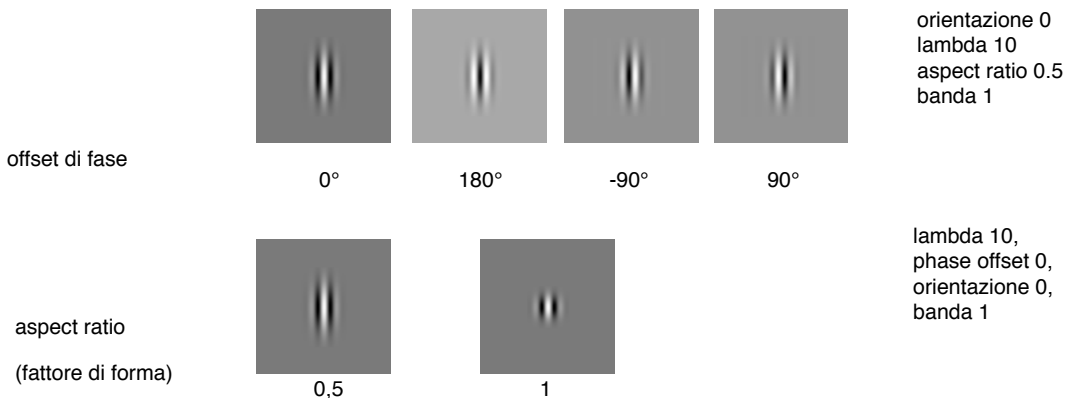


# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad \text{Parte reale}$$

aspect ratio) offset di fase  
 $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$  ← orientazione  
 $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$   
 lunghezza d'onda



# La corteccia striata

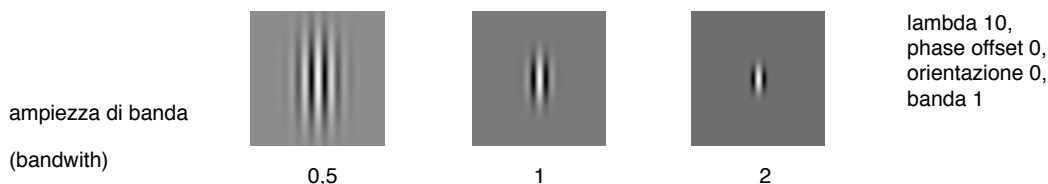
## //decomposizione dell'informazione: Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad \text{Parte reale}$$

aspect ratio) offset di fase  
 $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$   
 $\uparrow$   $\uparrow$   
 lunghezza d'onda

$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$  ← orientazione  
 $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$

$$b = \log_2 \frac{\frac{\sigma}{\lambda} \pi + \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}}{\frac{\sigma}{\lambda} \pi - \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}}, \quad \frac{\sigma}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} \cdot \frac{2^b + 1}{2^b - 1} \quad (2)$$



# La corteccia striata

## //decomposizione dell'informazione: Gabor

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad \text{Parte reale}$$

aspect ratio) offset di fase  
 $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$   
 $\uparrow$   $\uparrow$   
 lunghezza d'onda

$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$  ← orientazione  
 $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$

```
function gb=gabor_fn(sigma,theta,lambda,psi,gamma)

sigma_x = sigma;
sigma_y = sigma/gamma;

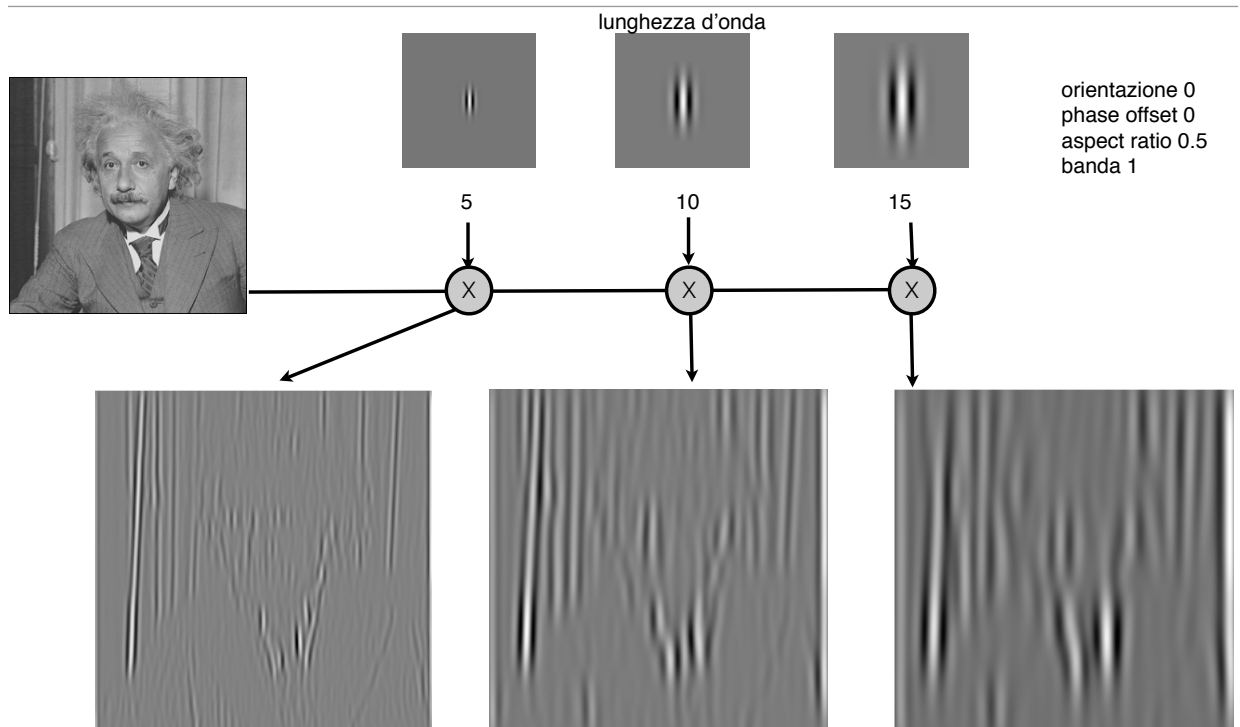
% Bounding box
nstds = 3;
xmax = max(abs(nstds*sigma_x*cos(theta)),abs(nstds*sigma_y*sin(theta)));
xmax = ceil(max(1,xmax));
ymax = max(abs(nstds*sigma_x*sin(theta)),abs(nstds*sigma_y*cos(theta)));
ymax = ceil(max(1,ymax));
xmin = -xmax; ymin = -ymax;
[x,y] = meshgrid(xmin:xmax,ymin:ymax);

% Rotazione
x_theta=x*cos(theta)+y*sin(theta);
y_theta=-x*sin(theta)+y*cos(theta);

gb= 1/(2*pi*sigma_x *sigma_y) * exp(-.5*(x_theta.^2/sigma_x^2+y_theta.^2/sigma_y^2)).*cos(2*pi/lambda*x_theta+psi);
```

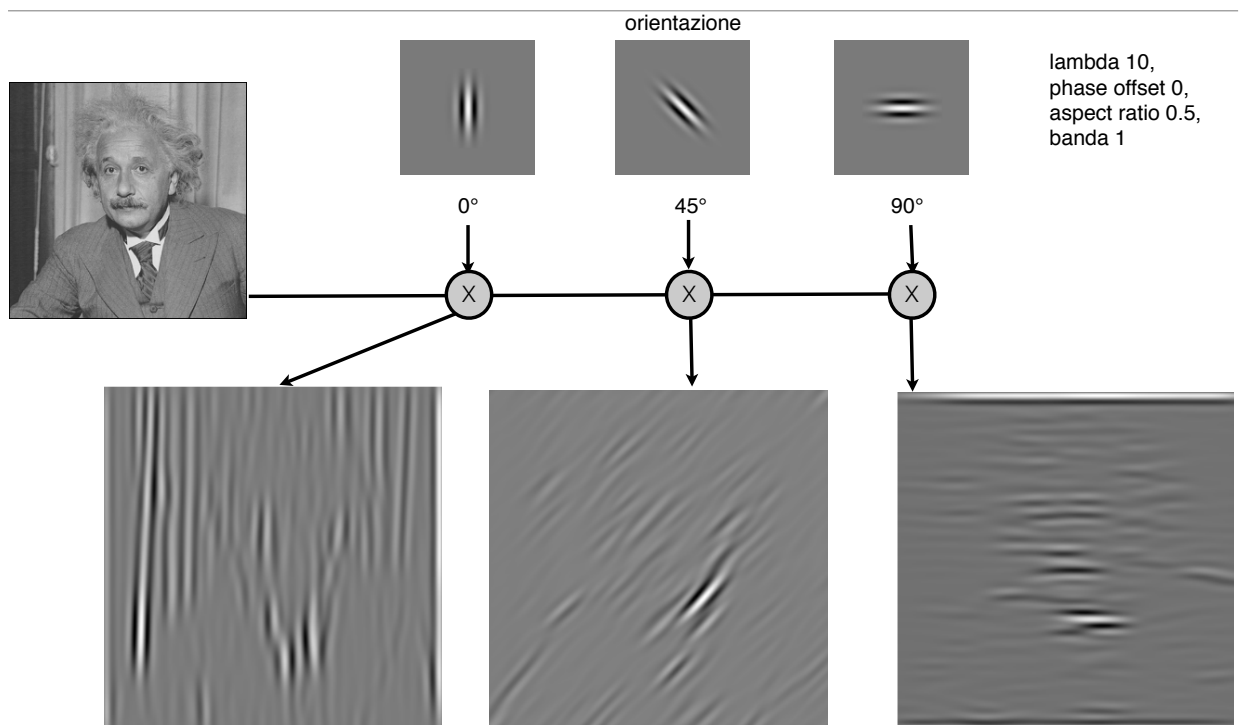
# La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



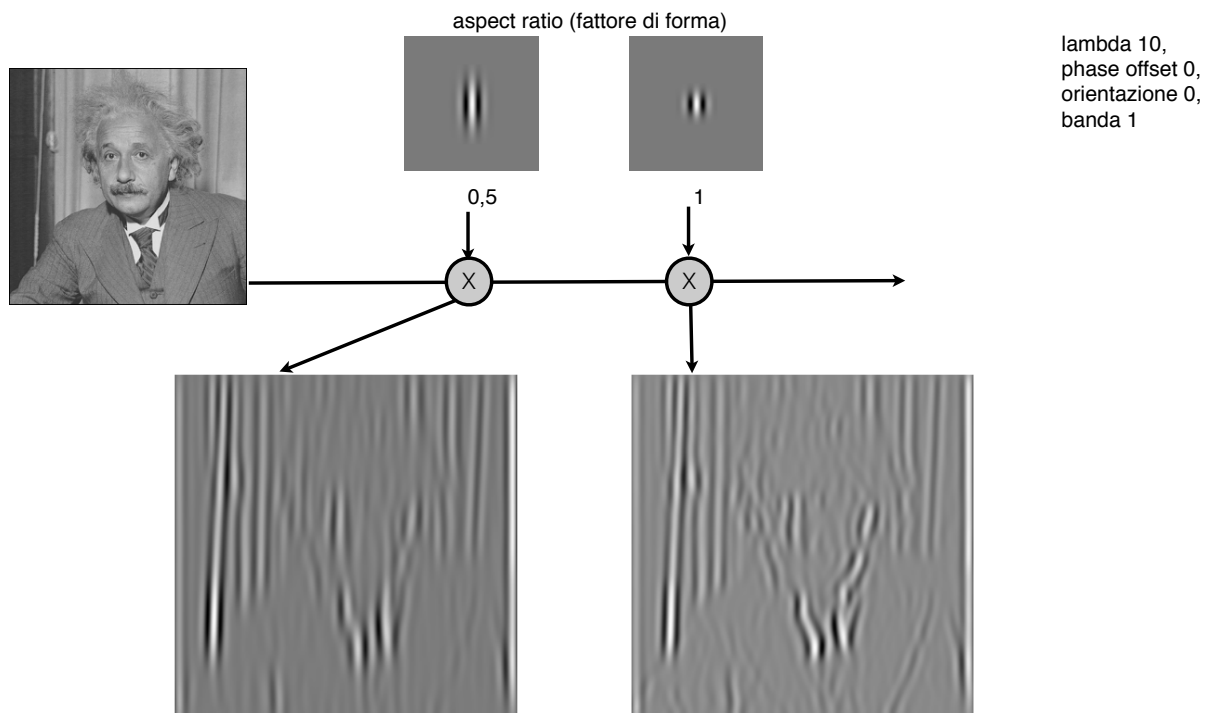
# La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



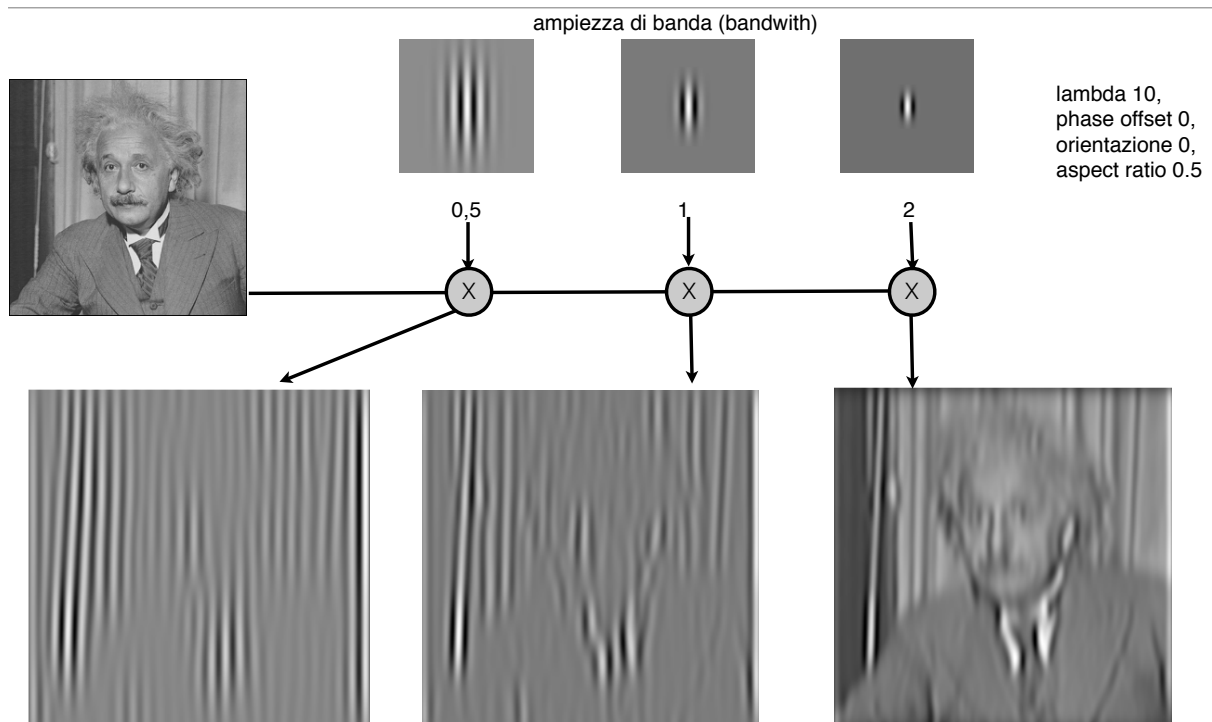
# La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



# La corteccia striata

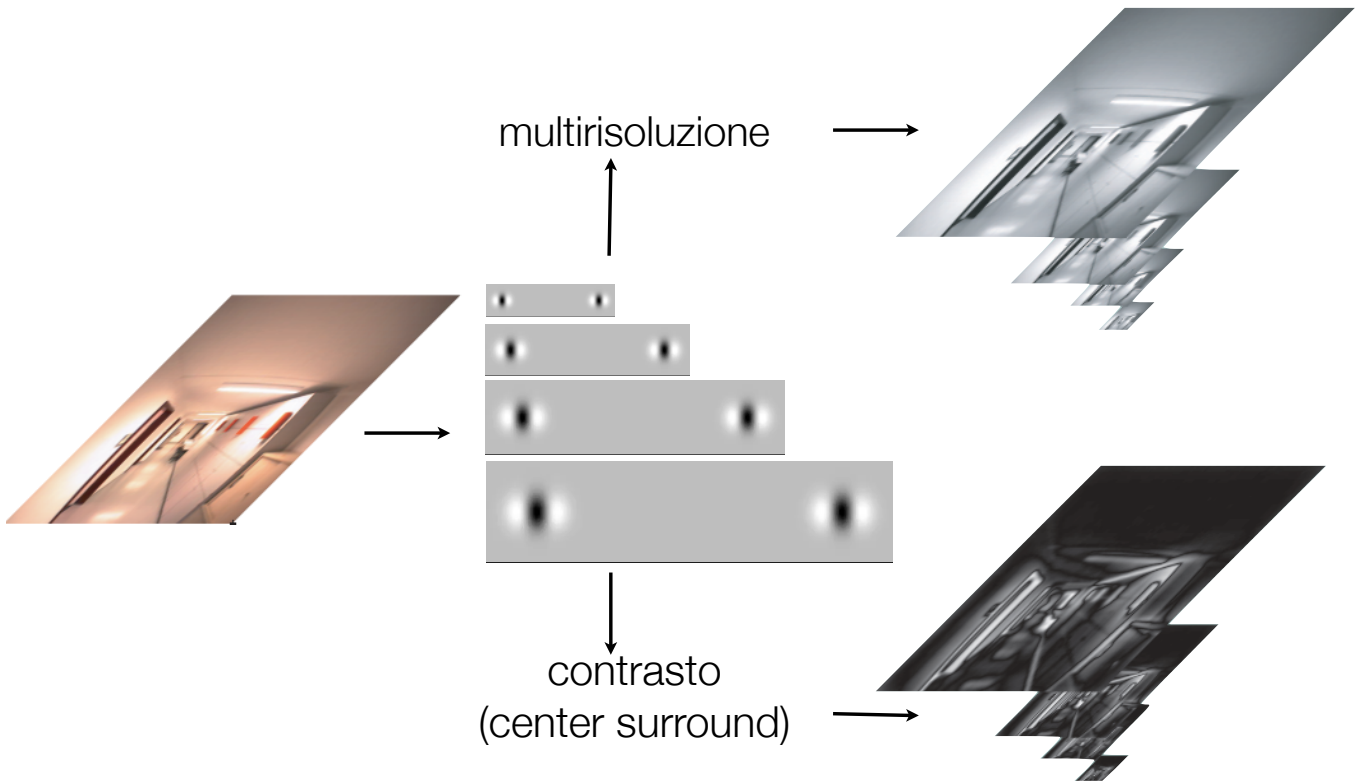
//decomposizione dell'informazione: Gabor





Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione



Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione

