

Fisiologia Umana

Il Sistema Nervoso

Metodi di Indagine del SN

- **Anatomia** (struttura del sistema)
A diversi livelli di dettaglio e relativa sia alle strutture che alle connessioni
- **Fisiologia** (Funzionamento del sistema)
Elettrofisiologia, biochimica
- **Embriologia**
- **Farmacologia** (Effetto di farmaci)
sia a fini diagnostici e terapeutici che conoscitivi
- **Psicologia e Psicofisica** (Risposte "soggettive" a stimoli)
Percezione sensoriale
- **Modellistica e Simulazione** (hardware e software)

Cervello e Comportamento

Le **Neural Sciences** cercano di spiegare il comportamento sulla base dell'attività del cervello

Alcune domande:

I *processi mentali* sono localizzati in aree specifiche del cervello o rappresentano l'attività emergente dell'intero cervello?

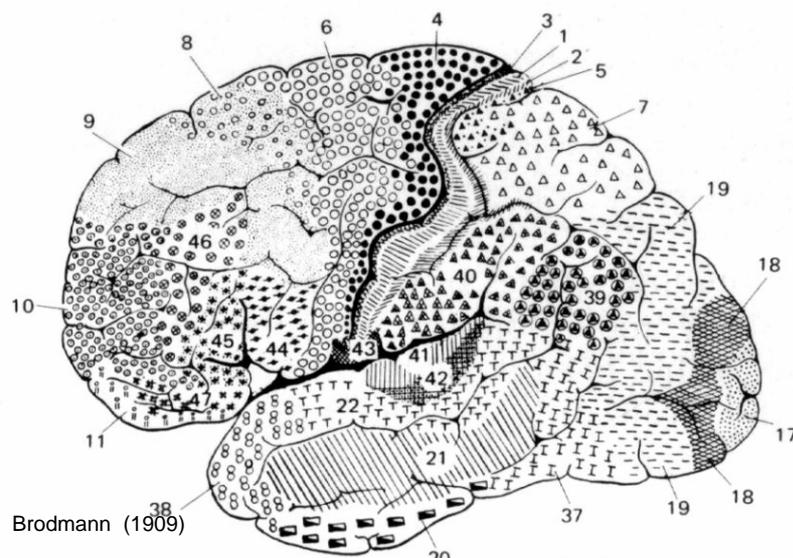
Se i processi sono localizzati quali regole legano l'anatomia e la fisiologia al comportamento (percezione, pensiero, movimento)?

A che livello di dettaglio lavorare (singolo neurone, nuclei etc.)?

Quale parametro considerare (elettrico, chimico, fisico)?

Cenni storici

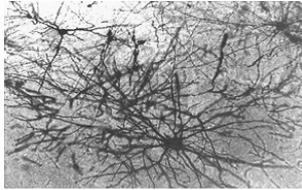
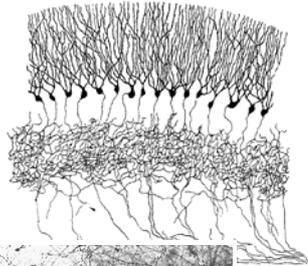
Anatomia



Cenni storici

Istologia

Fisiologia AA 2004/2005



Fino alla scoperta del microscopio l'idea prevalente era che il cervello fosse una ghiandola e che l'elaborazione avvenisse mediante fluidi.



1624



Alla fine del 1800 Camillo Golgi e Santiago Ramon I Cajal descrivono la struttura delle cellule nervose (i neuroni) - *silver staining method*.



Giulio Sandini

5

Cenni storici

(elettro) fisiologia

Fisiologia AA 2004/2005

Alla fine del diciottesimo secolo Luigi Galvani scopre che i tessuti nervosi producono elettricità

•1809 Rolando stimola elettricamente la corteccia

•1820 Inventato il Galvanometro

•Nel 1900 si scopre che l'attività elettrica di un neurone influenza l'attività di altri neuroni

•1906 - Charles S. Sherrington descrive le sinapsi e la corteccia motoria.

•1929 – Hans Berger pubblica i primi risultati sull'eeg



6

Cenni storici Farmacologia

Alla fine del diciannovesimo secolo Claude Bernard, Paul Ehrlich e John Langley scoprono che alcuni farmaci interagiscono con specifici recettori.

1963 - John Carew Eccles, Alan Lloyd Hodgkin and Andrew Fielding Huxley share Nobel Prize for work on the mechanisms of the neuron cell membrane

1976 - Erwin Neher and Bert Sakmann develop the patch-clamp technique

<http://faculty.washington.edu/chudler/hist.html>

Cenni storici Psicologia e Comportamento

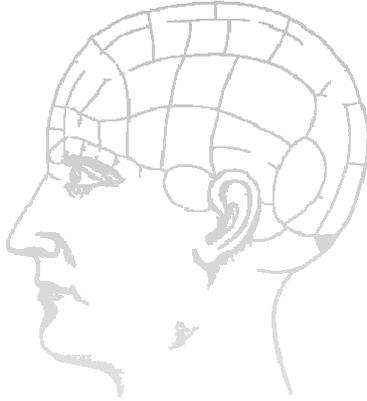
Lo studio del comportamento umano inizia già nell'antichità

Uno studio sistematico del comportamento inizia a metà del XIX secolo con Charles Darwin e le sue ricerche sull'evoluzione e sul comportamento animale.

experimental psychology: studio del comportamento umano e animale in condizioni controllate

ethology: studio del comportamento degli animali nel loro ambiente naturale

Cenni storici Psicologia e Comportamento

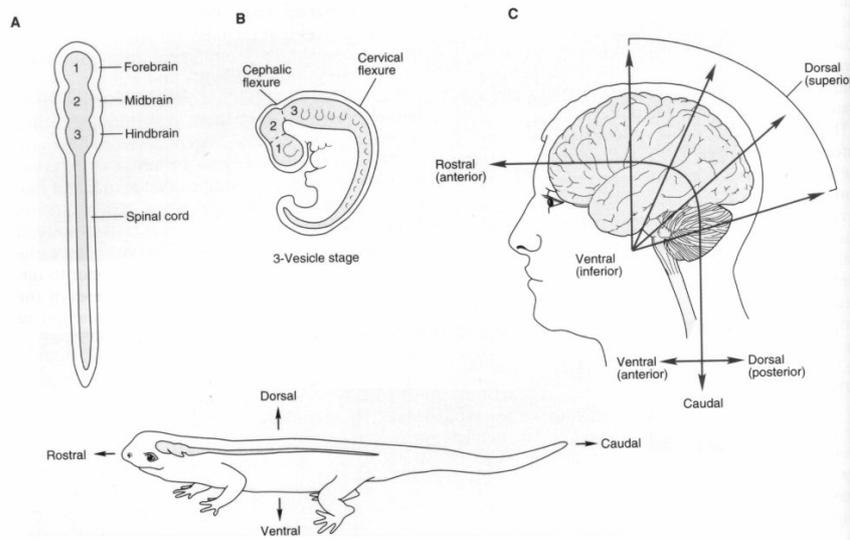


Il tentativo di mettere in relazione “biologia” e comportamento inizia già alla fine del XVIII secolo con Franz Joseph Gall: aree discrete della corteccia cerebrale controllano funzioni specifiche

Il cervello non è un unico organo ma è formato da un insieme di almeno 35 organi a ciascuno dei quali corrisponde una facoltà mentale (anche concetti astratti quali la generosità e la pazienza)

L'uso di queste facoltà provoca una crescita degli organi per cui è possibile, analizzando la forma del cranio caratterizzare il carattere degli individui (*phrenology*)

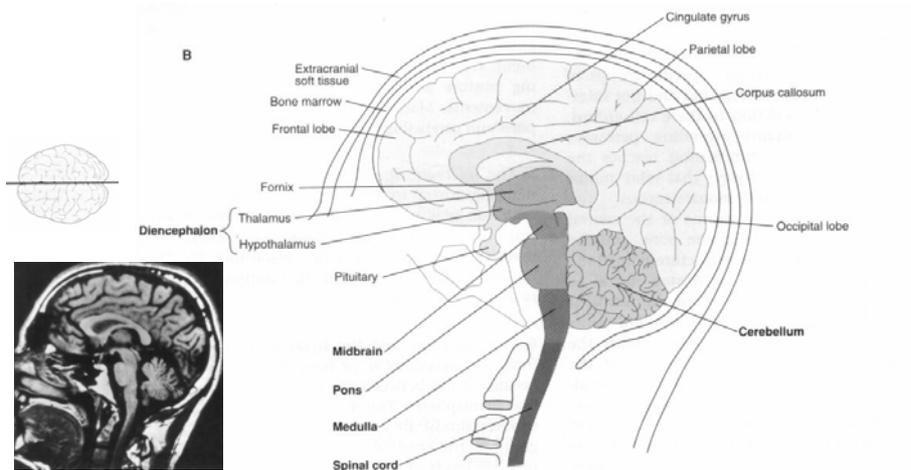
Struttura del sistema nervoso



Sistema Nervoso

Sistema Nervoso Centrale: Cervello e midollo spinale

Sistema nervoso periferico: I neuroni che controllano i muscoli e i recettori periferici

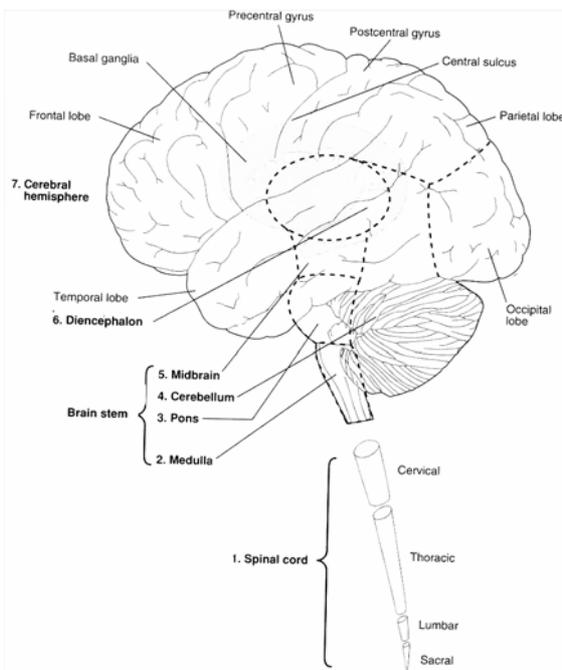


Giulio Sandini

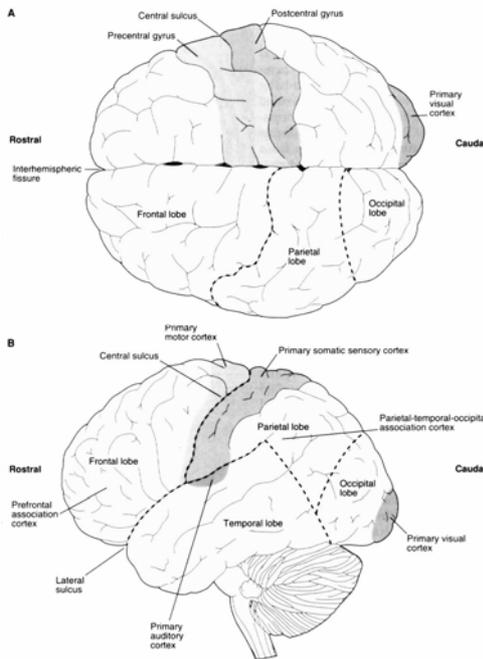
SNC

Il sistema nervoso centrale è formato da 7 parti principali:

- 1) **Midollo spinale:** riceve informazioni sensoriali dagli arti e dagli organi interni e controlla i motoneuroni
 - 2) **Medulla**
 - 3) **Pons**
 - 4) **Cervelletto**
 - 5) **Midbrain**
- } *Brain Stem*
- 6) **Diencefalo**
 - 7) **Emisferi cerebrali** "ricoperti dalla **corteccia cerebrale** contengono i **nuclei della base**, l'**ippocampo** e l'**amygdala**



Giulio Sandini



La Corteccia Cerebrale è suddivisa in quattro lobi: **frontale, parietale, temporale e occipitale**

Le convoluzioni cerebrali hanno la funzione di aumentare la superficie della corteccia (evoluzione) e presentano delle regolarità fra individui (solchi e giri si ritrovano simili in tutti gli individui)

Ciascun emisfero elabora informazioni *controlaterali*

Gli emisferi non sono simmetrici (sia anatomicamente che funzionalmente)

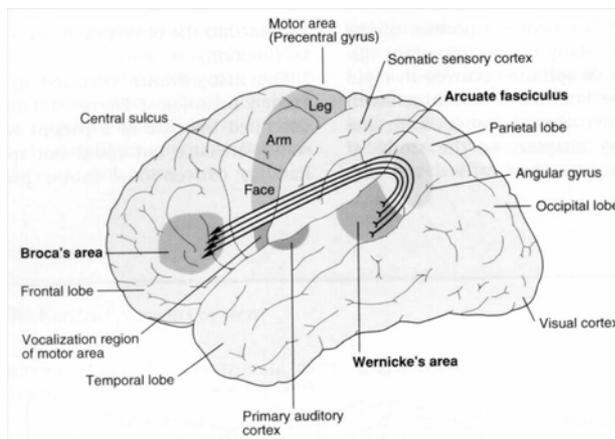
82 KS

"We Speak with the left emisphere"

Nel 1861 **Pierre Paul Broca** descrive il caso di un paziente che, pur essendo in grado di capire il linguaggio parlato non è in grado di parlare e/o scrivere correttamente.

Il paziente non presenta danni motori che giustificano questa incapacità ed è in grado di articolare singole parole e di modulare melodie musicali.

L'esame del cervello del paziente dopo la morte rivela una lesione nella zona posteriore del lobo frontale dell'emisfero sinistro. Osservazioni analoghe vengono fatte per altri otto pazienti.



Nel 1876 **Carl Wernicke** descrive il caso di un paziente che pur essendo in grado di articolare parole non è in grado di comprendere il linguaggio parlato

La lesione cerebrale è in una zona diversa

Wernicke propone il modello dell'*elaborazione distribuita*: solo le funzioni elementari sono svolte da singoli nuclei specializzati mentre quelle complesse richiedono quelle interconnessioni fra aree diverse.

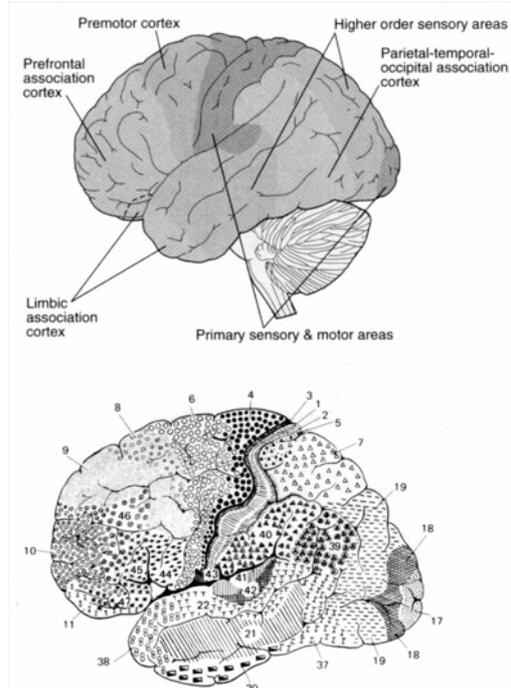
Broadman ha identificato anatomicamente 52 diverse aree delle corteccie cerebrali.

Per molte di queste aree è stata trovata successivamente una specializzazione funzionale.

Il fatto che funzioni di "alto livello" non siano localizzate aumenta la **plasticità** del cervello: le aree rimaste si riorganizzano.

La *rappresentazione della conoscenza* è distribuita: lesioni localizzate distruggono solo in parte la conoscenza (ad esempio la capacità di riconoscere i volti o di associare odori a oggetti).

Nei pazienti "split brain" ciò che è mostrato all'emisfero destro è riconosciuto ma non è possibile articolarne il nome.



Giulio Sandini

15

Le cellule del sistema nervoso

L'enorme variabilità e complessità dei comportamenti dipende dal numero elevato di neuroni (circa 100 miliardi) e dalla complessità delle interconnessioni (i singoli componenti sono poco diversi fra loro)

Alcune domande:

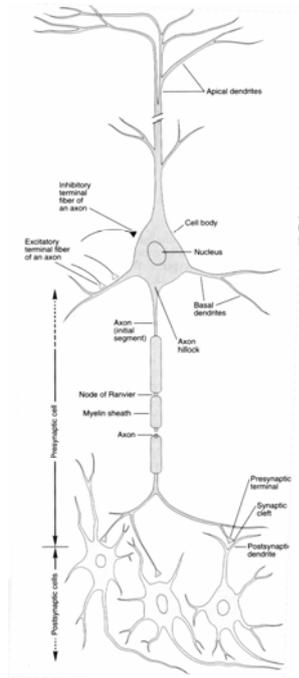
- 1) Che "linguaggio" viene usato nella comunicazione?
- 2) Come sono interconnessi i neuroni?
- 3) Che relazione c'è fra schemi di interconnessione e comportamento?
- 4) Come si modifica il comportamento con l'esperienza?

Il tessuto nervoso è composto da due classi di cellule:
le **cellule nervose** (neuroni) e le **cellule gliali**

Giulio Sandini

16

Il Neurone



Giulio Sandini

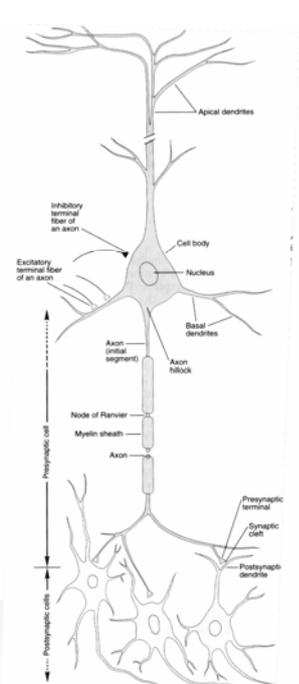
Nel **neurone** si possono identificare 4 aree morfologiche: il nucleo (o **soma**), i **dendriti**, l'**assone** e i **terminali pre-sinaptici**.

I dendriti rappresentano gli "ingressi" del neurone mentre l'assone è l'uscita.

I segnali elettrici trasmessi lungo l'assone (**potenziali d'azione** o spikes) sono impulsivi con un'ampiezza di circa 100 mV e con una durata di circa 1 ms. Il segnale si propaga ad una velocità che varia da 1 a 100 m/s.

L'alta velocità di conduzione è ottenuta per mezzo della **guaina mielinica**.

Il neurone



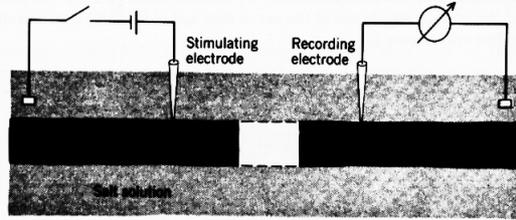
Il tipo di informazione trasmessa non è codificata dalla forma del segnale ma dal "**percorso**" seguito nel cervello.

Vicino alle terminazioni l'assone si ramifica ed entra in contatto con altri neuroni. Il punto di contatto è chiamato **sinapsi**. La cellula che invia il segnale è chiamata **cellula presinaptica**, quella che riceve è chiamata **cellula postsinaptica**.

I **terminali presinaptici** sono degli ingrossamenti dell'assone che non sono anatomicamente collegati alla cellula postsinaptica. Questa separazione è chiamata **synaptic cleft**.

I neuroni si differenziano quasi esclusivamente per la loro forma (vale a dire il numero e la forma dei terminali)

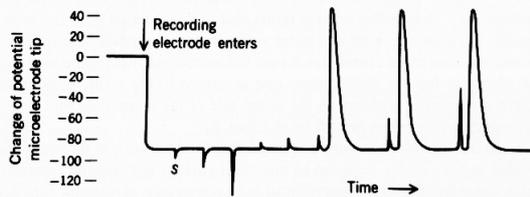
Il principio di funzionamento del neurone



Il neurone a riposo è **polarizzato** con una ddp di -70 mV (potenziale di membrana a riposo). La concentrazione di ioni negativi è maggiore all'interno del neurone.

Iperpolarizzazione: aumento della polarizzazione (e.g. -90mV)

Depolarizzazione: diminuzione della polarizzazione (e.g. -50mV)



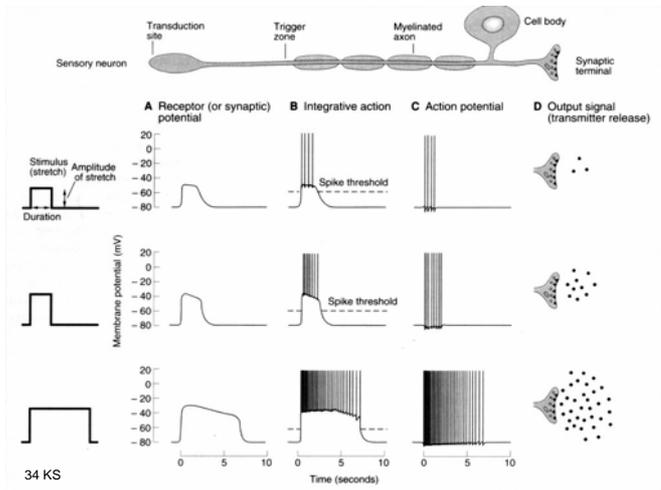
Se, in conseguenza di ciò che avviene sulle sinapsi, il neurone si depolarizza a valori maggiori di circa -50mV, viene generato un **potenziale d'azione**. I potenziali d'azione (o **spikes** o **impulsi nervosi**) hanno la stessa forma e ampiezza. Il segnale viene codificato nella **frequenza di scarica**.

Figure 1-10 Method of stimulating and recording with a single giant fiber. Full description in text. (From Katz, 1966.)

Il treno di impulsi

viaggia lungo l'assone e raggiunge la regione terminale dell'assone.

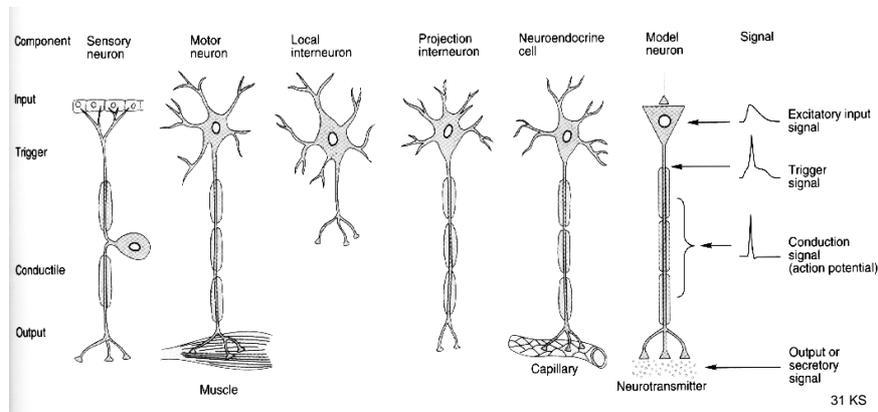
Gli impulsi stimolano il rilascio di **neurotrasmettori** (il segnale d'uscita). Anche il segnale d'uscita, come quello d'ingresso, è **analogico**.



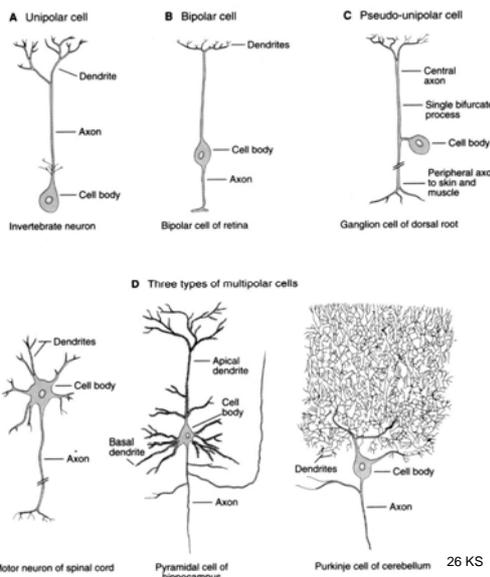
L'ampiezza del segnale d'uscita è determinata dall'ampiezza della depolarizzazione che, a sua volta è determinata dal numero e dalla frequenza degli impulsi.

Le molecole del neurotrasmettore passano attraverso la sinapsi e provocano una variazione del **potenziale post-sinaptico** che può essere **inibitoria** (iperpolarizzante) o **eccitatoria** (depolarizzante).

Funzione - Forma



Nonostante la forma diversa il principio di funzionamento dei neuroni non cambia



A seconda del numero di terminali (**processes**) i neuroni si distinguono in:

Unipolari: l'albero dendritico si ramifica dall'assone. Soprattutto negli invertebrati.

Bipolari: l'albero dendritico e l'assone partono separatamente dal soma.

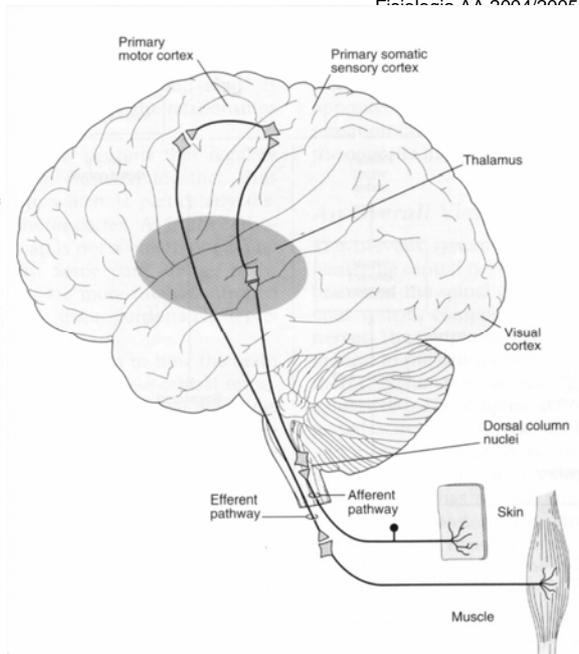
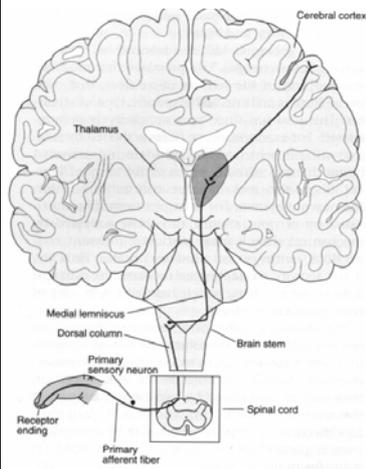
PseudoUnipolari: rappresentano una classe speciale di cellule unipolari. Sono i neuroni che trasportano informazione sul tatto, pressione e dolore nel midollo spinale. In queste cellule l'assone si divide in due, un ramo va al cervello, l'altro ai muscoli e alla pelle.

Multipolari: singolo assone e uno o più dendriti. Mediamente hanno circa 10,000 contatti. Le cellule di Purkinje possono avere fino a 150,000 contatti.

I neuroni si classificano anche in: **sensoriali** (o afferenti), **motoneuroni** e **interneuroni**.

Gli **interneuroni** sono i più numerosi e si distinguono a loro volta in **relay neurons** (trasmissioni a grandi distanze) e **local interneurons** che effettuano elaborazioni locali.

A Simple Circuit



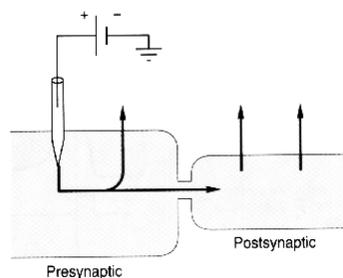
Sinapsi

I collegamenti elettrici hanno la funzione di rendere omogenea l'attività di neuroni vicini fra loro (background)

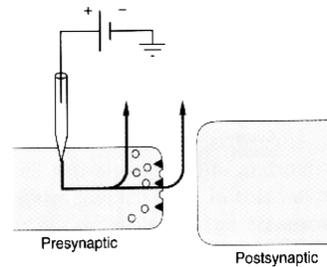
Esistono due tipi di sinapsi:
Sinapsi Elettriche
Sinapsi Chimiche

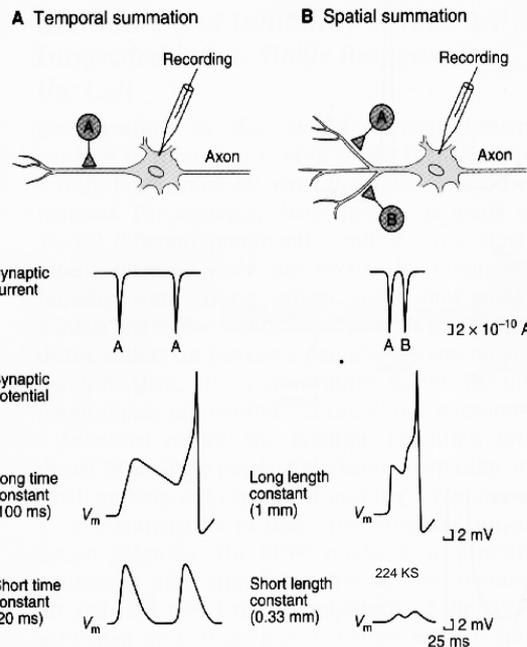
I collegamenti chimici sono, invece, più localizzati

Sinapsi Elettrica



Sinapsi chimica





Integrazione temporale e spaziale

25

Le cellule della glia

Le cellule gliali sono molto più numerose dei neuroni (da 10 a 50 volte) e non hanno una funzione direttamente collegata all'elaborazione e alla trasmissione.

Hanno le seguenti funzioni:

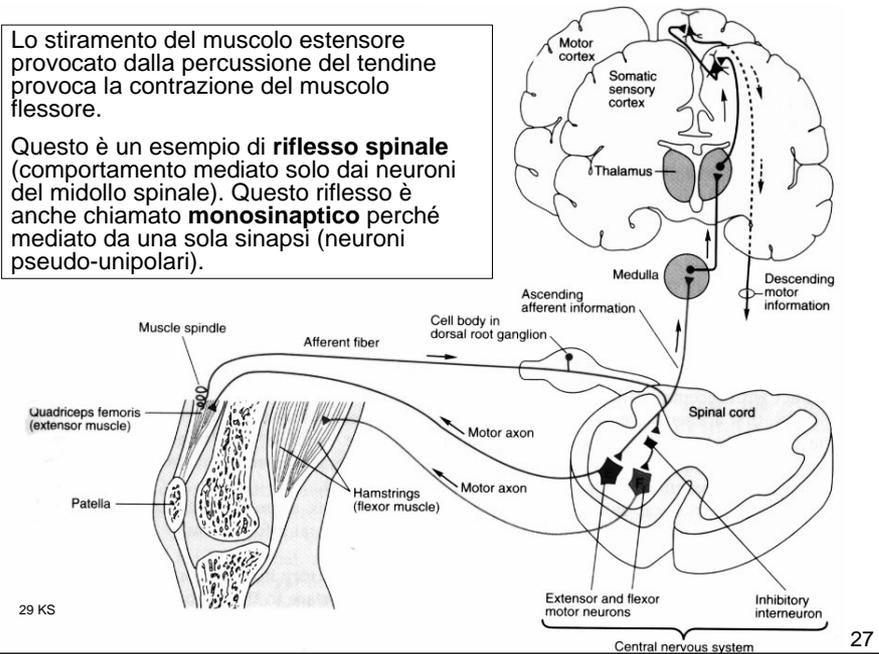
- 1) strutturate (elementi di supporto e di separazione fra gruppi di neuroni)
- 2) producono la mielina
- 3) eliminiamo gli "scarti"
- 4) mantengono la concentrazione degli ioni potassio e producono e rimuovono neurotrasmettitori.
- 5) durante lo sviluppo guidano la crescita neuronale

26

Il Riflesso Patellare

Lo stiramento del muscolo estensore provocato dalla percussione del tendine provoca la contrazione del muscolo flessore.

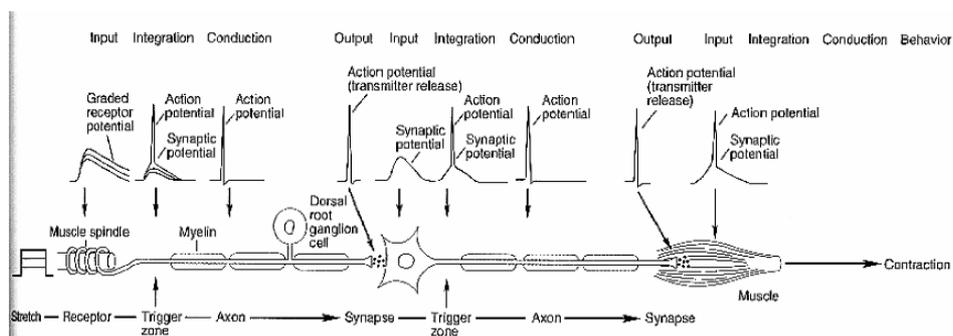
Questo è un esempio di **riflesso spinale** (comportamento mediato solo dai neuroni del midollo spinale). Questo riflesso è anche chiamato **monosinaptico** perché mediato da una sola sinapsi (neuroni pseudo-unipolari).



Giulio

27

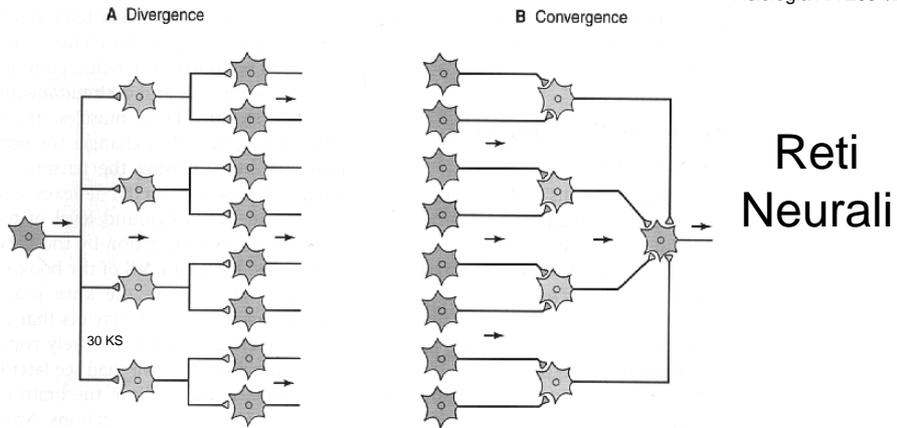
Stretch reflex



La maggior parte dei riflessi spinali sono **polisinaptici** e possono quindi essere controllati dal SNC.

Giulio Sandini

28

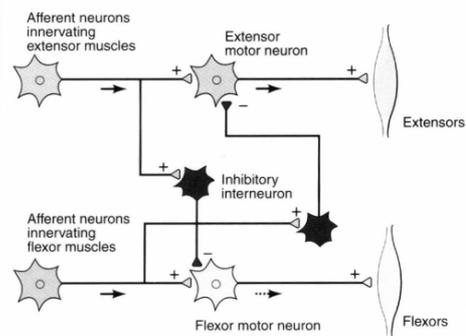


L'allungamento di un singolo muscolo provoca la stimolazione di centinaia di recettori ciascuno dei quali attiva da 100 a 150 motoneuroni: **divergenza neuronale**. Un singolo neurone può provocare una influenza distribuita.

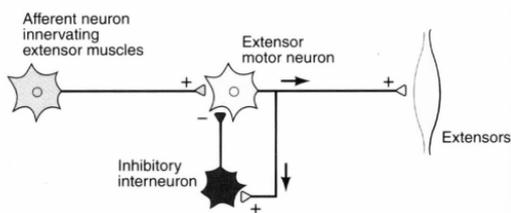
Al contrario molte cellule sensoriali **convergono** su una singola cellula motoria: la cellula target integra l'informazione proveniente da diverse sorgenti.

Reti Neurali (alcuni semplici circuiti)

A Feed-forward inhibition



B Feedback inhibition



Fisiologia Umana

Il Sistema Nervoso Parte II

I Sistemi Sensoriali

La percezione sensoriale è la sequenza di tre eventi:

- 1) Uno stimolo fisico
- 2) La trasformazione dello stimolo in impulsi nervosi e la sua elaborazione
- 3) Una *risposta percettiva*

Psicologia Sperimentale

Experimental Psychology:

Studio sperimentale dei processi mentali (Qual'è la sequenza di eventi attraverso i quali uno stimolo produce una sensazione?)



Psychophysics: Studia la relazione fra le caratteristiche fisiche degli stimoli e percezione. Ad esempio, due stimoli di intensità doppia sono percepiti come tali?

Sensory Physiology: Studia l'effetto degli stimoli a livello nervoso. Ad esempio due stimoli di intensità doppia provocano un raddoppio della risposta del neurone?

Percezione = Illusione

La percezione di uno stimolo è diversa dalle caratteristiche fisiche dello stimolo.

Il sistema nervoso opera **un filtraggio** delle informazioni in arrivo e le *interpreta* sulla base delle esperienze precedenti.

Riceviamo onde di pressione ma percepiamo dei suoni.

I suoni, i colori, gli odori non esistono al di fuori del cervello.

Che rumore fa un albero che cade se non c'è nessuno a "sentire"?
L'albero che cade crea delle onde di pressione ma non un "rumore".
Il rumore viene creato dal cervello.

Percepire non vuol dire *registrare* direttamente ciò che avviene ma *costruire un'interpretazione* per mezzo del sistema sensoriale e dell'esperienza.

I sistemi sensoriali ricevono informazioni dai diversi tipi di **recettori** e la trasmettono al sistema nervoso centrale.

Quattro funzioni dei sistemi sensoriali:

- 1) percezione
- 2) controllo motorio
- 3) regolazione delle funzioni di organi interni
- 4) mantenimento dello stato di allerta

Non tutte le sensazioni sono “conscie” (ad esempio i riflessi)

Informazioni exteroceettive e propriocettive.

Le informazioni propriocettive sono utilizzate per regolare alcune funzioni del corpo umano (e.g. temperatura, pressione, ritmo cardiaco e respiratorio, alcuni riflessi motori).

Proprietà di uno stimolo (1)

Le **sensazioni** codificano almeno 5 proprietà dello stimolo:

- 1) **Modalità**: visiva, acustica, olfattiva, gustativa, somatica (tatto, temperatura, dolore, posizione degli arti).
- 2) **Intensità**: dipende dalla "forza" dello stimolo (esiste in generale una **soglia di stimolazione** al di sotto della quale non viene percepita nessuna sensazione). Le soglie dipendono in generale da fattori quali esperienza e fatica o dal contesto. ...

Proprietà di uno stimolo (2)

- 3) **Sensitività**: esprime la capacità di discriminare due stimoli di intensità diversa (discriminiamo facilmente 1 kg da 2 kg ma non 50 kg da 51 kg).

Legge di Weber: $\Delta S = K \times S$

ΔS = Just Noticeable Difference

S = Reference Stimulus

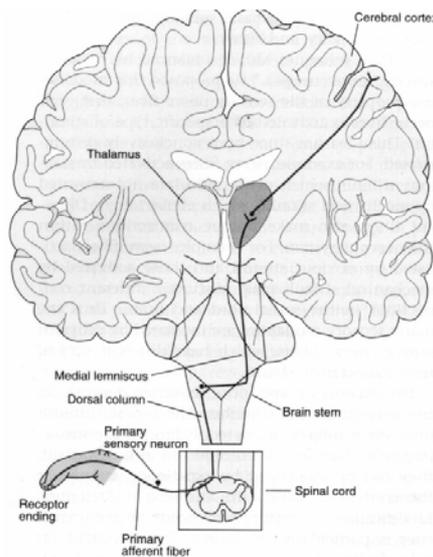
K = Constant

La differenza fra due stimoli deve crescere in modo proporzionale allo stimolo di riferimento.***

Proprietà di uno stimolo (3)

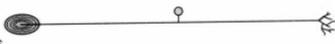
- 4) **Durata**: la durata di una sensazione dipende sia dall'ampiezza che dalla durata dello stimolo. Se lo stimolo dura a lungo la sensazione diminuisce (**Adattamento**). Si può parlare di **risoluzione temporale**.
- 5) **Posizione** (o localizzazione): la maggior parte delle sensazioni hanno una precisa origine spaziale (esterna o interna al corpo). Quasi sempre si può parlare di risoluzione spaziale (ad esempio la *two-point threshold*).
...

Struttura di un canale sensoriale



L'informazione sensoriale raggiunge le aree corticali attraverso un certo numero di neuroni. Nel caso somatico si tratta di tre neuroni.

Recettori sensoriali (1)

Modality	Receptor	CNS
Touch, pain, temperature, proprioception-limbs and trunk		
Proprioception-jaw		
Olfaction		
Gustation		
Audition Balance		
Vision		

Recettori diversi che codificano quantità fisiche diverse:

Visione: Luce

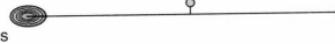
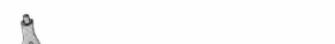
Udito: Onde di pressione

Equilibrio: Accelerazione meccanica

Tatto: Deformazione, Temperatura

Gusto, Olfatto: Concentrazione chimica

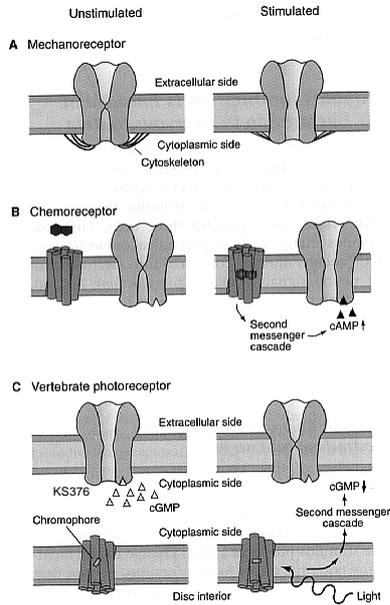
Recettori Sensoriali (2)

Modality	Receptor	CNS
Touch, pain, temperature, proprioception-limbs and trunk		
Proprioception-jaw		
Olfaction		
Gustation		
Audition Balance		
Vision		

Nei sistemi somatico e olfattivo i recettori fanno parte del neurone (Neurone sensoriale primario) che effettua sia la trasduzione che la codifica.

Nei sistemi visivo, gustativo, uditivo e per la misura dell'equilibrio, i recettori sono cellule di tipo epiteliale che comunicano con il neurone sensoriale primario attraverso un meccanismo simile a quello delle sinapsi.

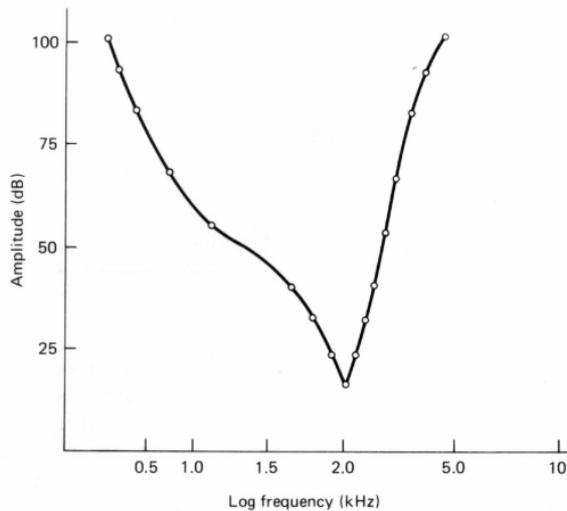
Recettori sensoriali (3)



Nell'uomo esistono recettori meccanici, recettori chimici, recettori di temperatura, foto recettori e recettori del dolore. Alcuni animali hanno anche recettori di campi elettrici e recettori di radiazioni infrarosse.

La trasformazione delle diverse forme di energia in energia elettrica (elettrochimica) avviene variando la permeabilità della membrana del recettore.

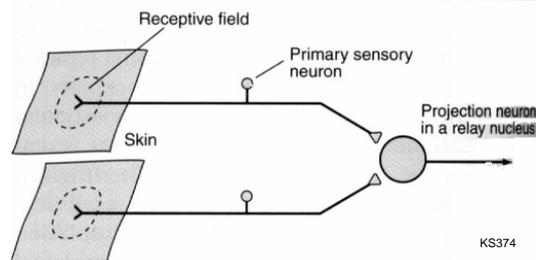
Funzione di sensibilità



Ogni recettore è sensibile (*tuned*) ad un intervallo limitato dello stimolo. Ad esempio i neuroni uditivi sono sensibili ad un intervallo limitato delle frequenze percepite.

È possibile definire una *tuning curve* o **funzione di sensibilità** del recettore.

Campo Recettivo



Il funzionamento di un recettore è descritto dal suo campo recettivo (ad esempio la dimensione del campo recettivo determina la risoluzione spaziale del recettore).

I neuroni sensoriali primari proiettano su neuroni secondari che, solitamente, sono raggruppati in "relay nuclei". Ad esempio i **nuclei talamici**. L'unica eccezione è l'olfatto nel quale i neuroni primari proiettano direttamente sulla corteccia olfattiva.

I neuroni sensoriali "centrali" hanno a loro volta un campo recettivo che è ottenuto dalla *combinazione* dei campi recettivi periferici. Questi campi recettivi sono via via più complessi o codificano informazioni spazio-temporali estratte dalle informazioni "base" (ad esempio CR sensibili al movimento visivo).

Parallelismo

La maggior parte dei sistemi sensoriali è costituita da percorsi paralleli (*parallel pathways*) che codificano parametri specifici dello stimolo.

Ad esempio nel sistema visivo esistono percorsi paralleli dell'informazione di colore, movimento, disparità.

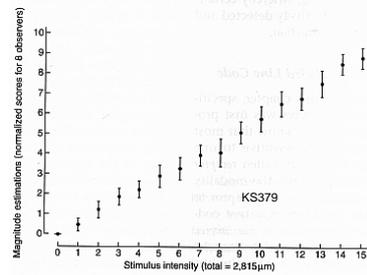
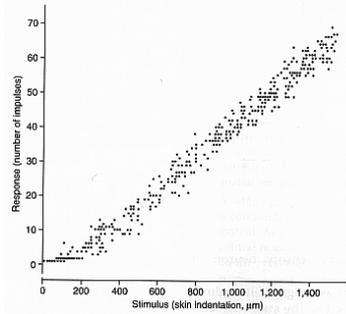
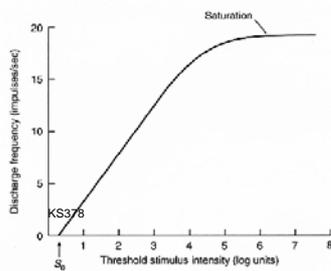
Nel sistema somatico esistono due percorsi paralleli per informazioni tattili, posizione, dolore e temperatura.

A parte il gusto e l'olfatto, i percorsi sensoriali sono organizzati in modo da conservare la relazione spaziale che esiste a livello dei recettori. **Neuroni vicini elaborano informazioni provenienti da recettori vicini. Somatotopia, Retinotopia e Tonotopia.**

Trasduzione e Codifica

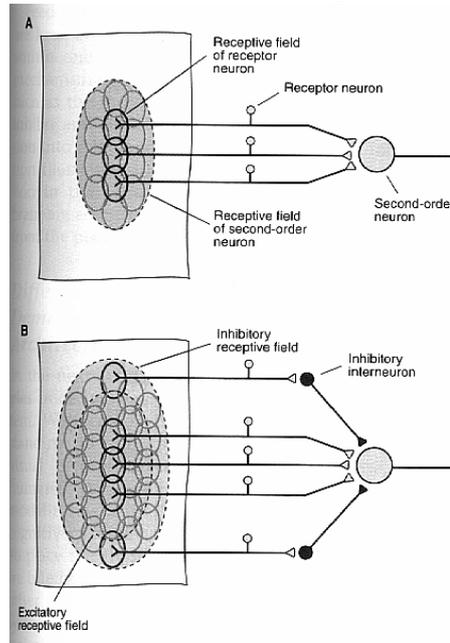
La frequenza di scarica di un neurone sensoriale primario codifica l'intensità dello stimolo.

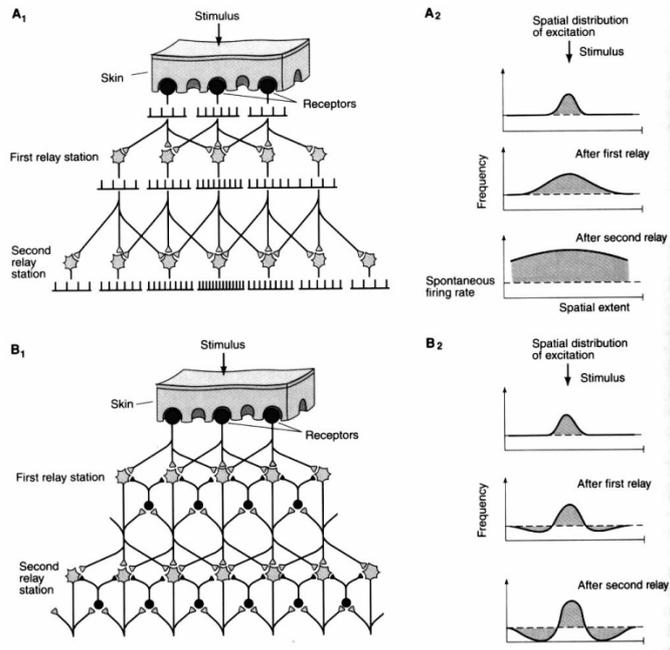
La frequenza di scarica è proporzionale alla interpretazione percettiva dello stimolo.



Inibizione Laterale

La discriminazione fra stimoli diversi è facilitata da un meccanismo nervoso (noto con il nome di *lateral inhibition*) che amplifica i contrasti.





Giulio Sandini

Basi Neuronali dei processi cognitivi

I diversi sistemi sensoriali possono essere studiati separatamente ma la **percezione** del mondo esterno è **unitaria**.

Percezione = illusione (ciò che percepiamo non dipende solo dalle leggi fisiche che stimolano i nostri sensi)

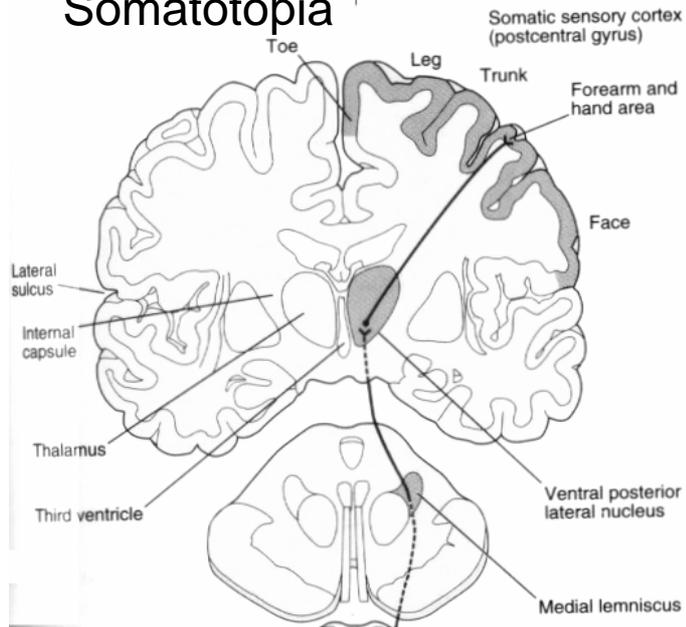
Cognitive Neural Science

Lo studio dei singoli neuroni è necessario ma non sufficiente per capire il funzionamento del cervello.

Le **Scienze Neurali Cognitive** studiano le relazioni che esistono fra funzionamento di singoli neuroni e la "*cognizione*" (vale a dire l'insieme di conoscenza ed elaborazione che genera il comportamento).

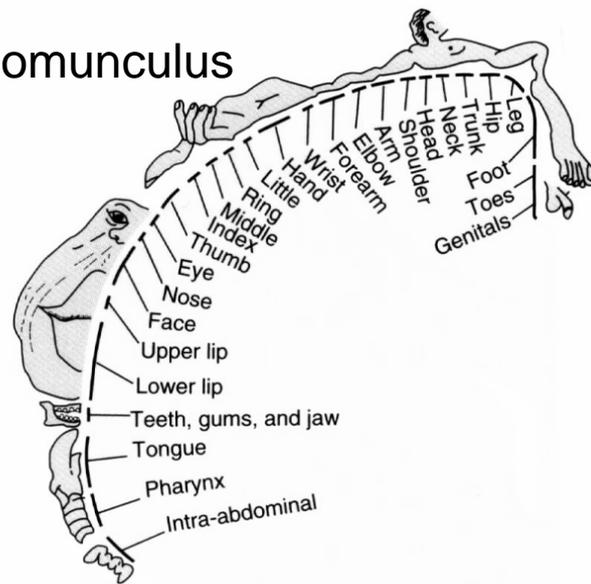
Giulio Sandini

Somatotopia



L'informazione somatica è rappresentata in modo ordinato nelle corteccie somatiche

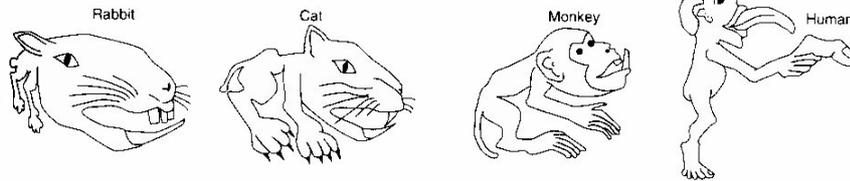
Homunculus



Lateral

Medial

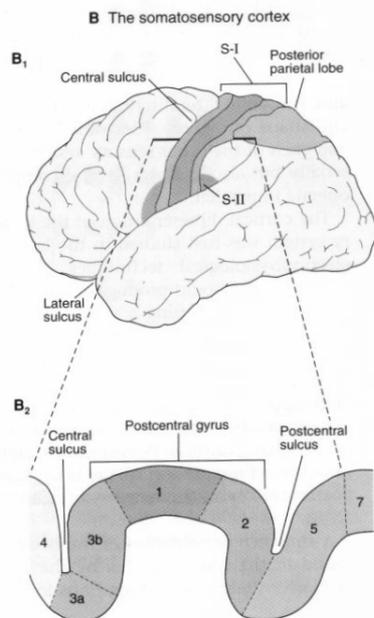
Fattore di ingrandimento corticale



Regioni maggiormente sensorizzate proiettano su aree maggiori della corteccia sensoriale

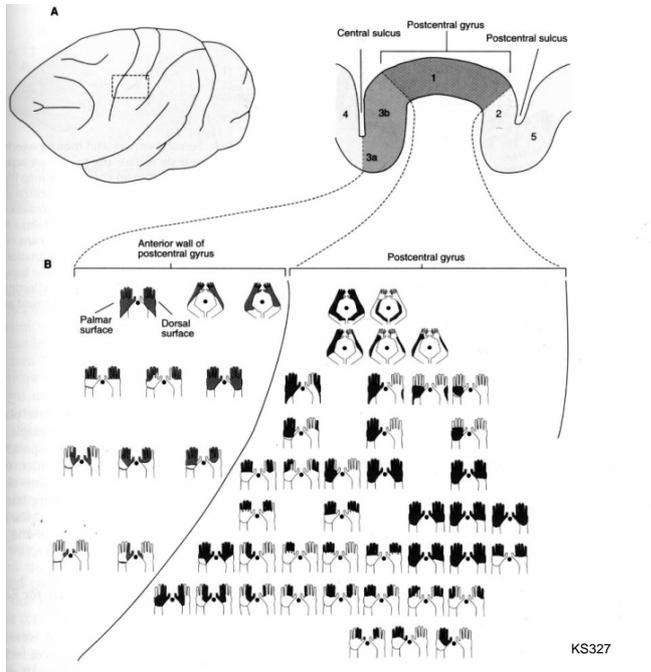
La quantità di elaborazione corticale dedicata è proporzionale all'area della superficie corticale (lo spessore della corteccia e' costante)

Somatotopia



La corteccia somatica primaria S-I è ulteriormente suddivisa in 4 regioni distinte dal punto di vista citoarchitettonico.

Queste regioni corrispondono alle aree 3a, 3b, 1 e 2 di Brodman

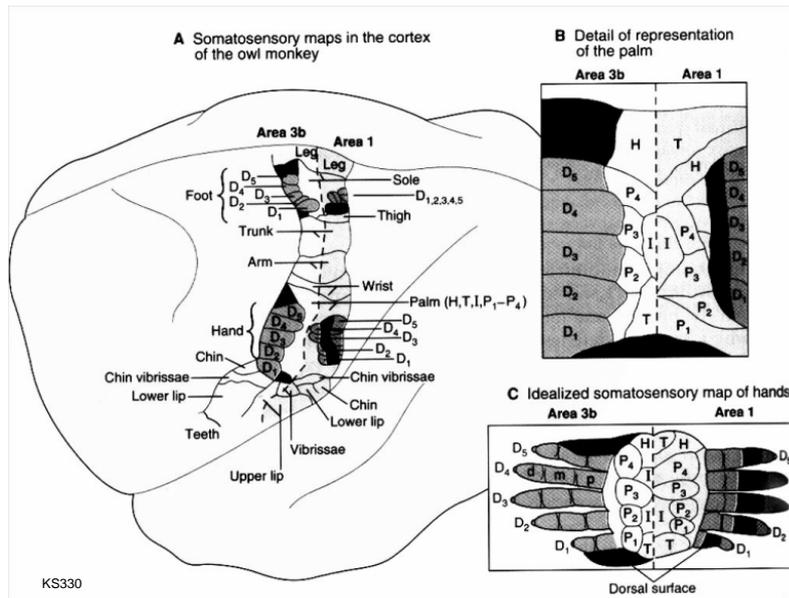


Le mappe si ripetono nelle diverse aree sensoriali

“punti vicini codificano segnali simili”

KS327

Giulio Sandini



KS330

Giulio Sandini

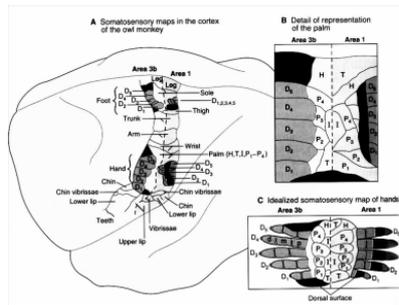
La rappresentazione spaziale delle superfici sensoriali (mappe) si ripete per ogni caratteristica misurata e/o elaborata

Area 3a: input diretto da muscoli e articolazioni

Area 3b: input diretto dalla "pelle"

Area 1: elaborazione della "pelle"

Area 2: "pelle" e "muscoli"

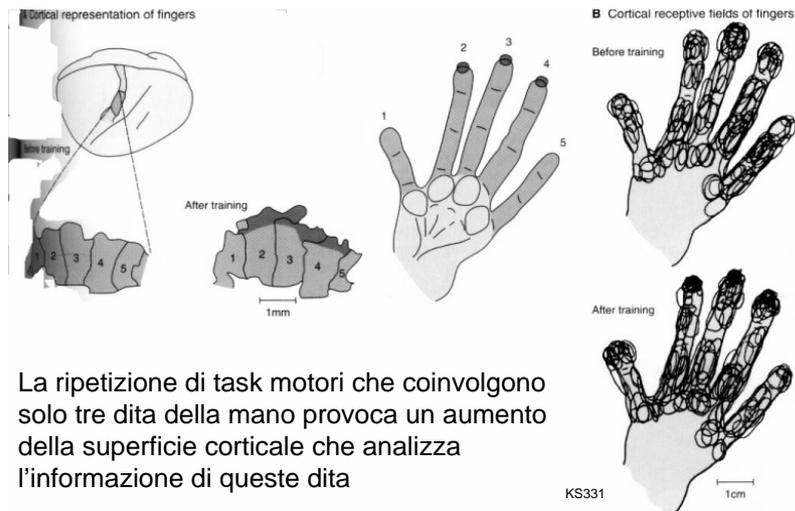


Lesioni nell'area 1 provocano disturbi della discriminazione tattile (e.g. misura della rugosità)

Lesioni nell'area 2 provocano disturbi nella valutazione della dimensione e della forma di oggetti afferrati con la mano

Nelle aree 3b e 1 si ha una rappresentazione speculare della superficie cutanea

La mappa interna del corpo si modifica con l'esperienza



La ripetizione di task motori che coinvolgono solo tre dita della mano provoca un aumento della superficie corticale che analizza l'informazione di queste dita

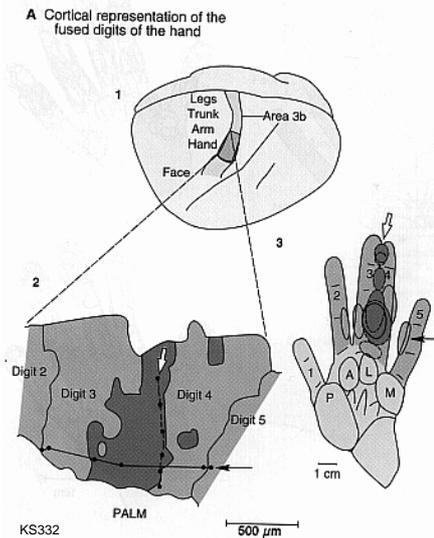
Cells that fire together, wire together

Correlated firing

La netta separazione fra le rappresentazioni delle dita sparisce dopo alcuni mesi che le due dita 3 e 4 sono "incollate" fra loro.

La rappresentazione non dipende solo da fattori genetici ma può essere alterata dall'attivazione sincronizzata dei neuroni.

Questo mappaggio è reversibile



The Phantom Limb Syndrome ^B

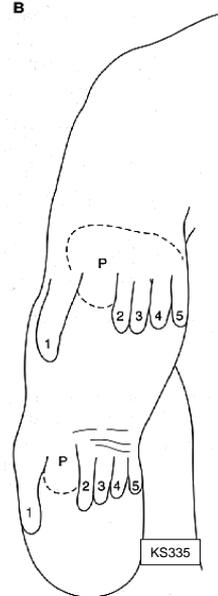
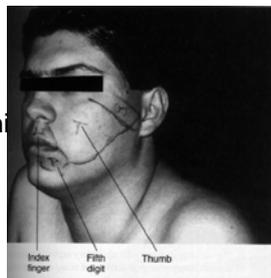
(pazienti amputati continuano a percepire l'arto mancante)

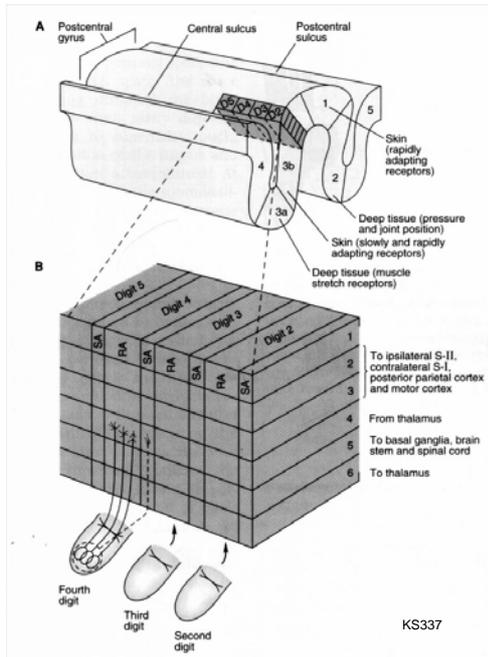
In passato si pensava che queste sensazioni fossero dovute da impulsi nervosi generati dalla zona rimarginata dalla ferita

Più recentemente: la rappresentazione delle parti del corpo vicine a quella dell'arto amputato occupano le zone che non ricevono più sensazioni.

Stimolazioni del volto e dell'avambraccio sono percepite come stimolazioni dell'arto mancante

Viene mantenuta la topologia



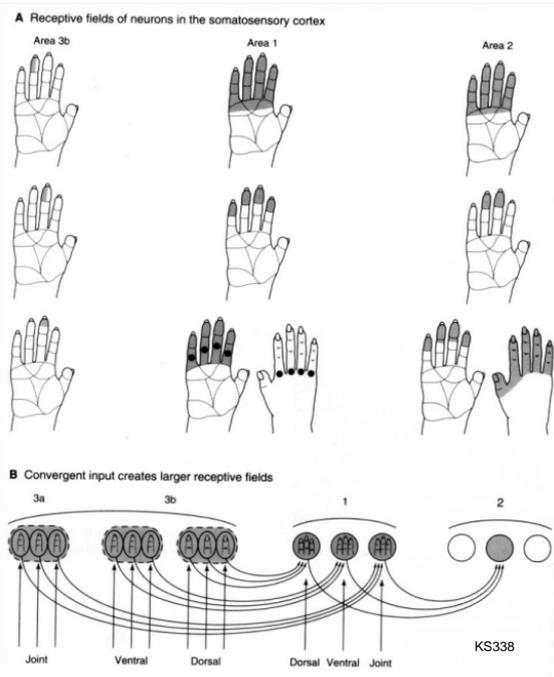


L'architettura corticale ha una struttura a strati e colonnare

L'architettura corticale è costituita a più livelli.

Le aree 3a, 3b, 1 e 2 ricevono input da tutta la superficie sensoriale e una modalità tende ad essere dominante.

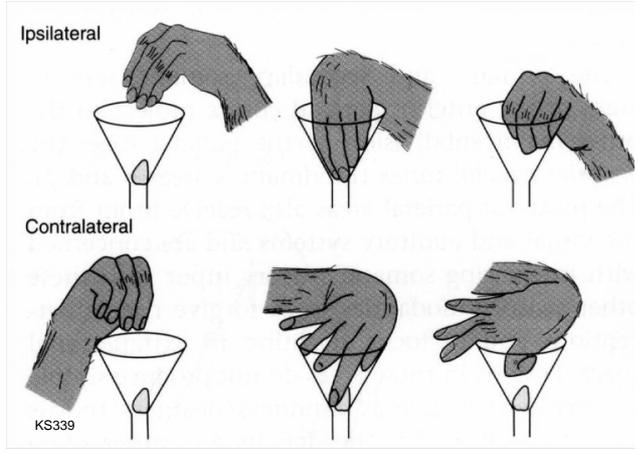
Lo "strato" codifica le connessioni la "colonna" codifica la provenienza e la funzione



Integrazione sensoriale

- 1) diverse sottomodaltà convergono su un singolo neurone
- 2) i campi recettivi diventano più ampi
- 3) le risposte dei neuroni diventano più complesse

Nelle aree 1 e 2 i neuroni sono sensibili all'orientamento, alla velocità e alla forma 3D

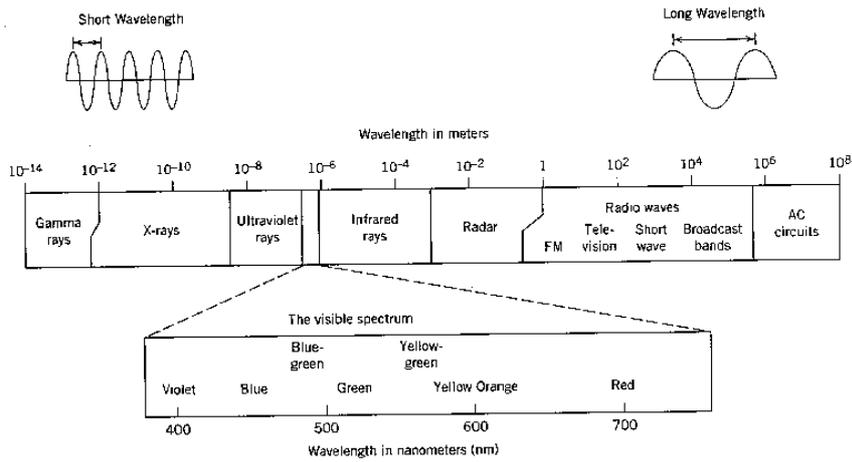


L'iniezione di un inibitore della trasmissione nervosa (muscimol) nell'area 2 provoca la perdita del coordinamento delle dita

Fisiologia Umana

II Sistema Nervoso Parte III

La percezione visiva



Banda dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano

Valori di Luminanza

table 3.2 Luminance Values for Typical Visual Stimuli

	Scale of Luminance (millilamberts)	
	10^{10}	
Sun's surface at noon	10^9 Damaging	
	10^8	
	10^7	} Color vision
Tungsten filament	10^6	
White paper in sunlight	10^5	
	10^3	
	10^2	} Colorless vision
Comfortable reading	10^*	
	1	
White paper in moonlight	10^{-1}	
	10^{-2}	} Colorless vision
White paper in starlight	10^{-3}	
	10^{-4}	
Absolute threshold	10^{-5}	

*10 mL equals approximately 9.3 ft-L or 32 cd/m².
 Source: L. A. Riggs, in *Vision and Visual Perception*, edited by C. H. Graham, John Wiley, New York, 1965, p. 26. Reprinted by permission of the publisher.

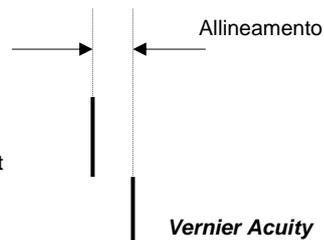
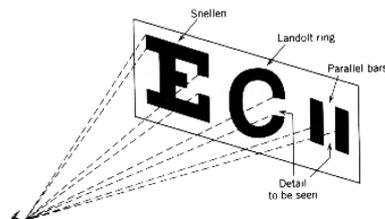
CFF: Critical Flicker Frequency:

Una luce lampeggiante viene percepita continua se la frequenza di lampeggiamento è superiore alla CFF

La CFF dipende anche dall'intensità dello stimolo e varia con l'eccentricità

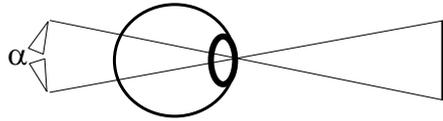
Acuità Visiva:

- 1) **Detezione:** Dimensione minima di un target
- 2) **Verniero:** Allineamento minimo di due target
- 3) **Risoluzione:** Discriminazione fra due target



Angolo Visivo:

Angolo sotteso da un oggetto



$S = \text{dimensione oggetto}$

$D = \text{distanza}$

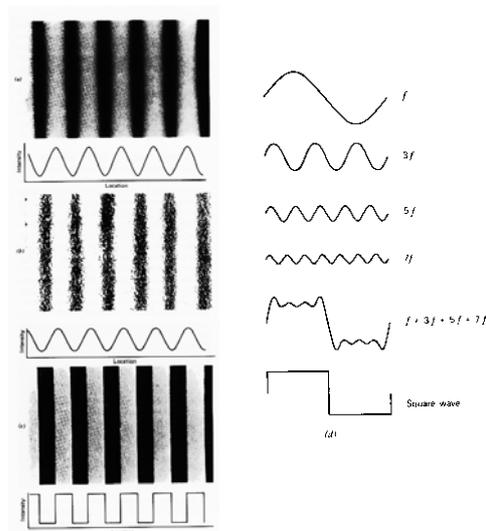
$$\text{tg } \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{2D}$$

A 57 cm di distanza 1 cm = 1 grado

table 4.3 Visual Angle Associated with Some Typical Objects and Ocular Structures

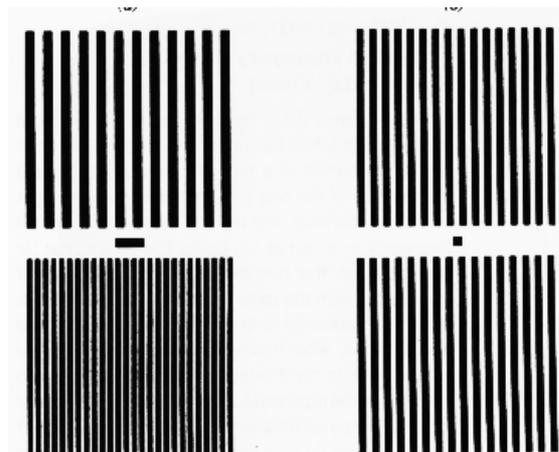
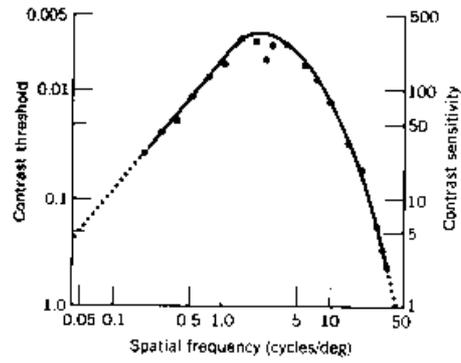
Alphanumeric character on a CRT screen at 50 cm	17°
Diameter of the sun and moon	30°
Lowercase pica-type letter at a reading distance of 40 cm (about 16 in.)	13°
Quarter at arm's length	2°
Quarter at 90 yards (about 82 m)	1°
Quarter at 3 mi. (about 5 km)	1"
Diameter of the fovea	1°
Diameter of the foveal receptor	30"
Position of the inner edge of a blind spot	12° from fovea
Size of the blind spot	7.5° (vertical), 5° (horizontal)

Le frequenze spaziali



$$\text{Contrasto} = \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{L_{\text{max}} + L_{\text{min}}}$$

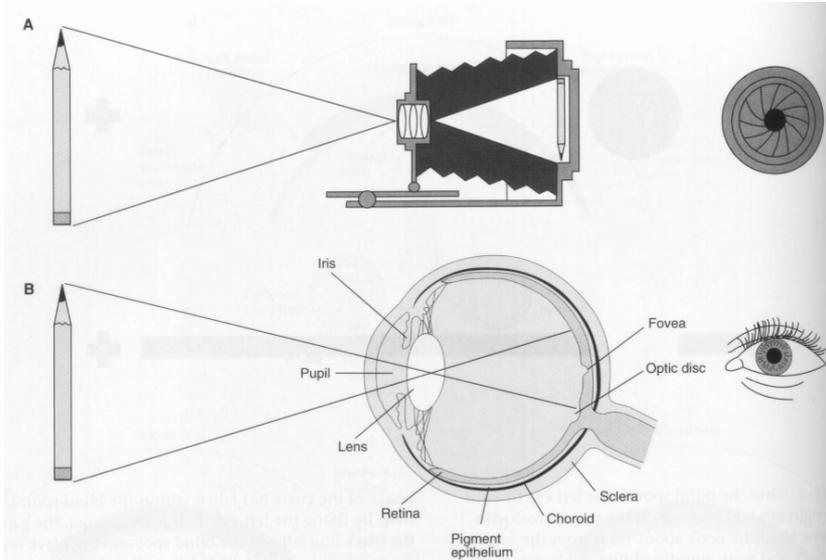
Funzione di Sensibilità al Contrasto



(a) The second editor... (b) Modern psychology... (c) Modern psychology... (d) Modern psychology...

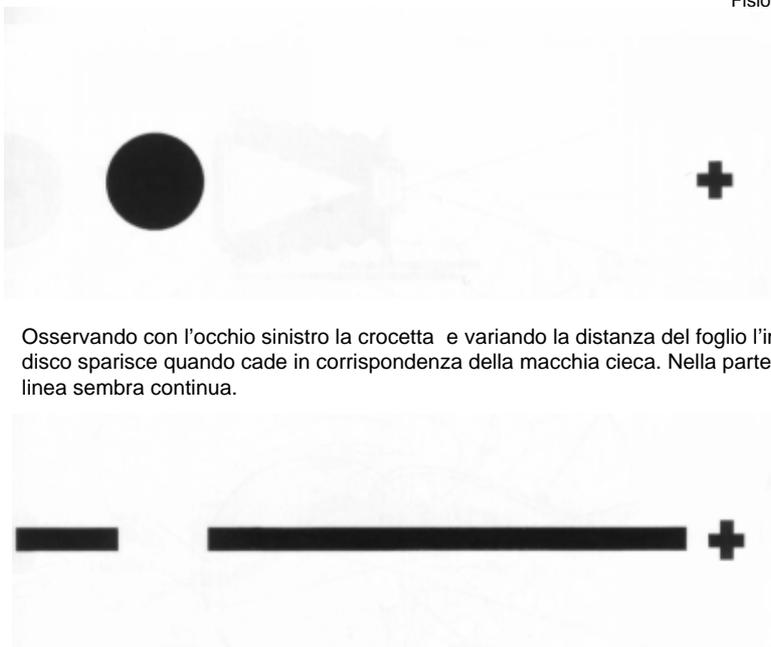
The right side of the slide contains four columns of text, each with a small image of a grating. Column (a) discusses the second editor's introduction. Column (b) discusses modern psychology's focus on memory, attention, and perception. Column (c) discusses modern psychology's focus on memory, attention, and perception. Column (d) discusses modern psychology's focus on memory, attention, and perception.

L'occhio



Giulio Sandini

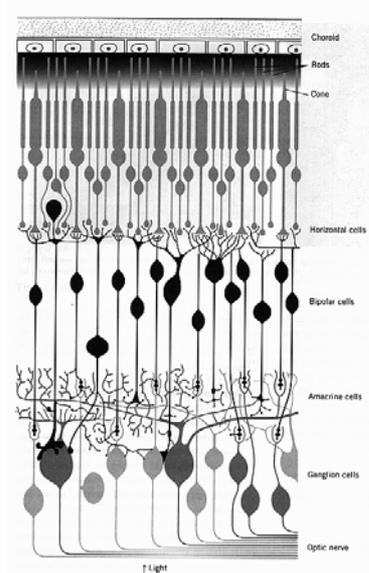
72



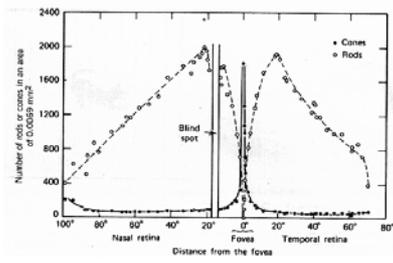
Osservando con l'occhio sinistro la crocetta e variando la distanza del foglio l'immagine disco sparisce quando cade in corrispondenza della macchia cieca. Nella parte inferiore la linea sembra continua.

Giulio Sandini

73

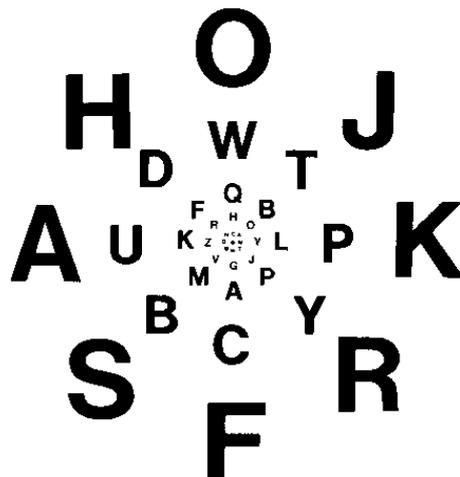


Rappresentazione schematica della struttura della retina umana



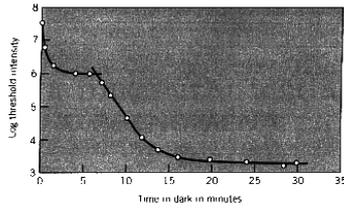
Distribuzione dei coni e dei bastoncelli nella retina umana

L'acuità visiva è spazio-variante



Misure delle funzioni visive

Dark e Light Adaptation



La **soglia assoluta** rappresenta la minima intensità di luce percepibile (per i bastoncelli è dell'ordine di pochi fotoni).

La soglia assoluta dipende anche dall'**area** dello stimolo.

Per valori fisiologici vale la **legge di Ricco**:

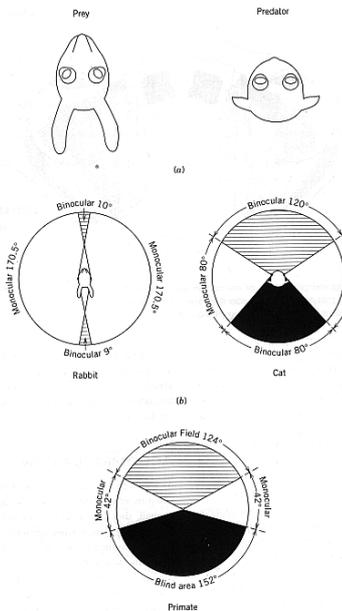
$$A \times I = C$$

La soglia è *proporzionale al prodotto intensità*area*.

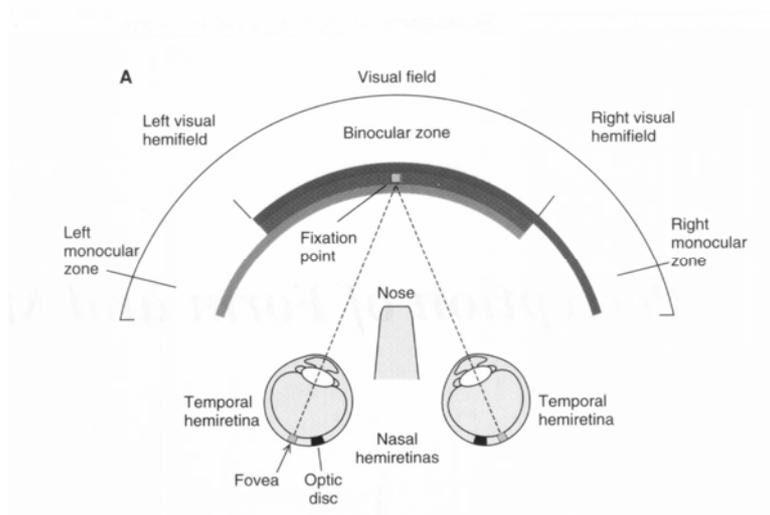
Campo visivo binoculare

La posizione degli occhi sulla testa controlla, in parte, l'estensione della zona **binoculare** del campo visivo.

L'**ampiezza della zona binoculare** aumenta con le capacità manipolative dell'animale ed è massima nei primati.



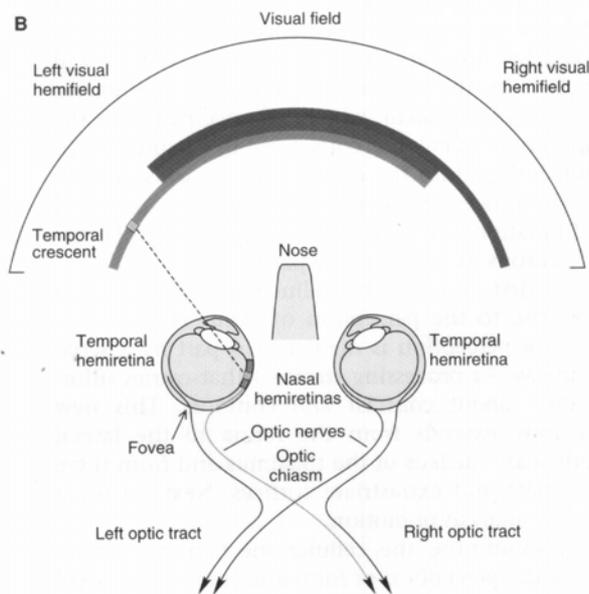
Zona Binoculare



Giulio Sandini

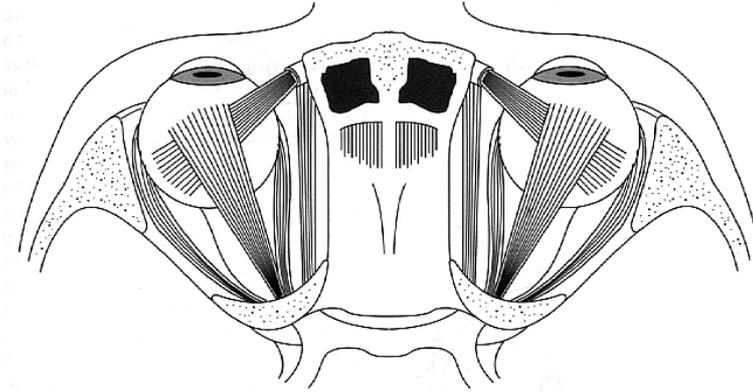
78

Proiezione del Campo Visivo



79

Il movimento degli occhi è controllato da tre coppie di **muscoli oculari**.

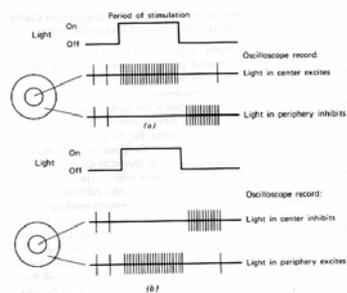
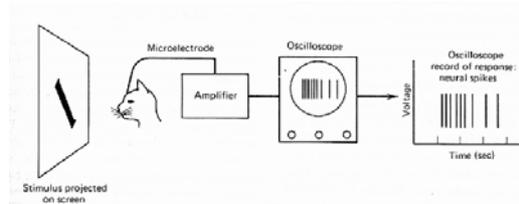


Cellule della Retina

Le cellule della retina hanno campi recettivi di tipo antagonista

Cellule "ON" e cellule "OFF"

Cellule X, Y, e W

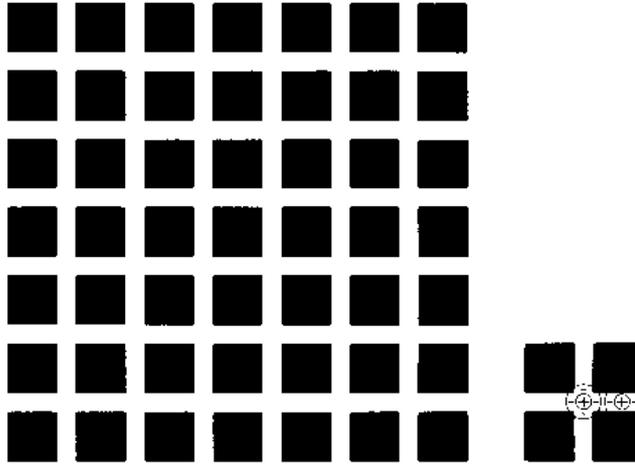


Cellule X
 CR Piccolo
 Risposta Sostenuta
 Principalmente in fovea

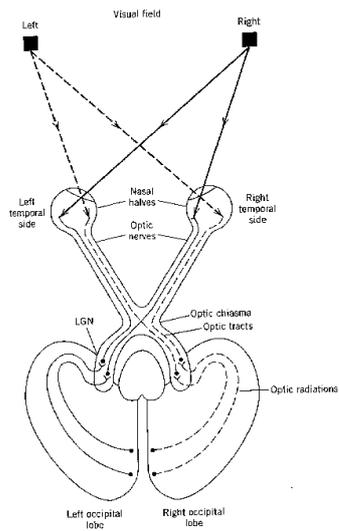
Cellule Y
 CR Grande
 Risposta Transiente
 Principalmente in periferia

Hermann Grid

si spiega con il profilo dei campi recettivi delle cellule retiniche

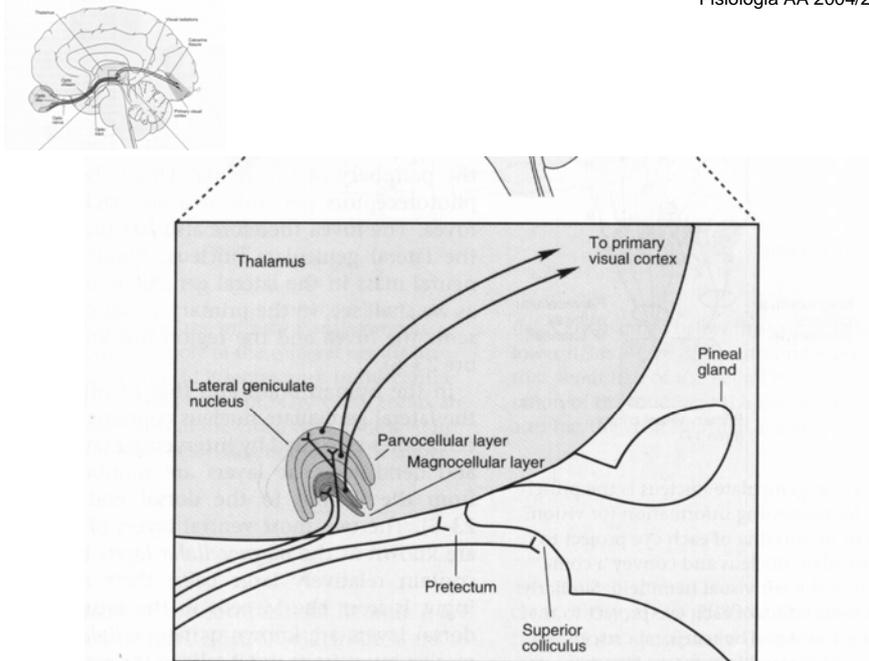
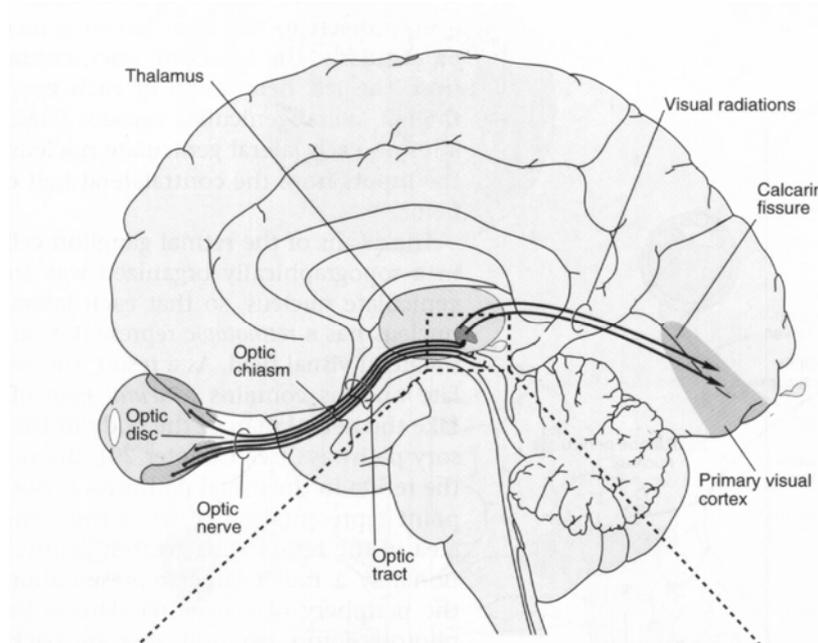


L'anatomia del sistema visivo



I primi stadi di elaborazione visiva dopo la retina sono:

- Corpo genicolato laterale (nel Talamo)**
- Collicolo Superiore**
- La Corteccia Visiva Primaria**



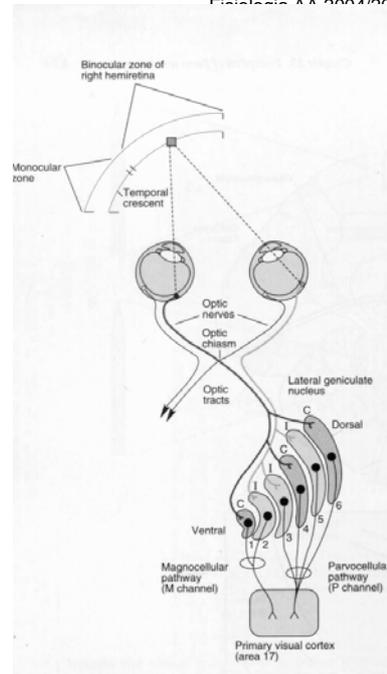
Cellule del Genicolato

Le cellule del Genicolato sono divise in due classi: Parvocellulare e Magnocellulare

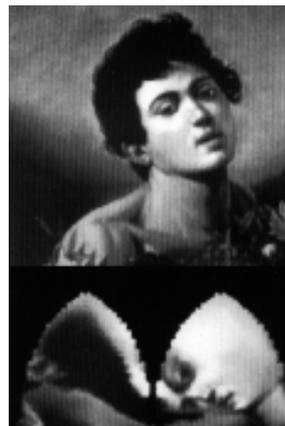
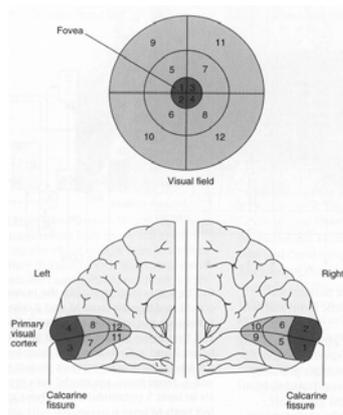
La classe P riceve principalmente dalle cellule X

La classe M riceve principalmente dalle cellule Y

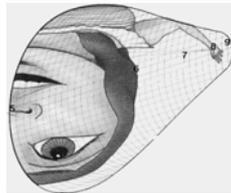
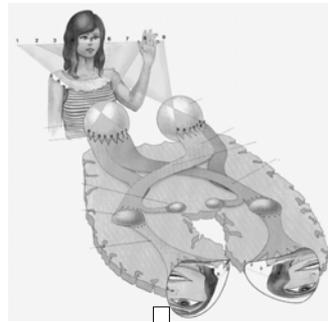
Il Genicolato è una importante stazione di riorganizzazione delle fibre della retina



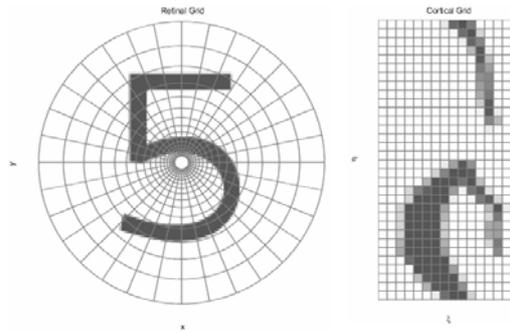
Proiezione corticale



Retino-Cortical Mapping



Log-Polar Mapping

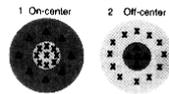


Giulio Sandini

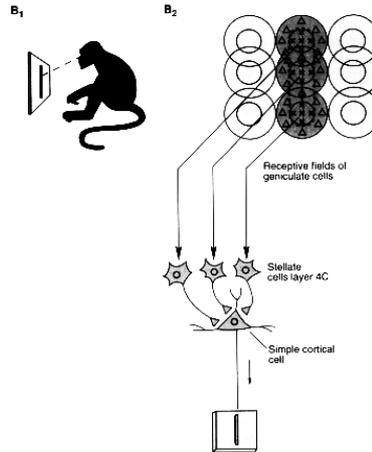
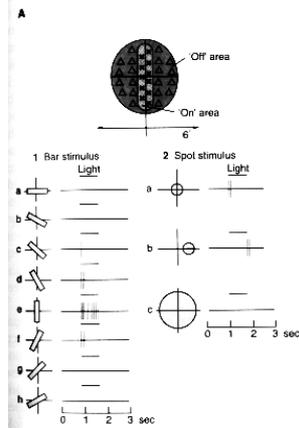
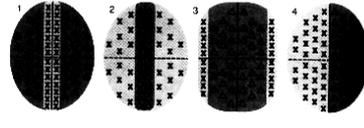
88

La Corteccia Visiva

A Concentric cells of retina and lateral geniculate nucleus and stellate cells of the central cortex



B Simple cells of the cortex

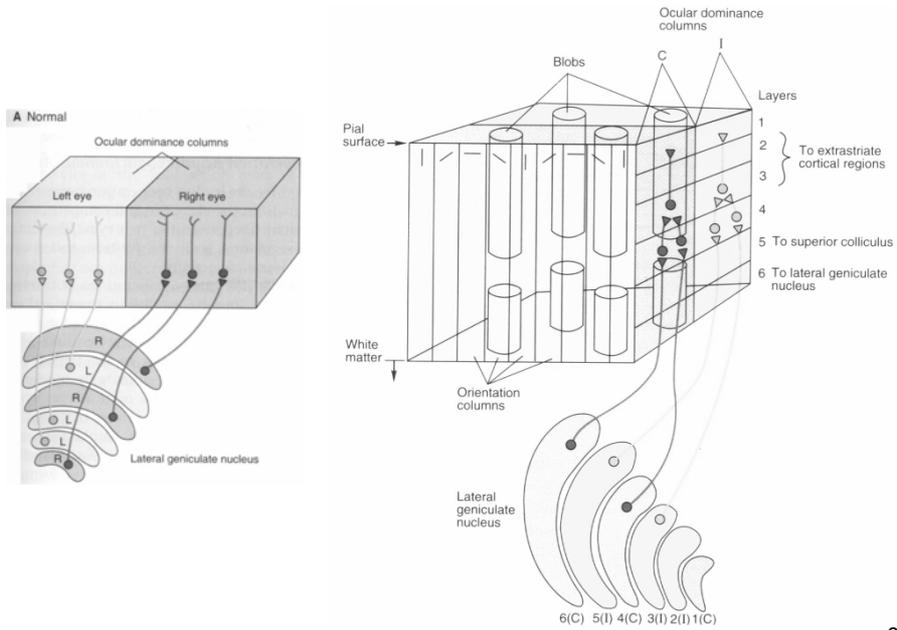


Giulio S

89

Architettura Corticale

Fisiologia AA 2004/2005

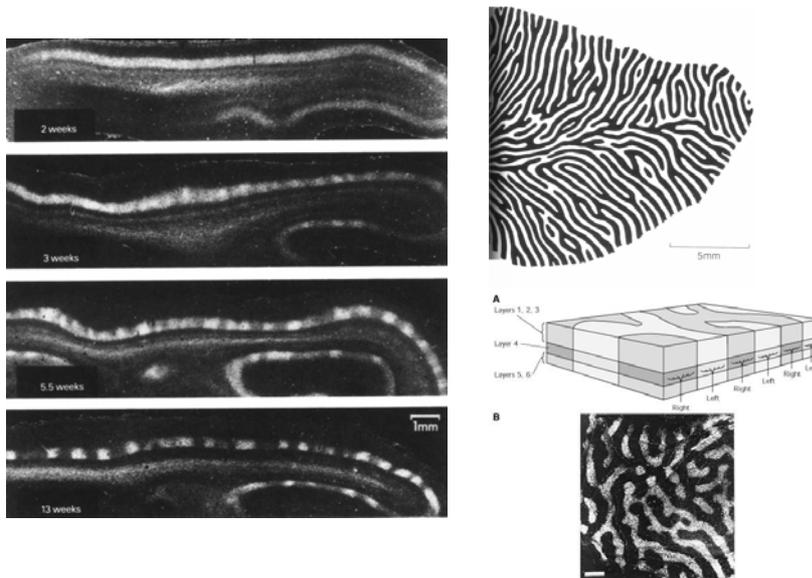


Giulio Sandini

90

Colonne di Dominanza Oculare

Fisiologia AA 2004/2005



Giulio Sandini

91