

La visione spaziale: NGL e corteccia primaria



Corso di Principi e Modelli della Percezione

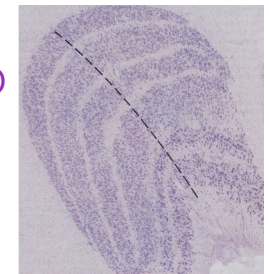
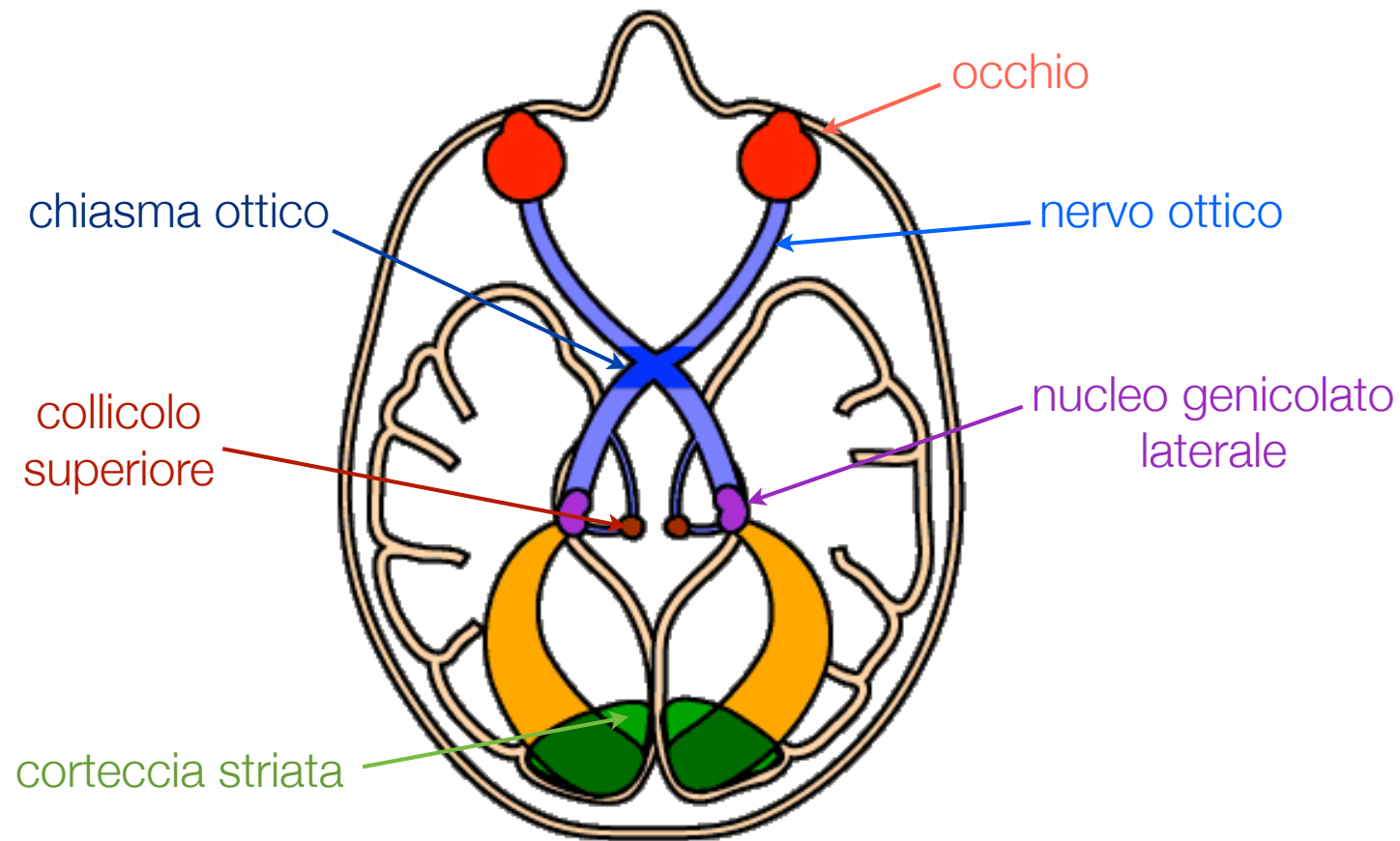
Prof. Giuseppe Boccignone

Dipartimento di Informatica
Università di Milano

boccignone@di.unimi.it

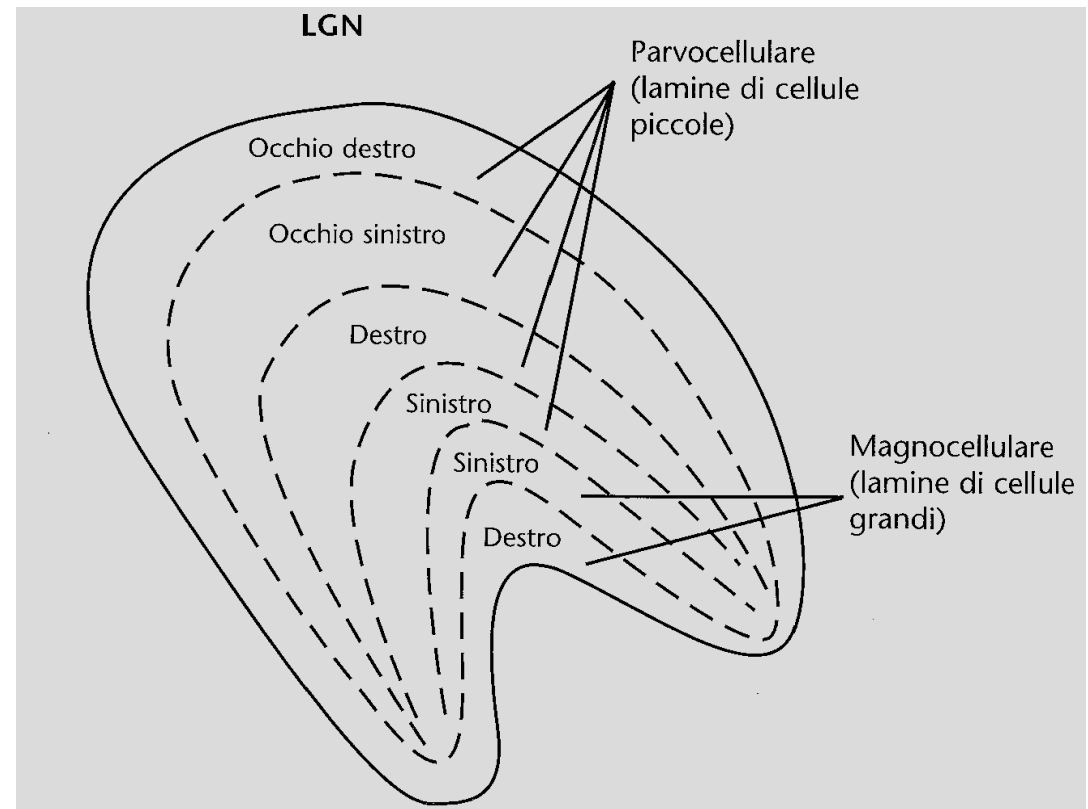
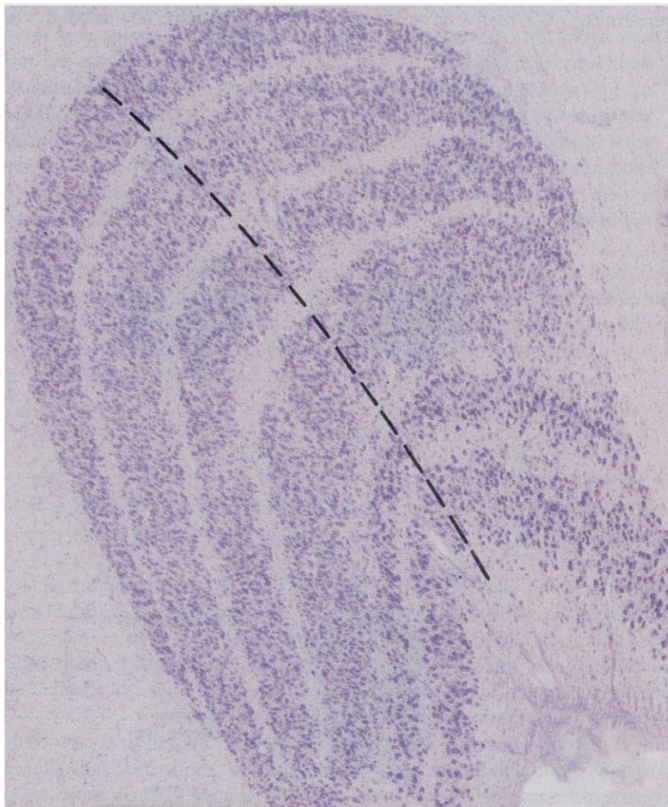
http://boccignone.di.unimi.it/PMP_2018.html

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



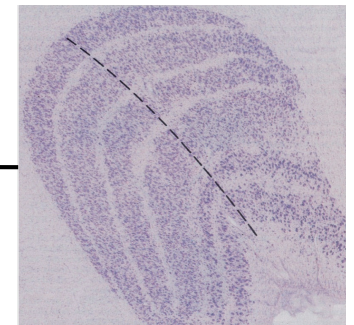
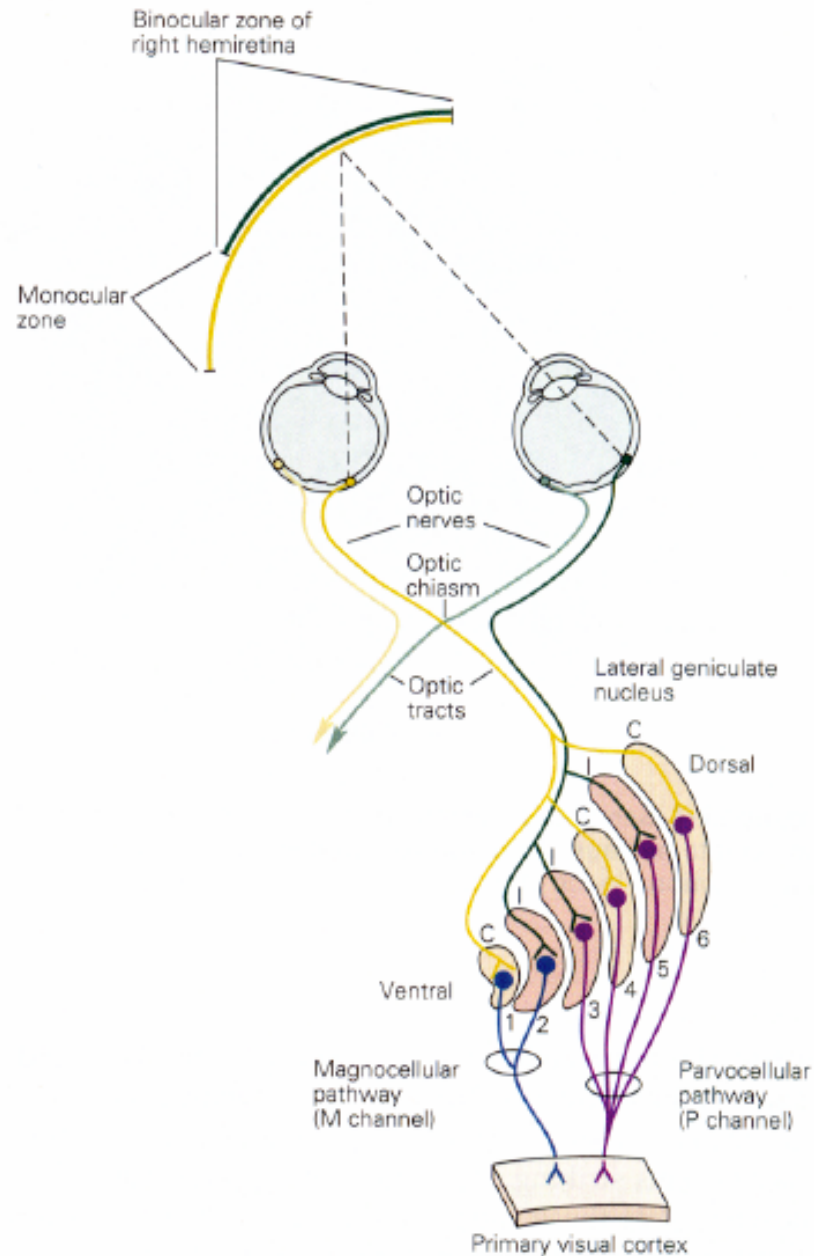
Visione spaziale: //il nucleo genicolato laterale (NGL)

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



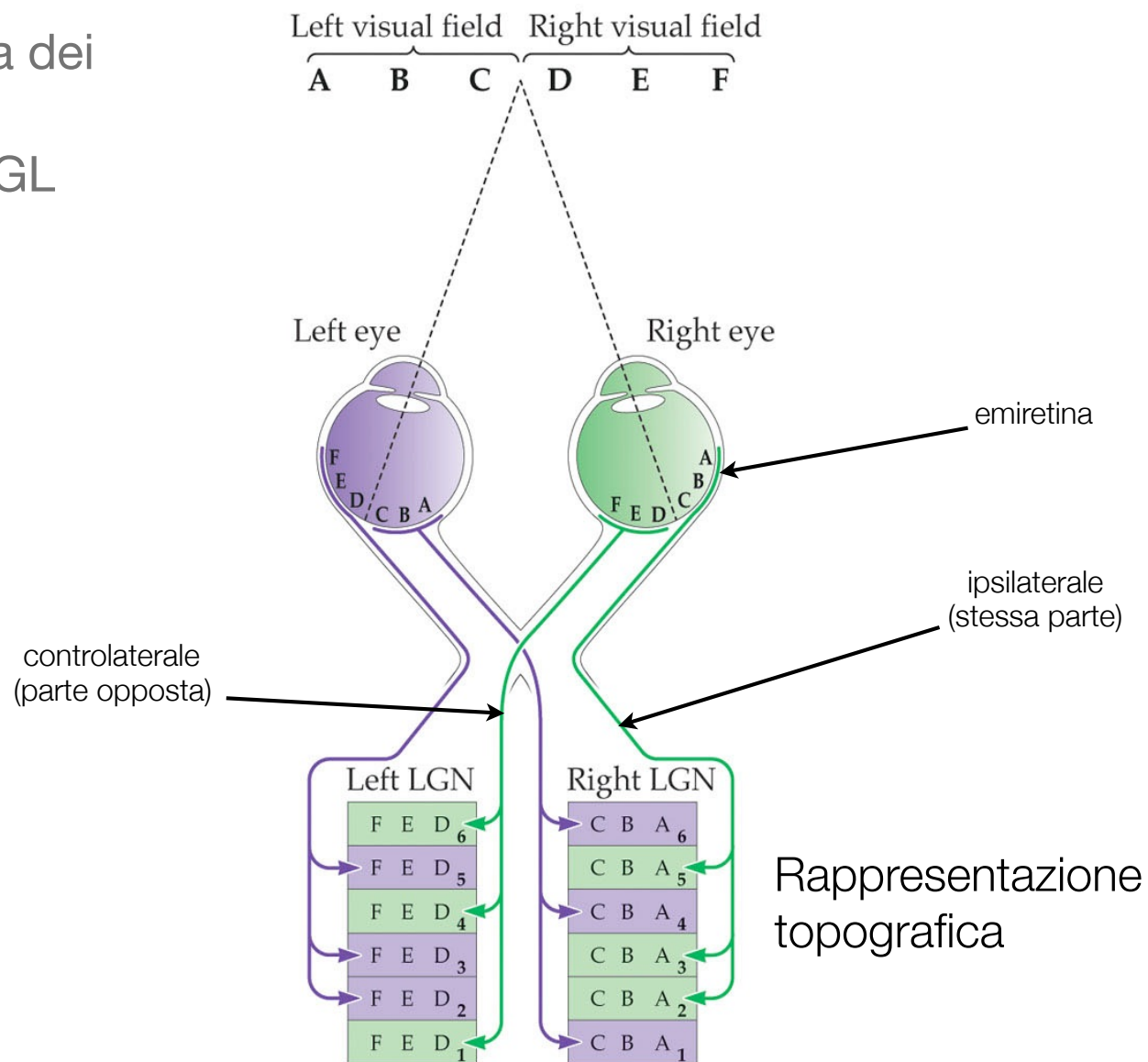
Visione spaziale: //il nucleo genicolato laterale (NGL)

- 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



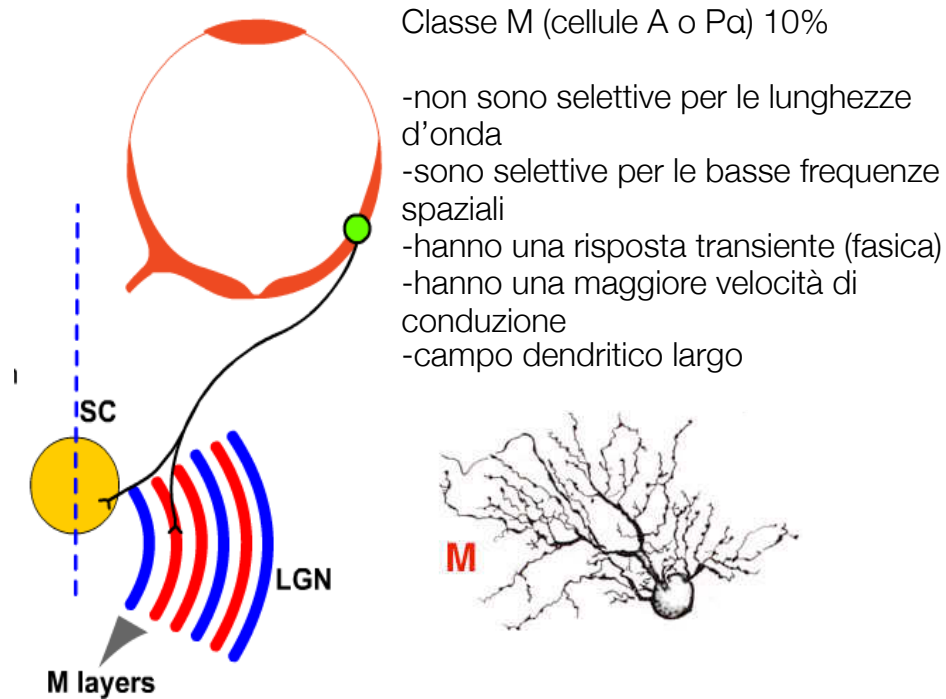
Visione spaziale: //il nucleo genicolato laterale (NGL)

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



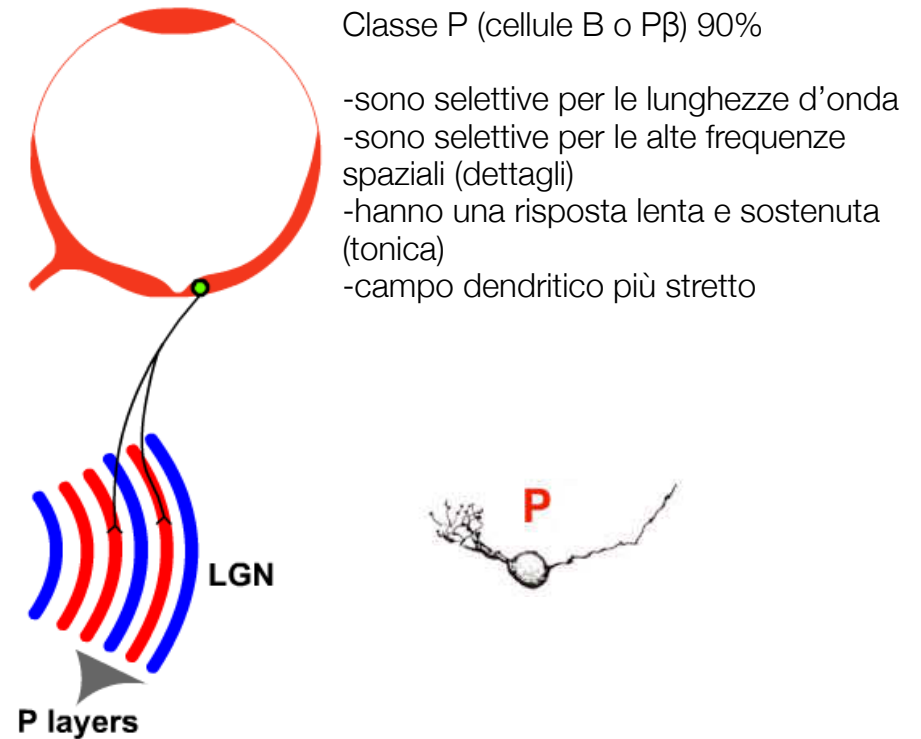
Il nucleo genicolato laterale (NGL)

// cellule magno e parvo



Strati magnocellularari del NGL

Analisi di movimento

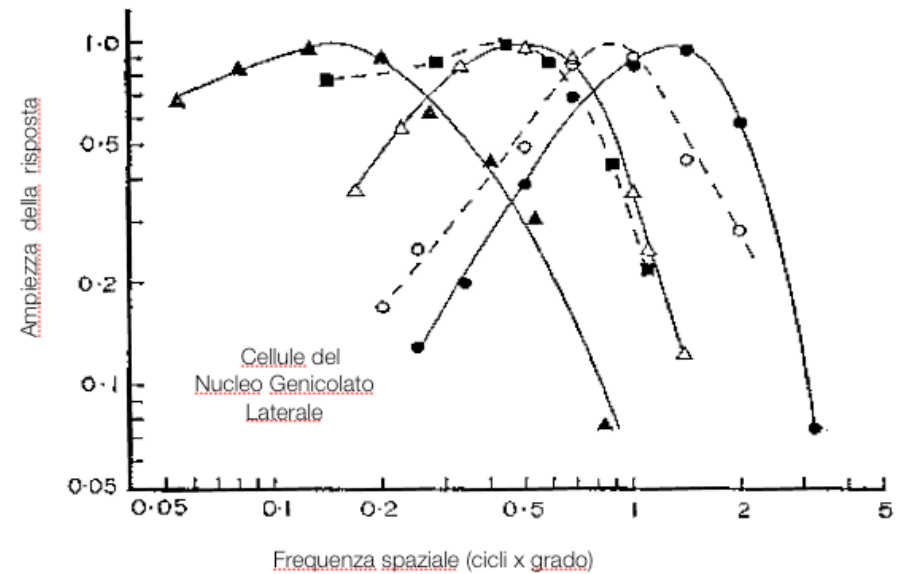
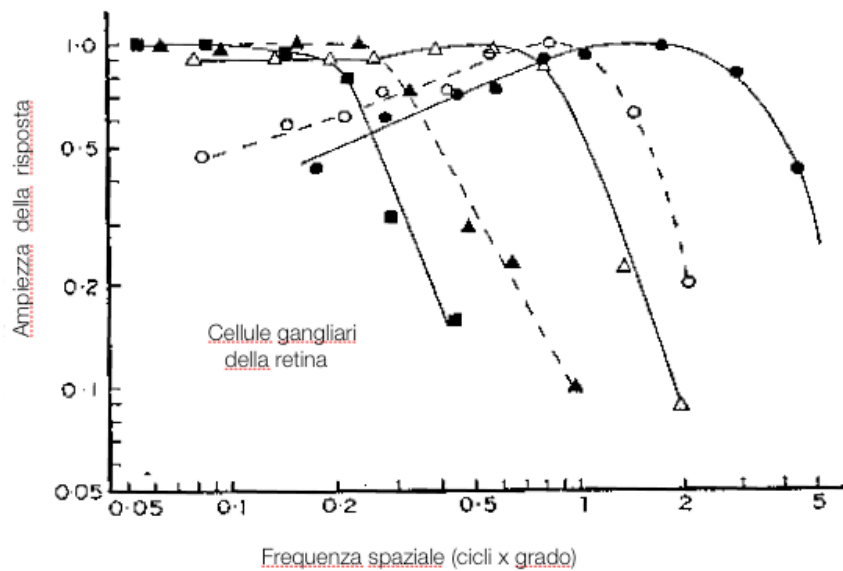


Strati parvocellularari del NGL

Analisi di forme e colore

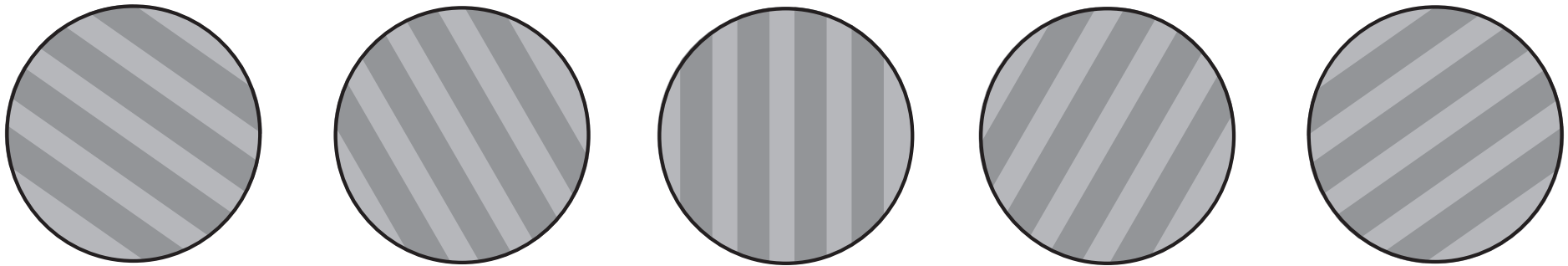
Il nucleo genicolato laterale (NGL)

//selettività alle frequenze spaziali



Ciò che retina e NGL non spiegano

//livello psicologico: adattamento selettivo



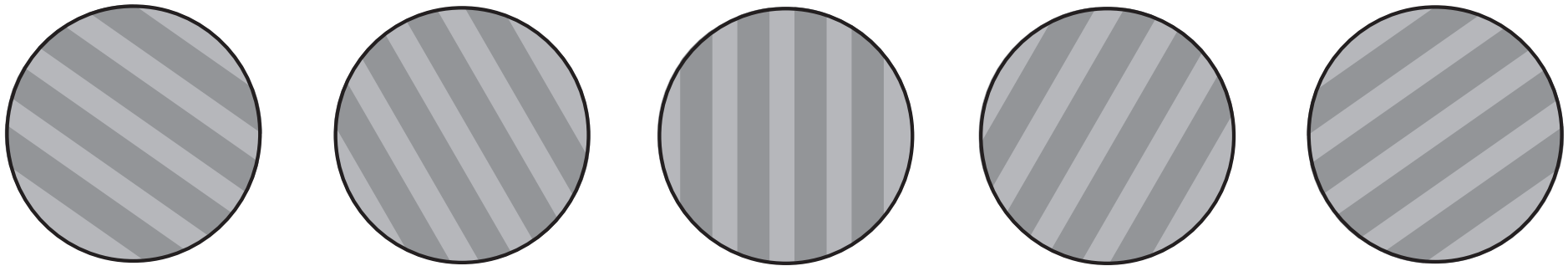
La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo



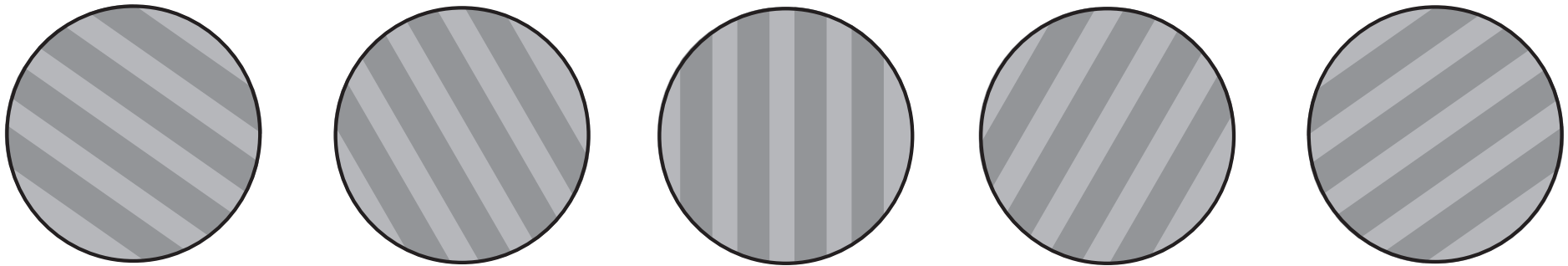
La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

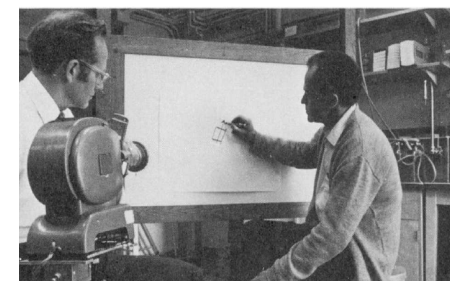


La corteccia striata

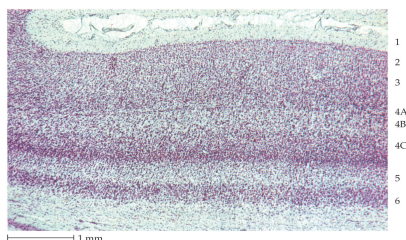
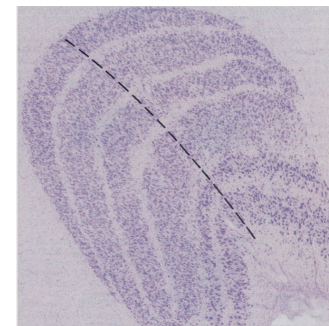
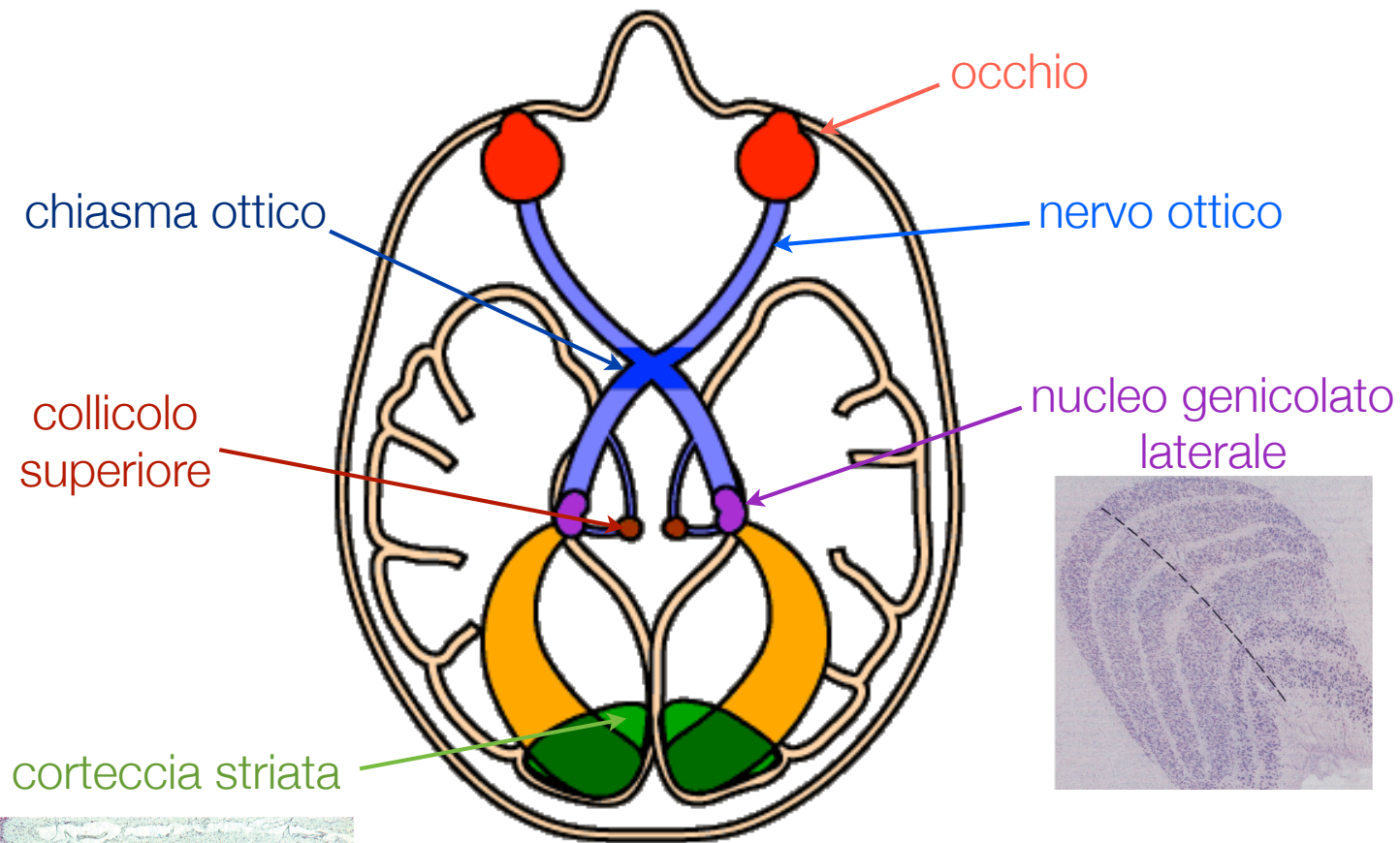
//adattamento selettivo:demo



Visione spaziale: //la corteccia striata

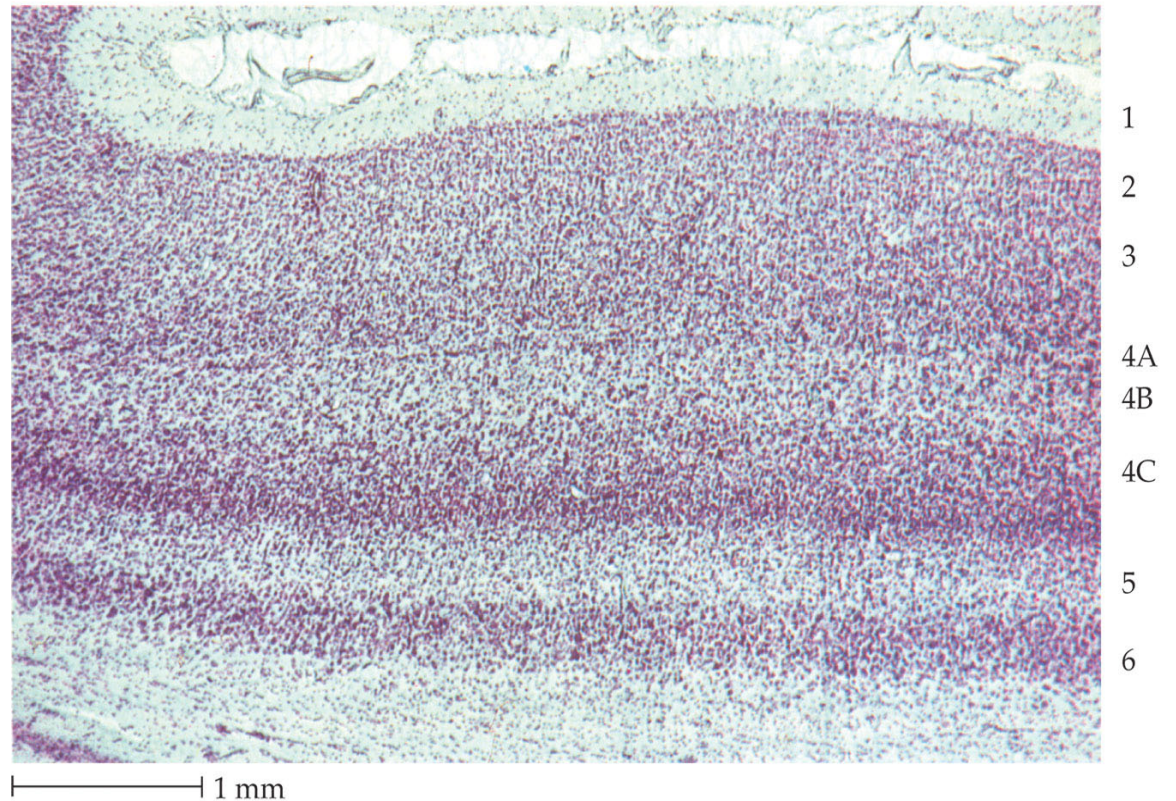


David Hubel e Torsten Wiesel

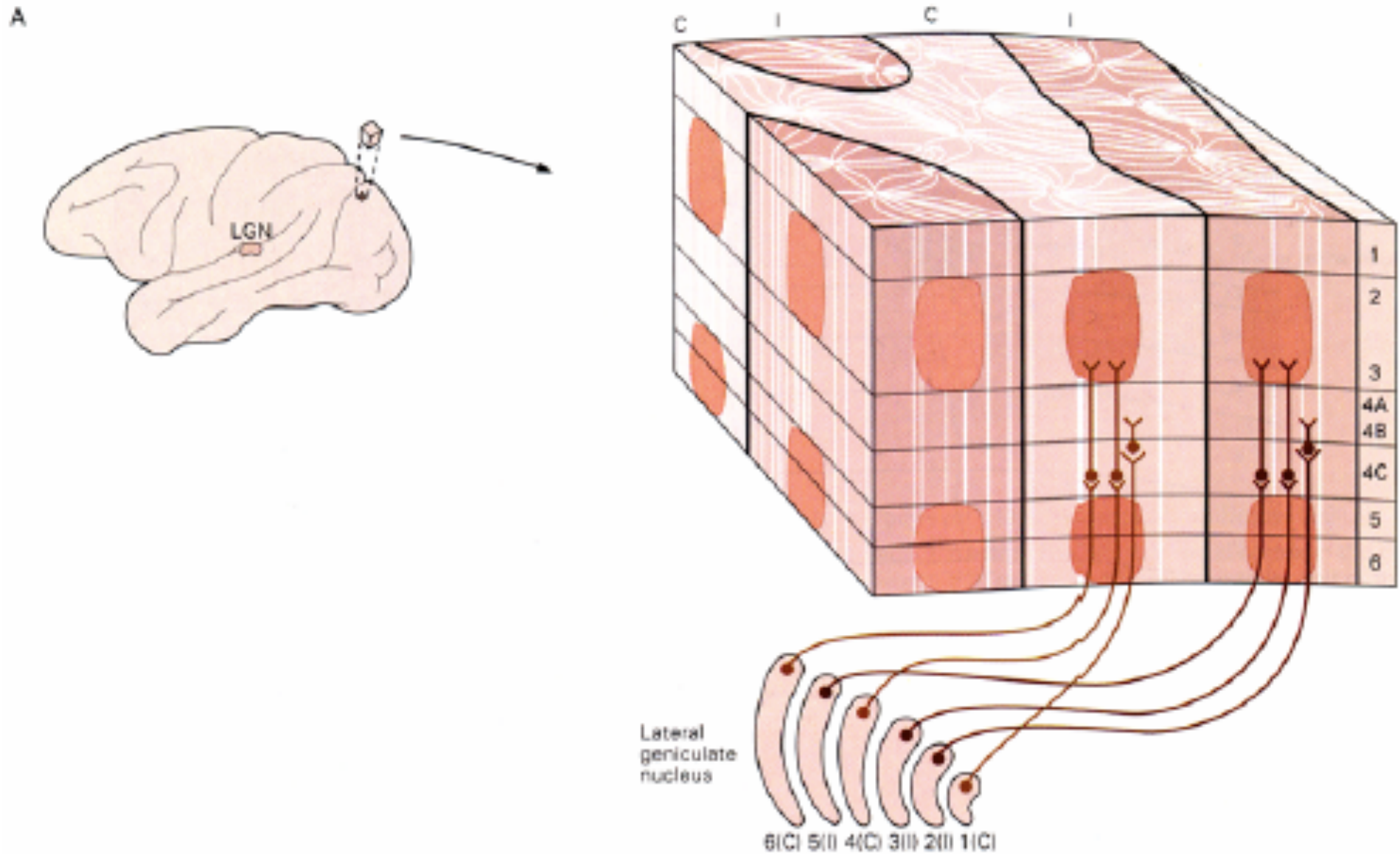


Visione spaziale: //la corteccia striata

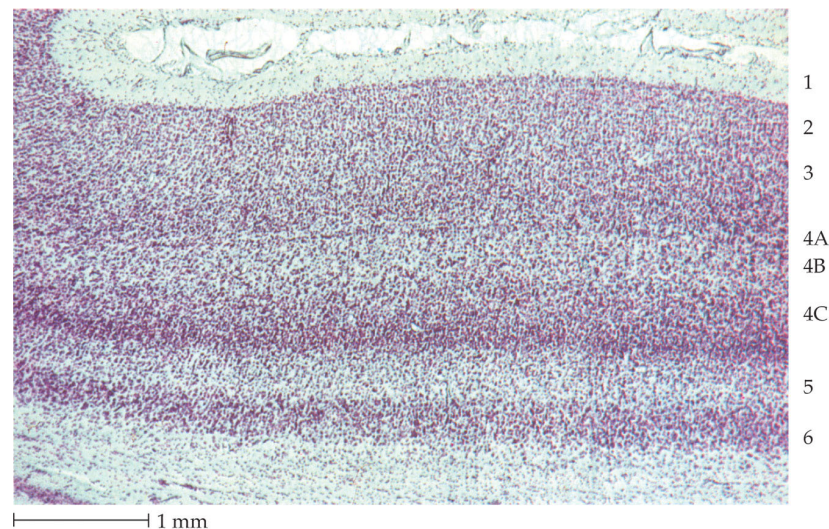
- Anche conosciuta come corteccia visiva primaria o V1
- Le maggiori trasformazioni dell'informazioni visiva hanno luogo nella corteccia striata
- Contiene circa 200 MILIONI di cellule



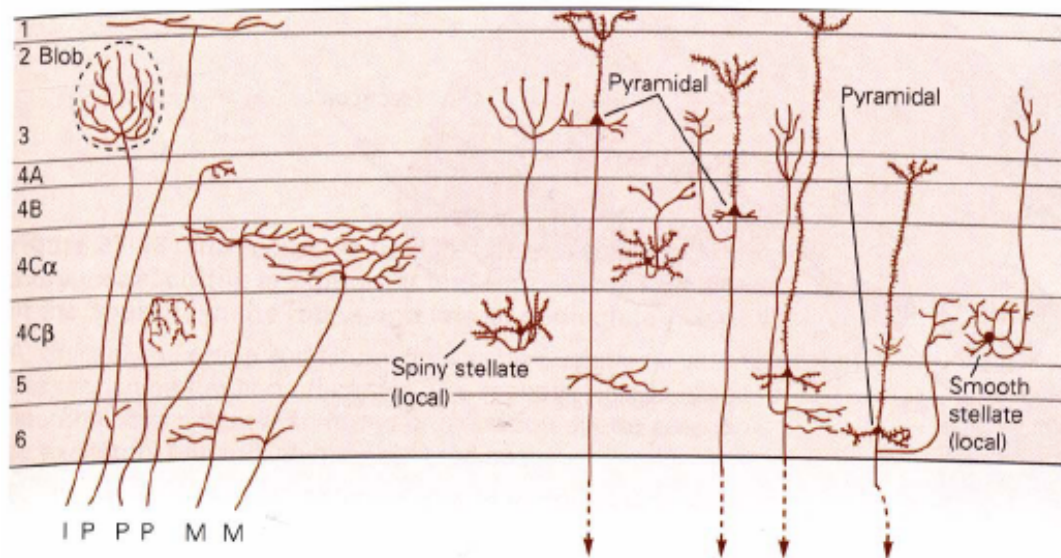
Visione spaziale: //la corteccia striata



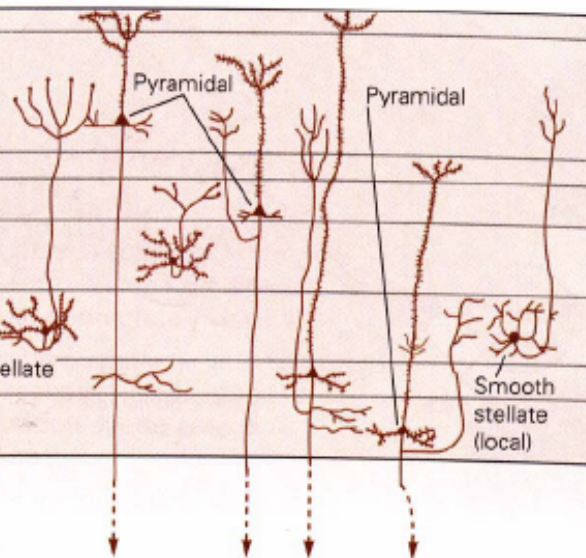
Visione spaziale: //la corteccia striata



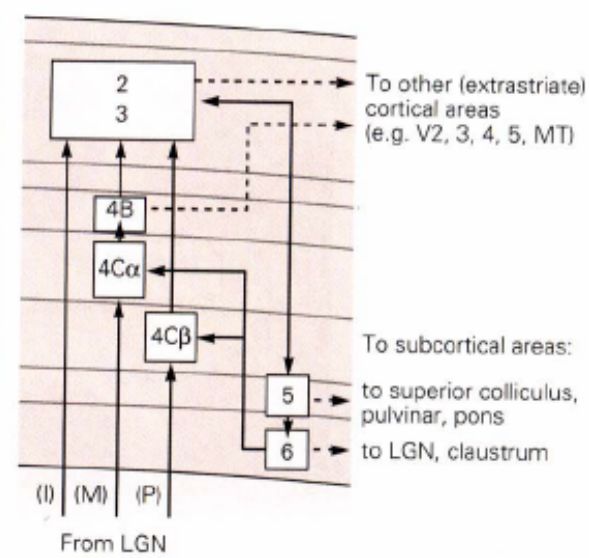
A Inputs from lateral geniculate nucleus



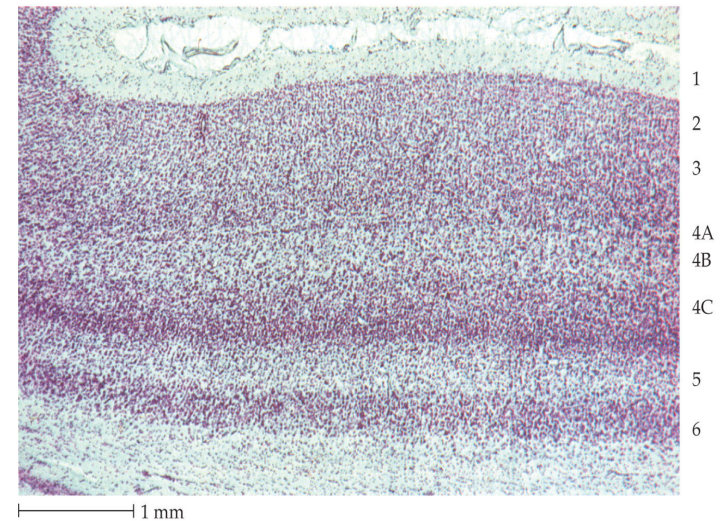
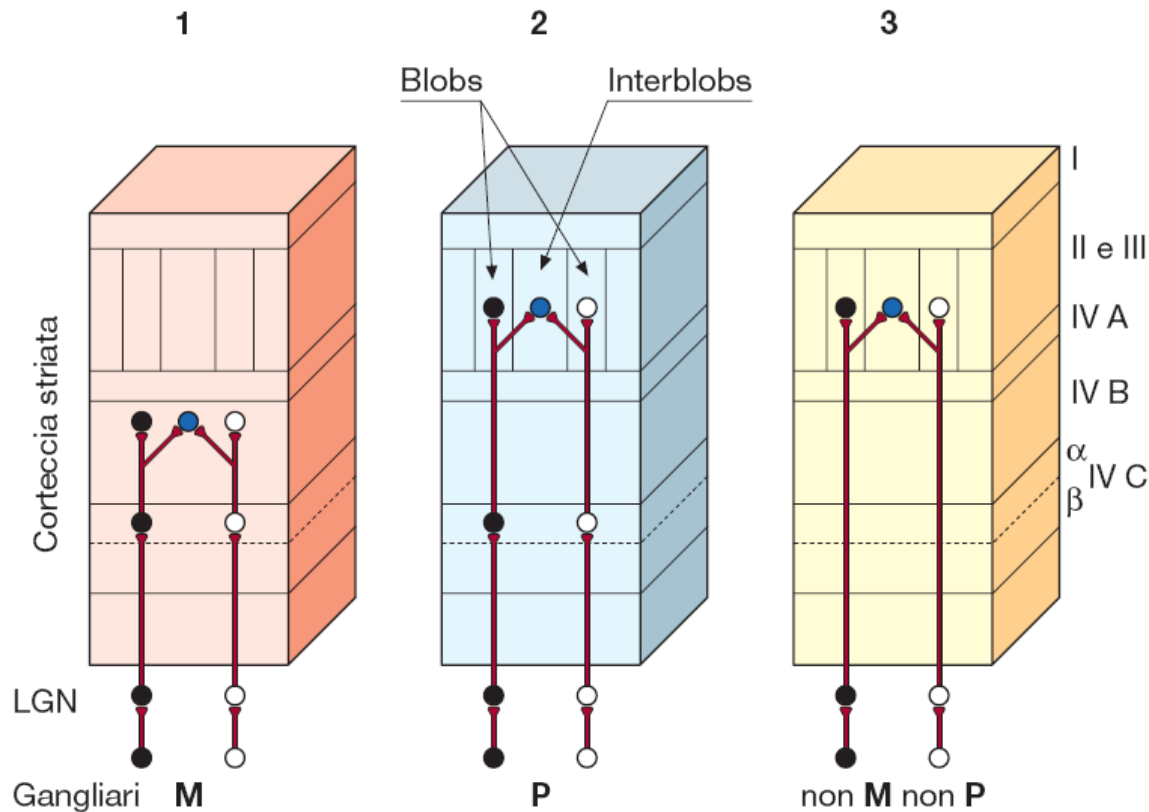
B Resident cells



C Information flow



Visione spaziale: //la corteccia striata: selezione informazione



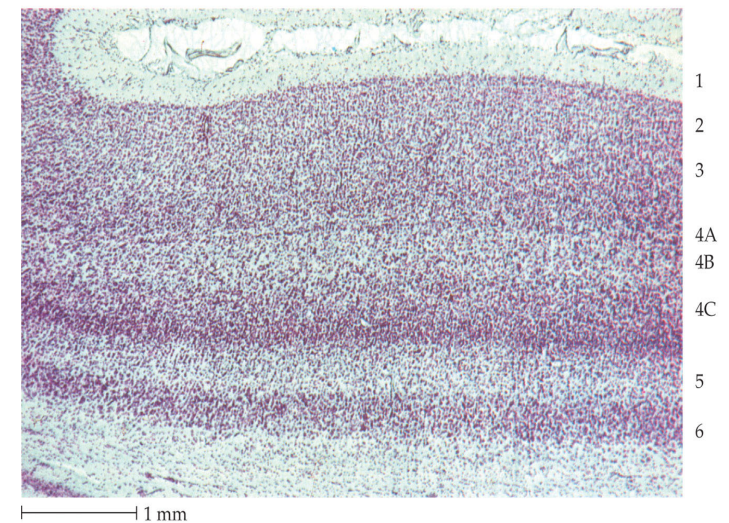
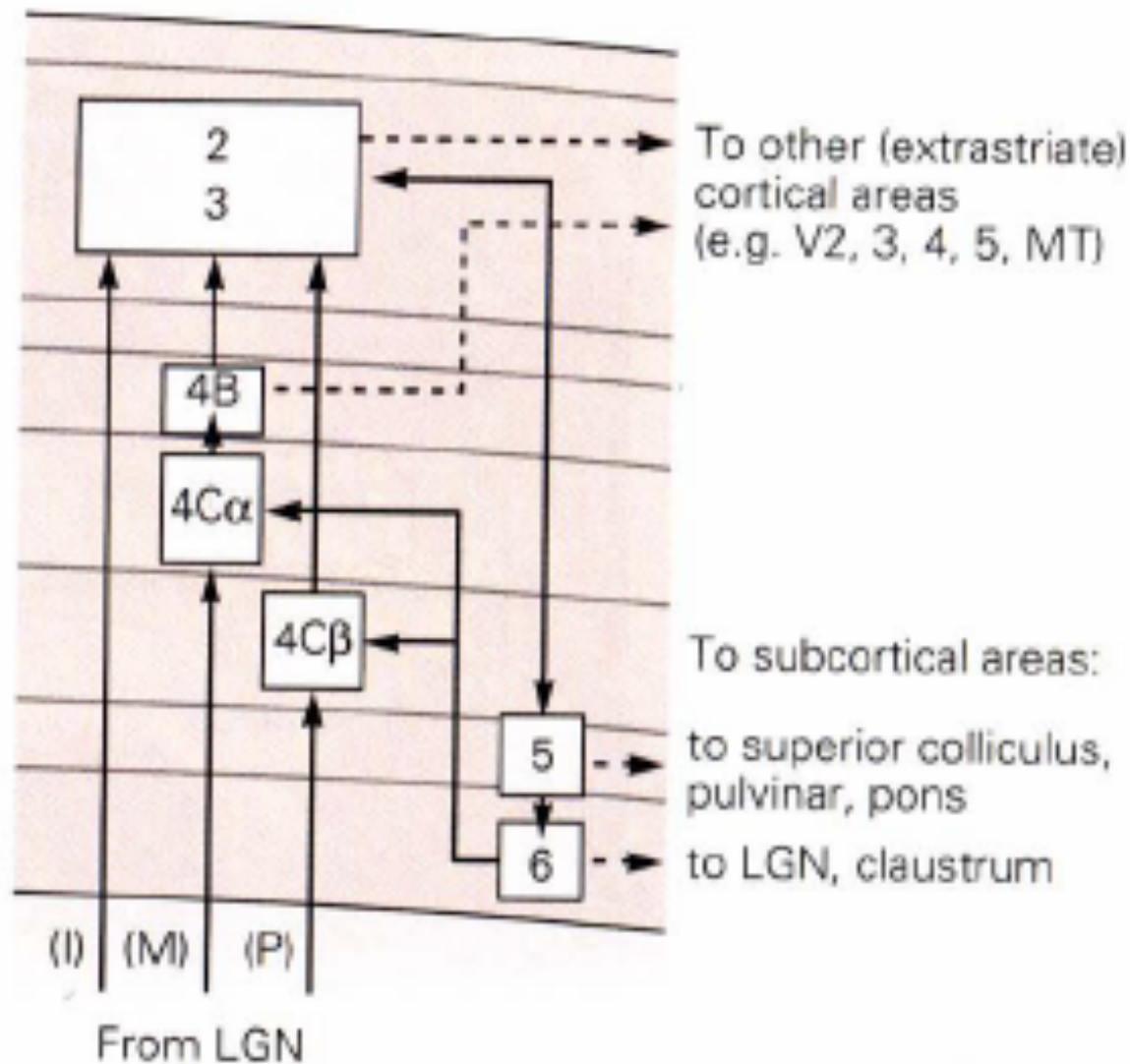
Via magnocellulare:
localizzazione e
movimento
(dove)

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

Vie binoculari
tridimensionalità
dell'oggetto

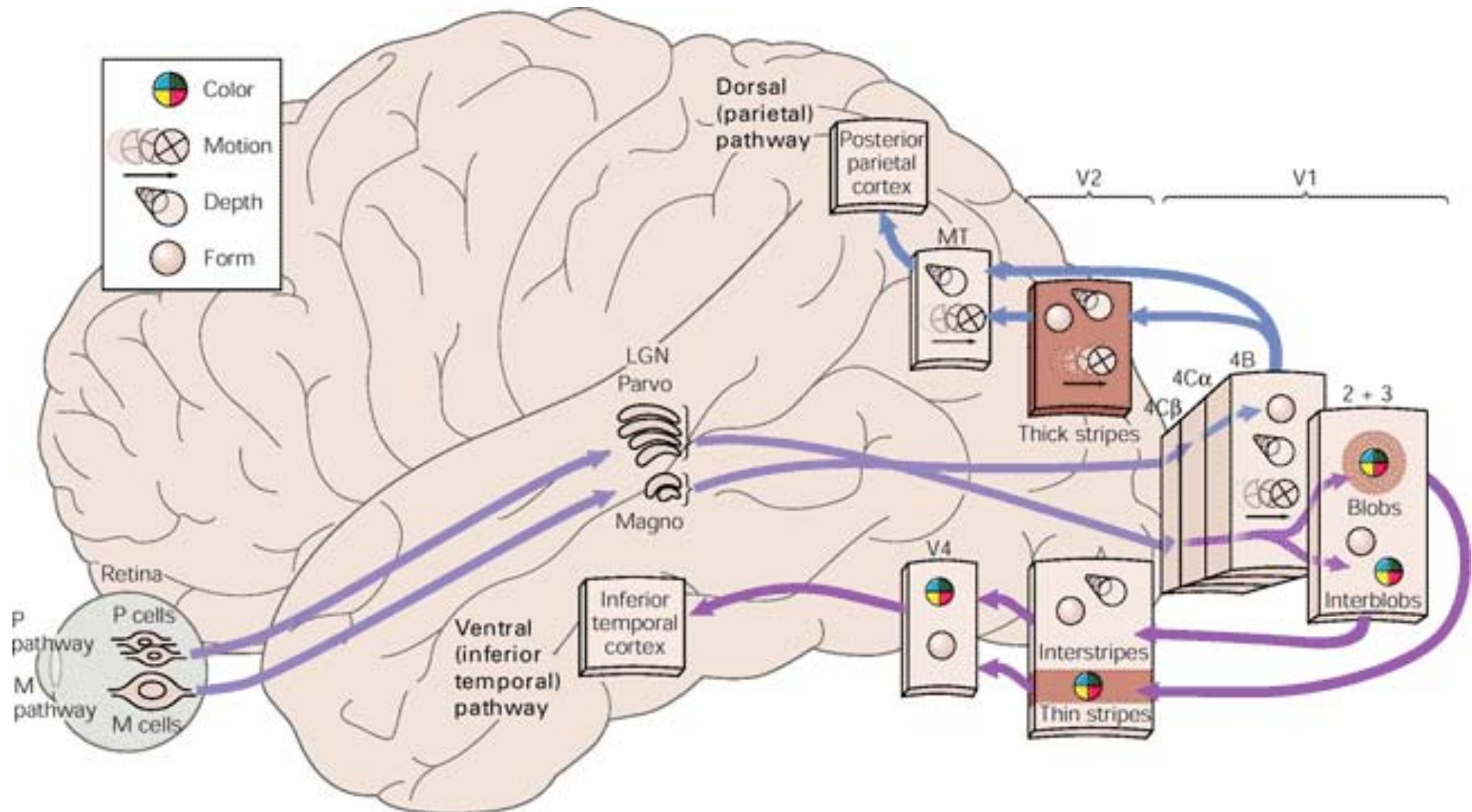
Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione



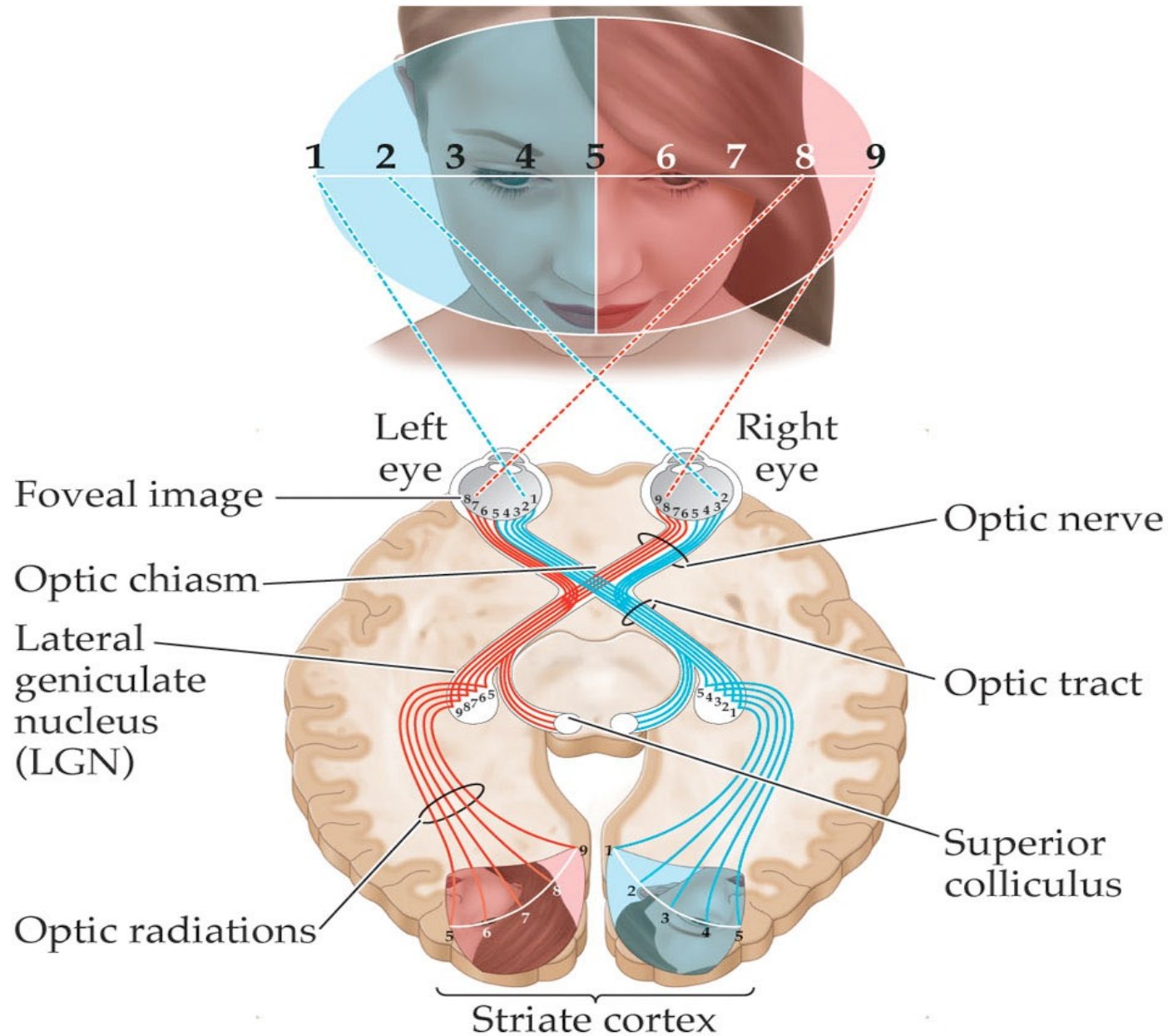
Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione



Visione spaziale:

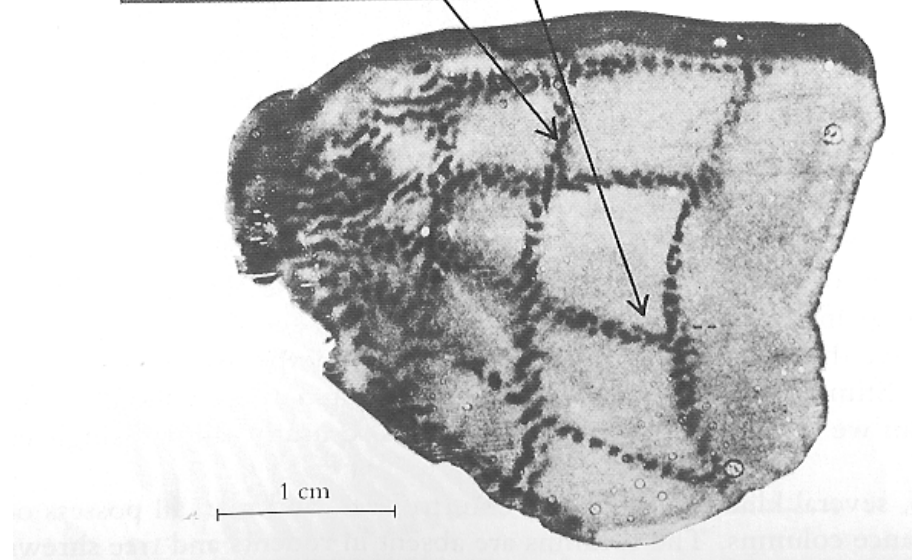
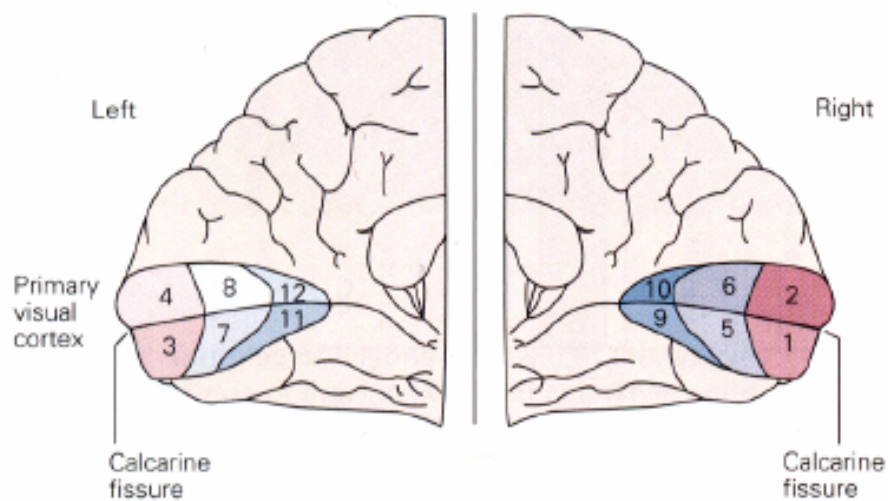
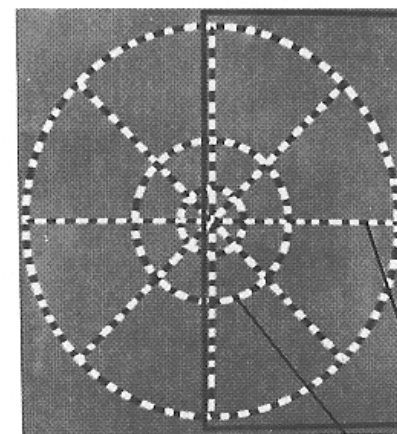
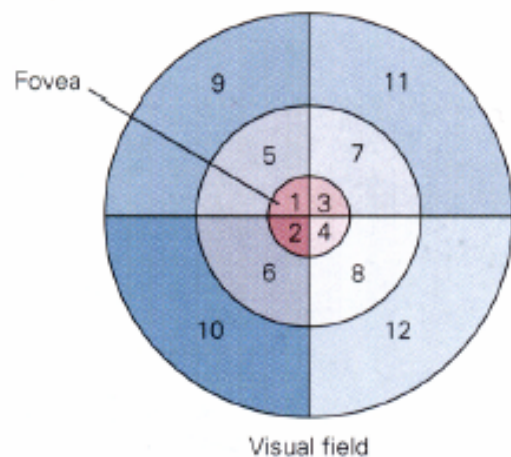
//la corteccia striata: mappatura topografica



Corteccia striata:

//mappatura topografica e multirisoluzione

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



Visione spaziale:

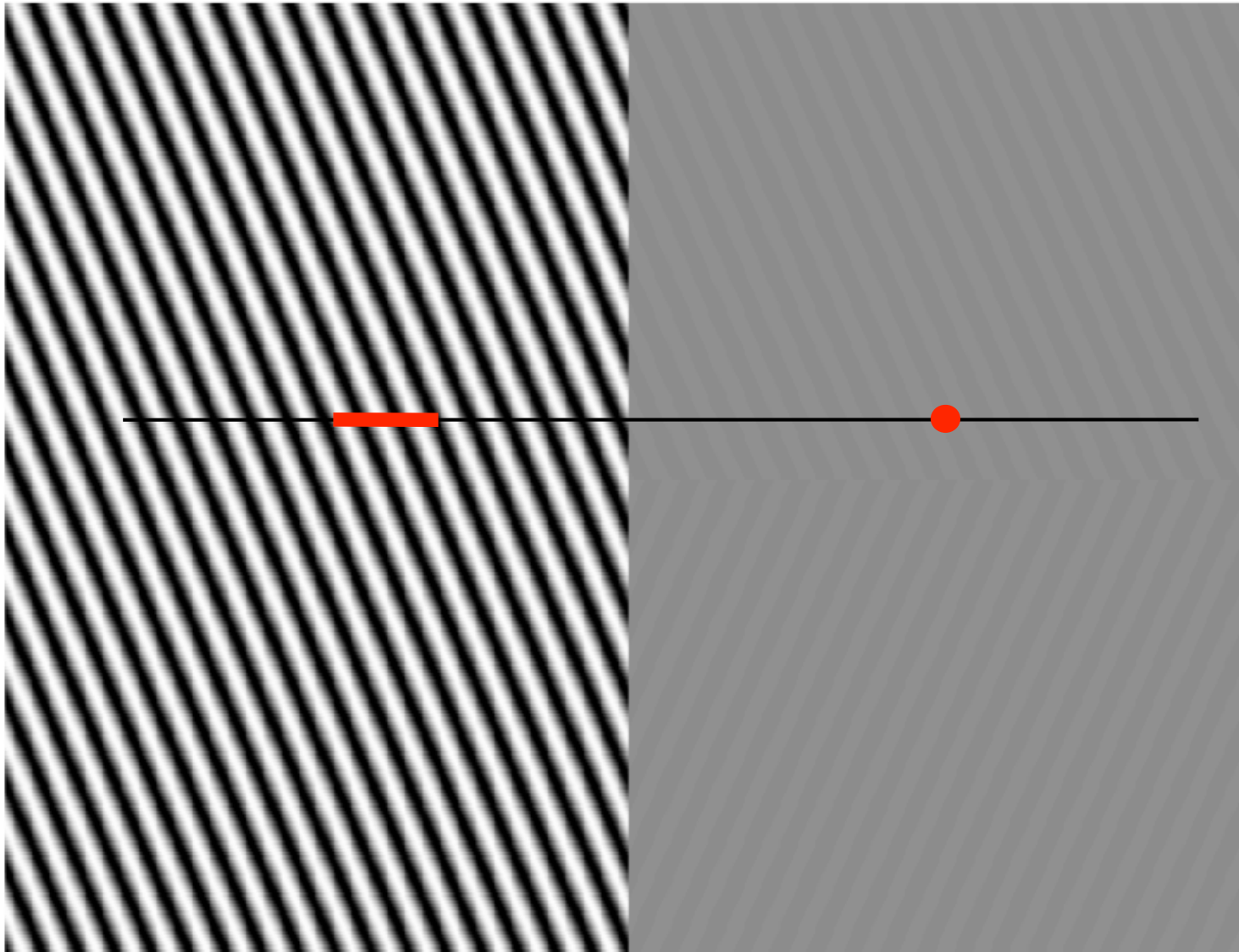
//la corteccia striata: mappatura topografica

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



La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo



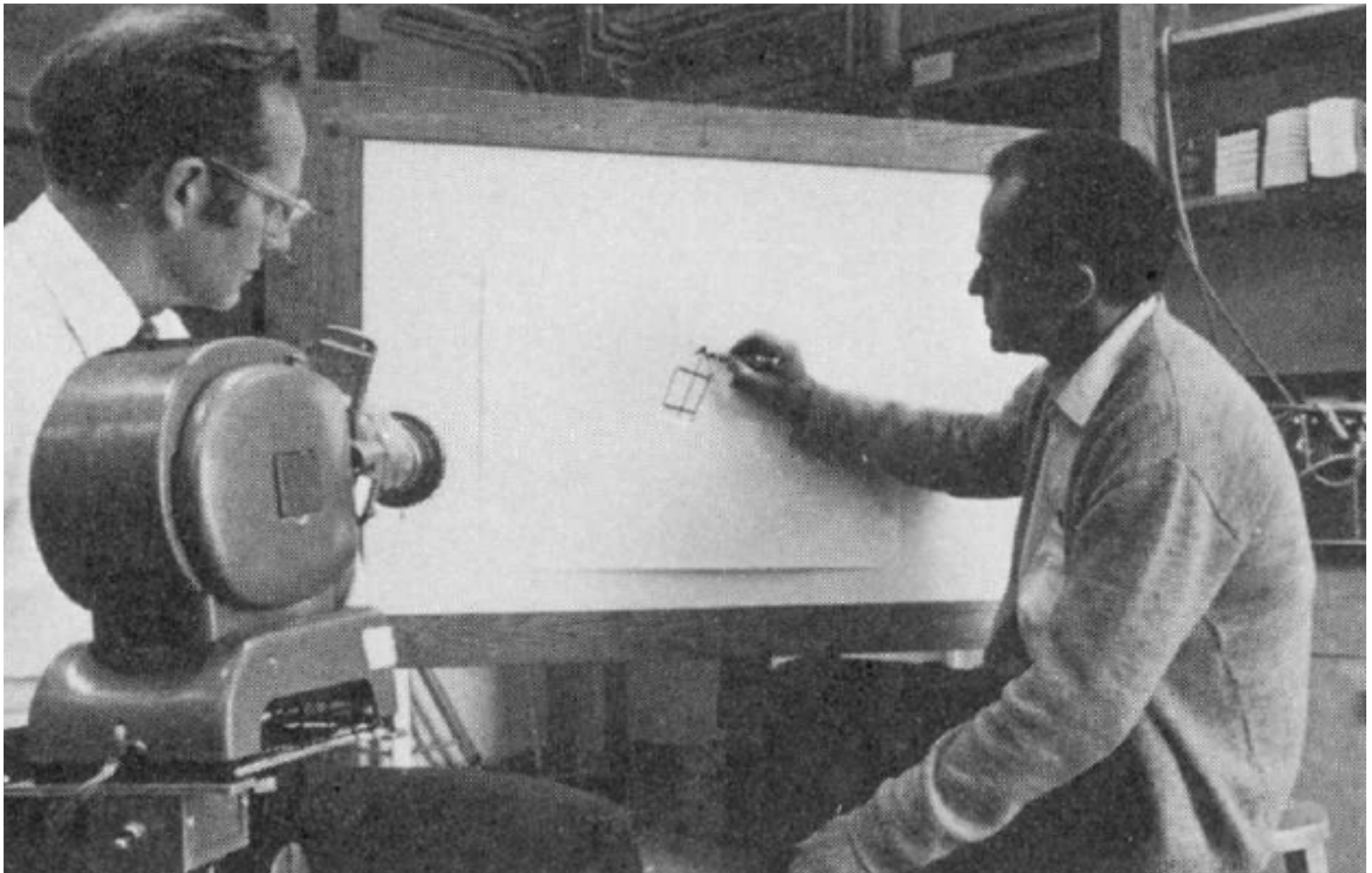
La corteccia striata

//adattamento selettivo: 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:

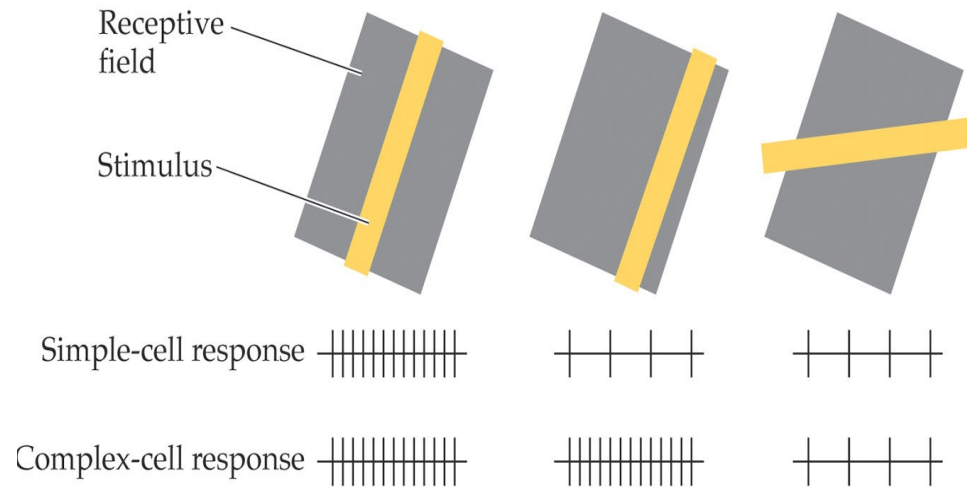
//la corteccia striata: Hubel e Wiesel



La corteccia striata

//campi recettivi: rilevamento di features

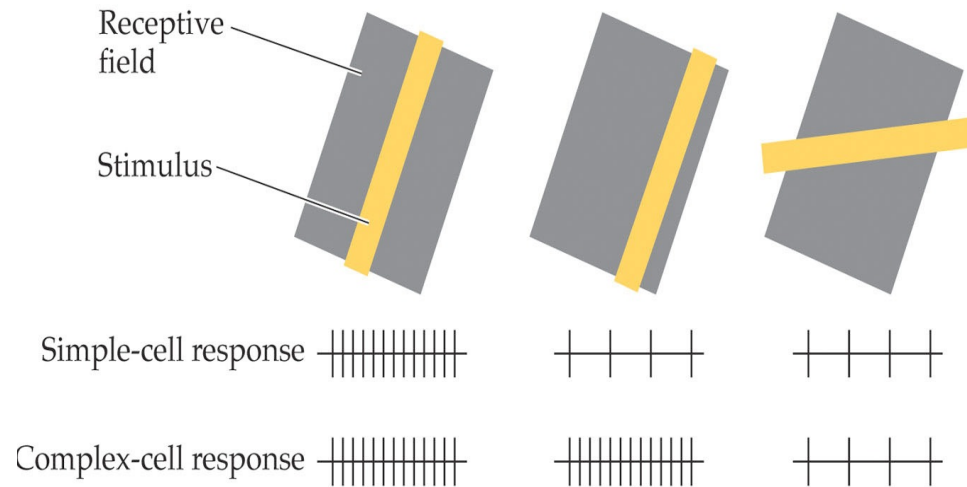
- Cellule semplici vs. cellule complesse



La corteccia striata

//campi recettivi: rilevamento di features

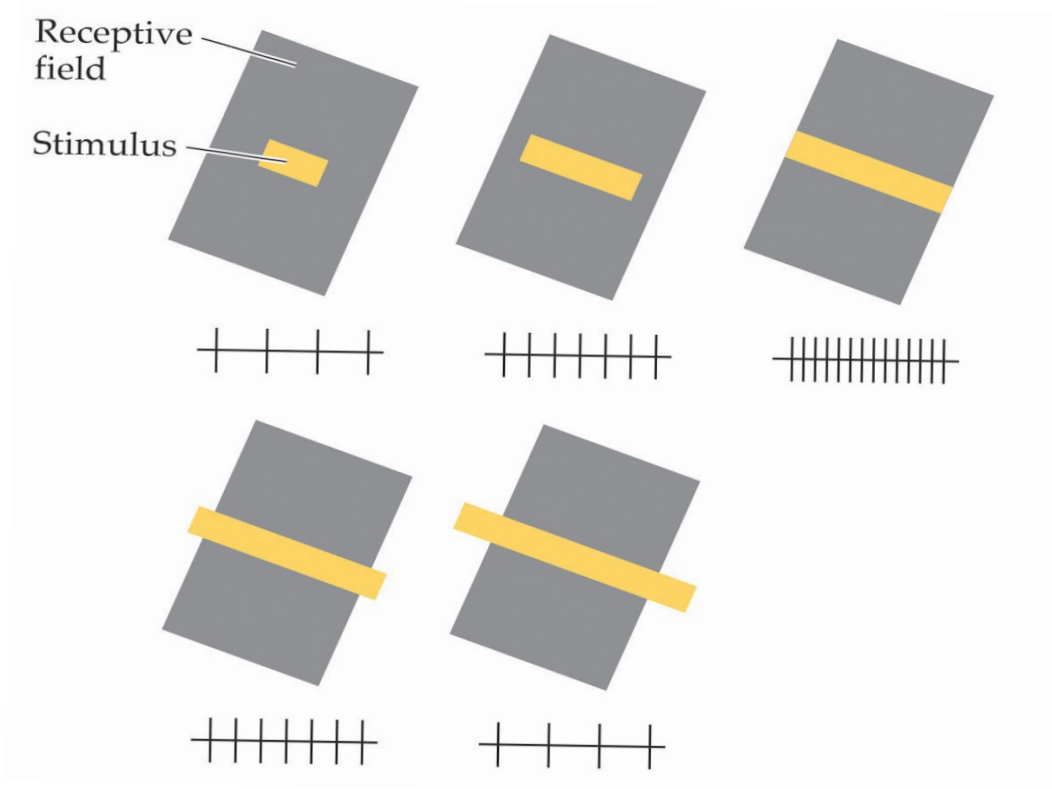
- Cellule semplici vs. cellule complesse



La corteccia striata

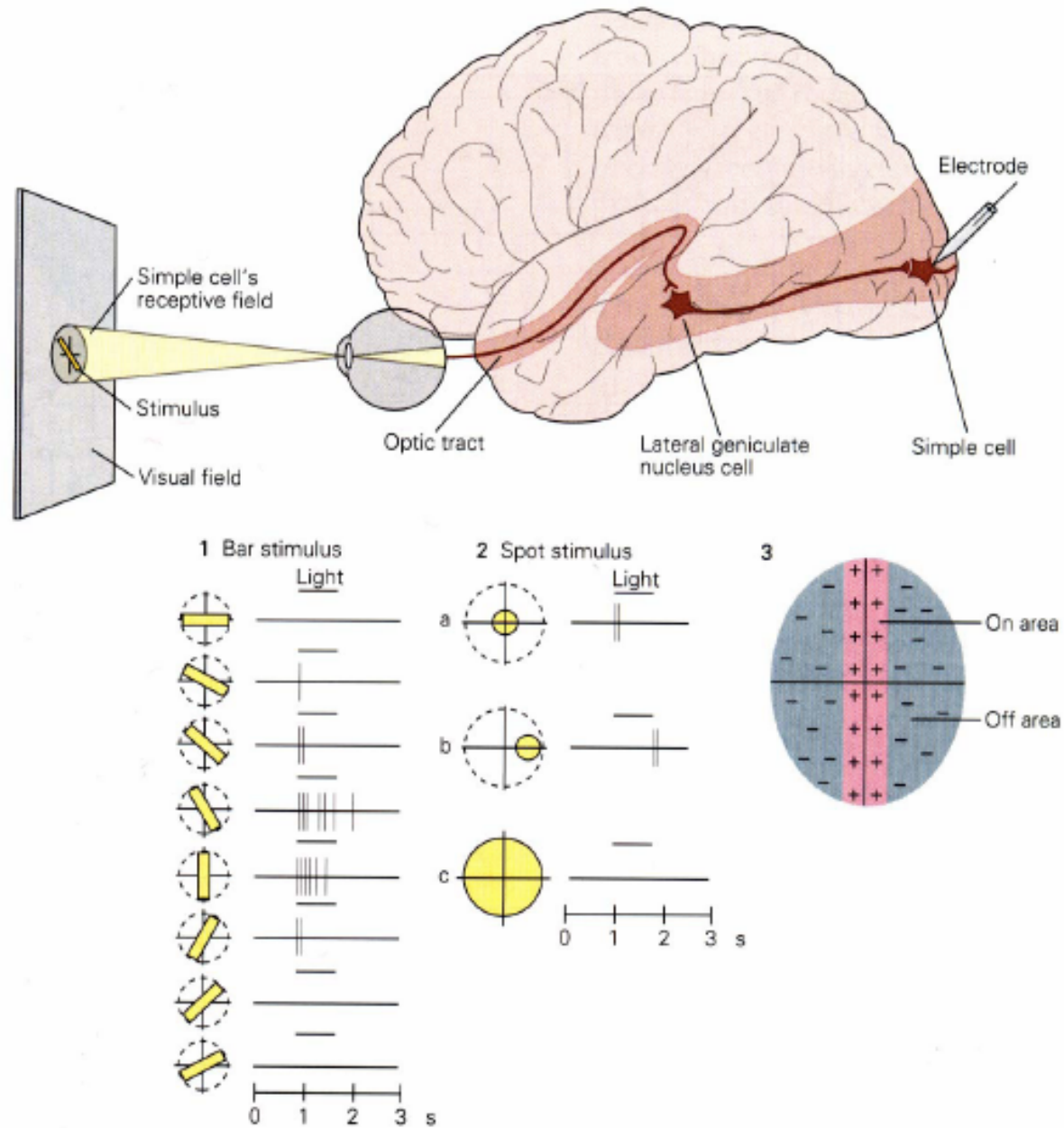
//campi recettivi: rilevamento di features

- 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

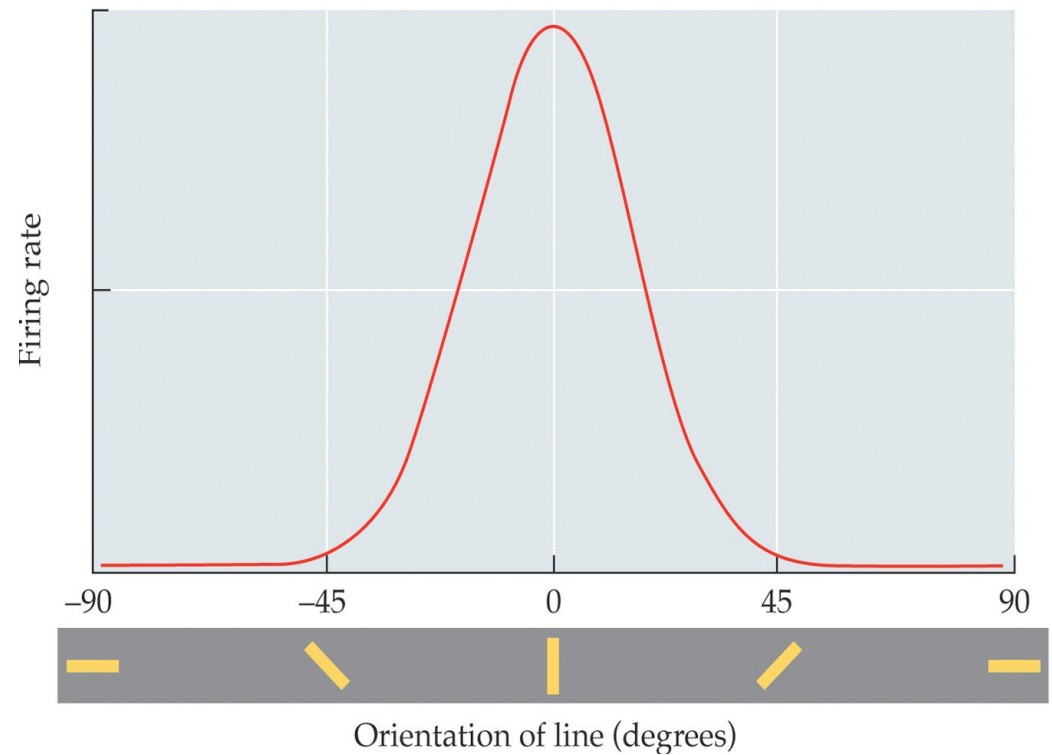
//campi recettivi: orientamento



La corteccia striata

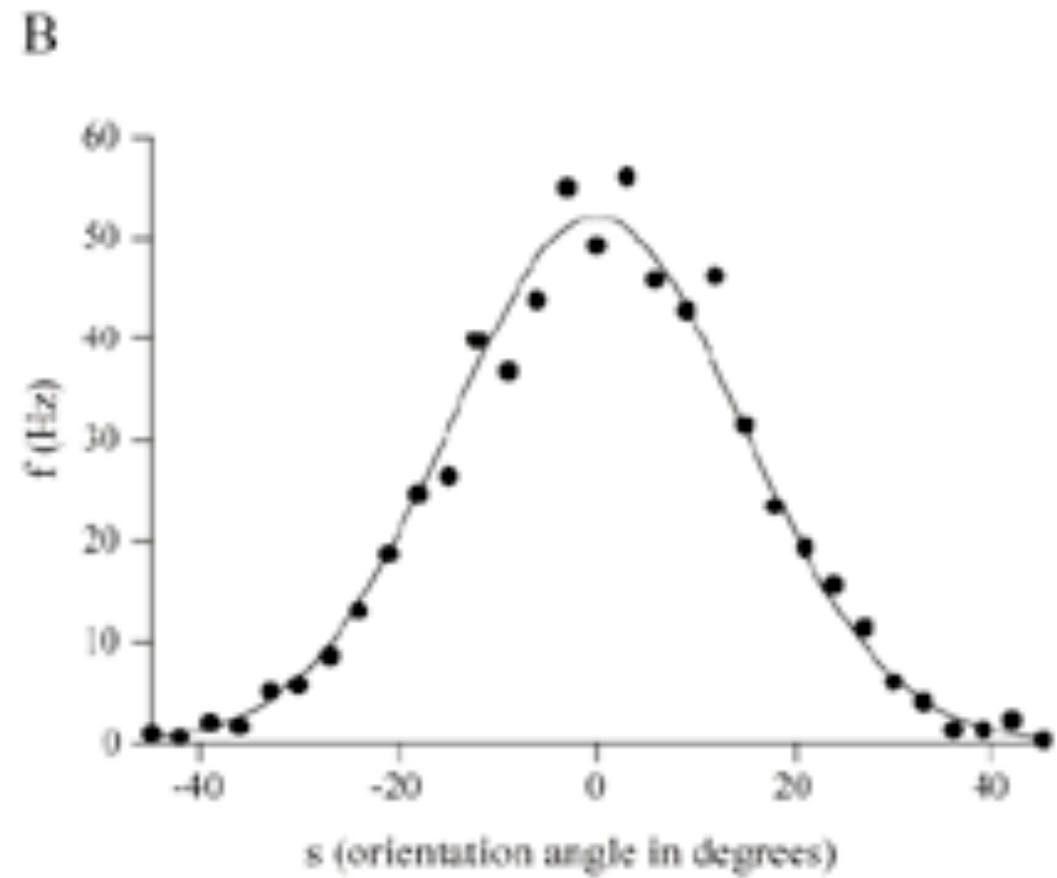
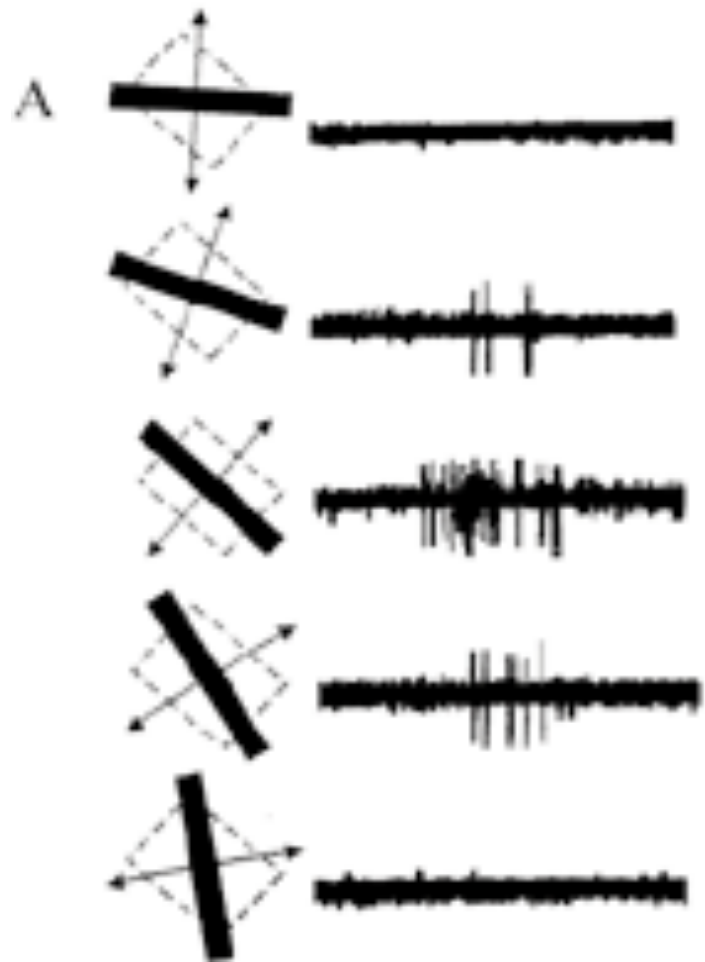
//campi recettivi: orientamento

- 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

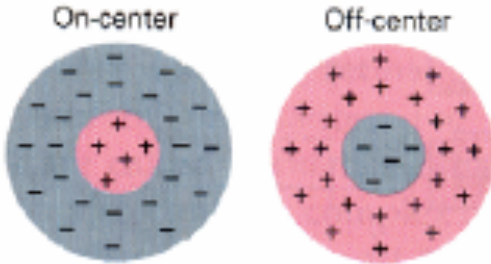
//campi recettivi: orientamento



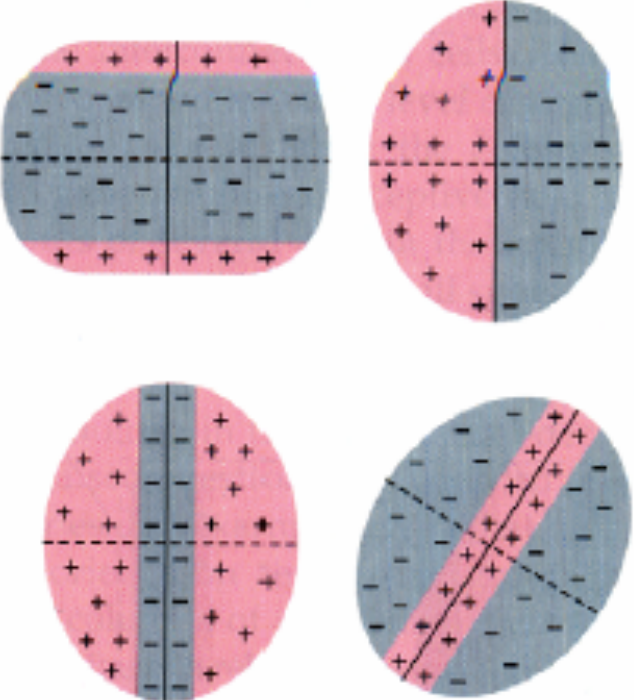
La corteccia striata

//campi recettivi: orientamento

A Receptive fields of concentric cells of retina and lateral geniculate nucleus



B Receptive fields of simple cells of primary visual cortex

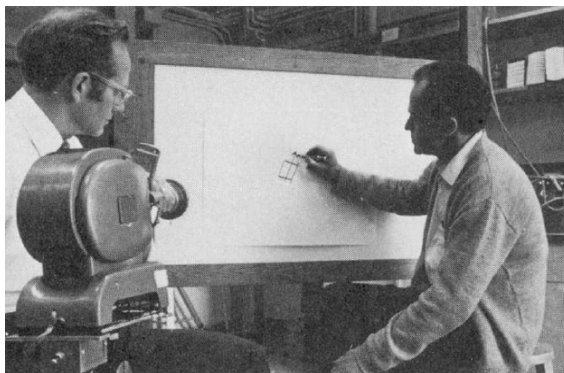


La corteccia striata

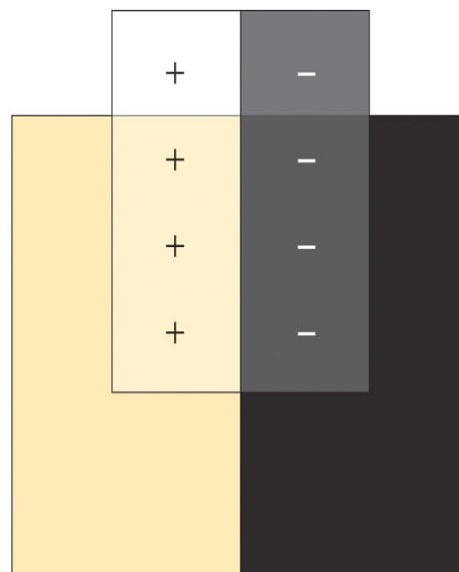
//campi recettivi: rilevamento di features

- Molte cellule corticali rispondo preferentemente a:

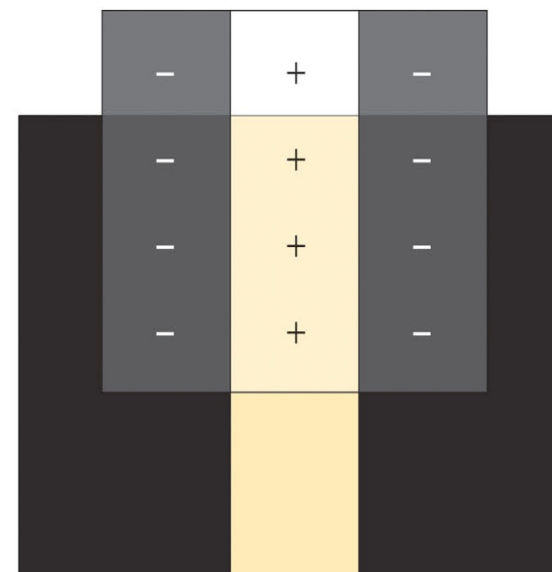
- Linee in movimento
- Barre
- Contorni
- Reticoli
- Direzioni di spostamento



Cellule semplici



Rilevatori di bordi
(Edge detector)

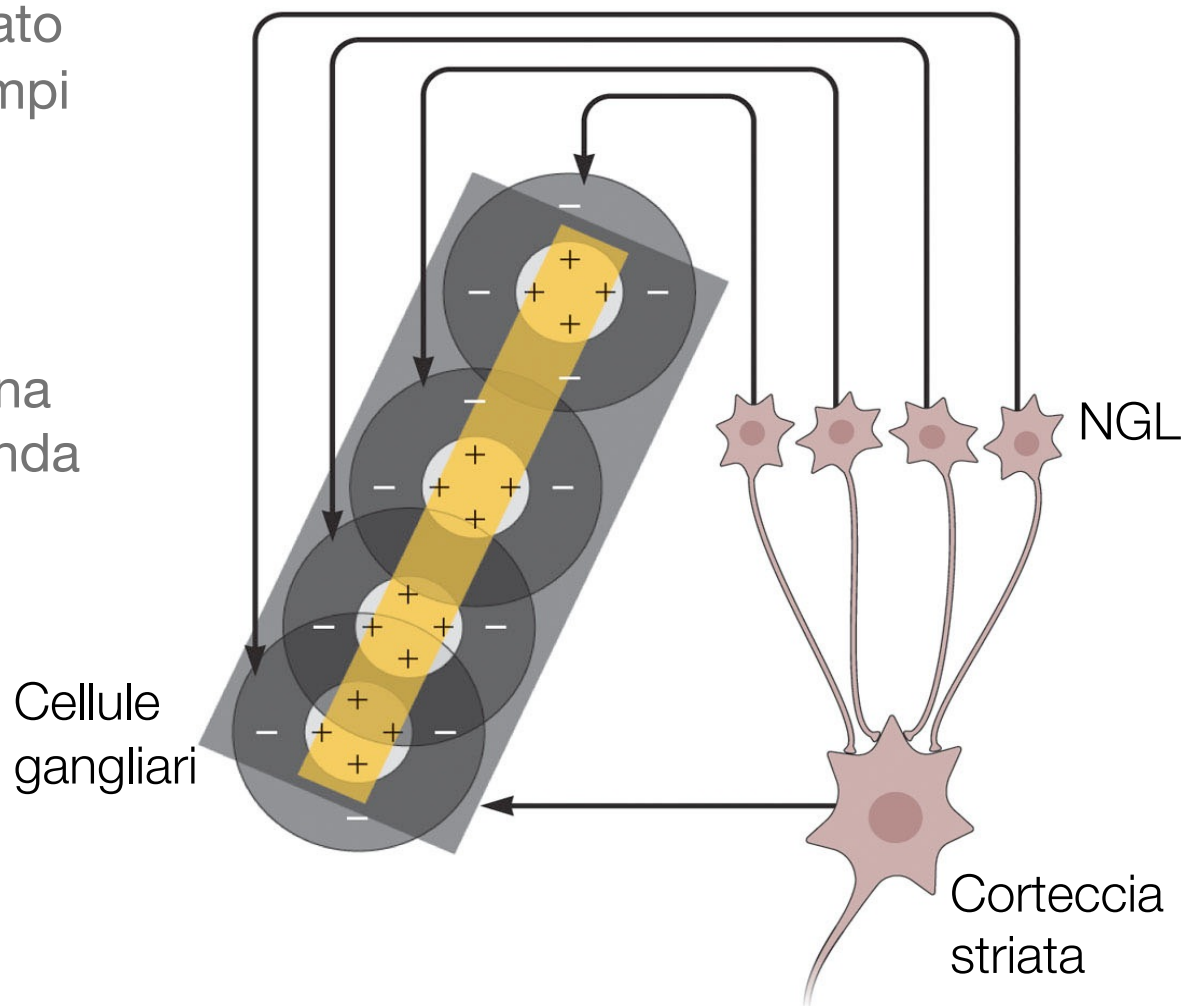
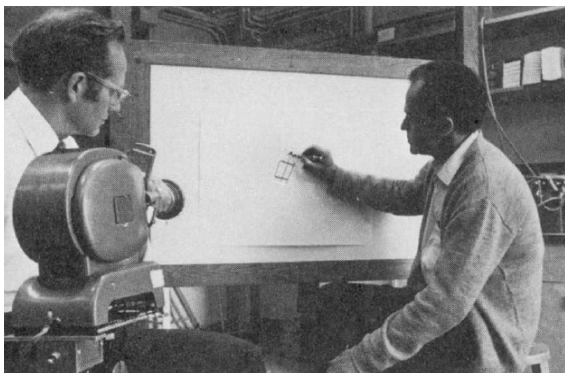


Rilevatori di strisce
(Stripe detector)

La corteccia striata

//campi recettivi: rilevamento di features

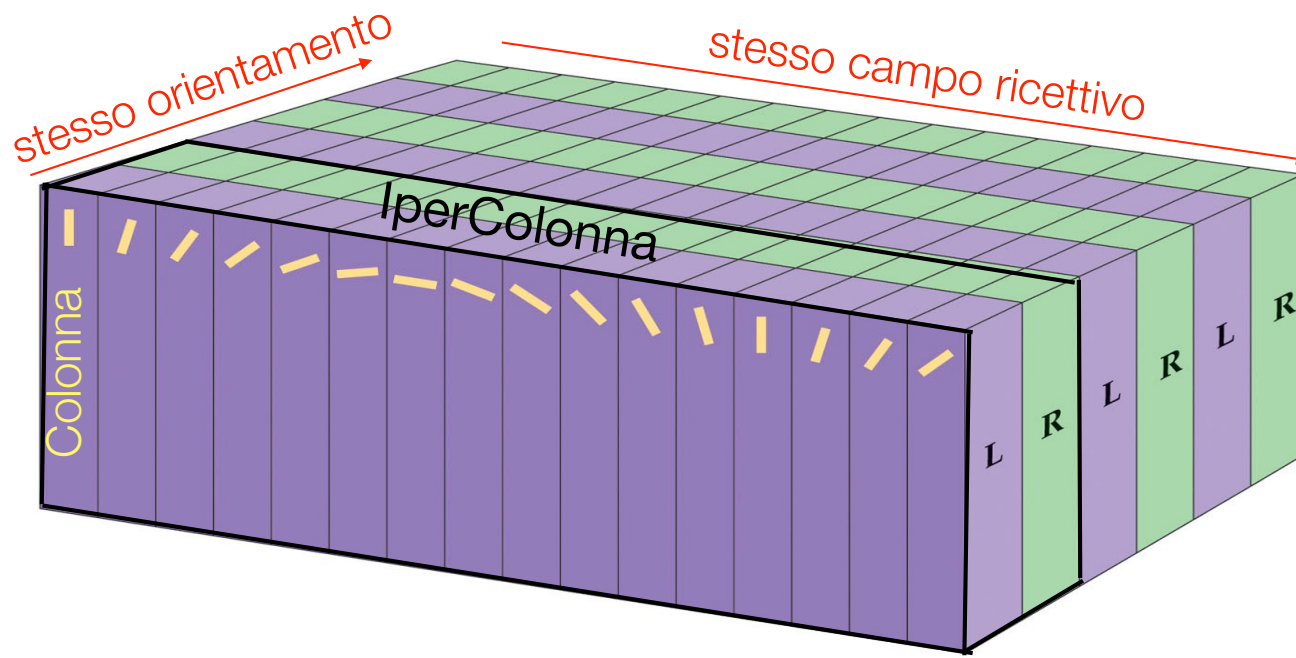
- Come possono i campi recettivi circolari del Nucleo Genicolato Laterale trasformarsi nei campi recettivi allungati della corteccia striata?
- Hubel e Wiesel proposero una spiegazione a questa domanda davvero molto semplice



La corteccia striata

//campi recettivi: colonne e ipercolonne

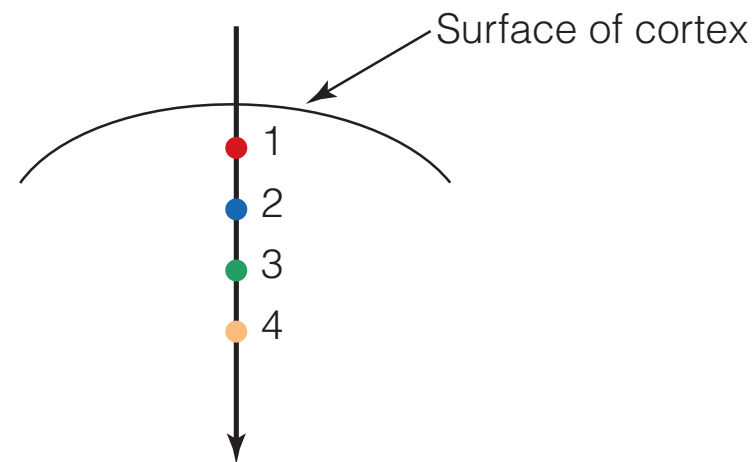
- **Colonna:** Un arrangiamento verticale di neuroni
 - Hubel and Wiesel: Trovarono un sistematico progressivo cambiamento nell'orientamento preferito da colonna a colonna; tutti gli orientamenti erano compresi in una distanza di circa 0.5 mm
- **Ipercolonna:** Un blocco di 1-mm di corteccia striata 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)



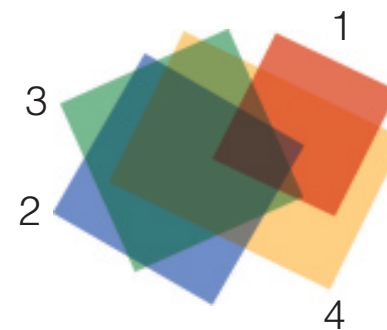
La corteccia striata

//campi recettivi: colonne e ipercolonne

- colonna di locazione



(a) Side view of cortex

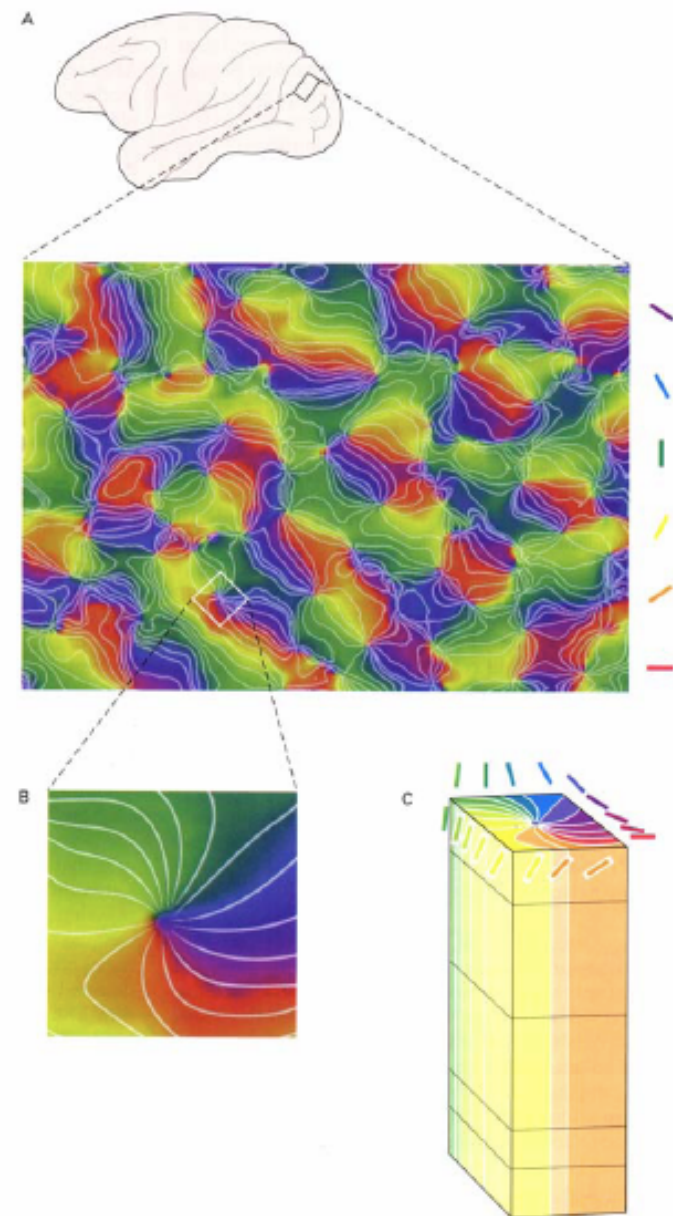
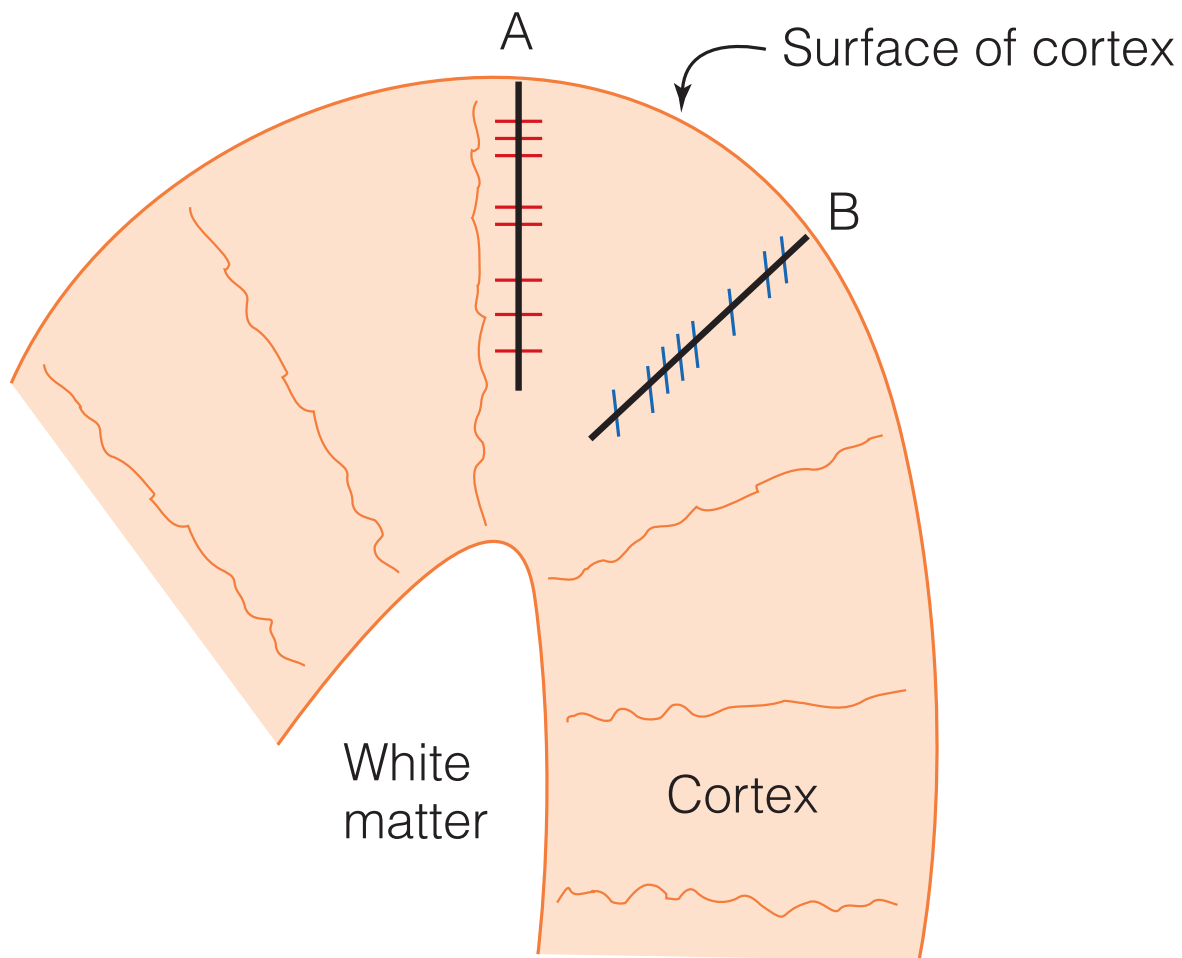


(b) Receptive field locations on retina

La corteccia striata

//campi recettivi: colonne e ipercolonne

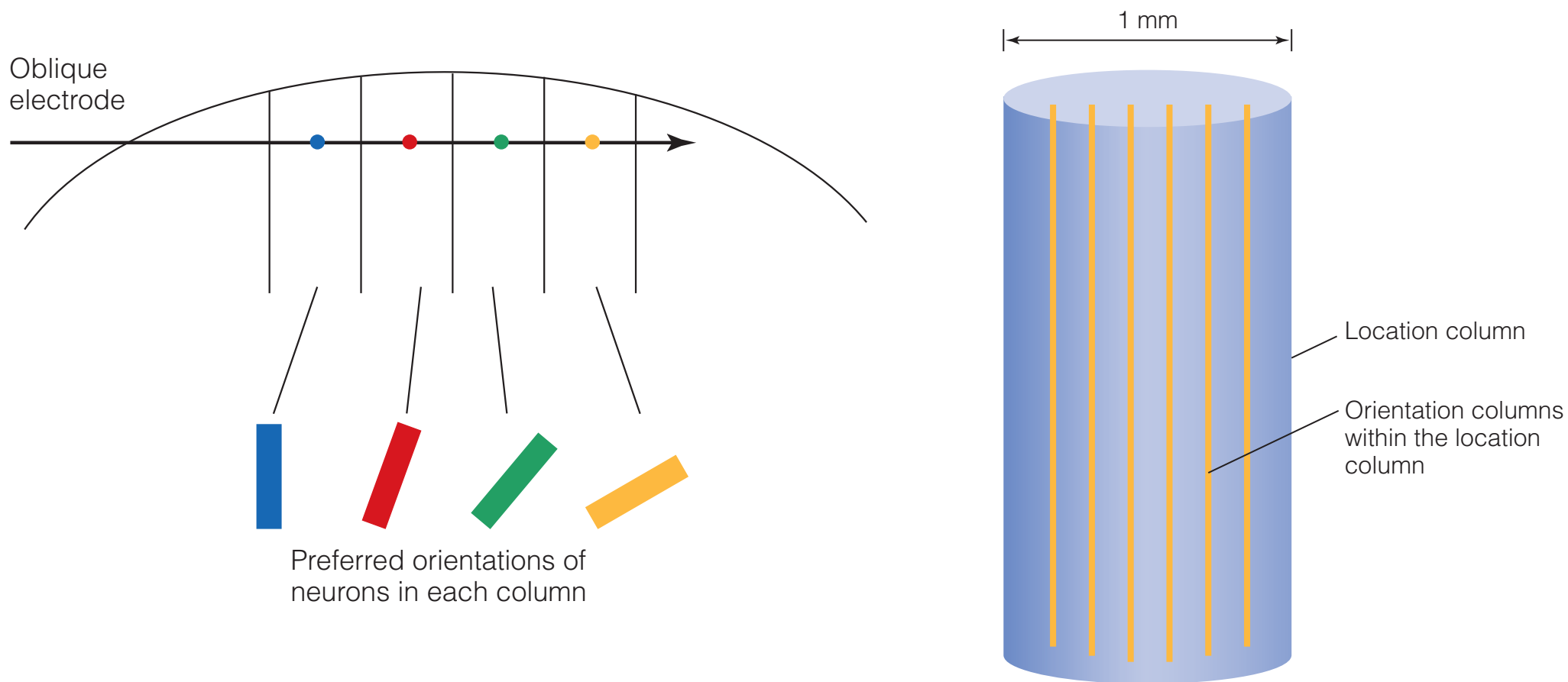
- colonna di orientazione



La corteccia striata

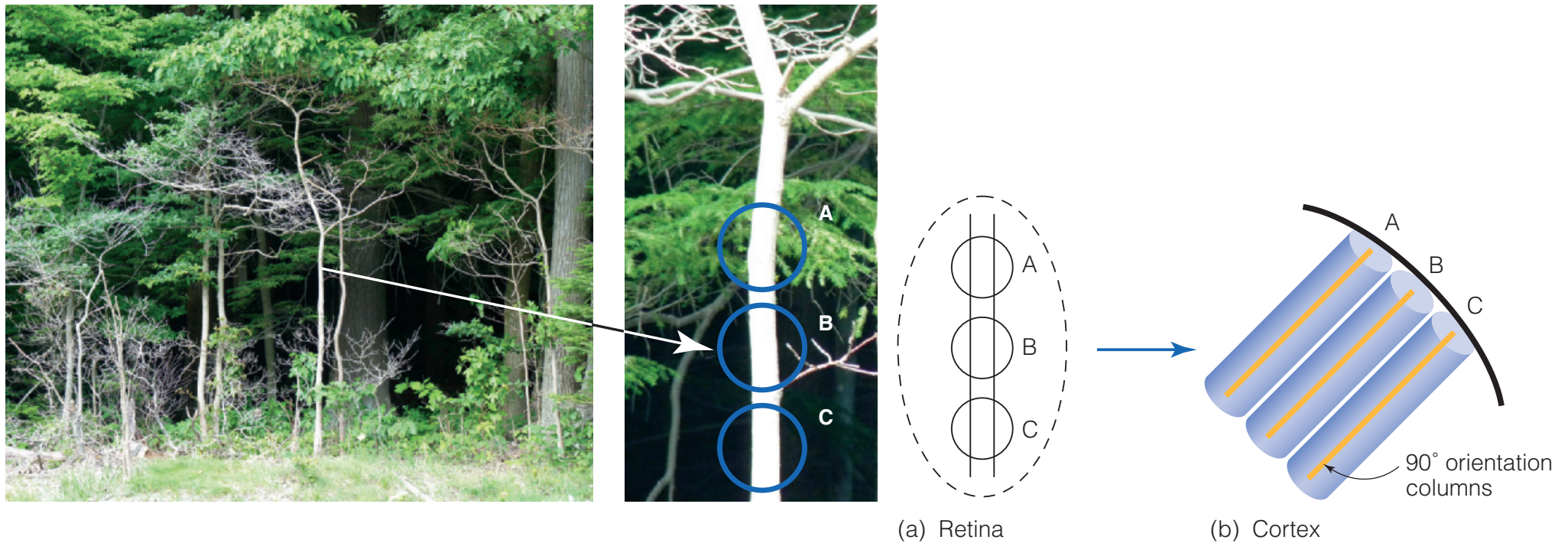
//campi recettivi: colonne e ipercolonne

- ipercolonna



La corteccia striata

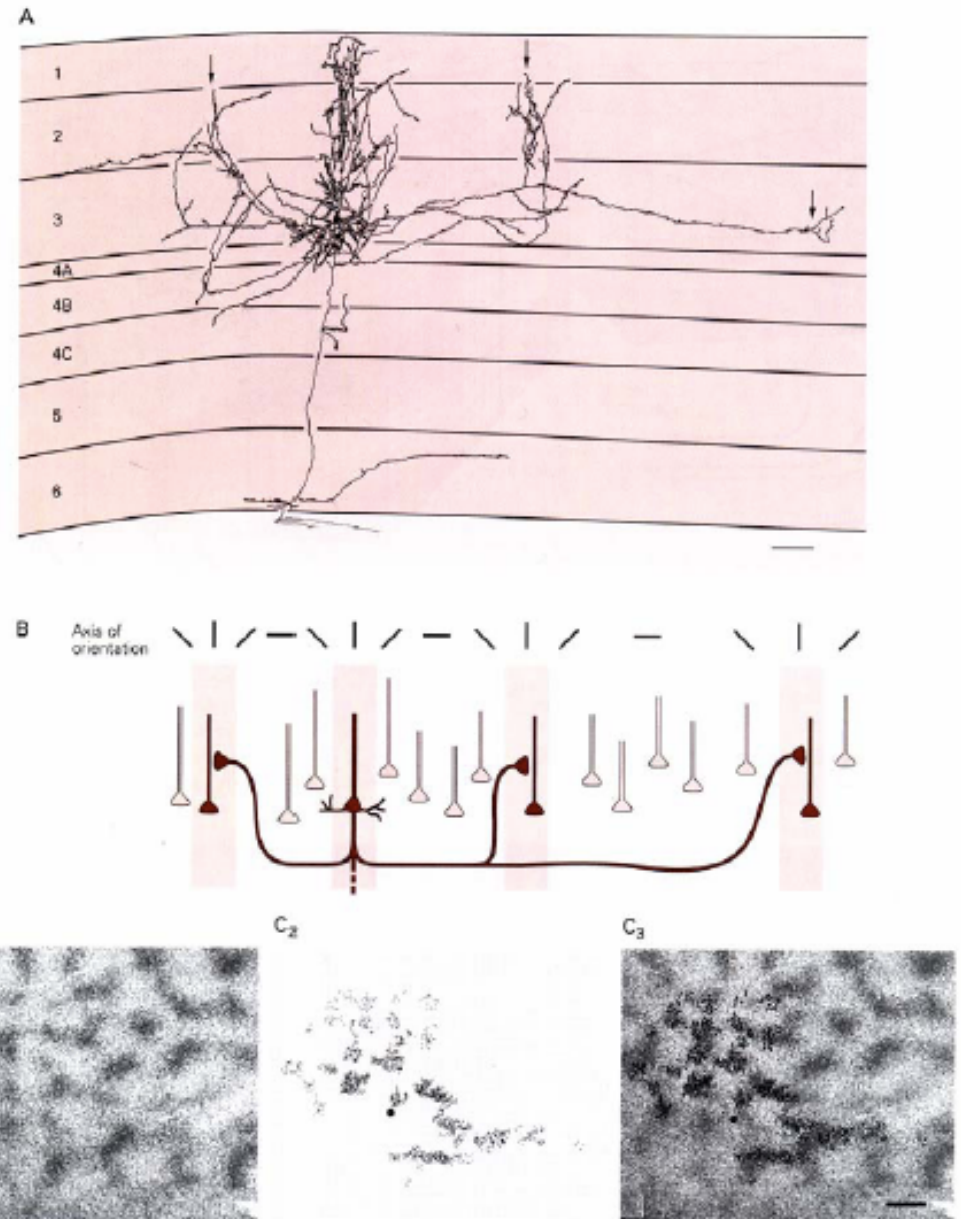
//campi recettivi: colonne e ipercolonne



La corteccia striata

//moduli

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



La corteccia striata

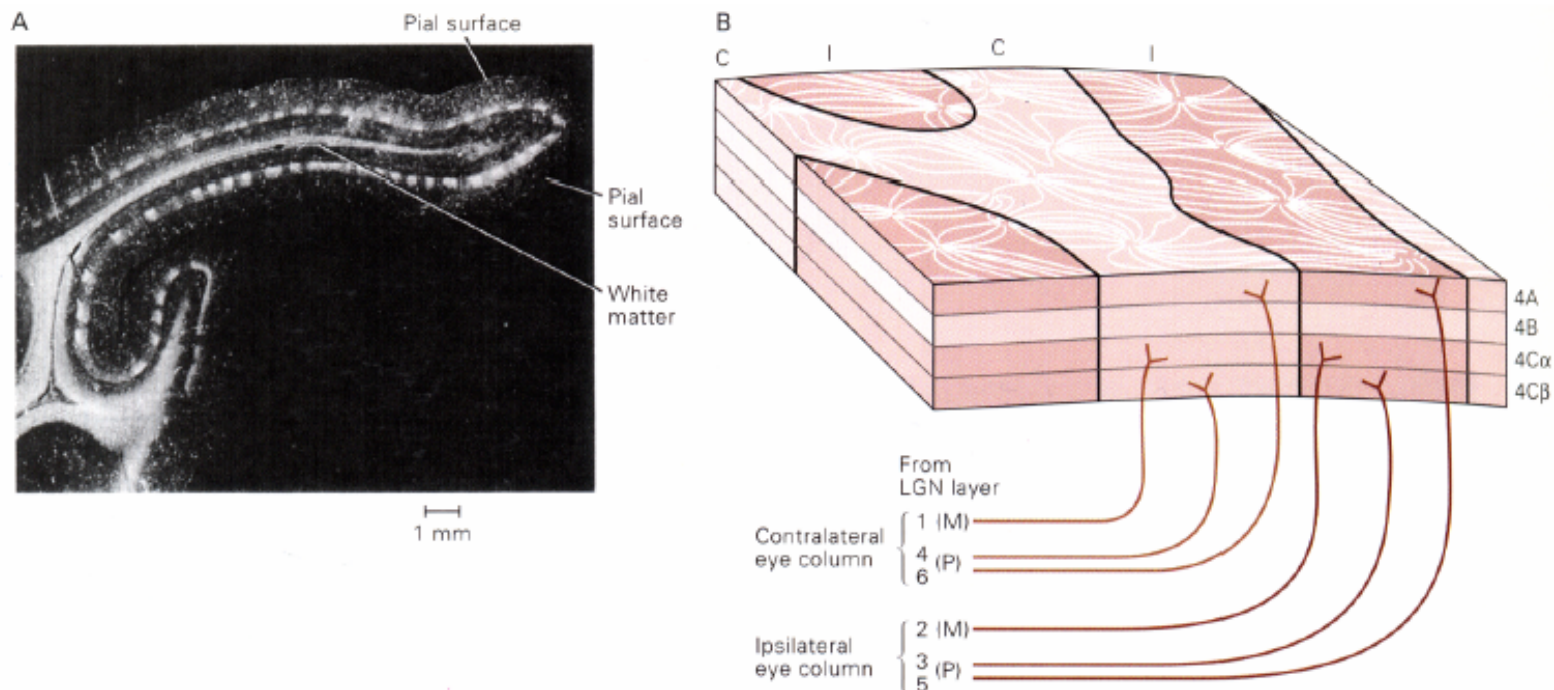
//campi recettivi: dominanza oculare

- 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

//campi recettivi: cellule binoculari

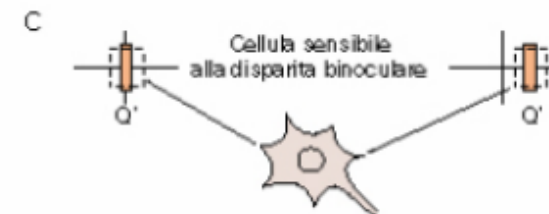
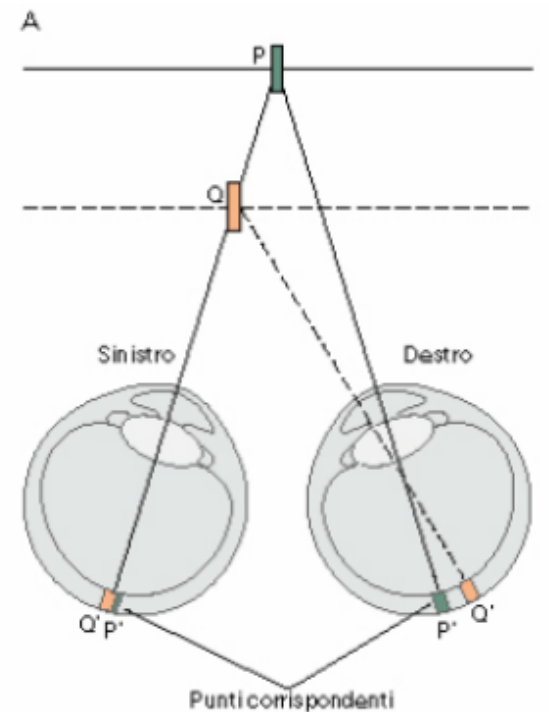
- La corteccia visiva primaria è la prima stazione del sistema visivo in cui compaiono cellule che ricevono informazione da entrambi gli occhi (cellule binoculari).
- Queste cellule sono eccitabili dalla stimolazione di una sola piccola area di campo visivo (campo recettivo) che però è vista da entrambi 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

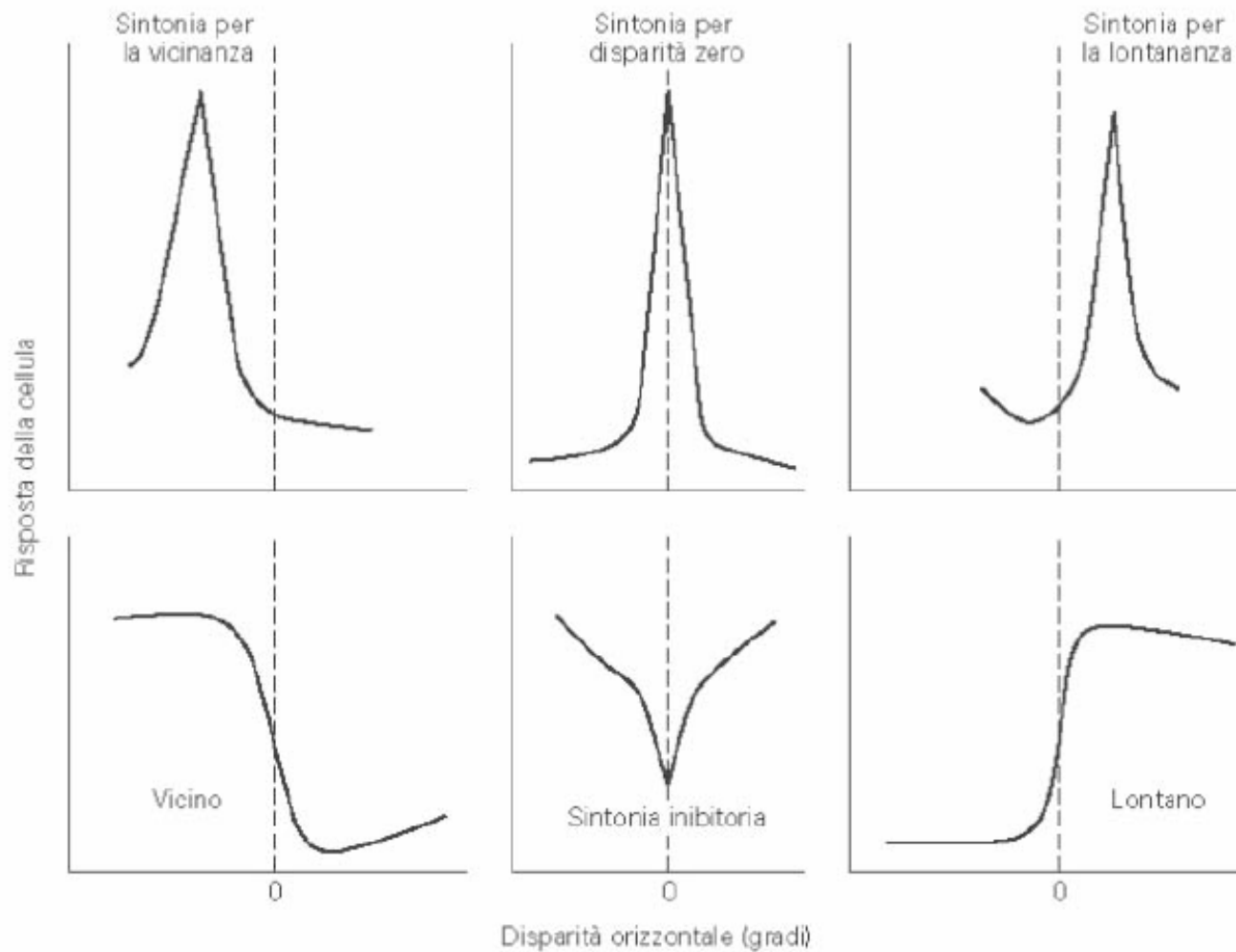
//campi recettivi: cellule binoculari

- 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

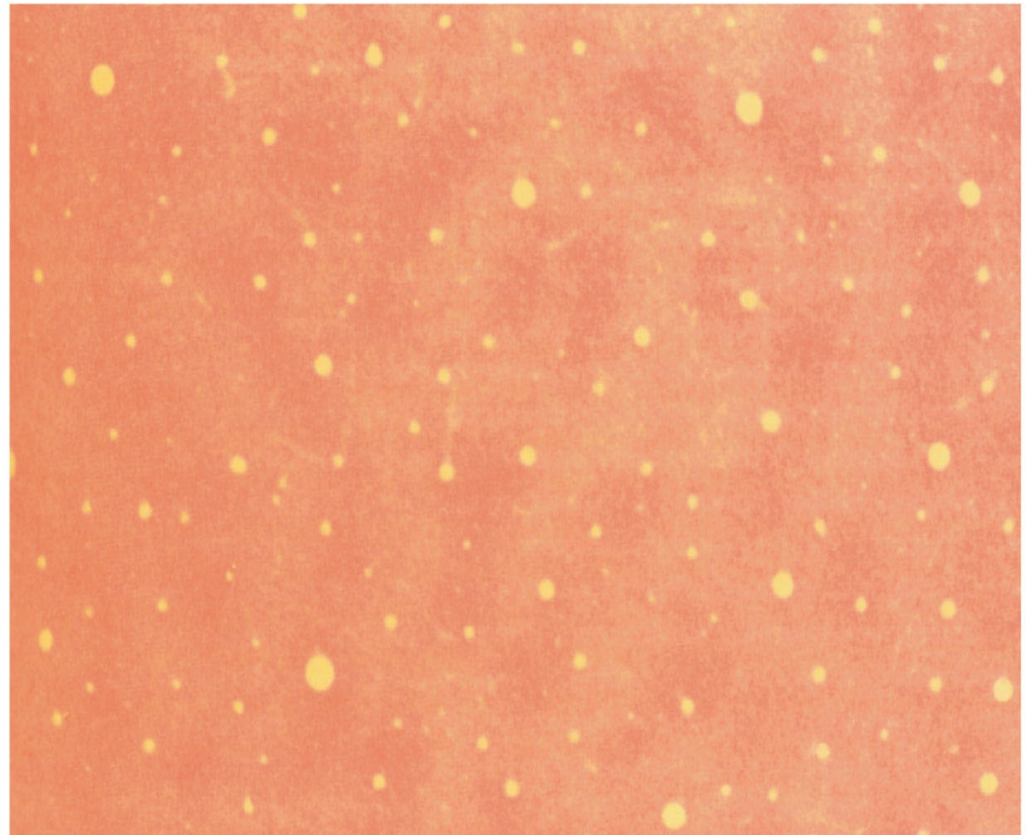
//campi recettivi: cellule binoculari



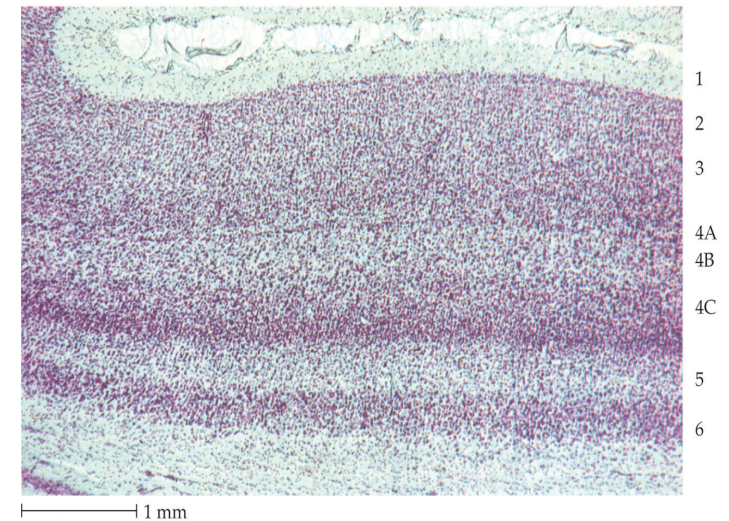
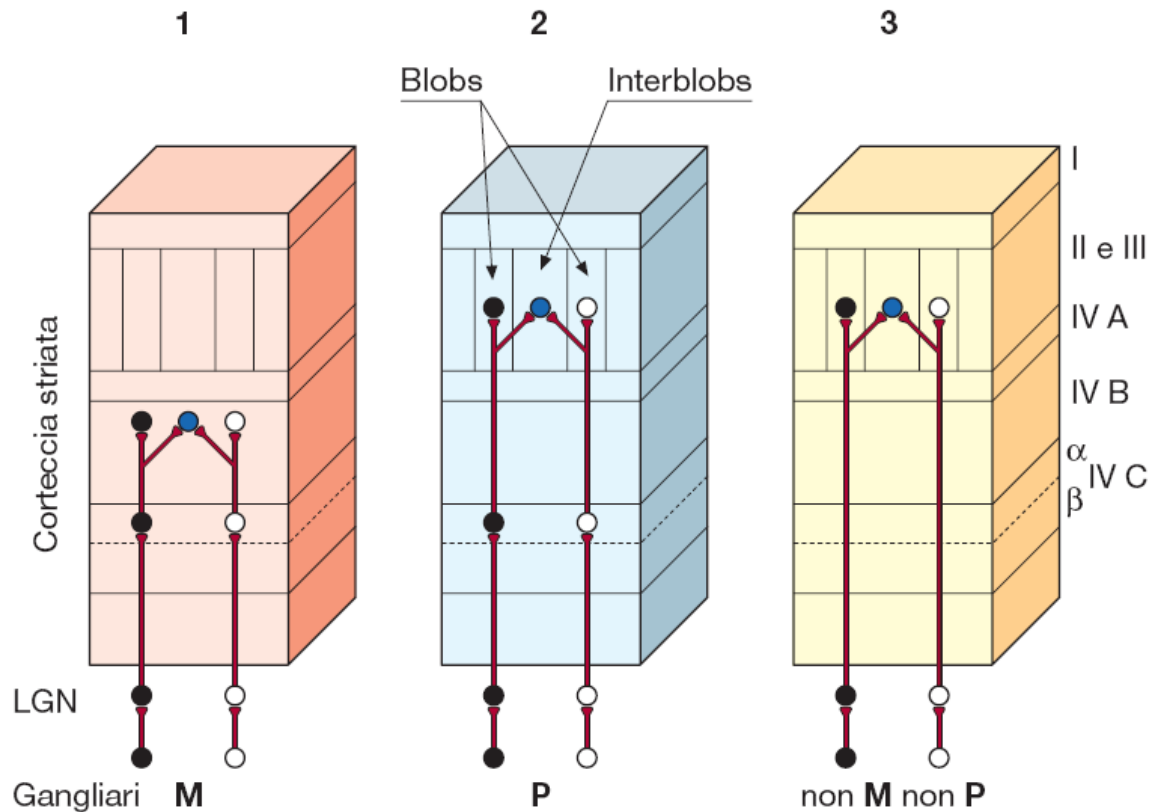
La corteccia striata

//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



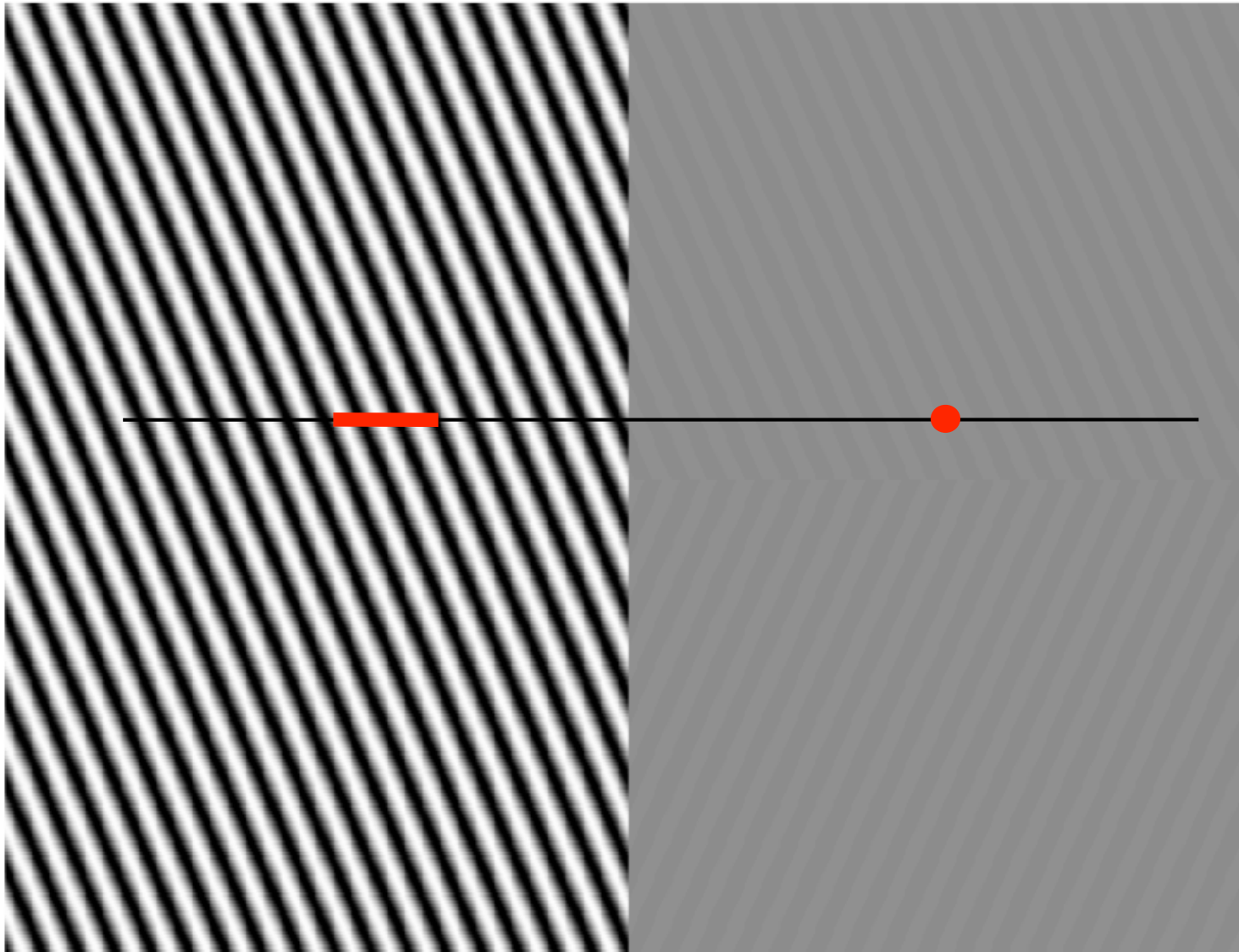
Via magnocellulare:
localizzazione e
movimento
(dove)

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

Vie binoculari
tridimensionalità
dell'oggetto

La corteccia striata

//adattamento selettivo:demo

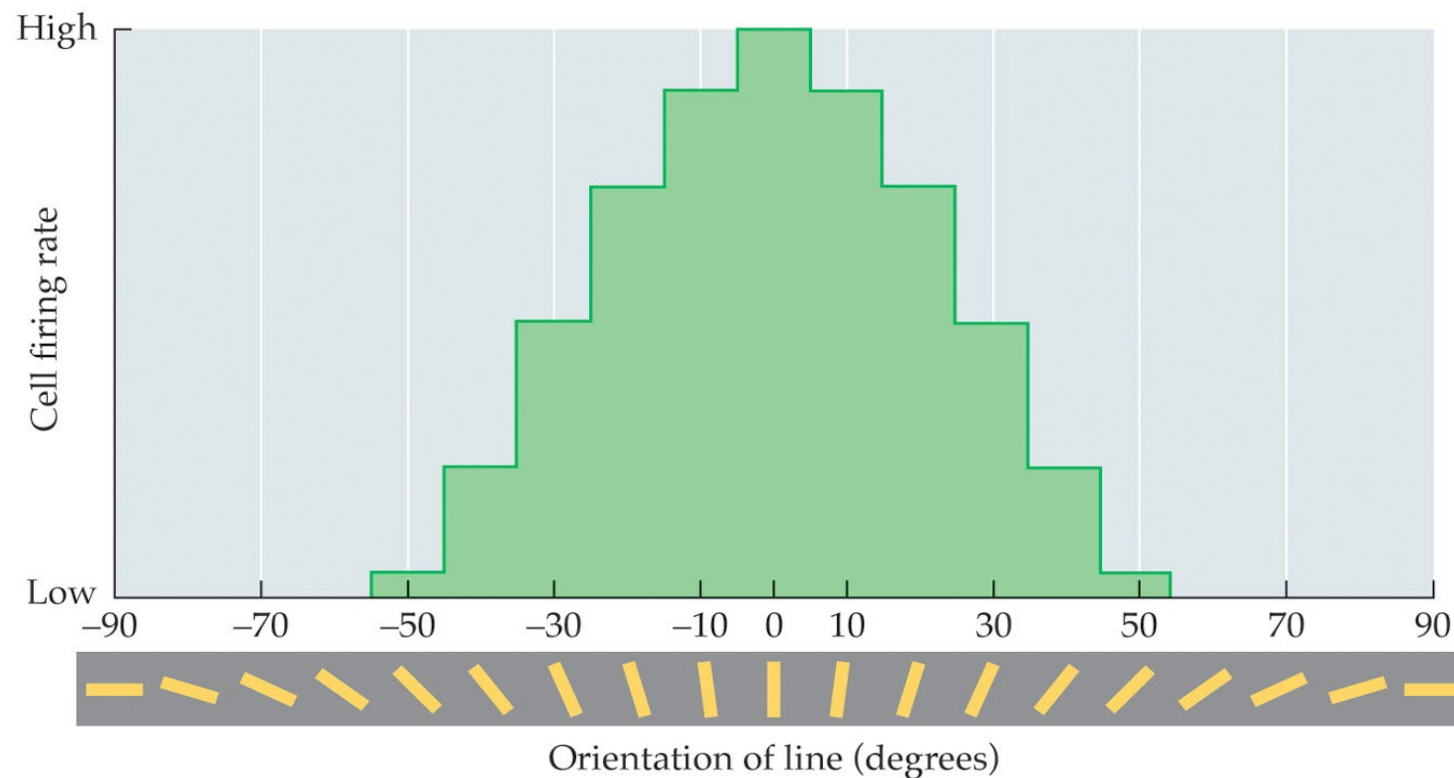


La corteccia striata

//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

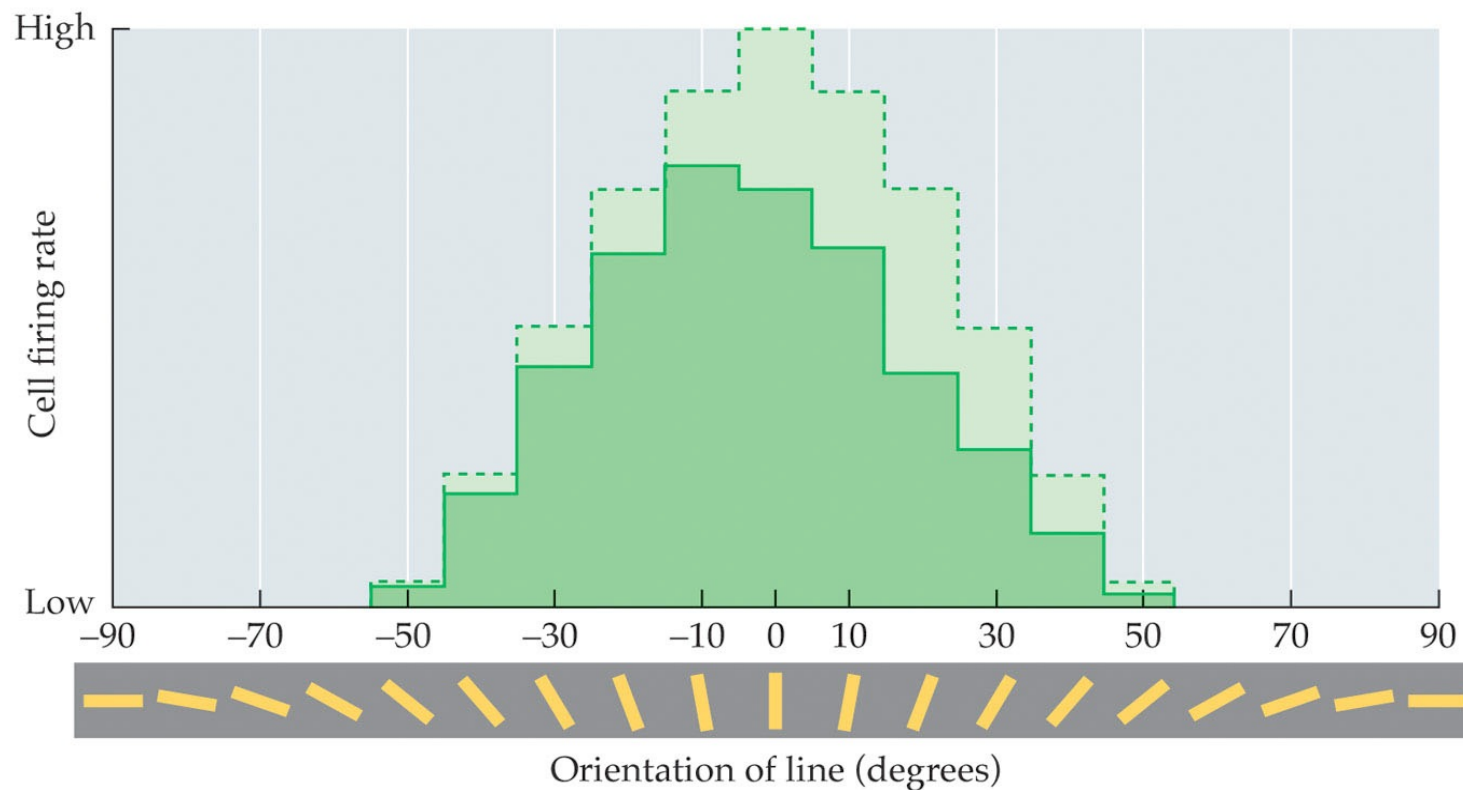


La corteccia striata

//adattamento selettivo

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

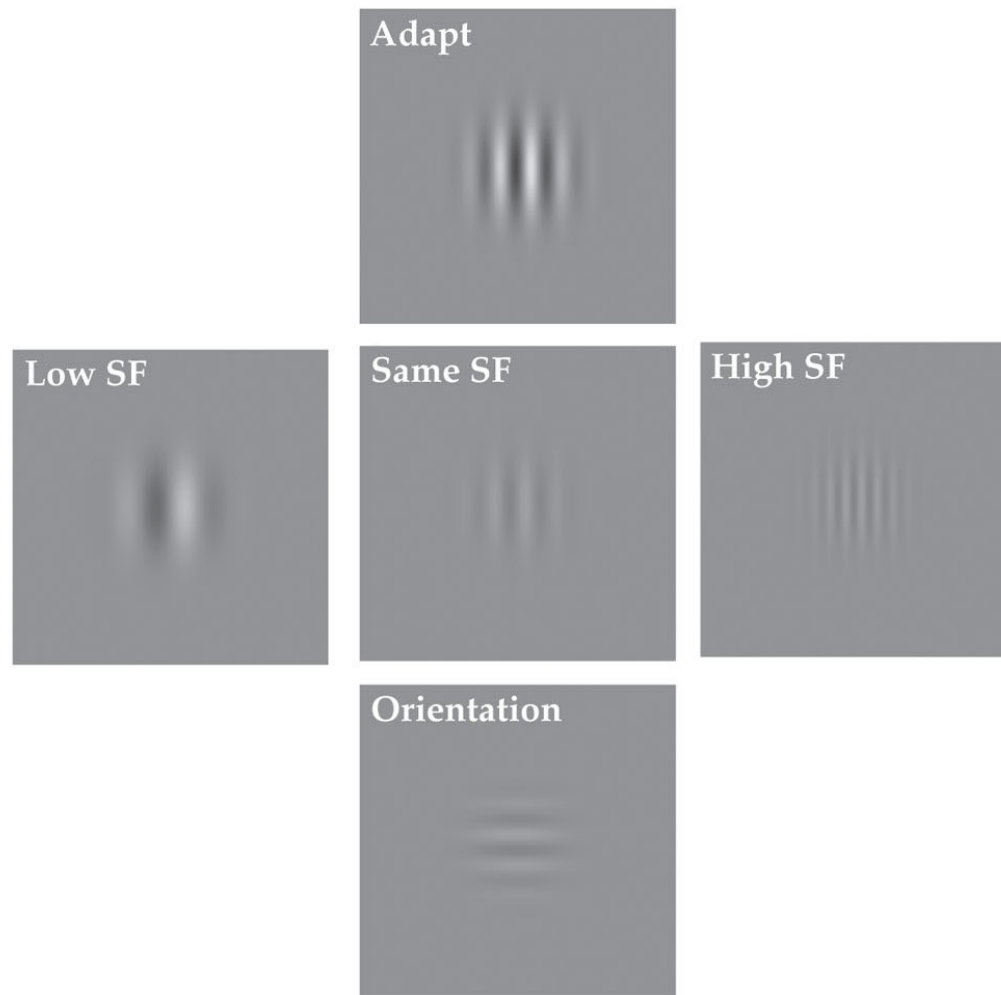
Dopo l'esposizione allo stimolo (striscia di 20°)



La corteccia striata

//adattamento selettivo: specificità freq.spaziale

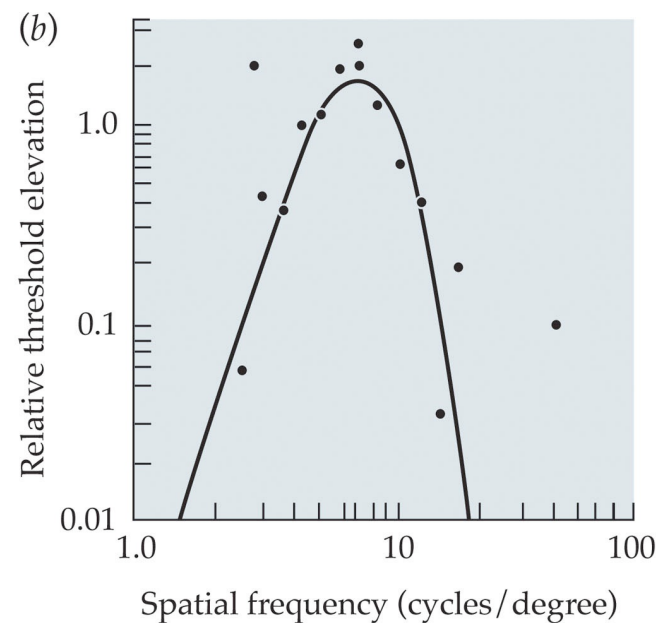
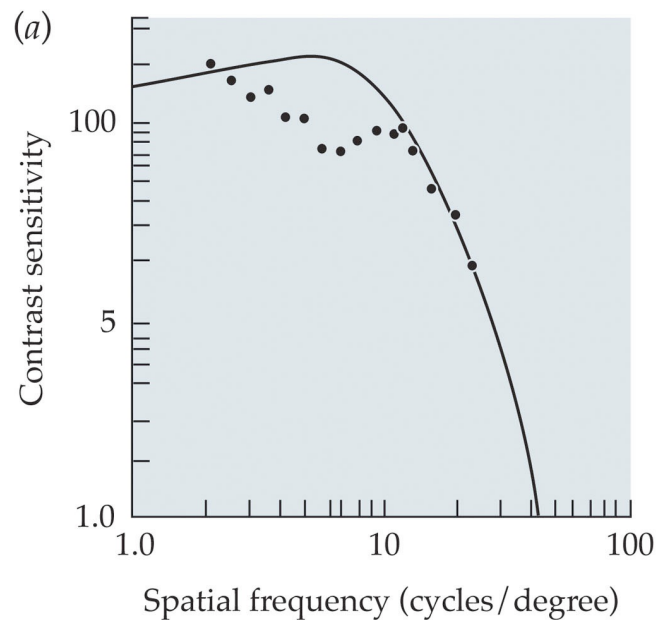
- **Adattamento selettivo:** E' un indizio a favore del fatto che il sistema visivo umano contenga neuroni selettivi per la frequenza spaziale



La corteccia striata

//adattamento selettivo: specificità freq.spaziale

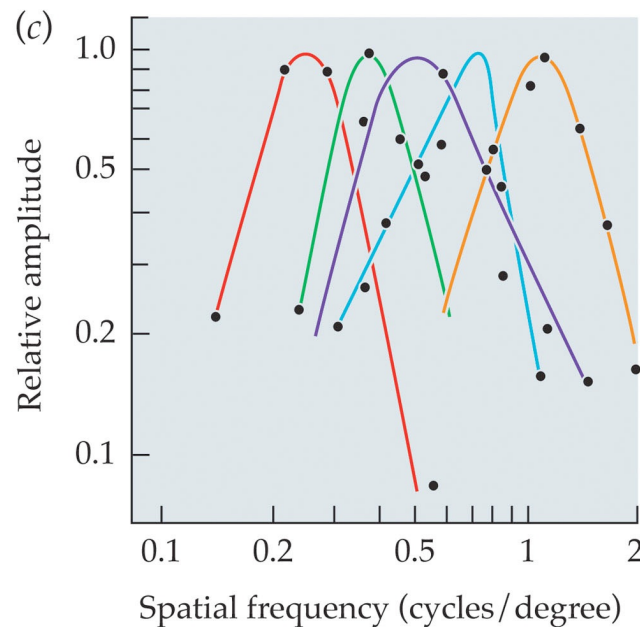
- **Adattamento selettivo:** E' un indizio a favore del fatto che il sistema visivo umano contenga neuroni selettivi per la frequenza spaziale



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



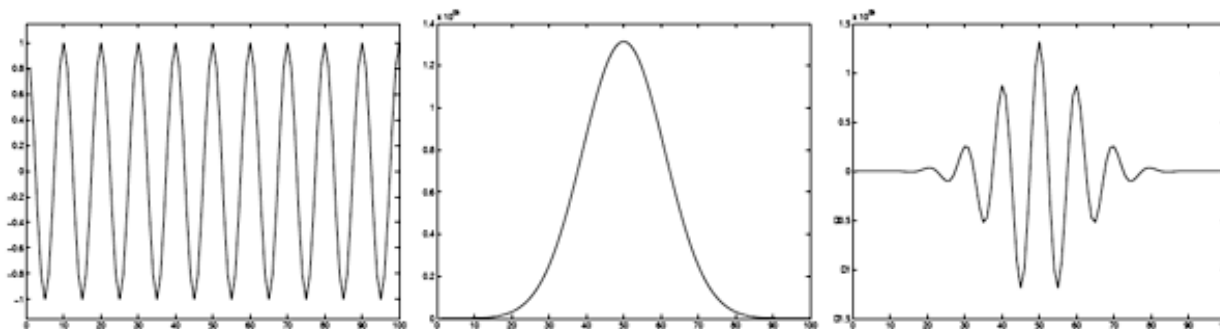
(c) High-frequency component



La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

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



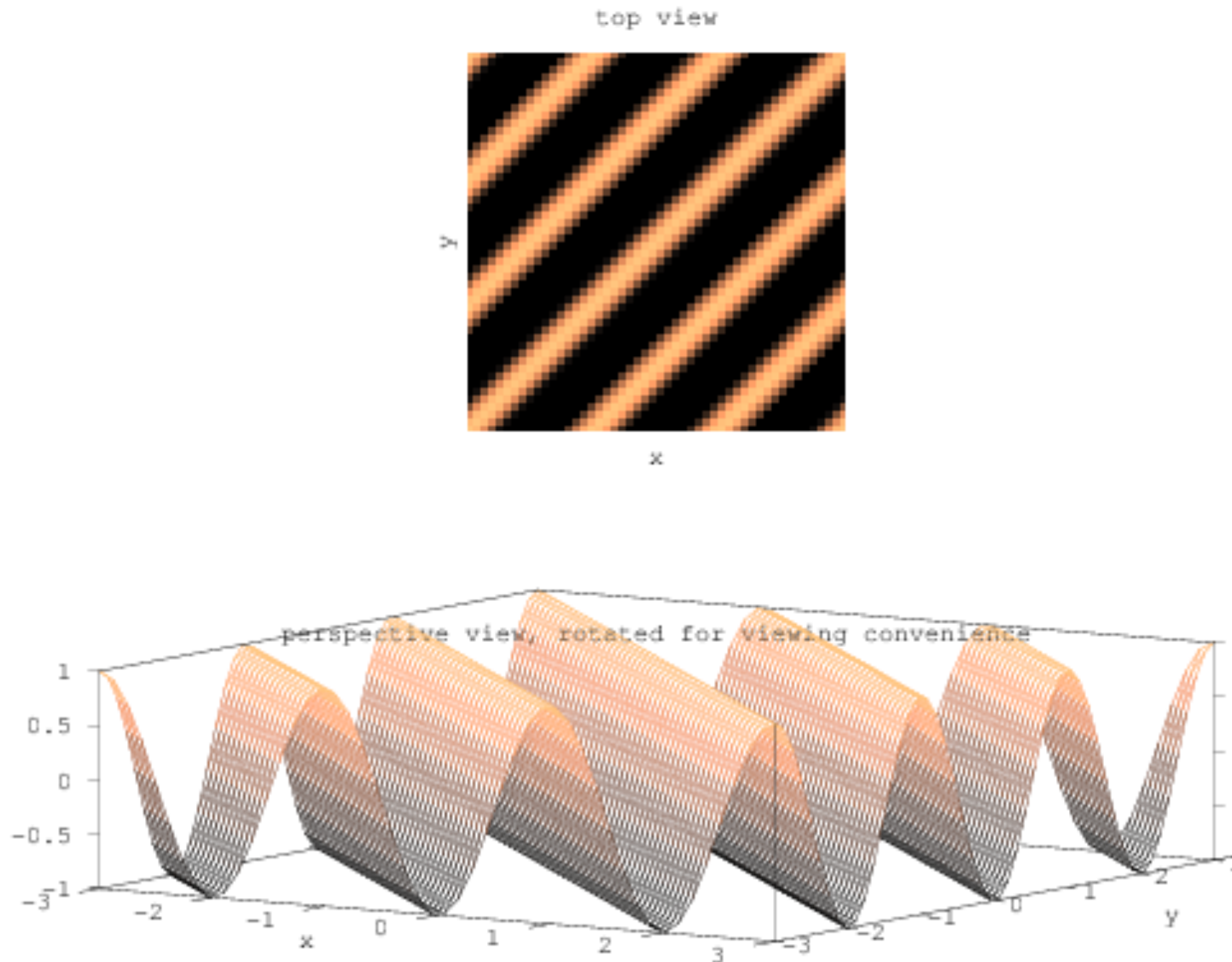
Funzione
sinusoidale

Funzione
Gaussiana

Filtro di
Gabor

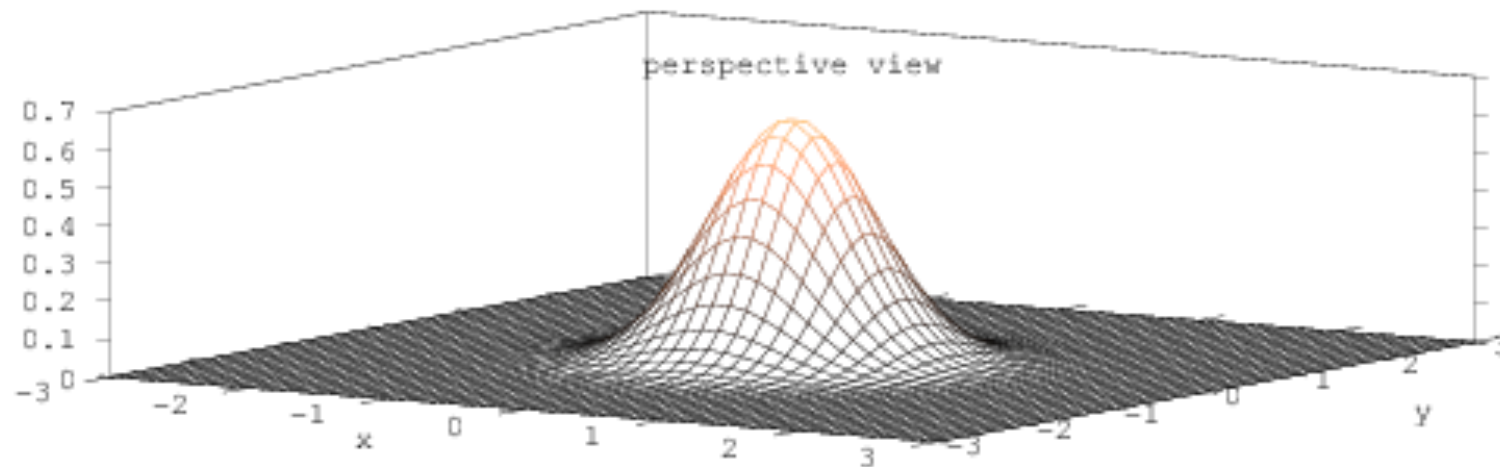
La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



top view

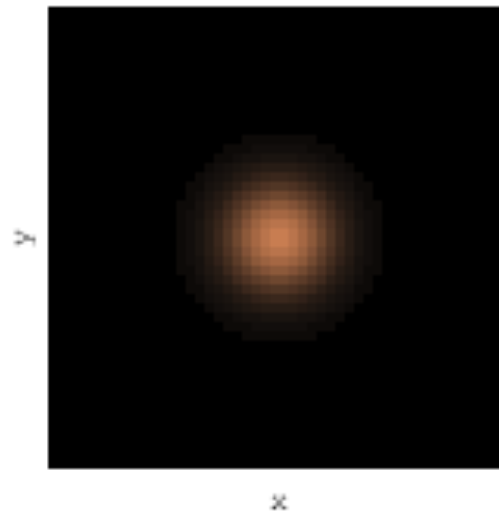
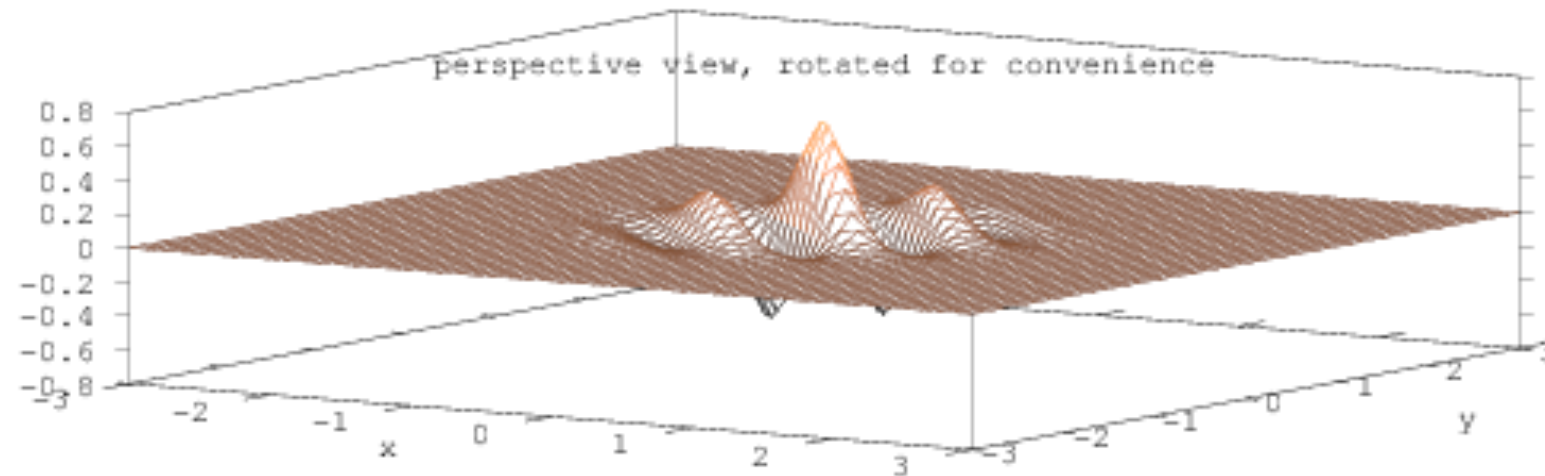


fig 3, 2d gaussian, $\sigma_x=0.5, \sigma_y=0.5$

La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



top view

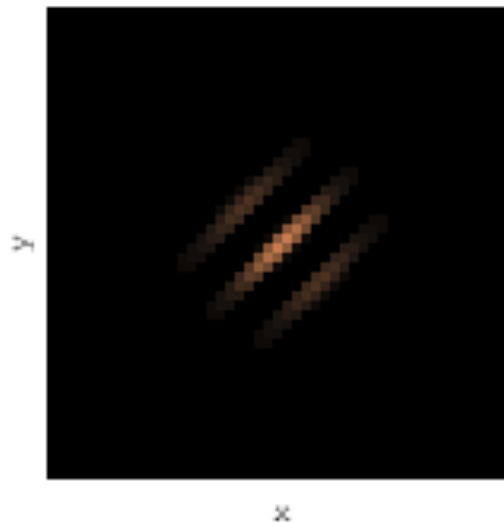
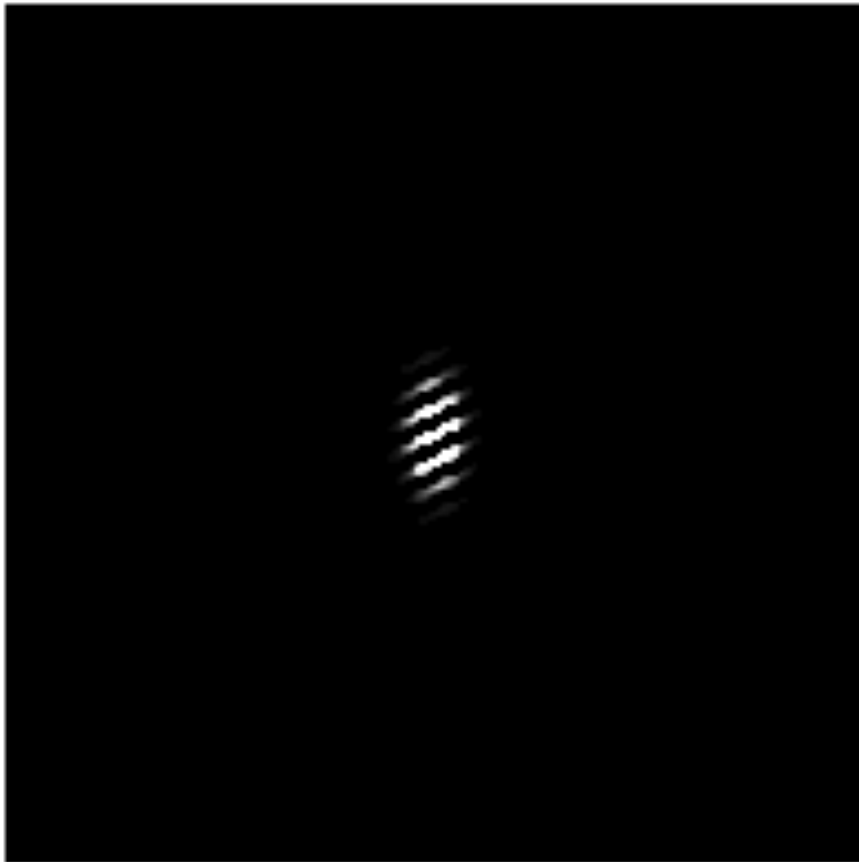


fig 5, 2d gaussian times cos function, $\sigma_x=0.5, \sigma_y=0.5, u_1=1.0, v_1=1.0$

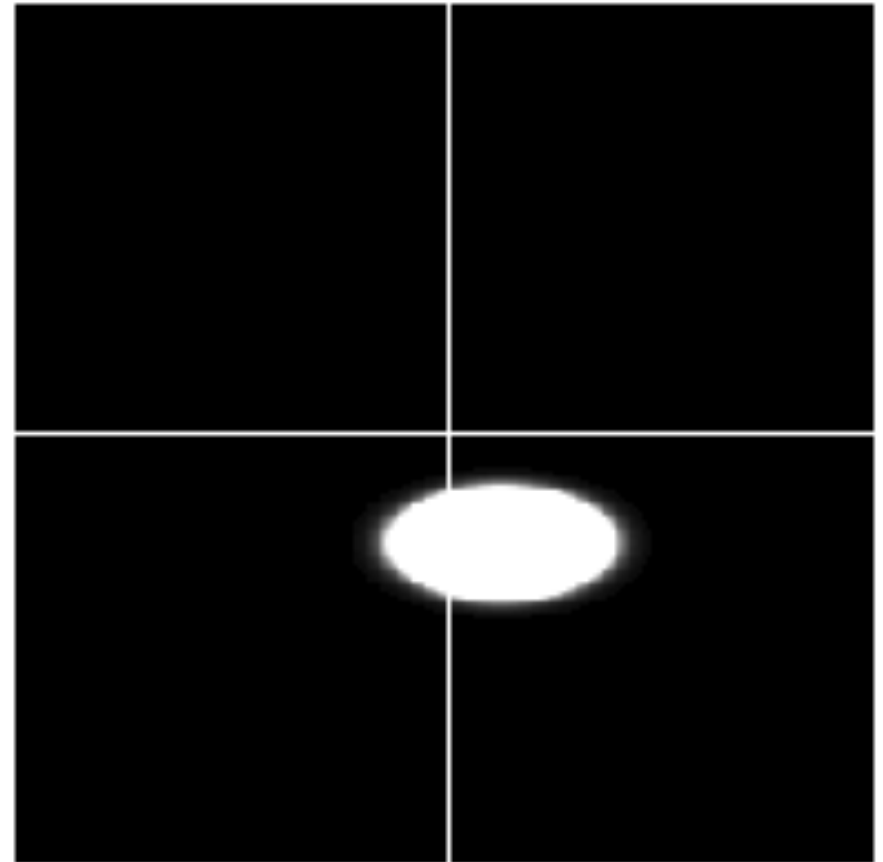
La corteccia striata

//trasformata di Fourier del filtro di Gabor

$g_a(x, y)$



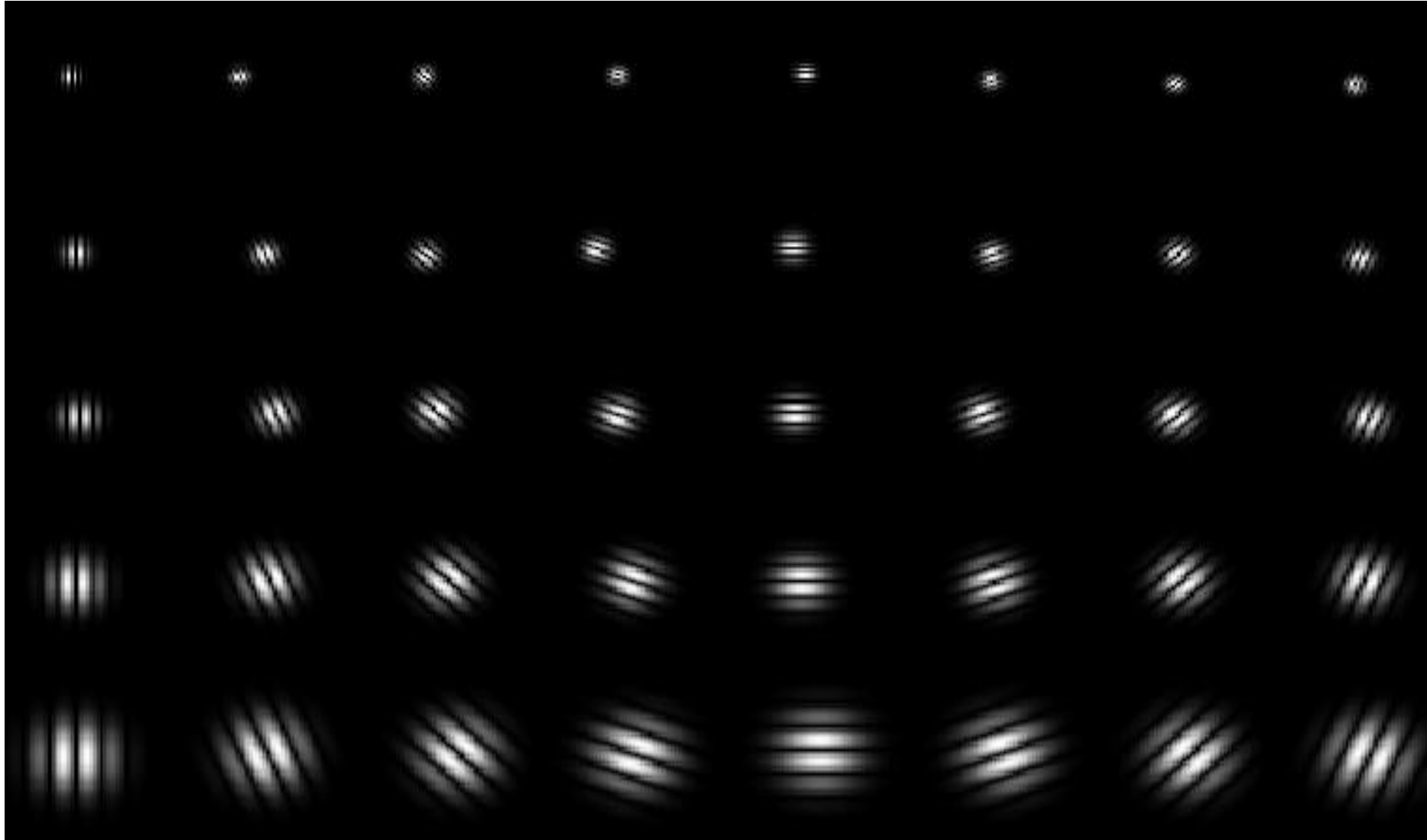
$\text{abs}(\text{fft}(g_a(x, y) + i g_o(x, y)))$



x

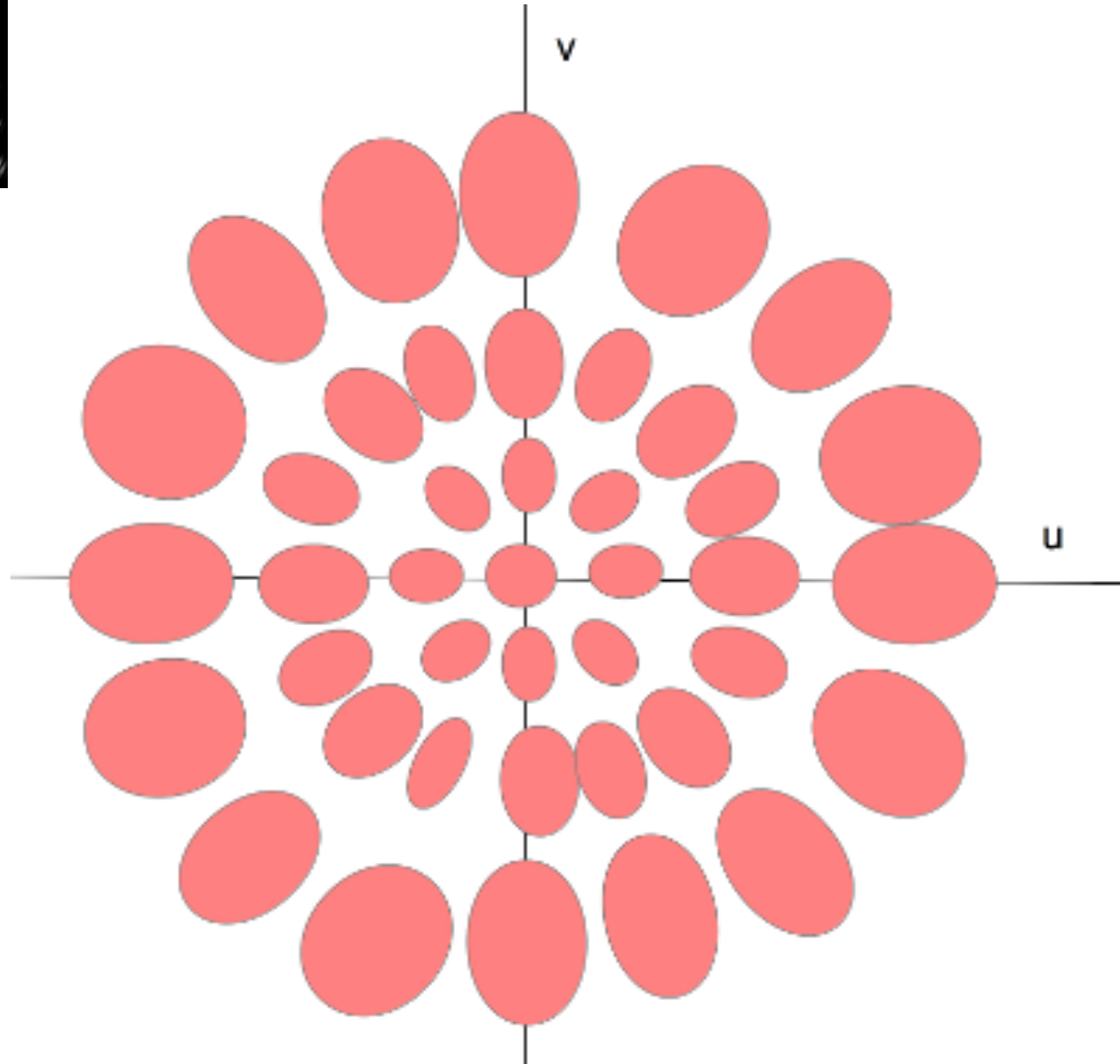
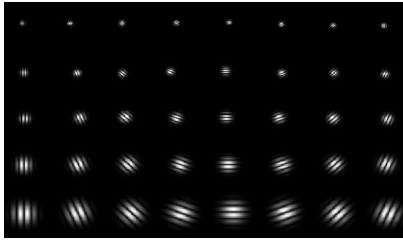
La corteccia striata

//trasformata di Fourier del filtro di Gabor



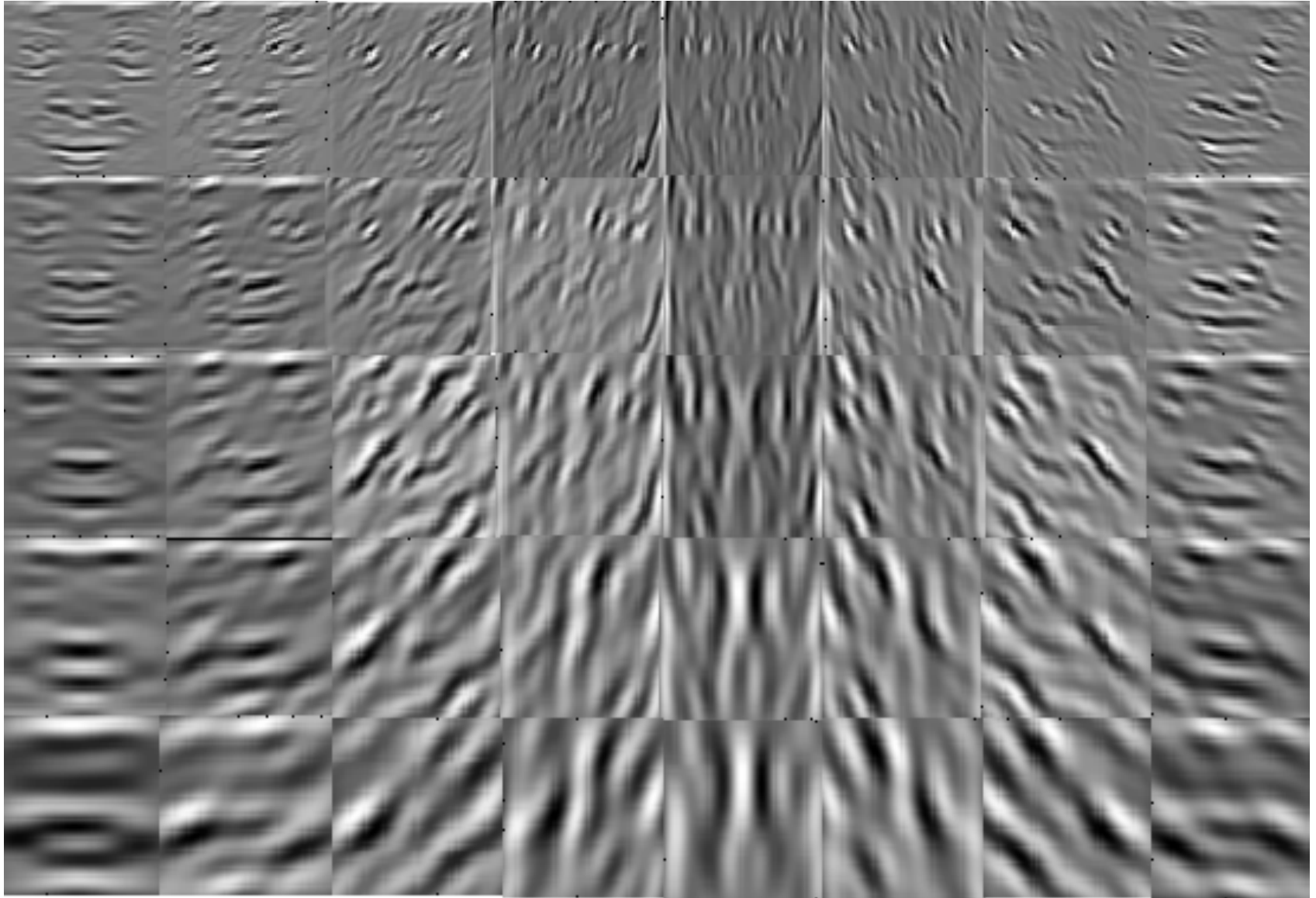
La corteccia striata

//trasformata di Fourier del filtro di Gabor



La corteccia striata

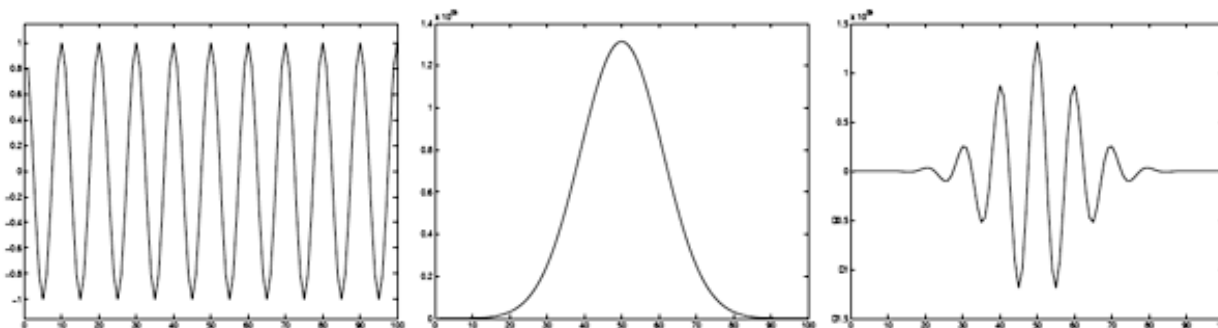
//trasformata di Fourier del filtro di Gabor



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

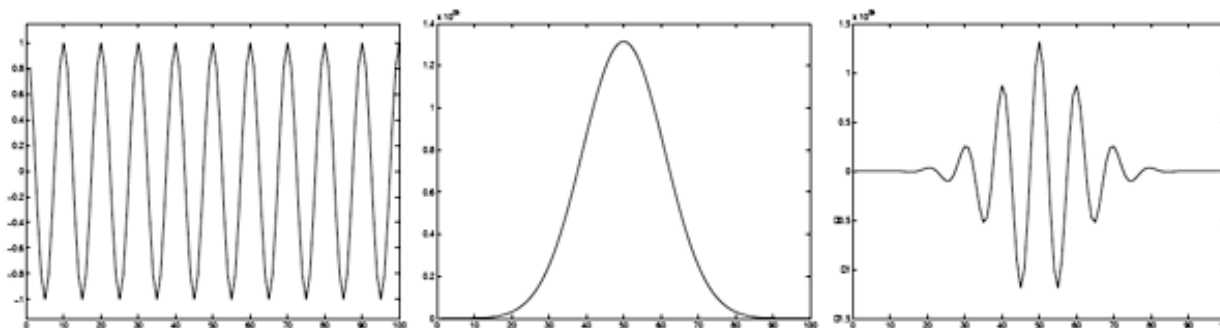
$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

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

La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

- Una possibile forma è la seguente



Funzione
sinusoidale

Funzione
Gaussiana

Filtro di
Gabor

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

aspect ratio) offset di fase

lunghezza d'onda

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

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

La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

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

Parte reale

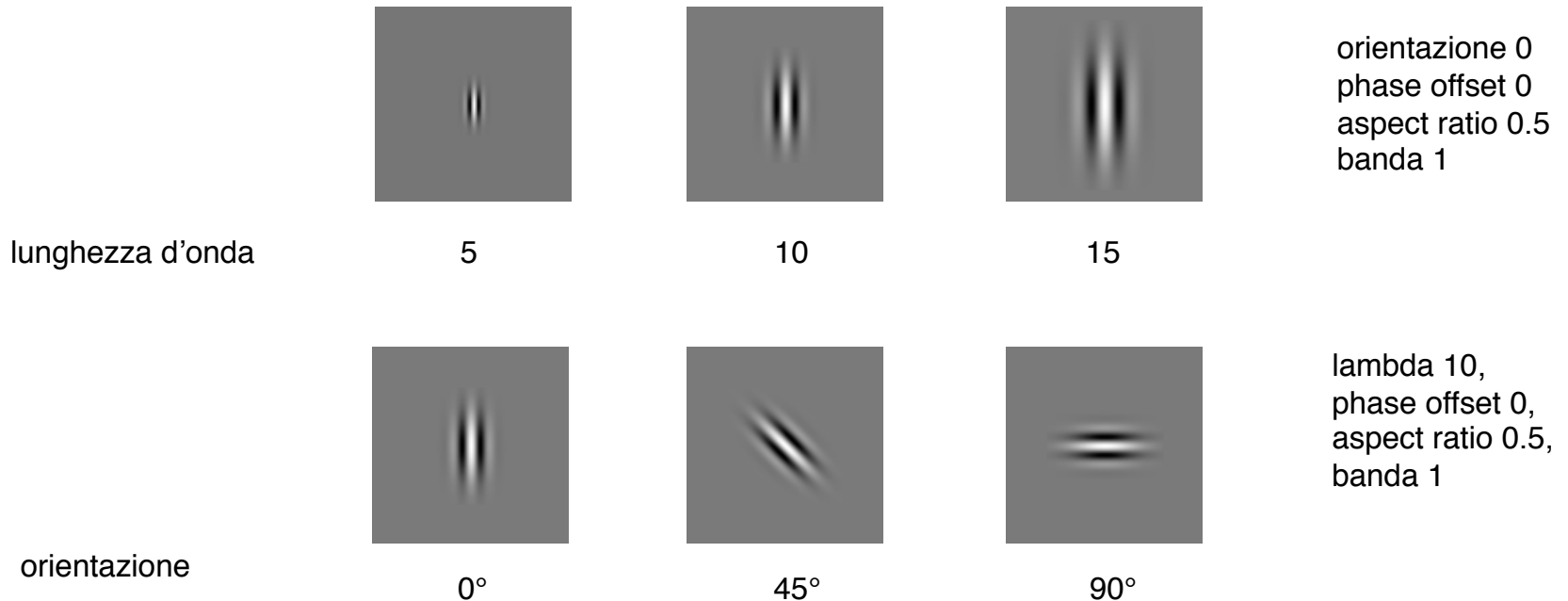
aspect ratio) \downarrow

offset di fase \downarrow

\uparrow lunghezza d'onda

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

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



La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

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

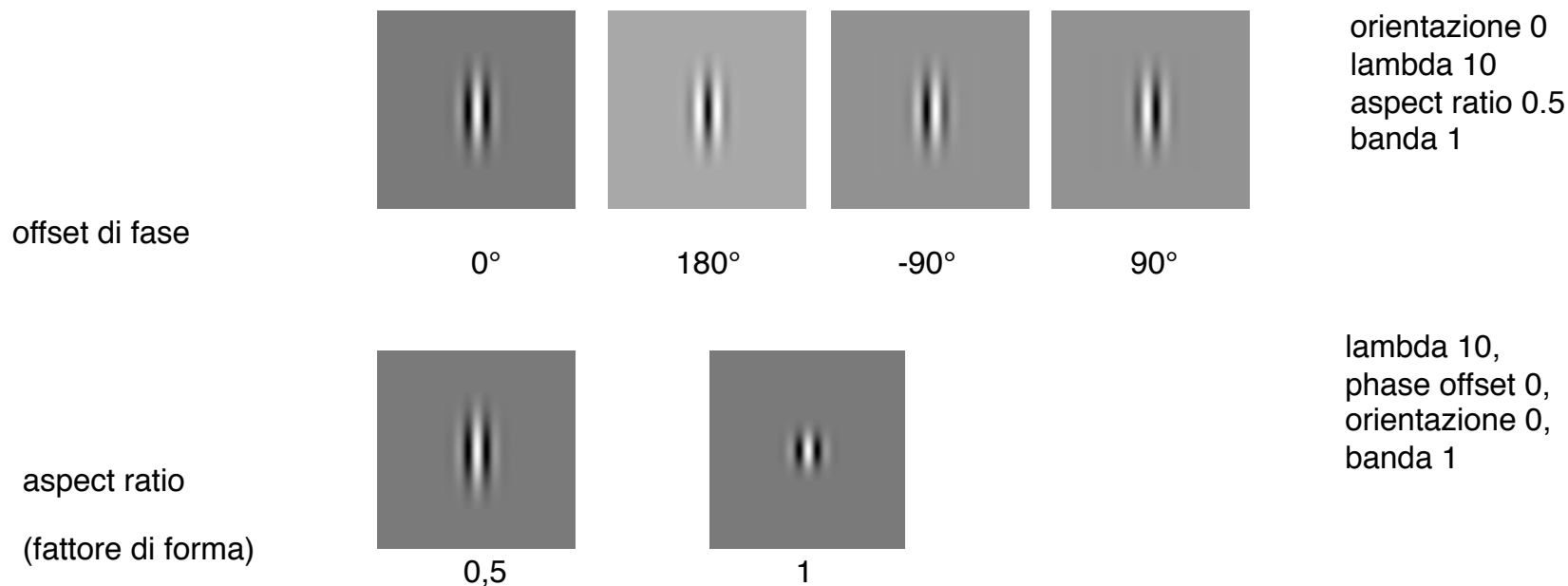
Parte reale

aspect ratio) \rightarrow γ

offset di fase \rightarrow ψ

lunghezza d'onda \rightarrow λ

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



La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

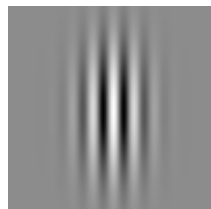
$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad \text{Parte reale}$$

aspect ratio) \downarrow γ
offset di fase \downarrow ψ
lunghezza d'onda \uparrow λ

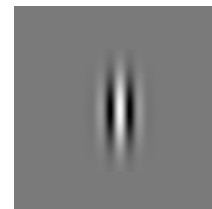
$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad \leftarrow \text{orientazione}$$
$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

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

ampiezza di banda
(bandwith)



0,5



1



2

lambda 10,
phase offset 0,
orientazione 0,

La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

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

Parte reale

aspect ratio

offset di fase

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;

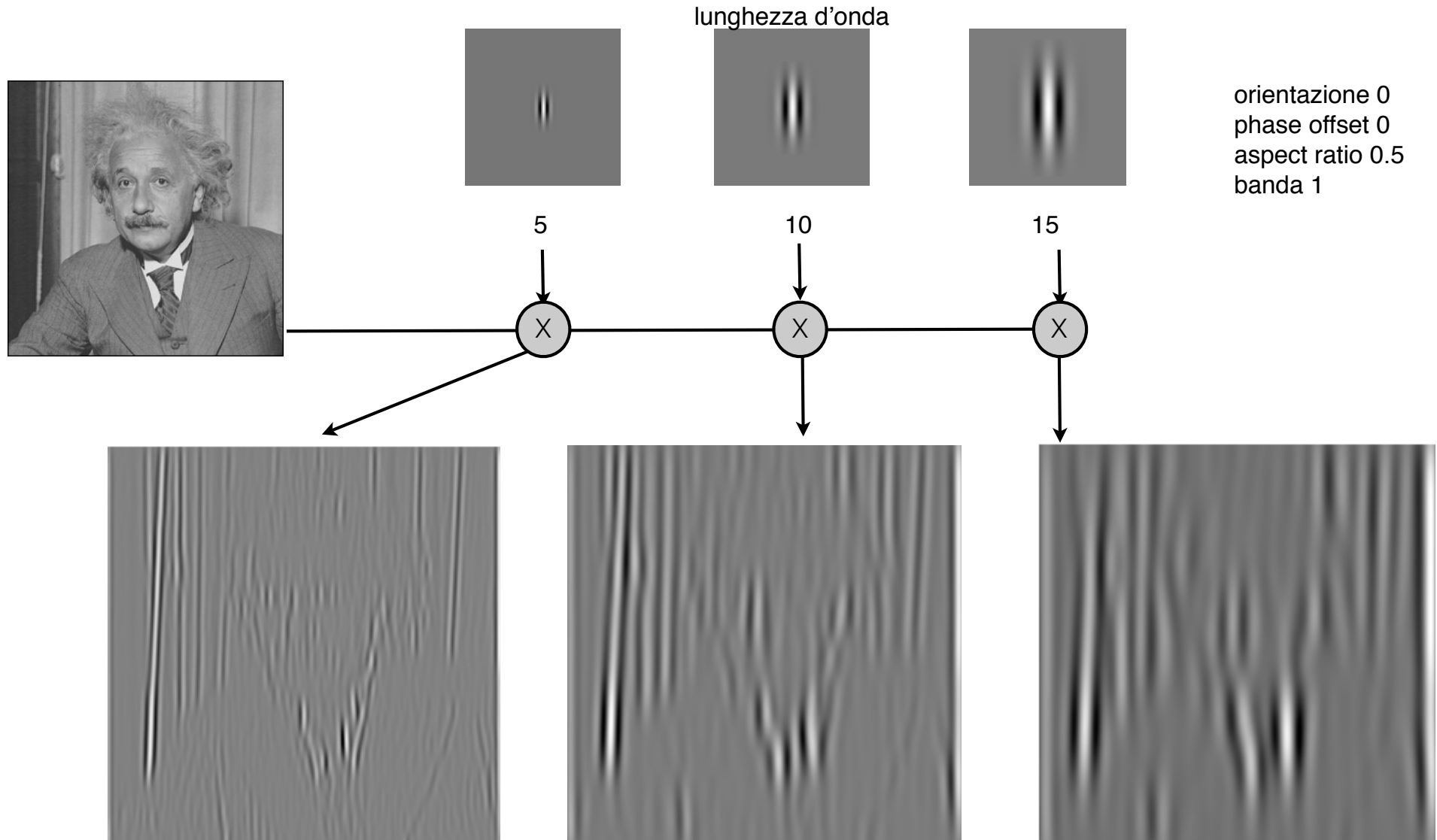
% Bounding box
nstds = 3;
xmax = max(abs(nstds*sigma_x*cos(theta)),abs(nstds*sigma_y*sin(theta)));
xmax = ceil(max(1,xmax));
ymax = max(abs(nstds*sigma_x*sin(theta)),abs(nstds*sigma_y*cos(theta)));
ymax = ceil(max(1,ymax));
xmin = -xmax; ymin = -ymax;
[x,y] = meshgrid(xmin:xmax,ymin:ymax);

% 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);
```

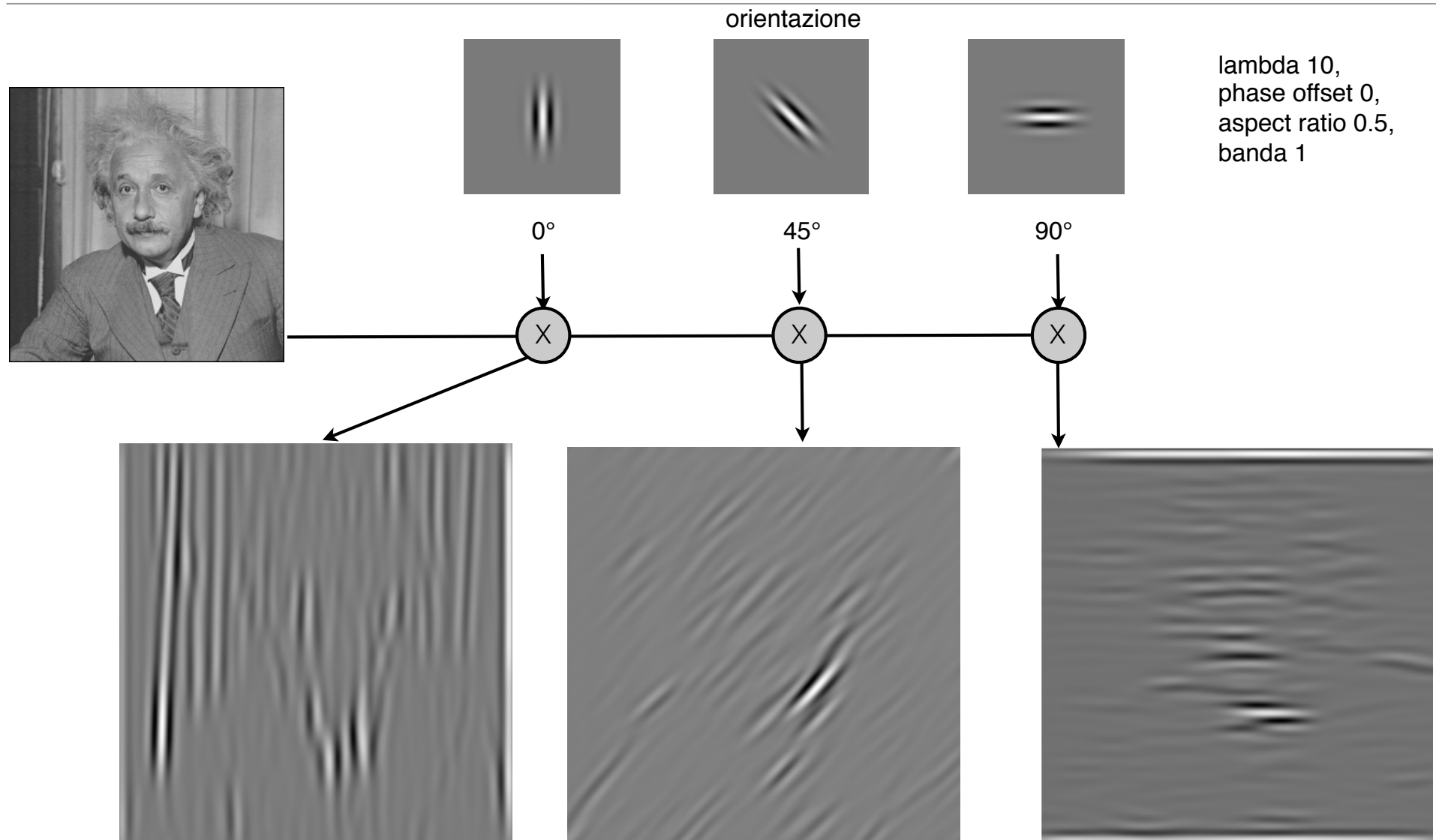
La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



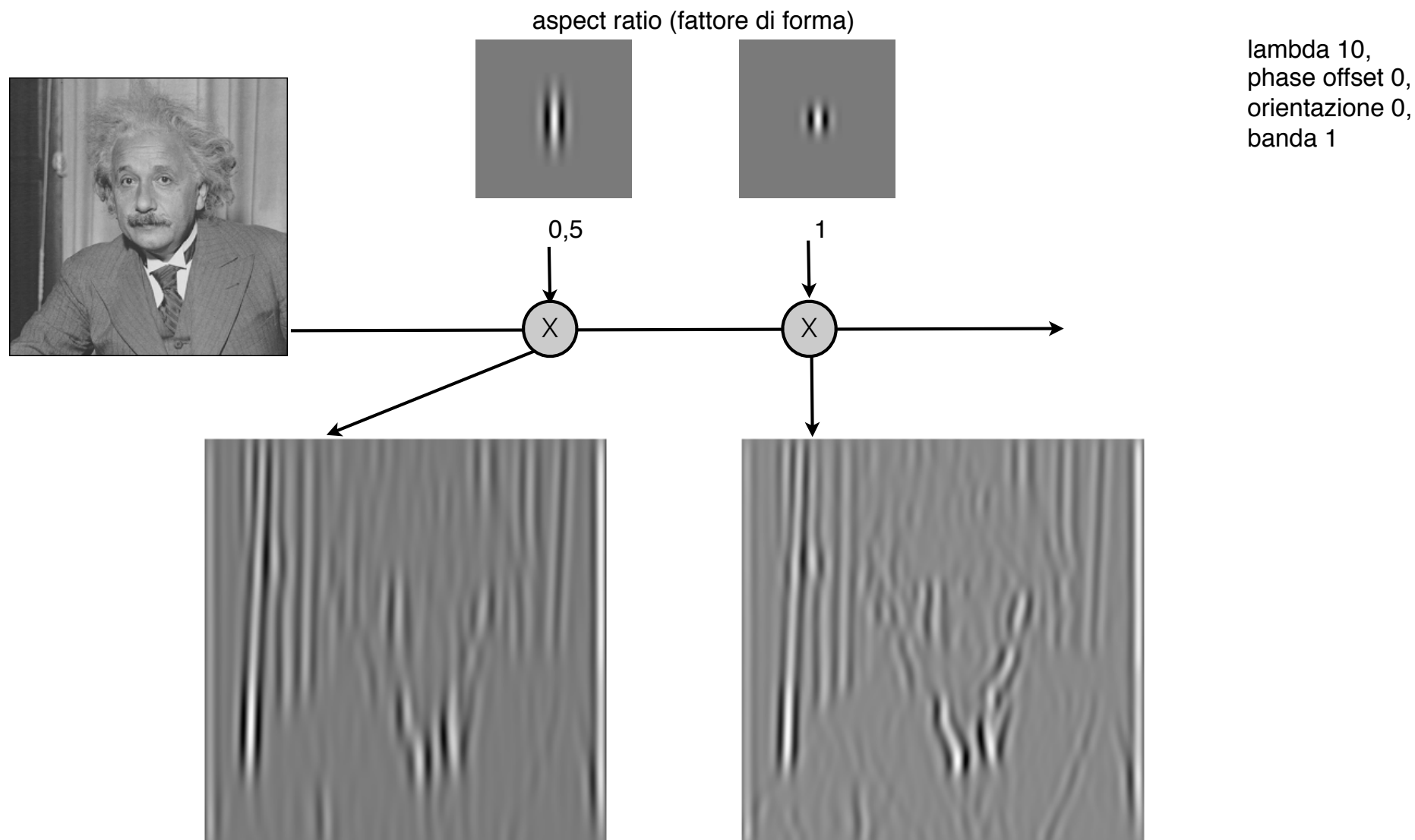
La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



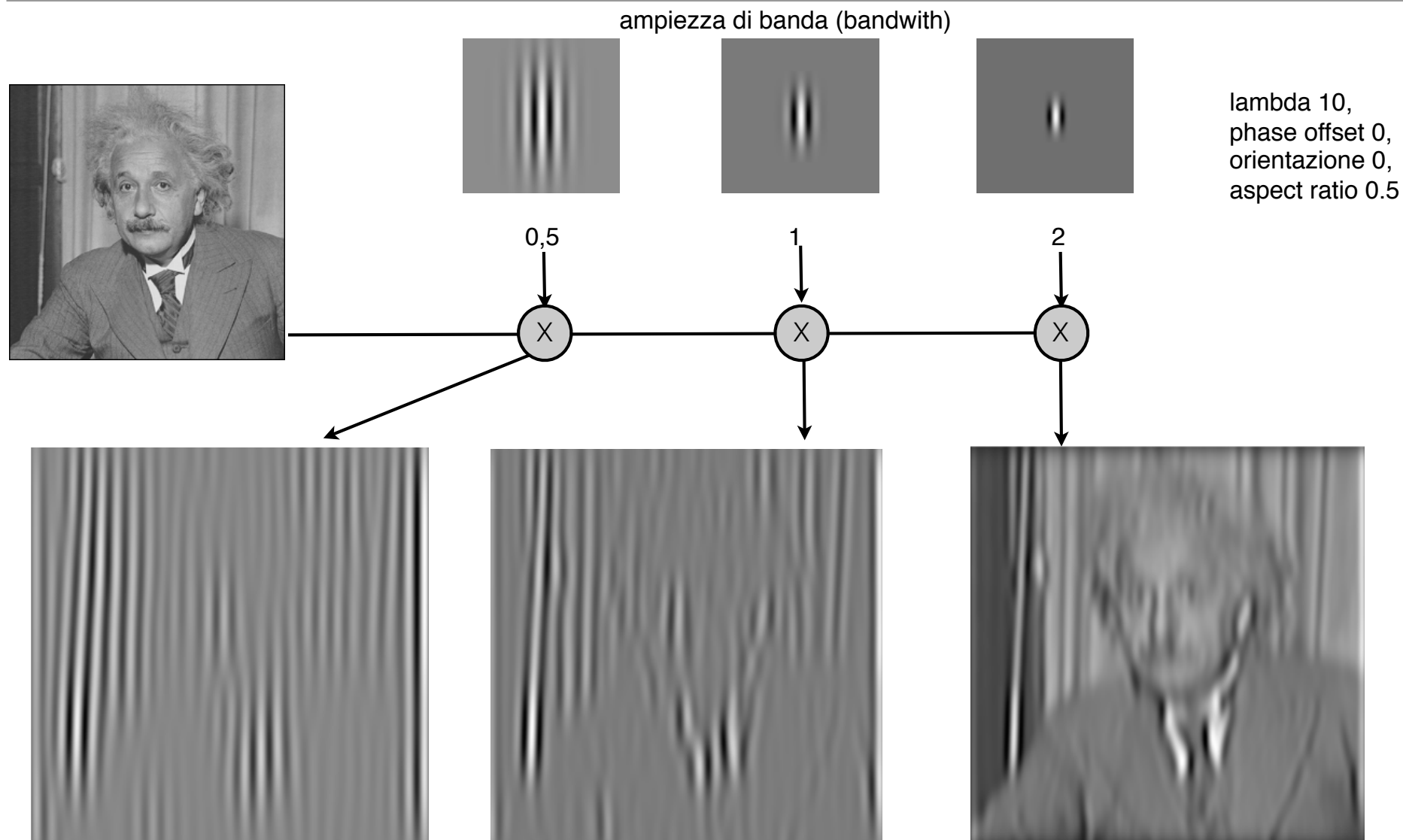
La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor

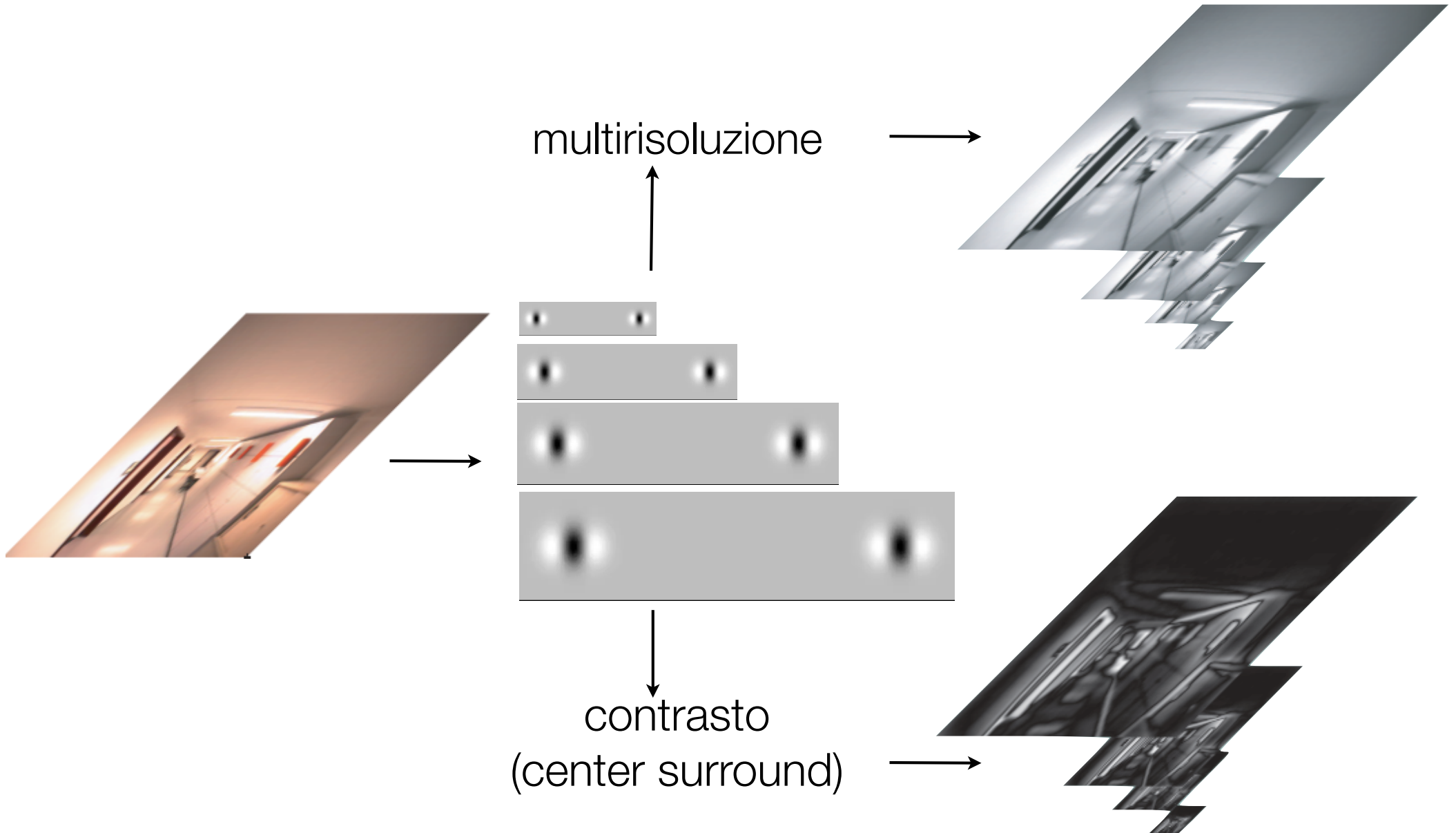


La corteccia striata

//decomposizione dell'informazione: Gabor



Visione spaziale: //la corteccia striata: selezione informazione



Visione spaziale:

//la corteccia striata: selezione informazione

