

SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

IL SISTEMA VISIVO

IL PERCORSO DEL SEGNALE VISIVO DALLA RETINA ALLA CORTECCIA CEREBRALE

La trasmissione del segnale visivo

- Vogliamo capire il legame che c'è tra i segnali generati nella retina e quello che percepiamo
- L'idea è di quella di ripercorrere il tragitto che effettua il segnale dalla retina fino alla corteccia cerebrale dedicata alla visione
 - Come? Determinando come i neuroni delle diverse aree rispondono a stimoli presentati nella retina

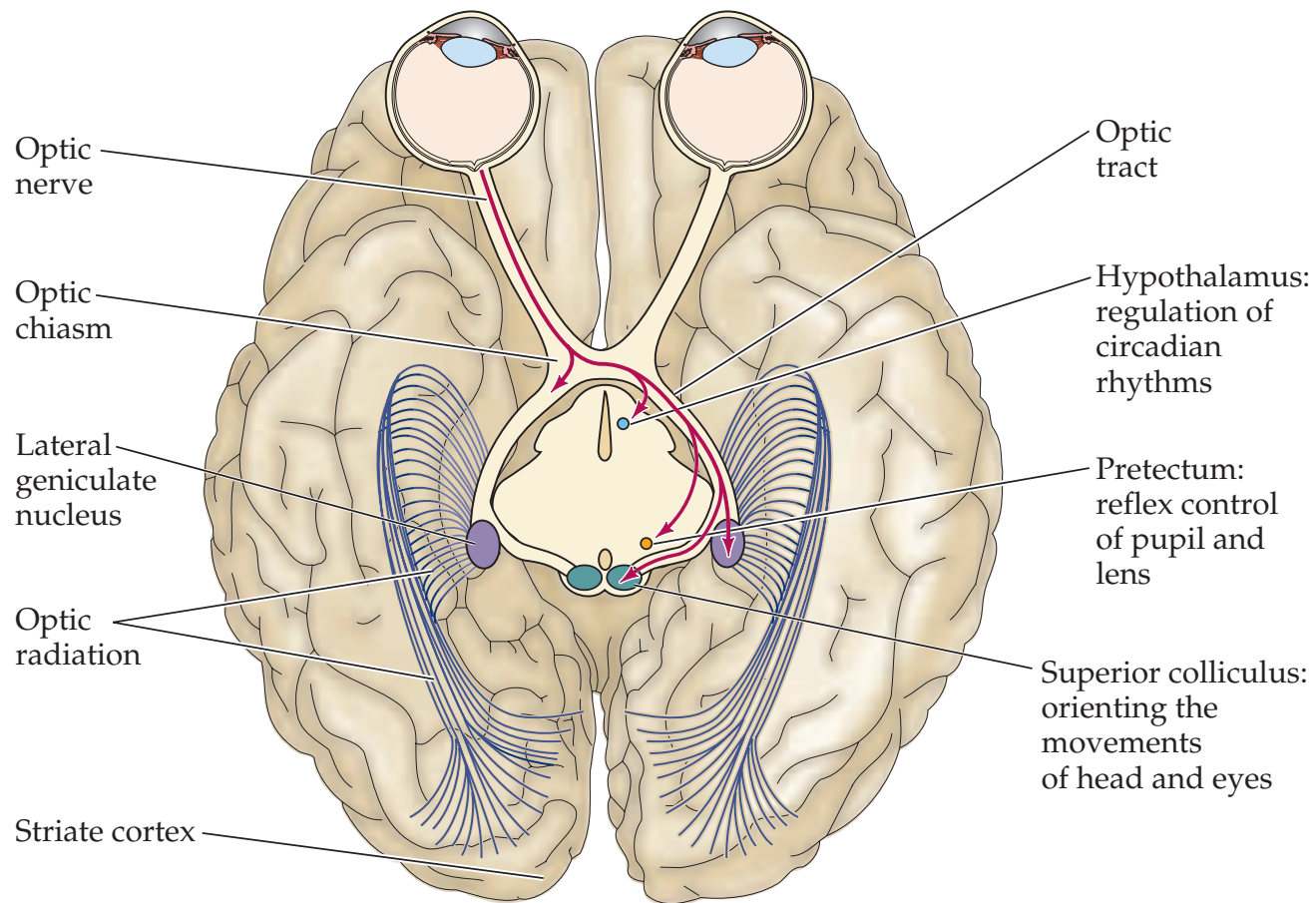


Immagine tratta dal libro Sensation and Perception, J. Wolfe

Rappresentazione del percorso Visivo

- la via neurale che partendo dall'occhio arriva al tronco dell'encefalo.
- Prima di arrivare nel tronco dell'encefalo gli assoni passano per tre strutture:
 - Nervo ottico
 - Chiasma ottico
 - le vie visive si incrociano (decussano) e successivamente danno origine al tratto ottico
 - Tratto ottico

Rappresentazione del percorso Visivo

- La maggior parte dei segnali che lasciano la retina attraverso il nervo ottico raggiungono il Nucleo Genicolato Laterale (NGL) nel talamo
- Da qui raggiungono la principale regione del cervello dedicata alla visione
 - La corteccia striata

Rappresentazione del percorso Visivo

- Dalla corteccia striata il segnale si trasmette attraverso due percorsi:
 - Uno che lo porta al lobo temporale
 - Un altro che attraversa il lobo parietale
- Il segnale visivo raggiunge anche parti del lobo frontale del cervello

- Dove finiscono gli assoni del tratto ottico che non innervano il NGL?
- Ipotalamo: funzione di sincronizzare i ritmi biologici come sonno-veglia
- Pretetto: controllano il diametro della pupilla e alcuni movimenti oculari
- Collicolo superiore: (circa il 10%) controllano il movimento degli occhi e della testa per portare in visione foveale il punto d'interesse

Il Nucleo Genicolato Laterale

- Cosa succede al segnale che arriva al NGL?
- Registrazioni tratte dai neuroni nel NGL mostrano una struttura del campo ricettivo simile a quella della retina
 - Configurazione Centro-periferia
- Replica fedele della struttura delle cellule gangliari
 - Trasmissione diretta del segnale?
 - Che ruolo svolge il NGL?

Il Nucleo Genicolato Laterale

- La funzione principale non è di creare nuove proprietà dei campi recettivi, ma di regolare il flusso dell'informazione visiva dalla retina alla corteccia striata
- Circa il 90% degli assoni retinici va al corpo genicolato laterale (NGL)
 - sono il 10-20% delle afferenze totali al NGL
- altre provengono dalla corteccia o dal tronco dell'encefalo e sono spesso a feedback

Il Nucleo Genicolato Laterale

- Per ogni 10 impulsi nervosi che il NGL riceve dalla retina, solo 4 sono inviati alla corteccia striata.
- Il NGL è un luogo non solo per la regolazione dell'informazione visiva, ma anche un posto per l'organizzazione dell'informazione

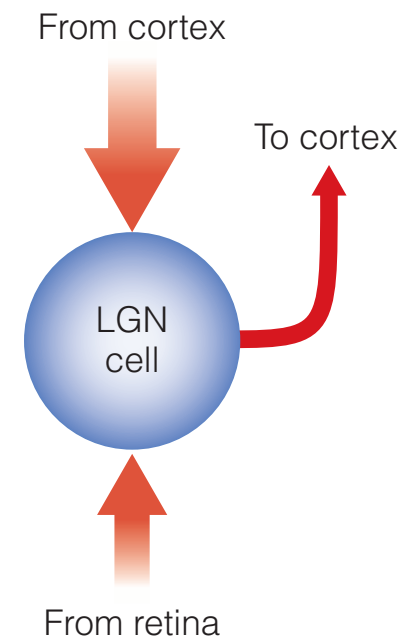


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

Il Nucleo Genicolato Laterale

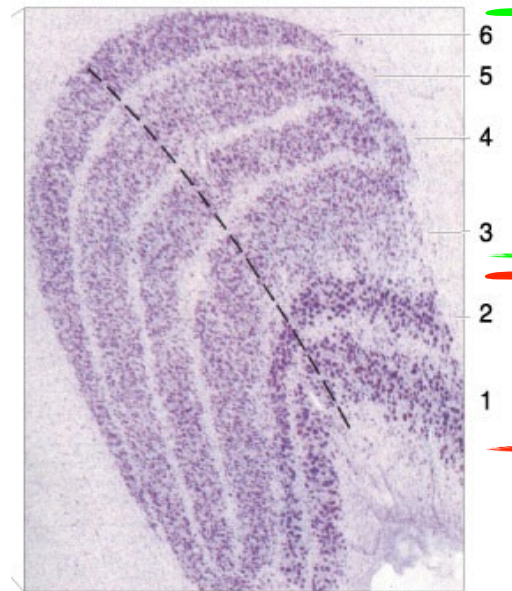
- Molti input che raggiungono il NGL provengono dalla corteccia visiva.
- Altri input arrivano dal tronco dell'encefalo e sono legati a fenomeni di allerta e attenzione.
- NGL rappresenta il primo centro dove quello che vediamo viene influenzato cognitivamente ed emotivamente.

Il Nucleo Genicolato Laterale

- NGL: struttura bilaterale, ognuno per un singolo emisfero
 - Emisfero destro e sinistro
- I due NGL (destro e sinistro) sono localizzati sul talamo dorsale e rappresentano il principale bersaglio del tratto ottico.
- La particolare conformazione di questi strati che si “piegano” attorno al tratto ottico è alla base del termine *genicolato*

Il Nucleo Genicolato Laterale

- Composto da 6 strati di cellule:
 - i primi 2 strati presentano grandi neuroni e sono chiamati strati magnocellulari
 - i restanti 4 strati presentano neuroni più piccoli e sono chiamati strati parvocellulari



Il Nucleo Genicolato Laterale

- Gli strati Rossi ricevono segnali dall'occhio dello stesso lato: ipsilaterale (strati 2,3 e 5)
- Gli strati Blu, dal controlaterale (strati 1,4 e 6)
 - Occhio opposto

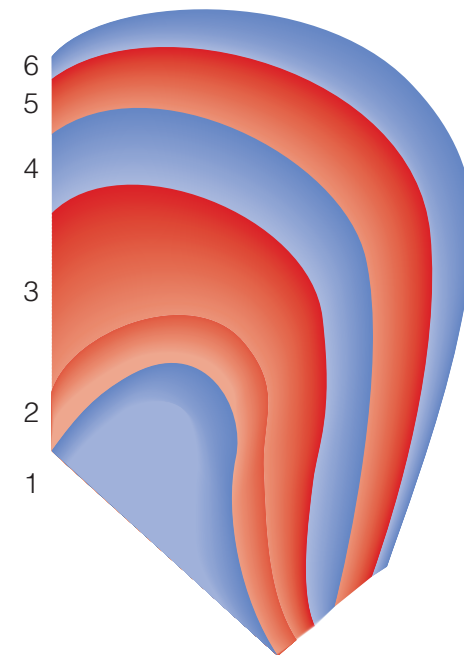


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

Il Nucleo Genicolato Laterale

- Inserendo dei microelettrodi nel NGL possiamo misurarne i campi recettivi
 - così come si fa per le cellule gangliari
- Neuroni magnocellulari hanno campi recettivi centro-periferia ampi (come per le cellule gangliari retiniche M)
- Mentre i neuroni parvocellulari hanno campi centro-periferia più piccoli (come per le cellule P della retina).

Il Nucleo Genicolato Laterale

- **Organizzazione retinotopica** = la proiezione della retina nel NGL
- Il principio della organizzazione retinotopica è che cellule vicine nella retina inviano informazioni a zone limitrofe delle strutture bersaglio nel NGL
- In questo modo la superficie della retina viene tracciata sulla superficie del NGL come se fosse una mappa
- Questo vale per ogni singolo strato del NGL

Organizzazione retinotopica

- Come è possibile dimostrarlo?
 - Si inserisce un micro-elettrodo in uno strato del NGL per misurare l'attività del neurone e si stimola opportunamente con flash luminosa differenti aree della retina.

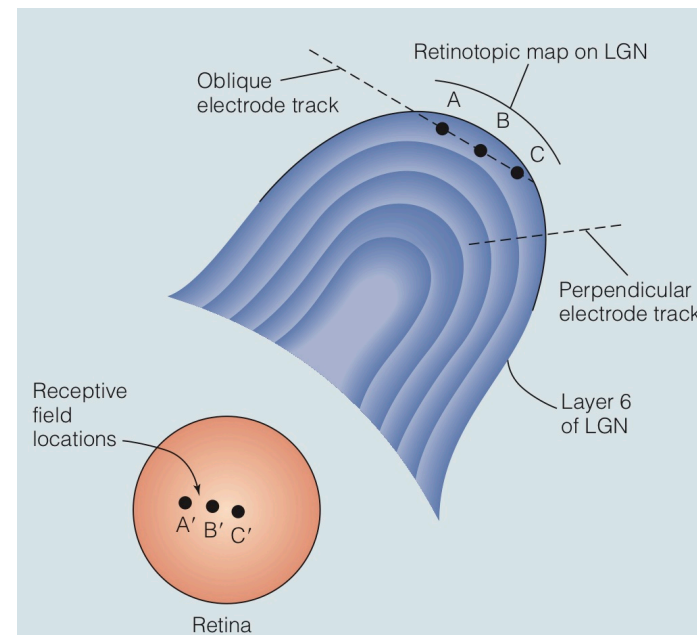


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

Organizzazione retinotopica

- Risultati dei test:
 - Stimolando una sequenza di punti nella retina è possibile determinare l'attività di una corrispondente sequenza di neuroni nel NGL.
 - Punti adiacenti o vicini nella retina corrispondono a punti adiacenti o vicini nel NGL
 - Questa è la dimostrazione che esista una mappa retinotopica
 - Questa struttura è presente in tutti gli strati del NGL

La corteccia Striata

- Il passo successivo che compie il segnale visivo è quello di raggiungere la corteccia striata
 - Zona principale per l'elaborazione visiva
- Una zona molto ampia della corteccia è coinvolta nell'analisi della visione
 - Circa l'80% della corteccia risponde a stimoli visivi

La corteccia Striata

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

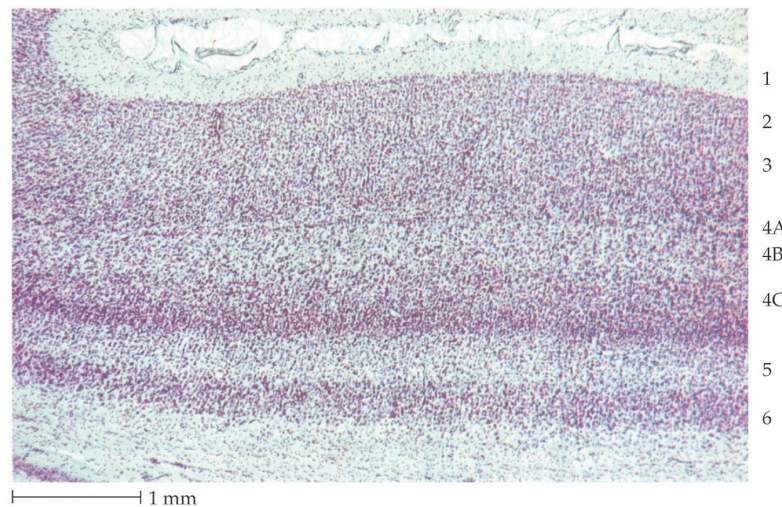


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
J. Wolfe

La corteccia Striata

- Gli oggetti che sono proiettati sulla fovea sono elaborati dai neuroni di una vasta parte della corteccia striata
- Oggetti proiettati alla periferia (destra o sinistra) sono relegati a una piccola porzione della corteccia
- Ingrandimento corticale: la rappresentazione corticale della fovea è notevolmente ingrandita rispetto alla rappresentazione corticale della periferia

La corteccia Striata

- David Hubel e Thorsten Wiesel pubblicano una serie di articoli scientifici che descrivono la struttura della corteccia striata
 - Attraverso le proprietà dei Campi recettivi e dell'organizzazione dei neuroni
- Per questa ricerca e altre connesse con il sistema visivo, Hubel e Wiesel ricevono il premio Nobel
 - 1982 premio per la Fisiologia e Medicina

La corteccia Striata

- Gli esperimenti di Hubel e Wiesel:
 - Basati principalmente sui gatti
 - I campi recettivi venivano studiati stimolando con flash luminosi zone specifiche della retina
 - Come per la retina e NGL, anche la corteccia striata ha campi recettivi con zone eccitatorie e inibitorie
 - Cambia però la struttura del campo recettivo, non più con regioni circolari

Gli esperimenti di Hubel e Wiesel

- la risposta non viene più evocata da stimoli semplici come gli anelli e le piccole macchie di luce che attivavano la retina
- Le cellule corticali si dimostrano sensibili a stimoli di forma specifica
 - Barre di luce o stimoli rettilinei
- Le cellule corticali si possono suddividere in due categorie principali:
 - le cellule semplici e quelle complesse

Cellule semplici

- I campi recettivi delle cellule semplici mostrano a loro volta sia aree eccitatorie che inibitorie.
- Rispetto ai campi delle cellule gangliari e del NGL, i campi recettivi delle cellule semplici sono di dimensioni maggiori.
- Per le cellule semplici, la risposta ottimale si ottiene quando lo stimolo ha un orientamento specifico.

Cellule semplici

- Esempio di campo recettivo nella corteccia

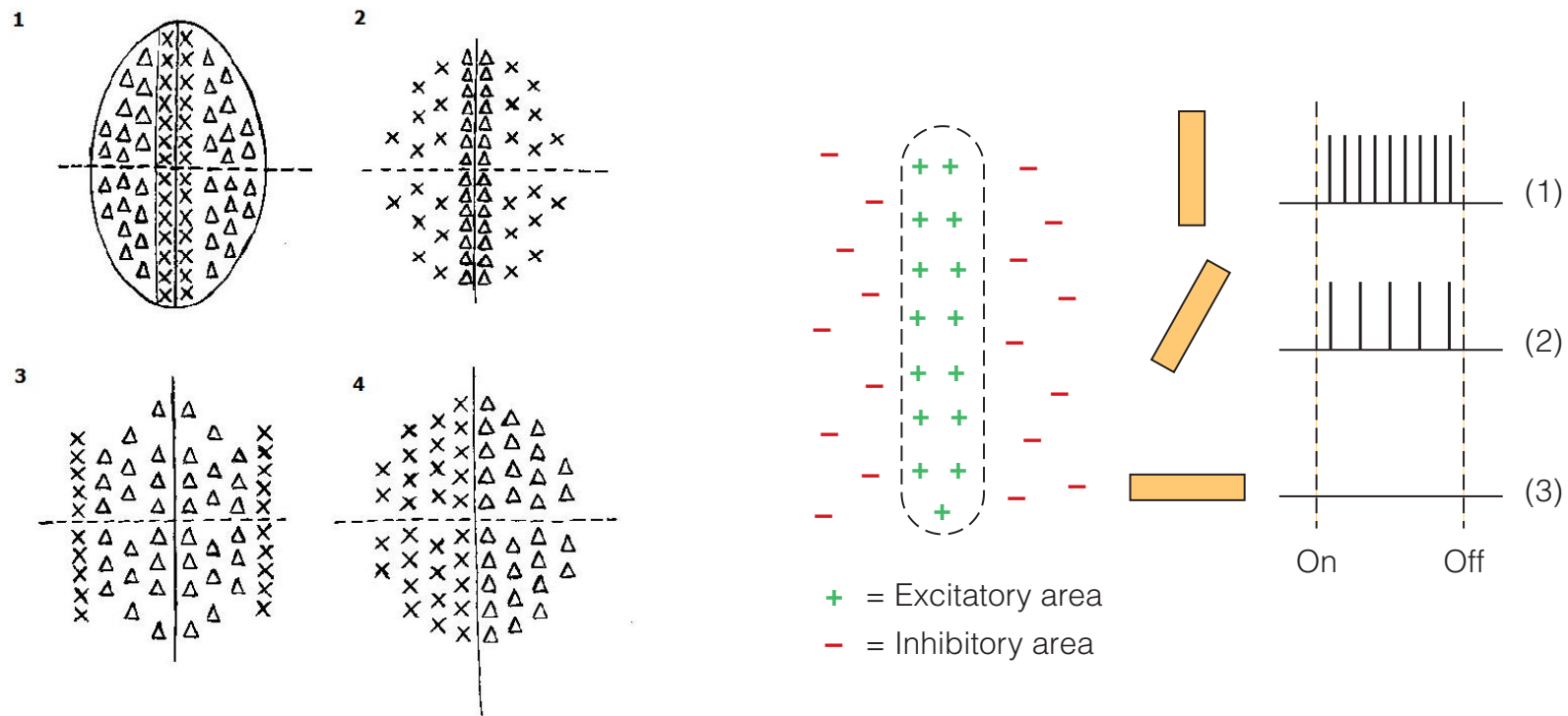
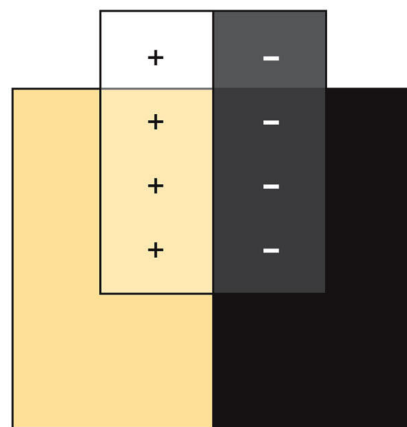


Immagine tratta dal libro Sensation and Perception, B. Goldstein

Cellule Semplici

- Due esempi di campi recettivi per cellule semplici
 - Rilevatore di bordi, zona chiara in corrispondenza dell'area eccitatoria e zona scura in quella inibitoria.
 - Rilevatore di striscie, risponde in maniera ottimale a una striscia di luce con una determinata ampiezza

(a) Edge detector



(b) Stripe detector

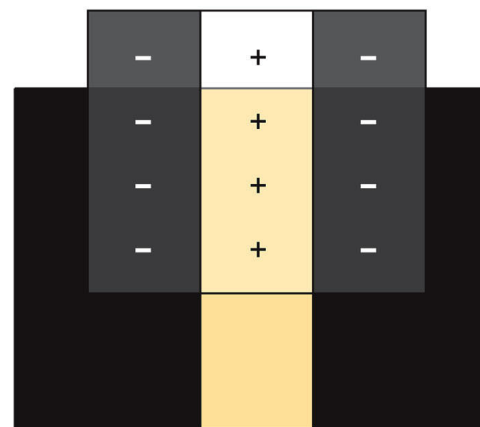


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
J. Wolfe

Cellule Semplici

- Modifica della scarica di impulsi in funzione dell'inclinazione verticale della sorgente luminosa

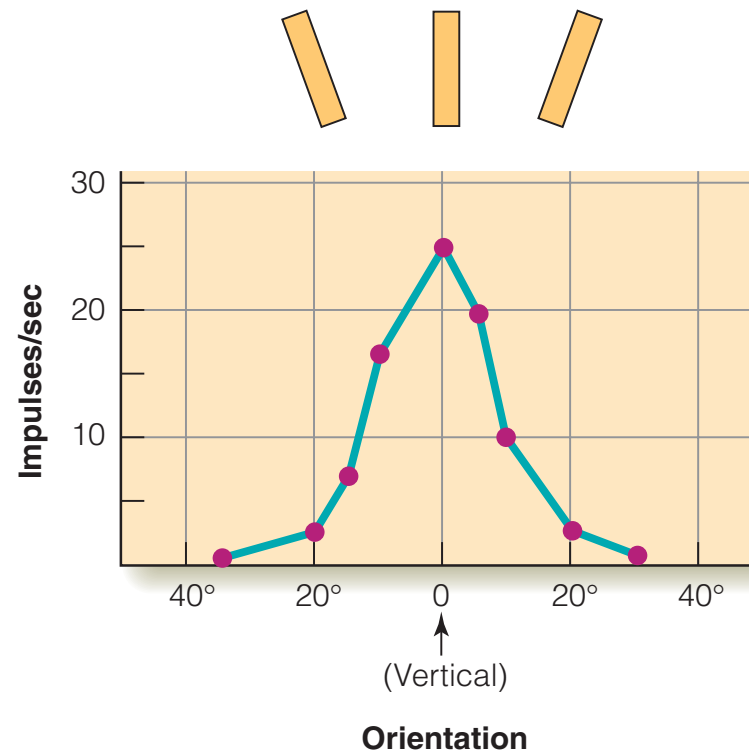


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

Cellule Corticali Semplici

- Gli stimoli diventano più specifici:
 - 1) Devono eccitare la zona giusta
 - 2) Devono avere forma adatta
 - 3) Devono avere un asse di orientamento specifico

Cellule Corticali Semplici

- Selettività all'orientamento:
 - Tendenza dei neuroni della corteccia striata a rispondere in maniera ottimale a certi specifici orientamenti dello stimolo luminoso e meno ad altri
- La popolazione totale dei neuroni della corteccia sarà capace nel suo insieme di rilevare tutti i possibili orientamenti

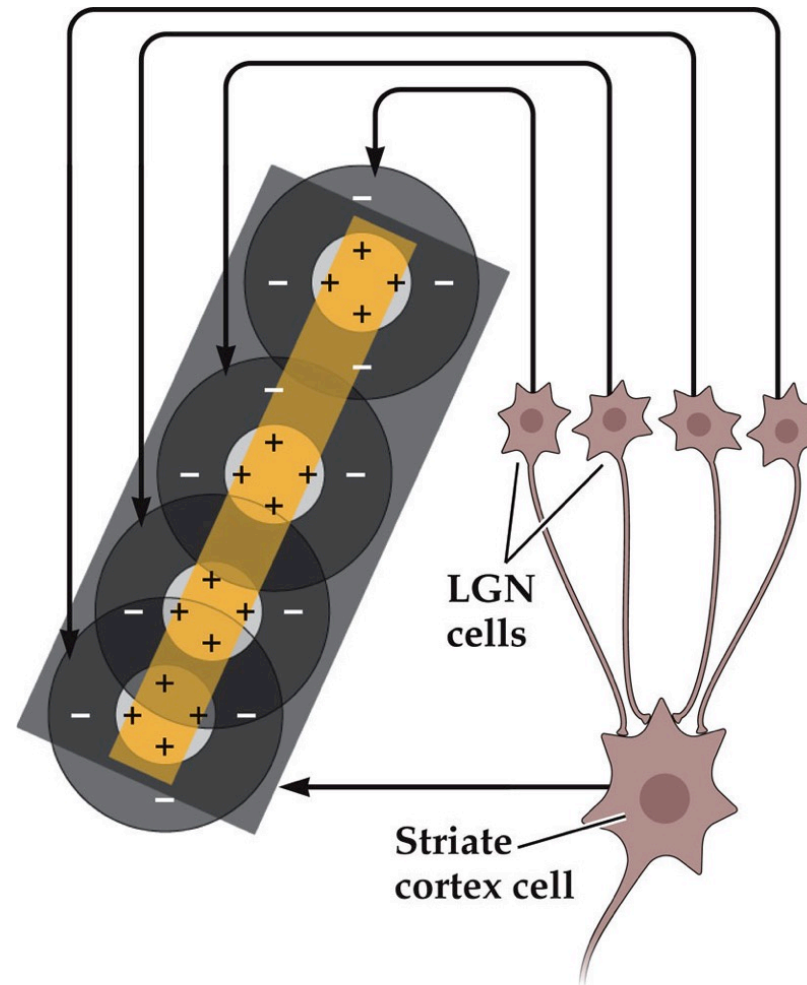
Campo recettivo nella corteccia

- Come possono i campi recettivi circolari del Nucleo Genicolato Laterale trasformarsi nei campi recettivi allungati della corteccia striata?
 - Hubel e Wiesel proposero uno schema molto semplice per rispondere a questa domanda

Campo recettivo nella corteccia

- Sperimentalmente è stato dimostrato che le zone eccitatorie (zone on) rappresentano afferenze di cellule centro on del NGL
- Mentre le zone inibitorie (zone off) rappresentano afferenze delle cellule centro off del NGL

Campo recettivo nella corteccia



SENSATION & PERCEPTION 3e, Figure 3.19
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

Cellule Complesse

- I campi recettivi delle cellule complesse hanno asse di orientamento specifico ma non esistono zone eccitatorie né inibitorie né posizione preferenziale dello stimolo
- La maggior parte di cellule complesse risponde solamente quando una barra di luce opportunamente orientata si muove all'interno del campo recettivo

Cellule Complesse

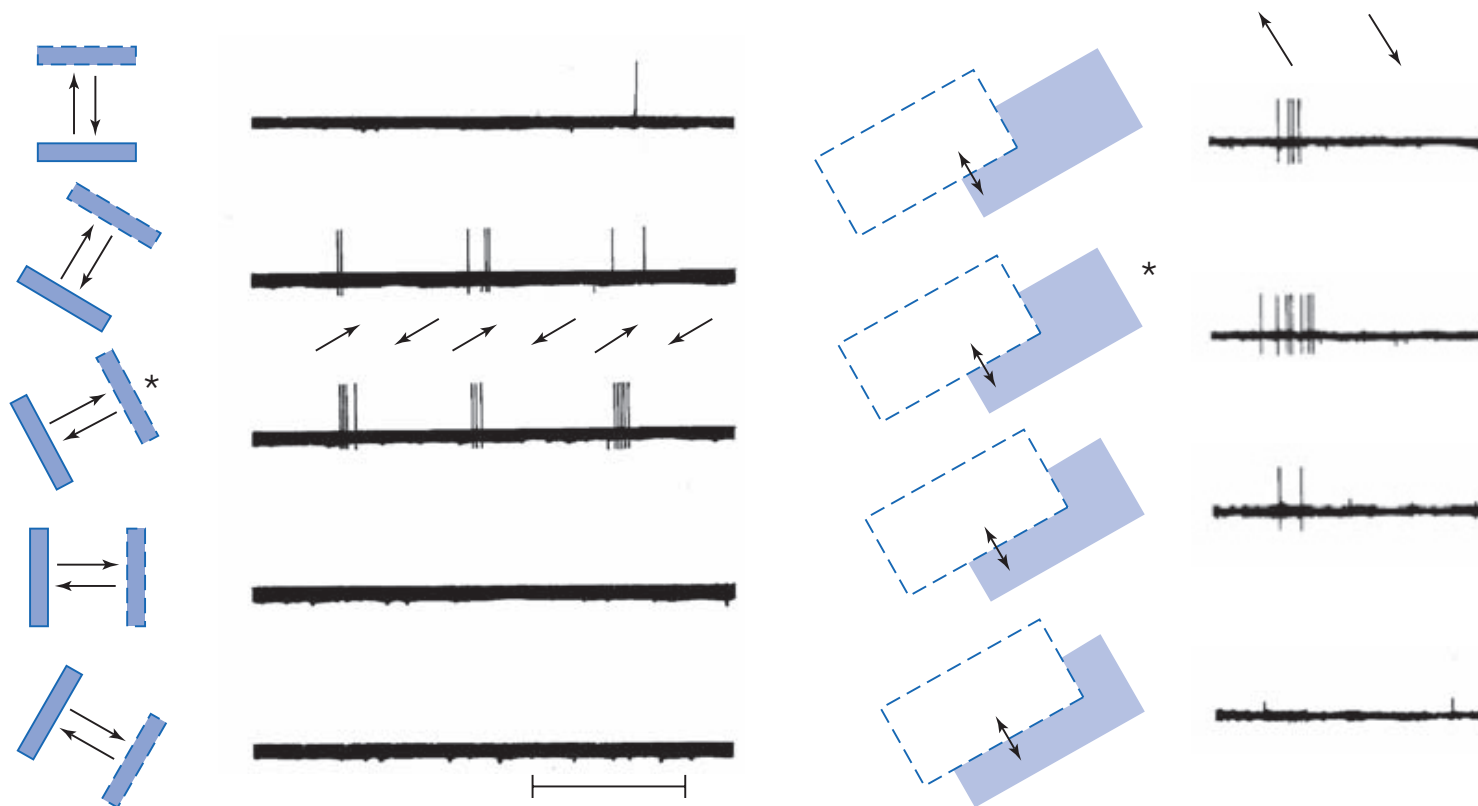


Immagine tratta dal libro *Sensation and Perception*, B. Goldstein

- Cellule semplici vs complesse

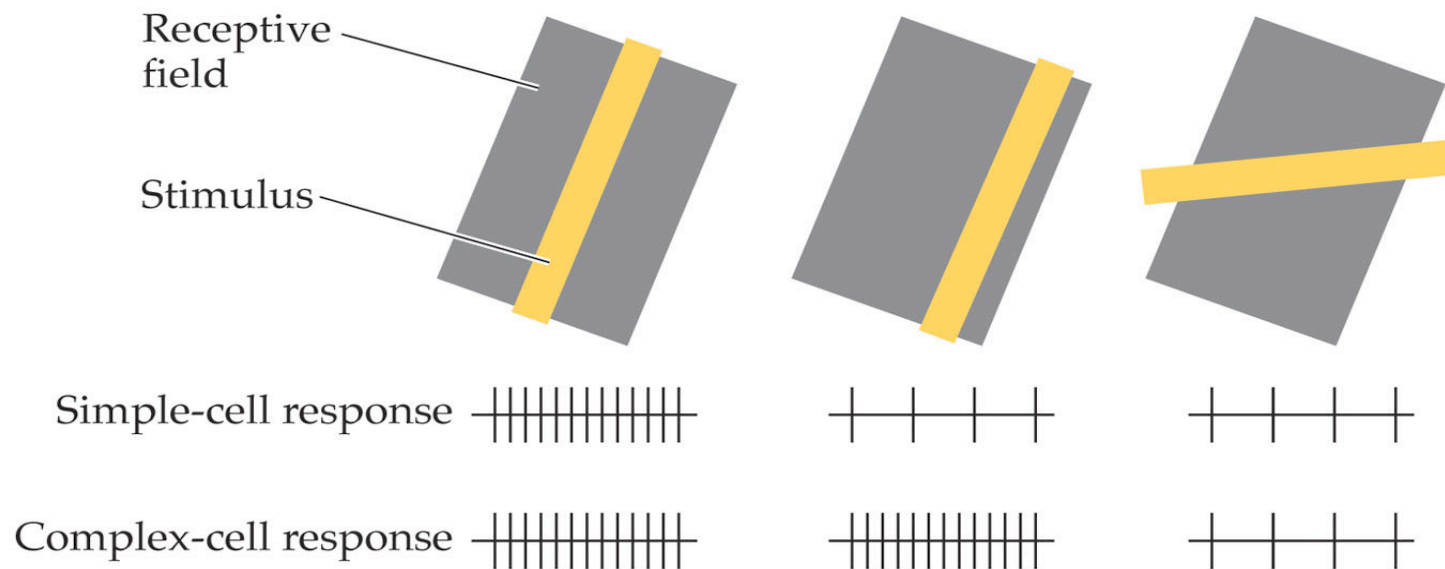


Immagine tratta dal libro Sensation and Perception, J. Wolfe

Cellule con margini di arresto

- cellule della corteccia striata
 - aumentano il proprio ritmo di scarica se uno stimolo barra è ingrandito fino a coprire completamente il loro campo recettivo
 - diminuiscono la loro attività se lo stimolo diviene ancora più grande superando la dimensione del campo recettivo

Cellule con margini di arresto

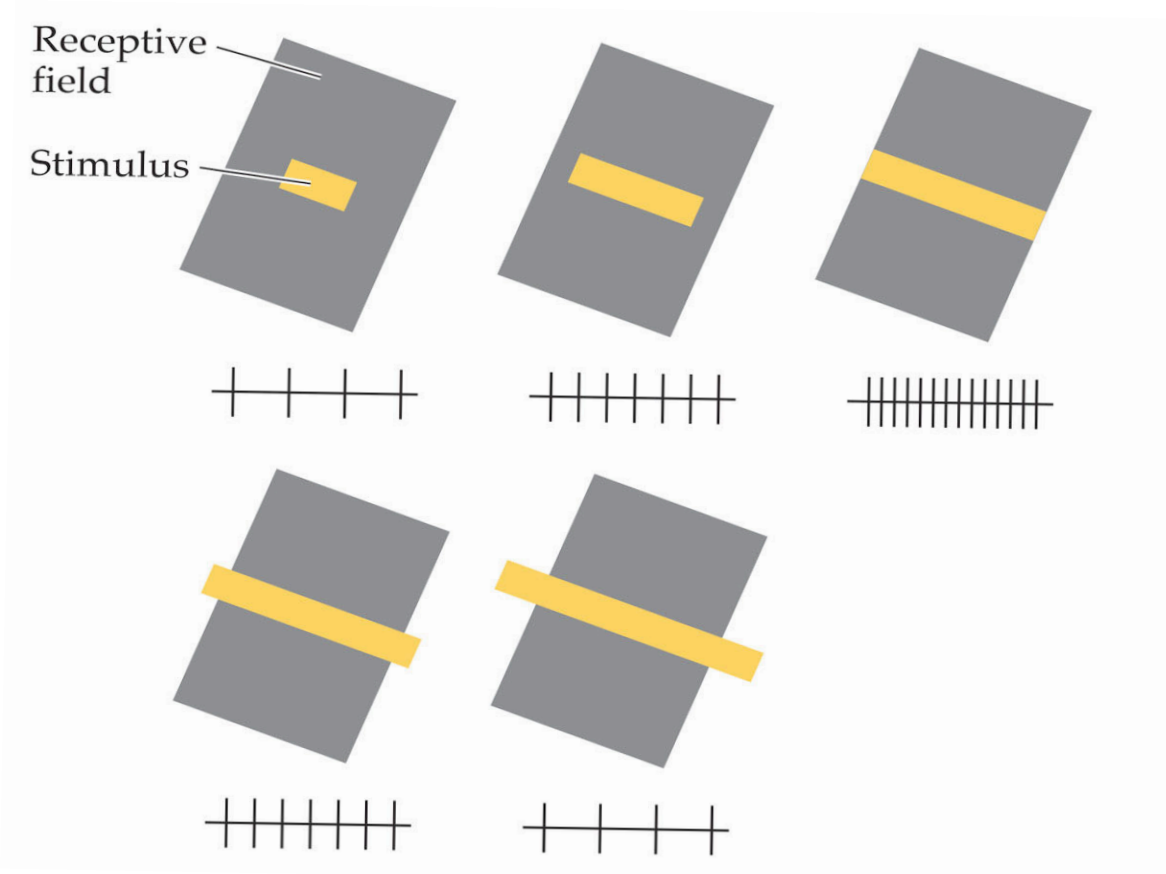


Immagine tratta dal libro Sensation and Perception, J. Wolfe

Sintesi dei Neuroni nei diversi distretti

TABLE 4.1 ■ Properties of Neurons in the Optic Nerve, LGN, and Cortex

TYPE OF CELL	CHARACTERISTICS OF RECEPTIVE FIELD
Optic nerve fiber (ganglion cell)	Center-surround receptive field. Responds best to small spots, but will also respond to other stimuli.
Lateral geniculate	Center-surround receptive fields very similar to the receptive field of a ganglion cell.
Simple cortical	Excitatory and inhibitory areas arranged side by side. Responds best to bars of a particular orientation.
Complex cortical	Responds best to movement of a correctly oriented bar across the receptive field. Many cells respond best to a particular direction of movement.
End-stopped cortical	Responds to corners, angles, or bars of a particular length moving in a particular direction.

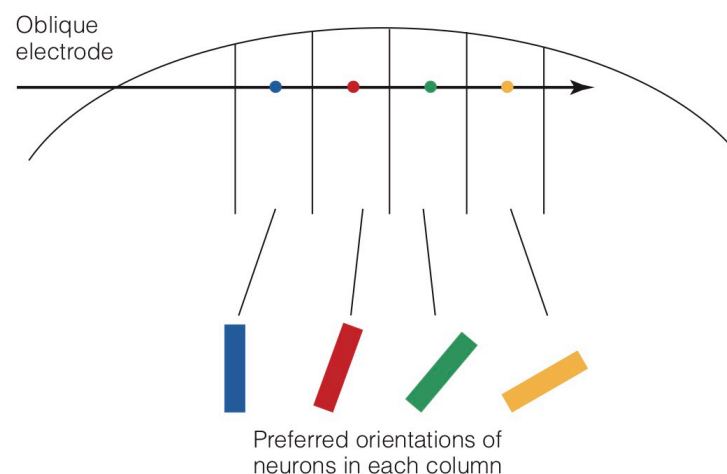
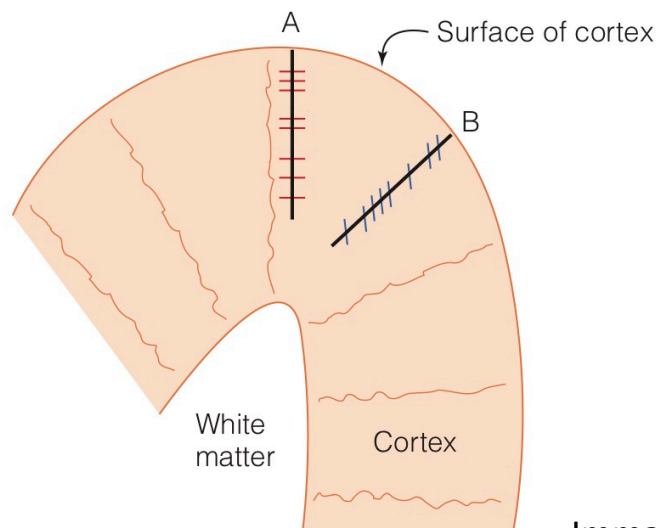
Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

La corteccia Striata

- Organizzazione della corteccia striata:
 - Hubel e Wiesel dopo aver studiato e analizzato i diversi tipi di neuroni presenti nella corteccia, si sono occupati di studiare come sono organizzati e disposti nei diversi strati della corteccia
 - Diversi esperimenti con elettrodi posizionati opportunamente nella corteccia
 - Risultati: La corteccia è organizzata in diverse colonne di diversa tipologia

La corteccia Striata

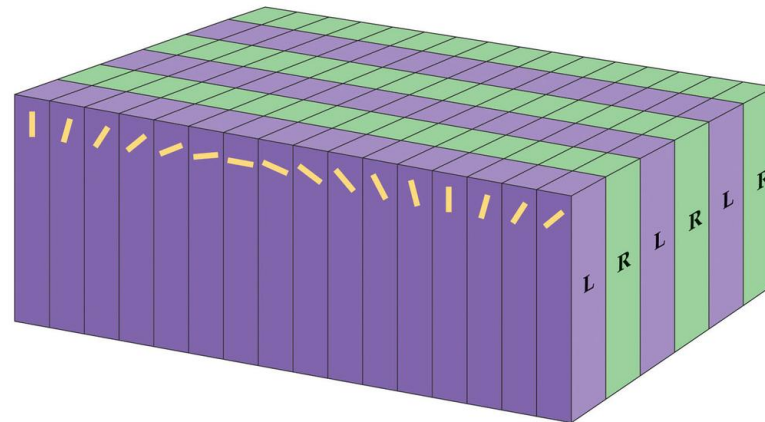
- Esperimenti di Hubel e Wiesel
 - Tutti i neuroni corticali incontrati lungo la sezione A rispondono allo stesso tipo di stimolo, barre orizzontali
 - Se l'elettrodo è inserito in maniera obliqua è possibile trovare neuroni che cambiano la loro sensibilità all'orientamento in maniera sequenziale.



Immagini tratte dal libro Sensation and Perception, B. Goldstein

La corteccia Striata

- Hubel e Wiesel arrivarono alla conclusione che i neuroni con preferenze per orientamenti simili sono disposti in colonne posizionate verticalmente all'interno della corteccia.



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 3.22 © 2005 Sinauer Associates, Inc.

La corteccia Striata

- Sistemático progressivo cambiamento nell'orientamento preferito: tutti gli orientamenti erano compresi in una distanza di circa 0.5 mm
- L'orientamento non è l'unica proprietà della corteccia disposta in colonne
 - Disposizione oculare: neuroni che rispondono alla stessa preferenza oculare
- Una porzione di 1mm di corteccia contiene tutta la struttura che serve per la ricostruzione di una immagine

La corteccia Striata

- Diagramma schematico della struttura della corteccia.
 - Ipercolonna: colonna oculare e colonna di orientamento

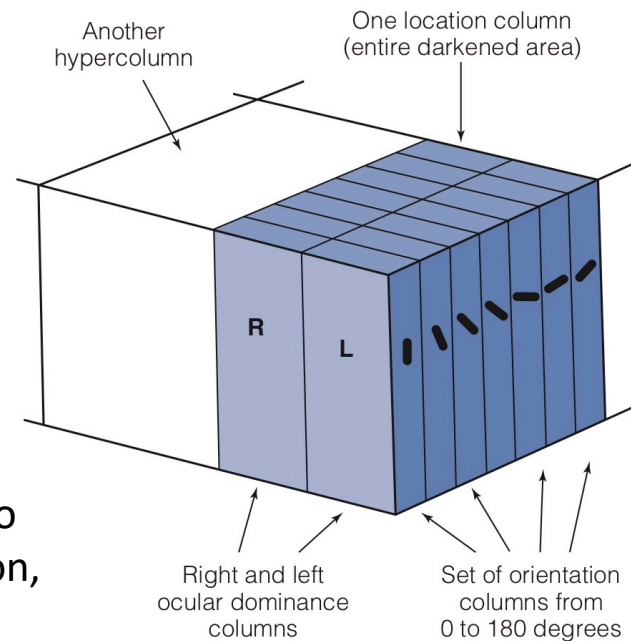


Immagine tratta dal libro
Sensation and Perception,
B. Goldstein

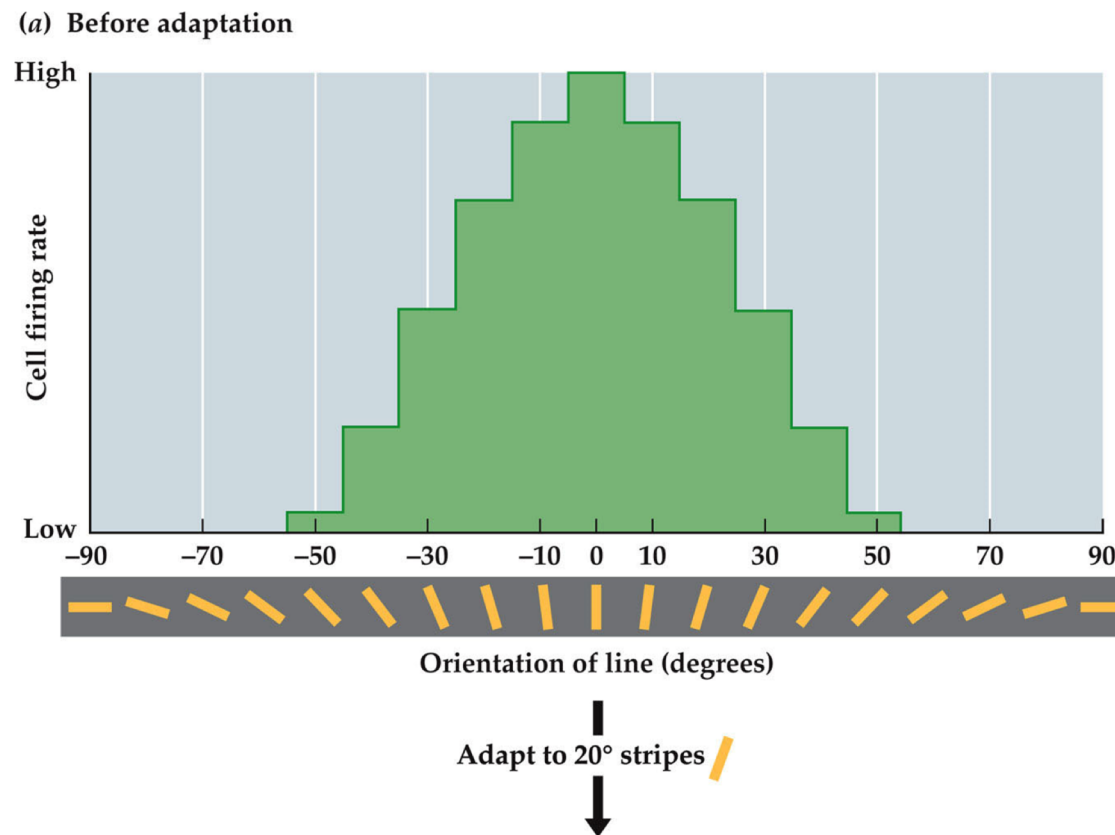
- La corteccia striata è coinvolta nell'analisi dell'orientamento, delle dimensioni, della forma, della velocità e della direzione del movimento degli oggetti nell'ambiente
 - Queste analisi vengono fatte dalle ipercolonne, ognuna per l'elaborazione di informazioni provenienti da una piccola porzione di campo visivo
- Il resto della corteccia dovrà opportunamente combinare i risultati delle varie ipercolonne

Il sistema della corteccia visiva umana

- Tutti questi risultati sono stati ottenuti attraverso analisi su animali
- Hubel e Wiesel con gatti e scimmie
- Come è strutturato il sistema della corteccia visiva umana?
 - Studiare il comportamento senza poter usare elettrodi direttamente posizionati nella corteccia

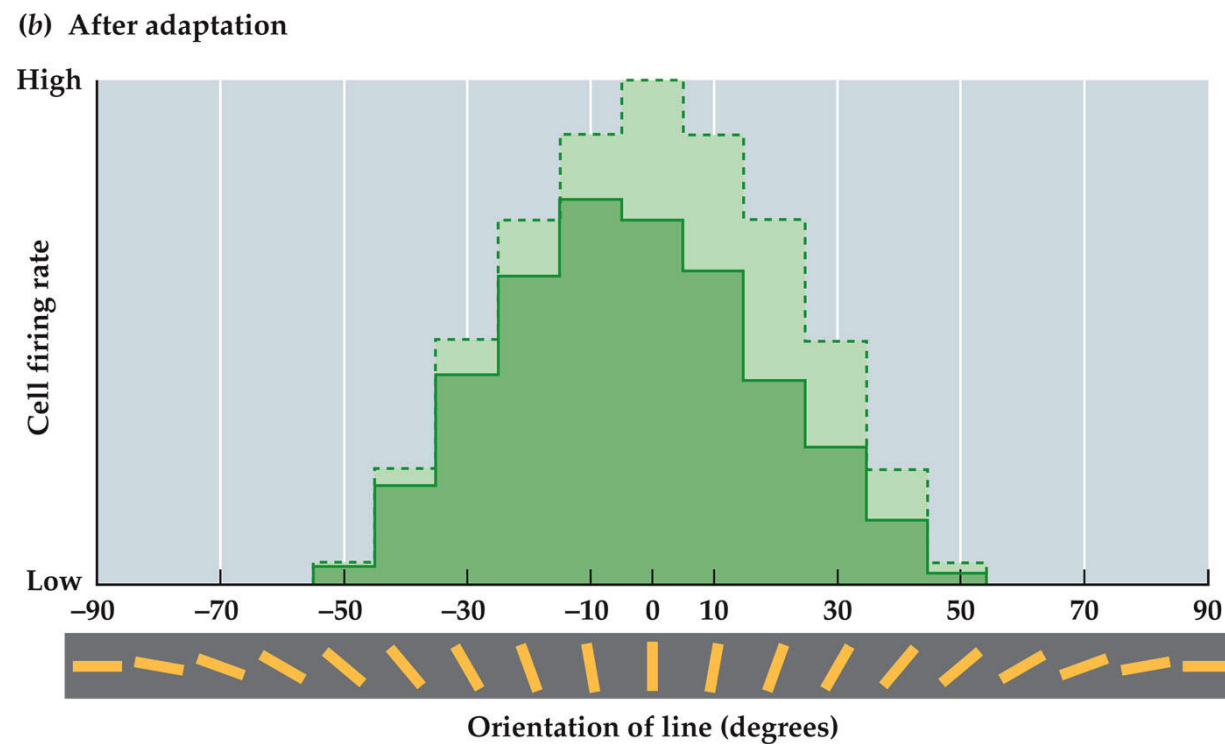
«L'elettrodo» dello psicologo

- Tecnica dell'adattamento



SENSATION & PERCEPTION 3e, Figure 3.27 (Part 1)
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

- Risposta dopo un adattamento temporale allo stimolo

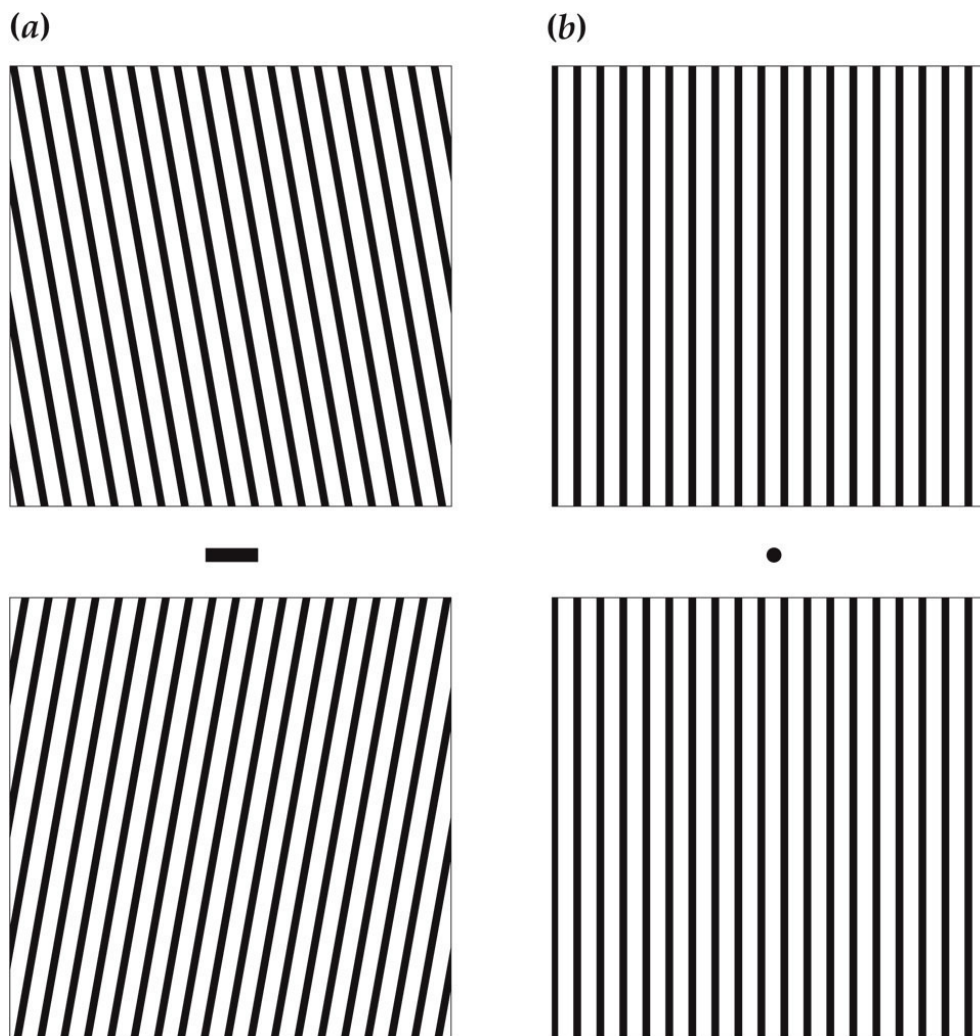


SENSATION & PERCEPTION 3e, Figure 3.27 (Part 2)
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

La tecnica dell'adattamento selettivo

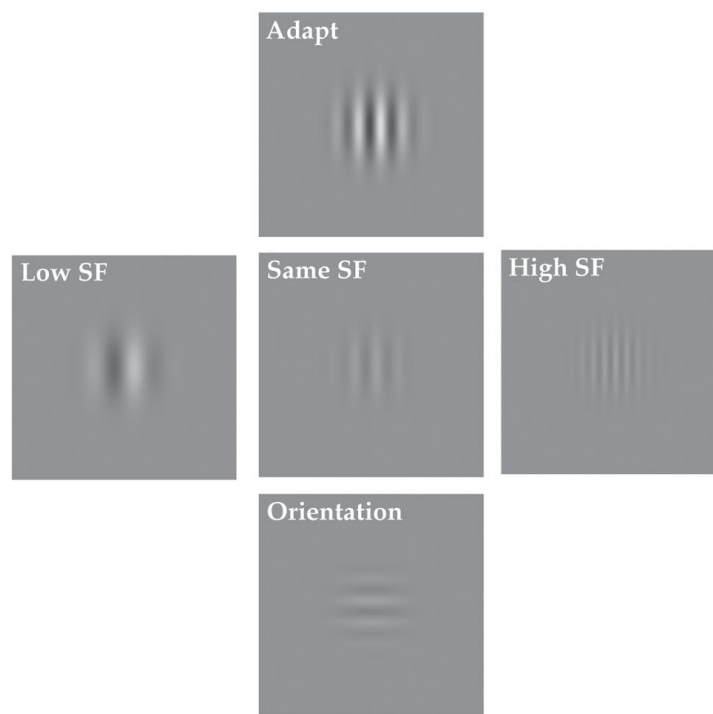
- Post-immagine di orientamento (Tilt after-effect):
 - Illusione percettiva riguardante l'orientamento di uno stimolo che scaturisce dall'essersi adattati precedentemente ad un certo orientamento
- Tale illusione supporta l'idea che il sistema visivo umano comprende singoli neuroni selettivi per orientamenti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

La tecnica dell'adattamento selettivo



La tecnica dell'adattamento selettivo

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



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 3.26 © 2006 Sinauer Associates, Inc.