

# Bioingegneria per le Neuroscienze

**Fabio Baselice**

*Laurea magistrale in  
Ingegneria delle tecnologie dell'informazione  
per le comunicazioni e la salute*



# Argomenti

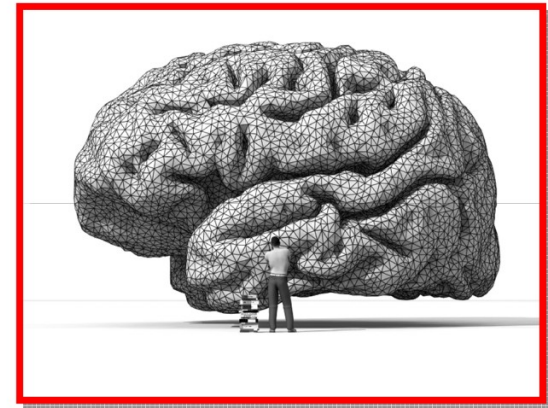
- Sistema nervoso
- Neuroni
- Chimica del cervello
- Glia
- Sensi
- Dolore
- Sistema motorio
- Sviluppo del cervello
- Sonno

# Riferimenti

Centro B.R.A.I.N per le Neuroscienze  
Università degli Studi di Trieste  
“Neuroscienze...per iniziare”

[https://www2.units.it/brain/Manuali/Neuroscienze\\_per\\_iniziare.pdf](https://www2.units.it/brain/Manuali/Neuroscienze_per_iniziare.pdf)

Centro B.R.A.I.N per le Neuroscienze  
Università degli Studi di Trieste



## ● Neuroscienze ..per iniziare

Con il contributo di  REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA

1

# Sistema nervoso

**M** MAPPE per la SCUOLA  
www.mappe-scuola.com

**ANIMALI**

**VERTEBRATI**

**INVERTEBRATI**

**CON SCHELETRO INTERNO**

**SENZA SCHELETRO INTERNO**

**ARTROPODI**

**CROSTACEI**

gamberi, aragosta, granchi



**ARACNIDI**

ragni, scorpioni



**INSETTI**

farfalle, mosche, grillo



**ECHINODERMI**

stella marina, riccio di mare



**MOLLUSCHI**

conchiglia interna - seppia  
conchiglia esterna - cozze, chiocchie  
senza conchiglia - polpi, calamari



**PORIFERI**

spugne



**CELENERATI**

meduse, coralli



**ANELLIDI**

lombrico



**PESCI**

- respirano con le **branchie**
- sangue **freddo**
- corpo ricoperto di **scaglie**
- depongono **uova**



**ANFIBI**

- anfibio significa "dalla **doppia vita**"
- sangue **freddo**
- depongono **uova**



**RETTILI**

- sono sia terrestri sia acquatici
- sangue **freddo**
- corpo ricoperto di **squame** o placche rigide
- depongono **uova**



**UCCELLI**

- corpo ricoperto da **piume e penne**
- sangue **caldo**
- depongono **uova**



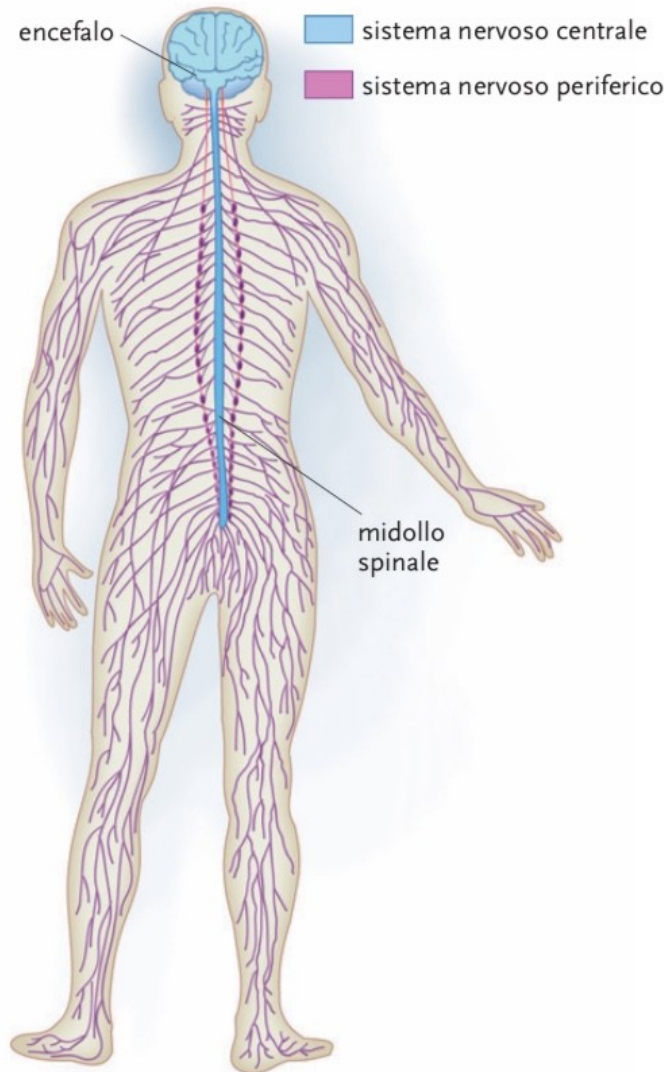
**MAMMIFERI**

- **mammifero**: per la presenza nelle femmine di **ghiandole mammarie**
- sangue **caldo**

vivono in tutti gli ambienti

terra: uomo, cane  
acqua: balena, delfino  
aria: pipistrello

# Sistema nervoso



# Sistema nervoso

Si può dire che il sistema nervoso periferico rappresenta l'interfaccia del sistema nervoso centrale con il mondo esterno. Il sistema nervoso periferico include tutti i nervi e tutti i gangli, (i raggruppamenti di neuroni che stanno sparsi nel corpo al di fuori della colonna vertebrale).

È formato da una **componente sensoriale** e da una **componente motoria**.

La componente motoria viene ulteriormente distinta nel **sistema nervoso somatico**, che comprende i nervi che vanno ai muscoli, e nel **sistema nervoso autonomo**, formato dai nervi che vanno agli organi interni e che sono responsabili del controllo delle funzioni involontarie.



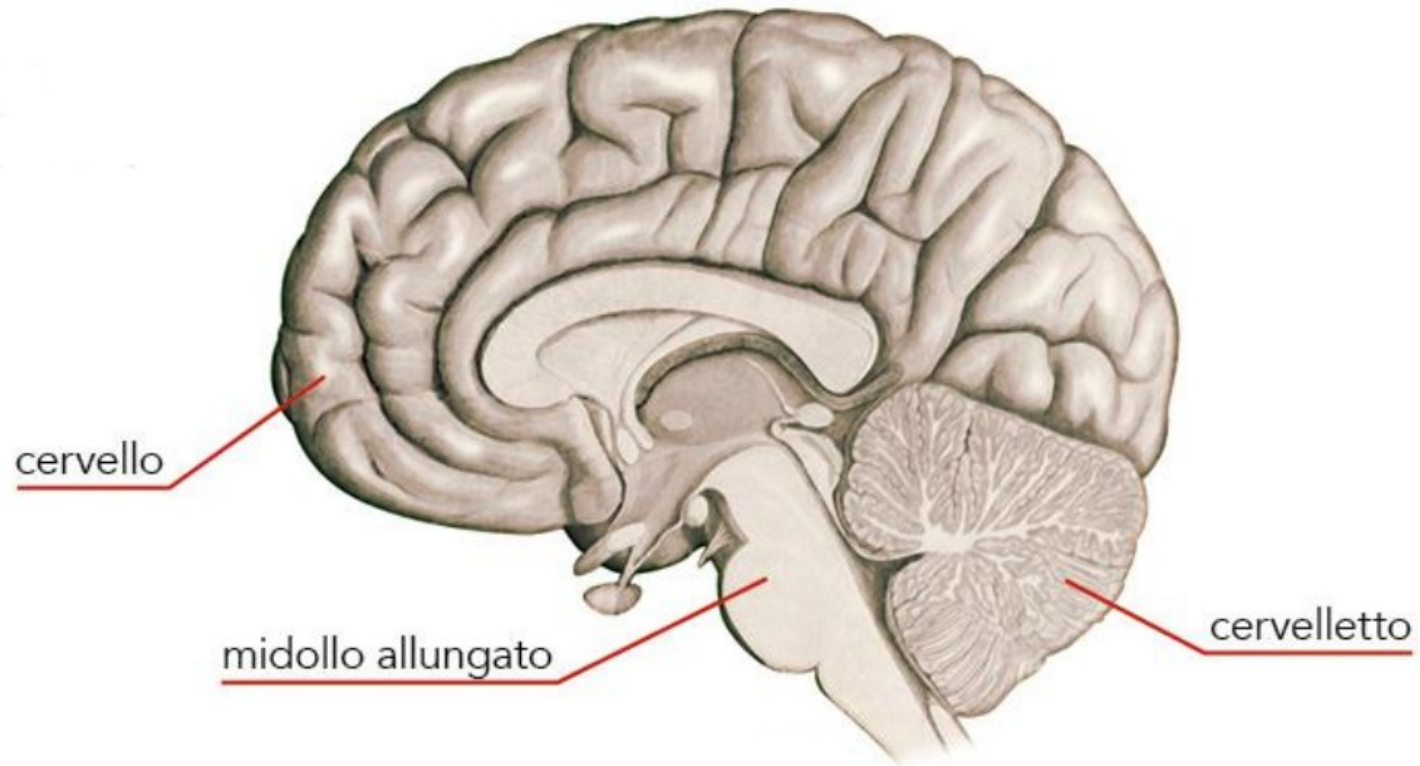
# Sistema nervoso

A sua volta il sistema nervoso autonomo è formato da due sistemi, quello simpatico e quello parasimpatico, che hanno effetti opposti sugli organi interni.

L'attivazione del **sistema simpatico** prepara all'azione: la frequenza cardiaca aumenta, i polmoni si dilatano per fornire più ossigeno, la digestione è inibita, viene stimolata la secrezione di adrenalina.

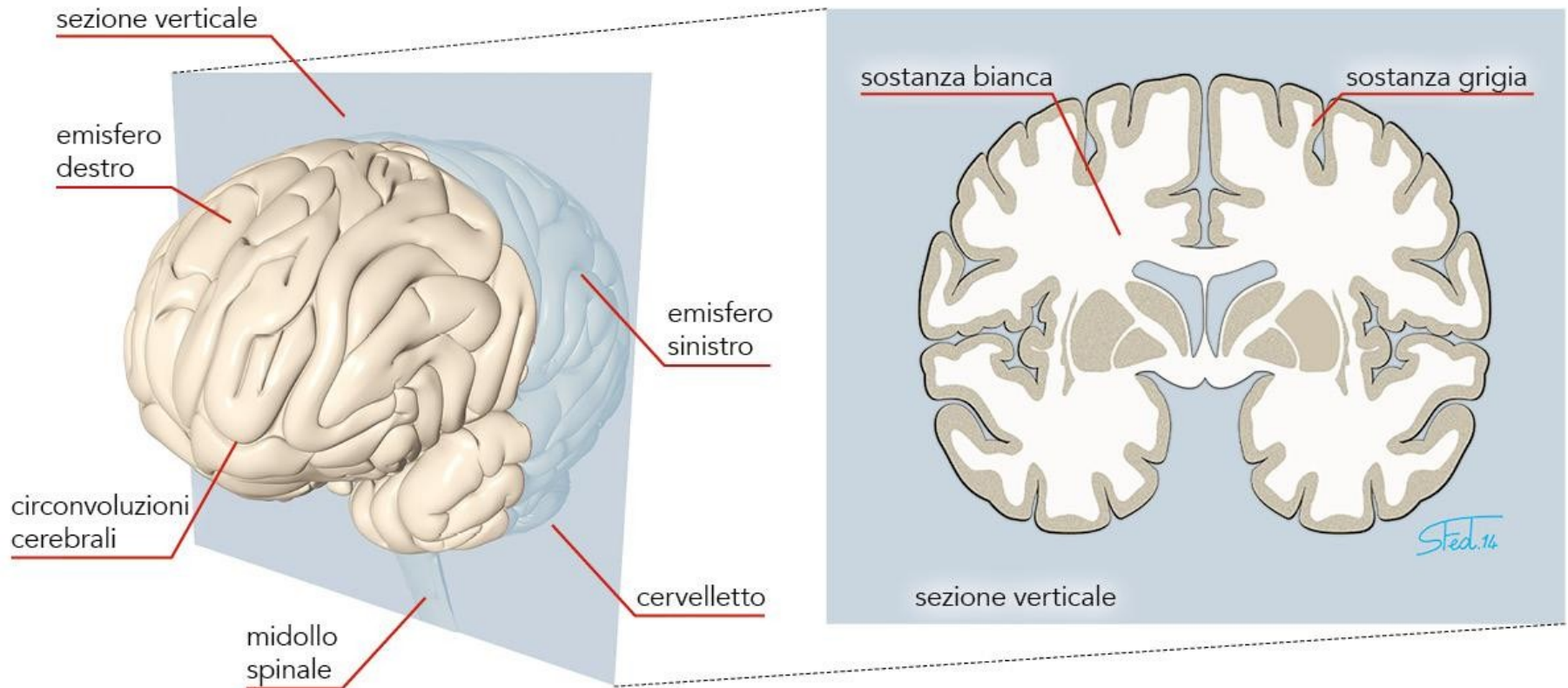
Al contrario, l'attivazione del **sistema parasimpatico** consente le funzioni di mantenimento dell'organismo: la frequenza cardiaca si abbassa, la digestione viene attivata e il soggetto spesso cade in uno stato di torpore.

# Sistema nervoso centrale





# Cervello

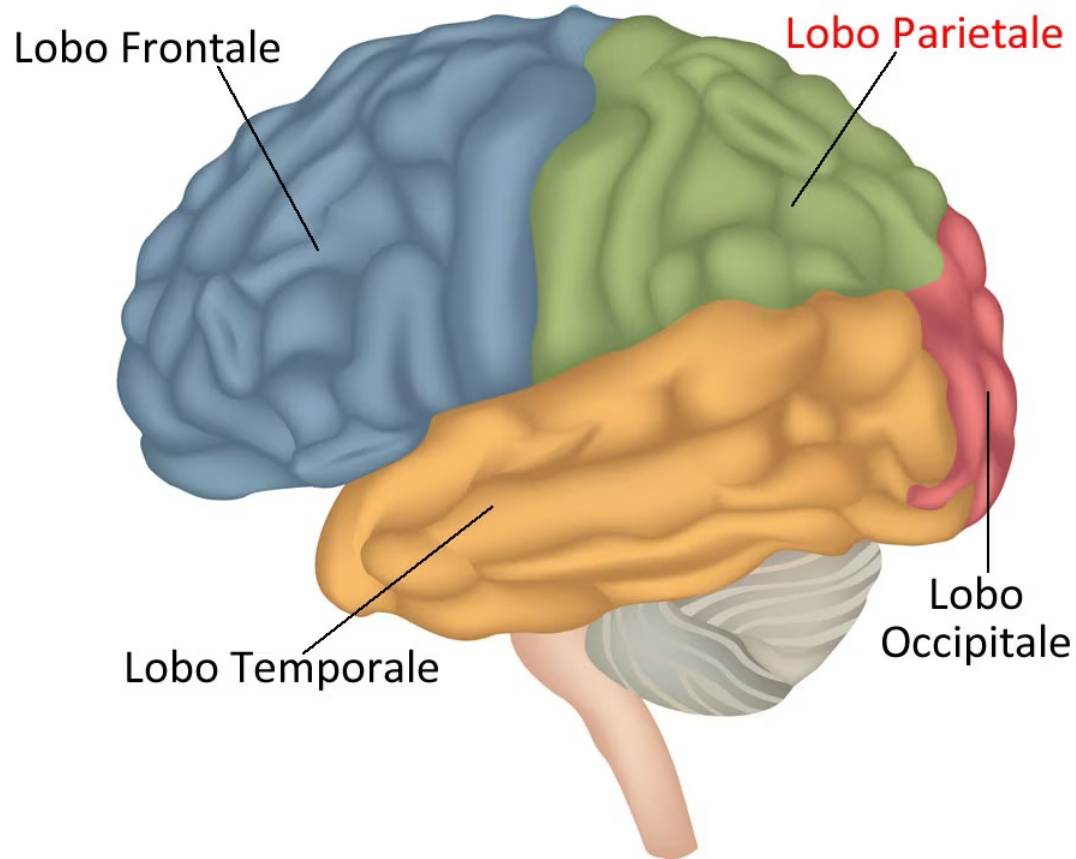


# Cervello

## Principali differenze funzionali fra i due emisferi cerebrali

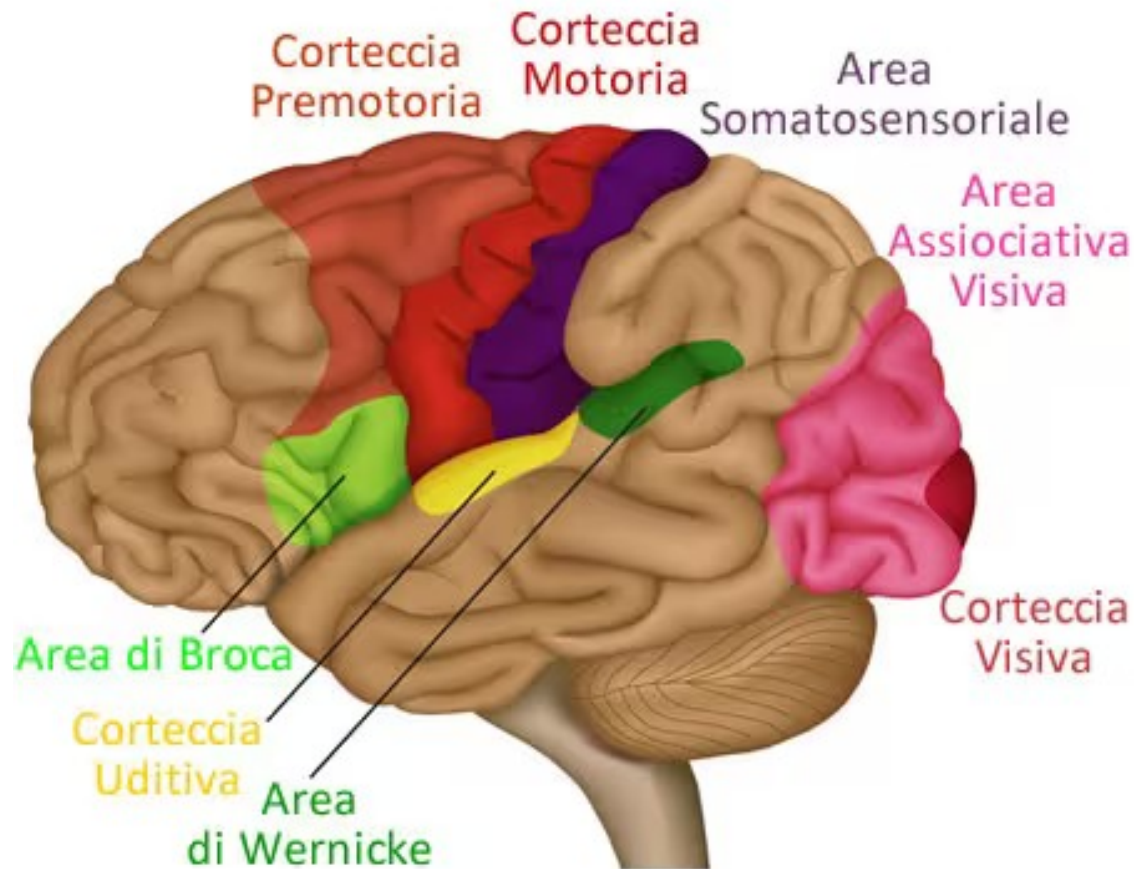
EMISFERO SINISTRO	EMISFERO DESTRO
<ul style="list-style-type: none"><li>• Comunicazione verbale</li><li>• Elaborazione verbale e simbolica dell'emozione</li><li>• Elaborazione analitica delle immagini</li><li>• Esecuzione di sequenze motorie complesse</li><li>• Percezione dei suoni ad alta frequenza</li><li>• Elaborazione dell'informazione con alta frequenza temporale</li><li>• Riconoscimento dei volti</li><li>• Esecuzione di sequenze motorie apprese volontariamente</li><li>• Elaborazione e memorizzazione a "modelli" ad esempio <math>A+B=C</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comunicazione non verbale (gesti ed espressioni)</li><li>• Capacità visuo-spaziali: percezione della profondità, localizzazione spaziale, identificazione di figure geometriche complesse</li><li>• Conoscenza spaziale del proprio corpo e del suo inserimento nell'ambiente</li><li>• Percezione ed elaborazione globale delle immagini</li><li>• Percezione della tonalità e modulazione della voce</li><li>• Percezione dei suoni a bassa frequenza</li><li>• Discriminazione dell'espressione del viso</li><li>• Elaborazione dell'informazione con bassa frequenza temporale</li><li>• Apprendimento associativo non cosciente</li></ul>

# Cervello



Fessure (solchi) e convessità (giri).

# Cervello



# Cervello

## **Suddivisione della corteccia cerebrale secondo Brodmann**

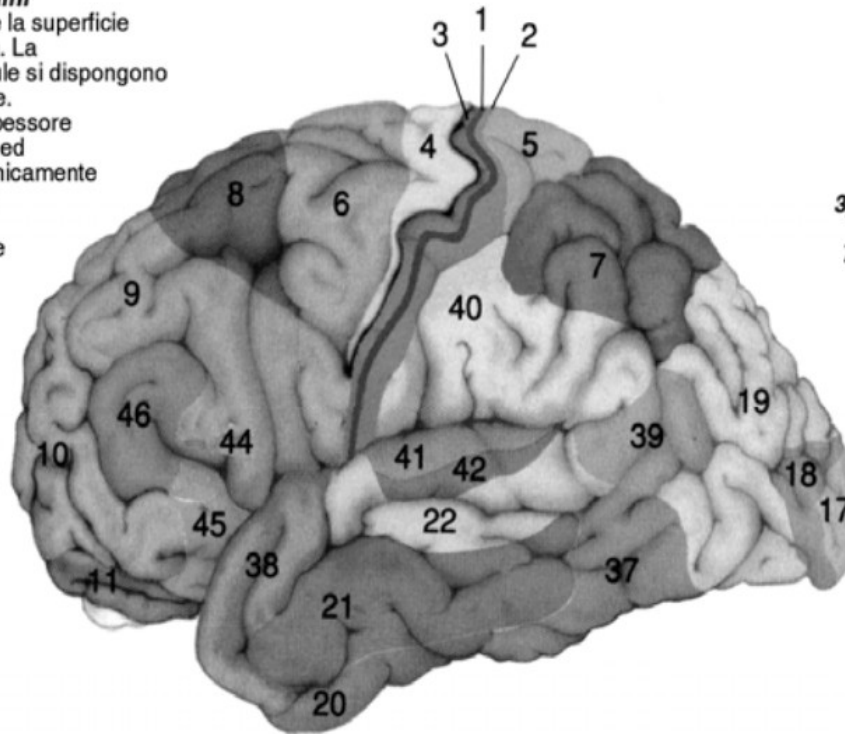
Agli inizi del 1900, il neurologo tedesco Brodmann suddivise la superficie degli emisferi cerebrali sulla base della loro diversa istologia. La corteccia cerebrale è relativamente omogenea e le sue cellule si dispongono a formare sei strati sempre uguali per tutta la sua estensione. Brodmann sapeva, dalla sperimentazione animale, che lo spessore di questi strati non era sempre lo stesso in tutta la corteccia ed utilizzò questo criterio per suddividerla in aree citoarchitettonicamente diverse. Cominciò ad affettare un cervello dall'alto e chiamò la prima area 1; non appena incontrò una differenza nello spessore relativo dei sei strati, chiamò questa nuova regione 2, e così via. Poi prese un altro cervello; questa volta iniziò dal lobo occipitale: aree 17, 18, 19 e così via; poi "attaccò" il lobo frontale, e via così fino a definire più di 50 aree. Successivamente fu dimostrato che a questa suddivisione anatomica ne corrisponde una, altrettanto precisa, funzionale.

### **Principali aree del lobo frontale:**

- 4: area motoria primaria
- 6: area motoria supplementare
- 8: area motoria per i movimenti oculari
- 44, 45: area motoria per il linguaggio (area di Broca)

### **Principali aree del lobo temporale:**

- 21: area associativa visiva
- 22: area associativa uditiva
- 41: area uditiva primaria
- 42: area uditiva secondaria



- ### **Principali aree del lobo parietale:**
- 3, 1, 2: area somatosensitiva primaria
  - 5: area associativa somatosensitiva
  - 7: area associativa visivo-polimodale
  - 39, 40: aree associative polimodali, coinvolte nella comprensione del linguaggio (area di Wernicke)

- ### **Principali aree del lobo occipitale:**
- 17: area visiva primaria (area striata, per una stria di sostanza bianca che ne attraversa il quarto strato)
  - 18, 19: aree visive associative

# Cervello

Le aree cerebrali si dividono in:

- sensoriali primarie (le prime a ricevere i messaggi dalle vie sensoriali ascendenti)
- sensoriali secondarie (compiono ulteriori analisi sui segnali in ingresso)
- motorie (generano e controllano i movimenti volontari)
- polimodali (combinano segnali sensoriali provenienti da diversi sistemi e danno il via alla preparazione di un atto motorio o ad altre funzioni cognitive).

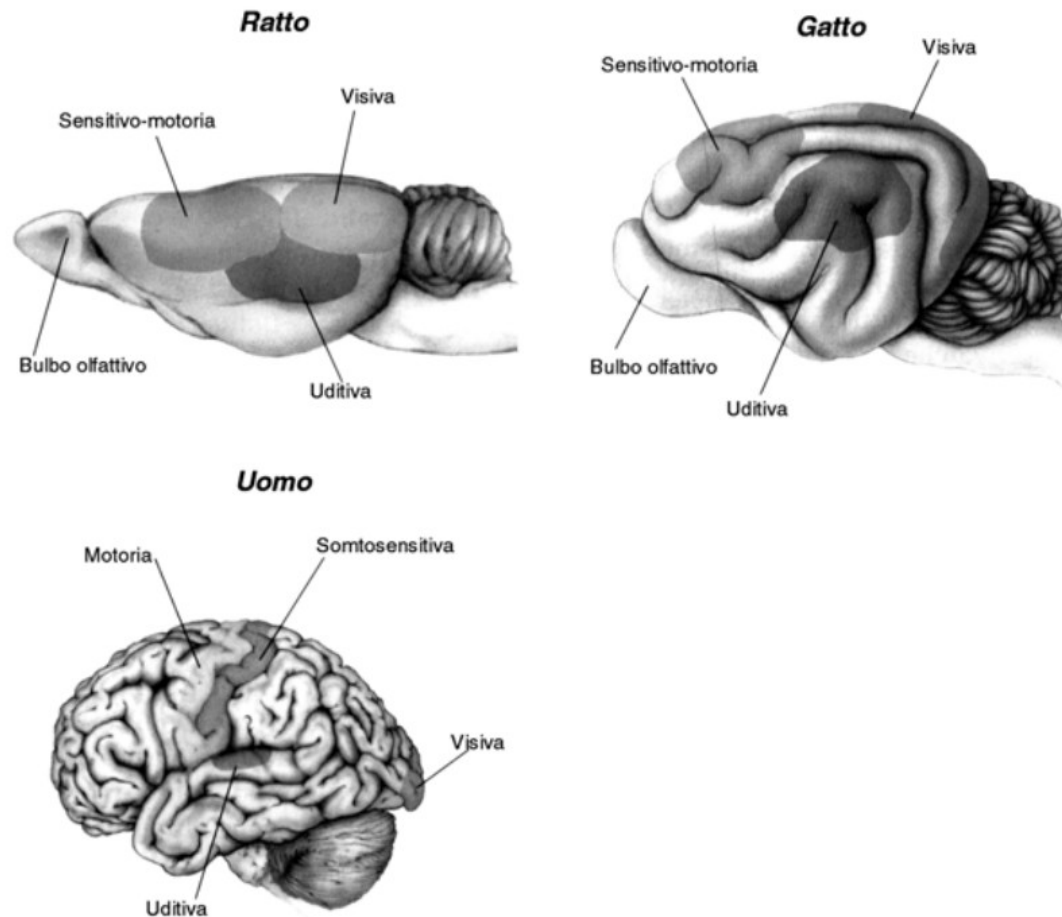
# Cervello

Nel corso dell'evoluzione dei mammiferi c'è stato un progressivo aumento del volume del cervello soprattutto in virtù della crescente estensione della corteccia cerebrale. Tuttavia non vi è stato un corrispondente aumento del volume della scatola cranica. Per “guadagnare” spazio, la corteccia si è ripiegata su se stessa, formando solchi e giri.

L'espansione della corteccia non è stata omogenea nel senso che ciò che si è ampliato sono le aree polimodali, quelle frapposte tra le aree sensoriali e le aree motorie, ovvero tra l'input e l'output.



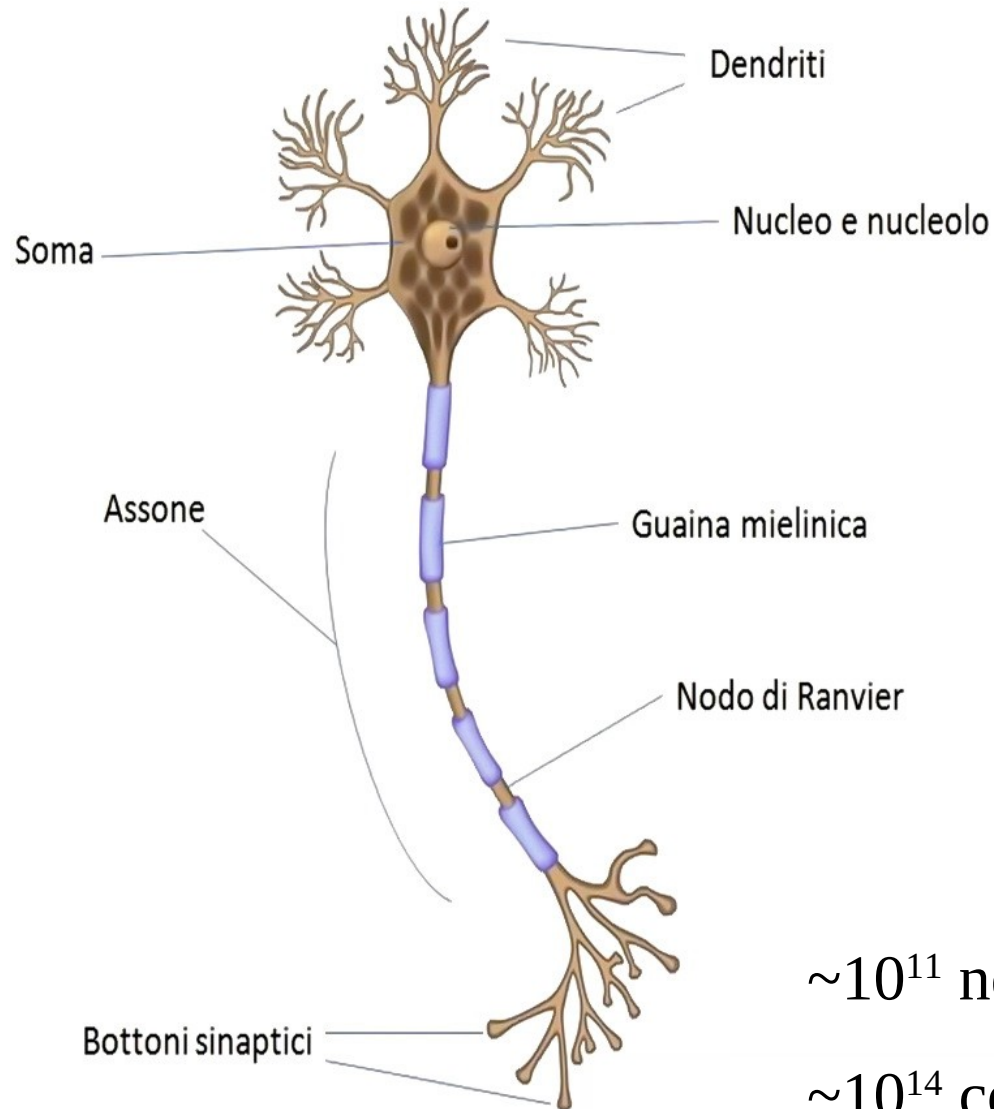
# Cervello



Estensione aree motorie e sensitive in diverse specie.



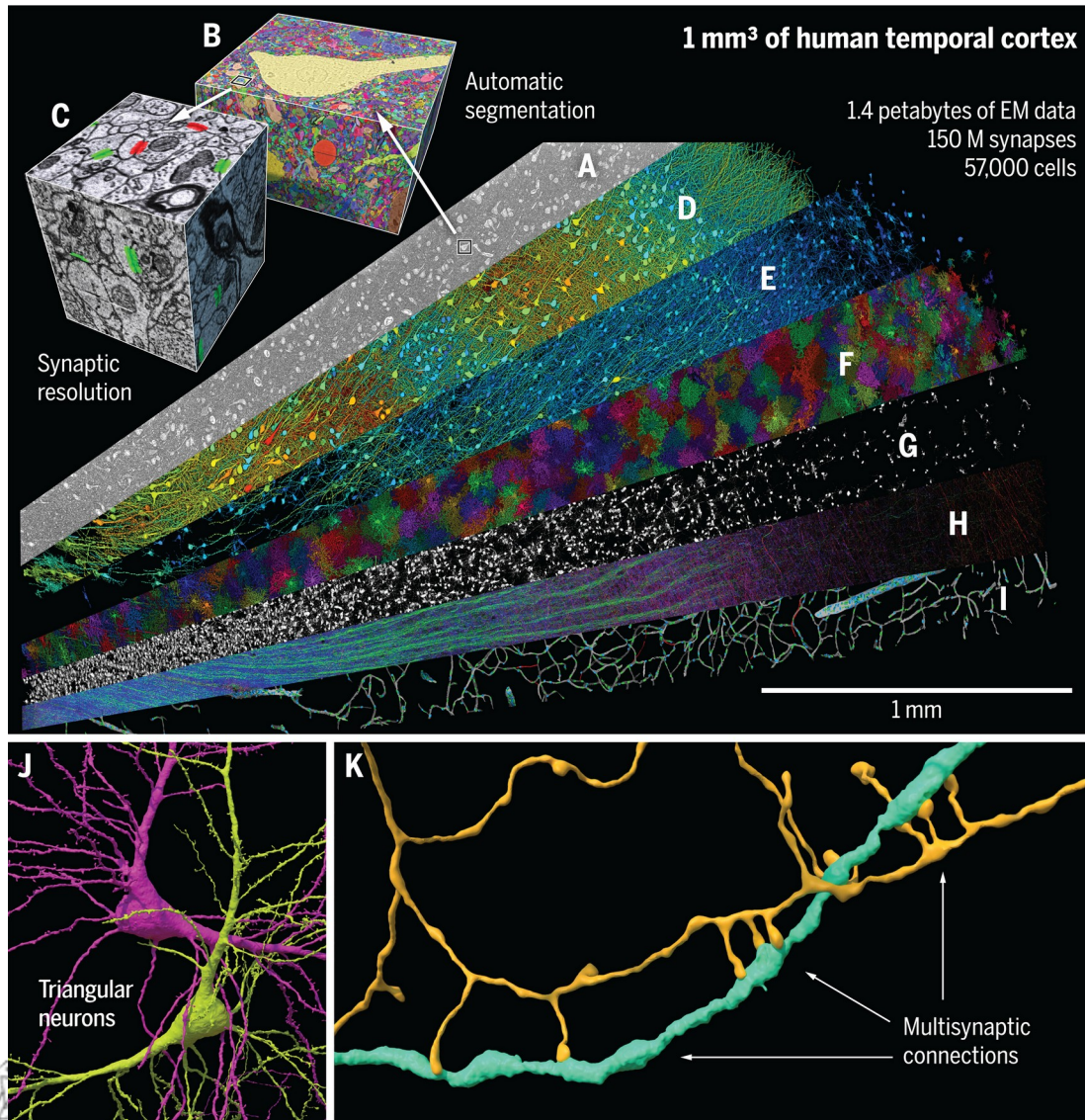
# Neurone



$\sim 10^{11}$  neuroni

$\sim 10^{14}$  connessioni

# Neurone



Mappa tridimensionale di una parte della corteccia temporale (1 mm<sup>3</sup>) ad elevatissima risoluzione.

A. Shapson-Coe et al. “A petavoxel fragment of human cerebral cortex reconstructed at nanoscale resolution”, Science, 2024.

E. Bucci “Viaggio straordinario nel cervello umano”, Il Foglio, 14/05/24

# Neurone

Unipolare



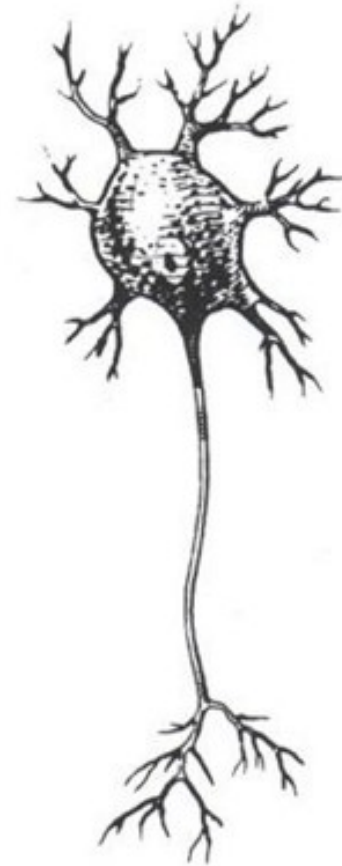
Bipolare



Pseudounipolare

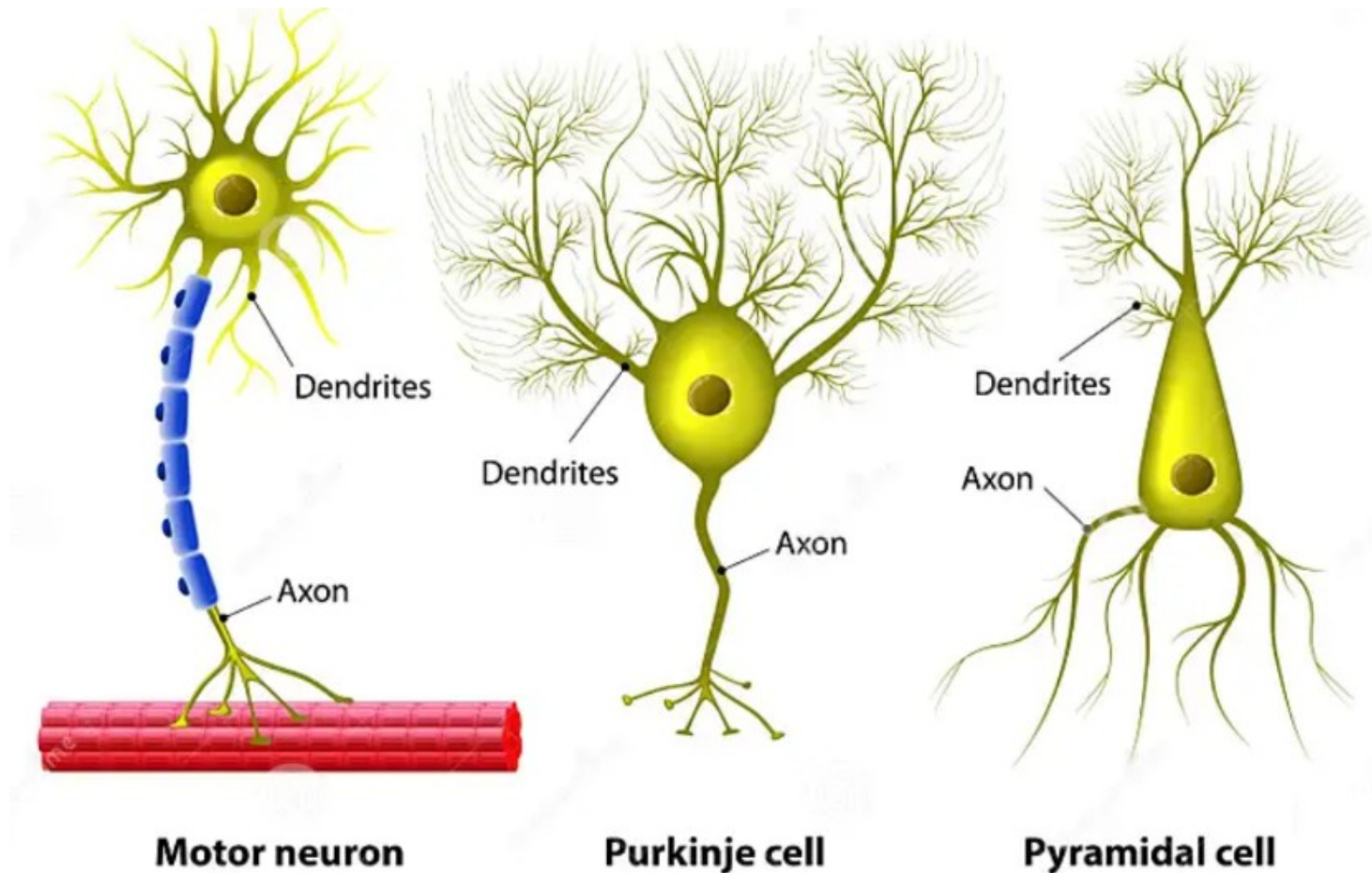


Multipolare



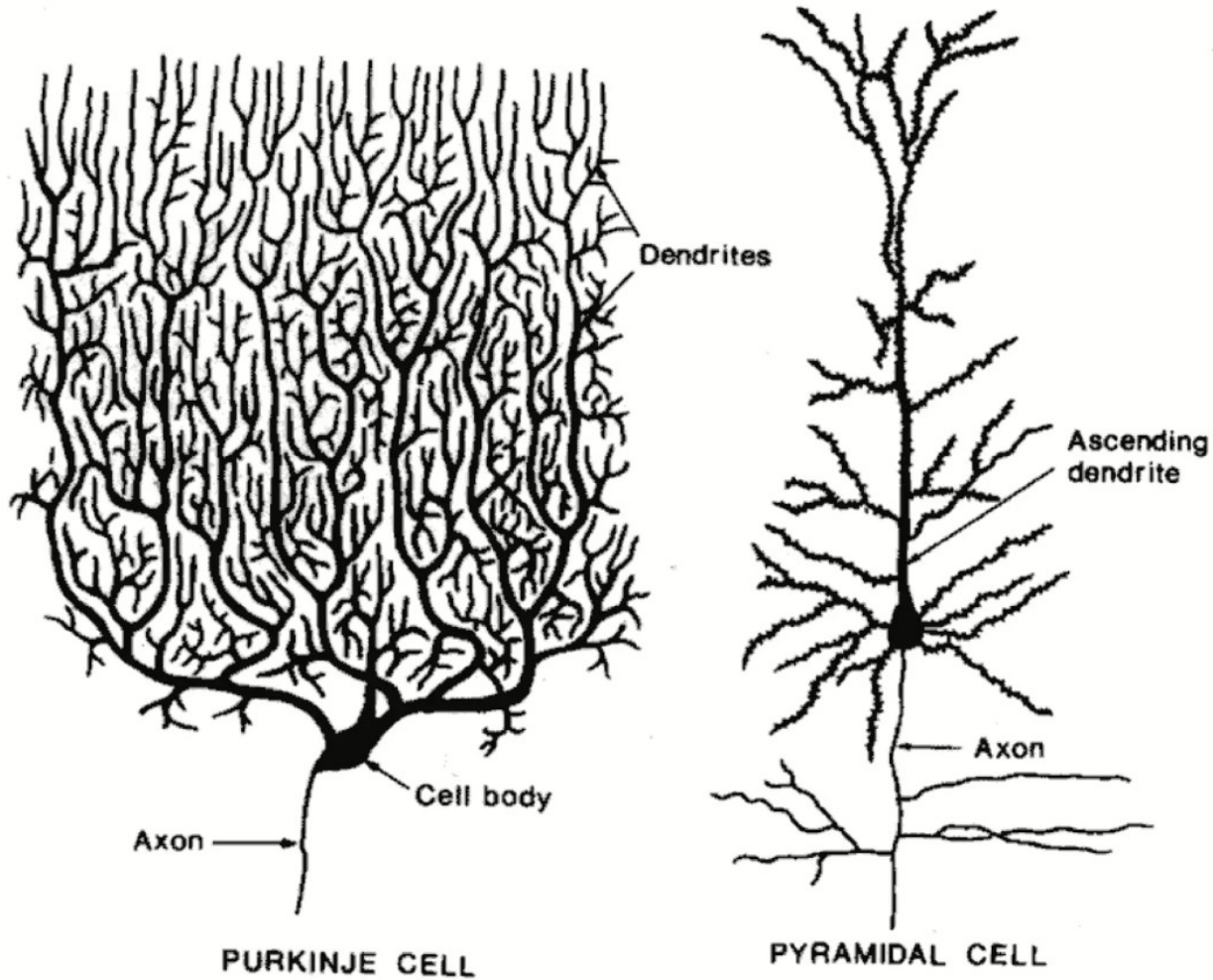
Più comuni

# Neurone



Ci sono moltissimi tipi di neurone.

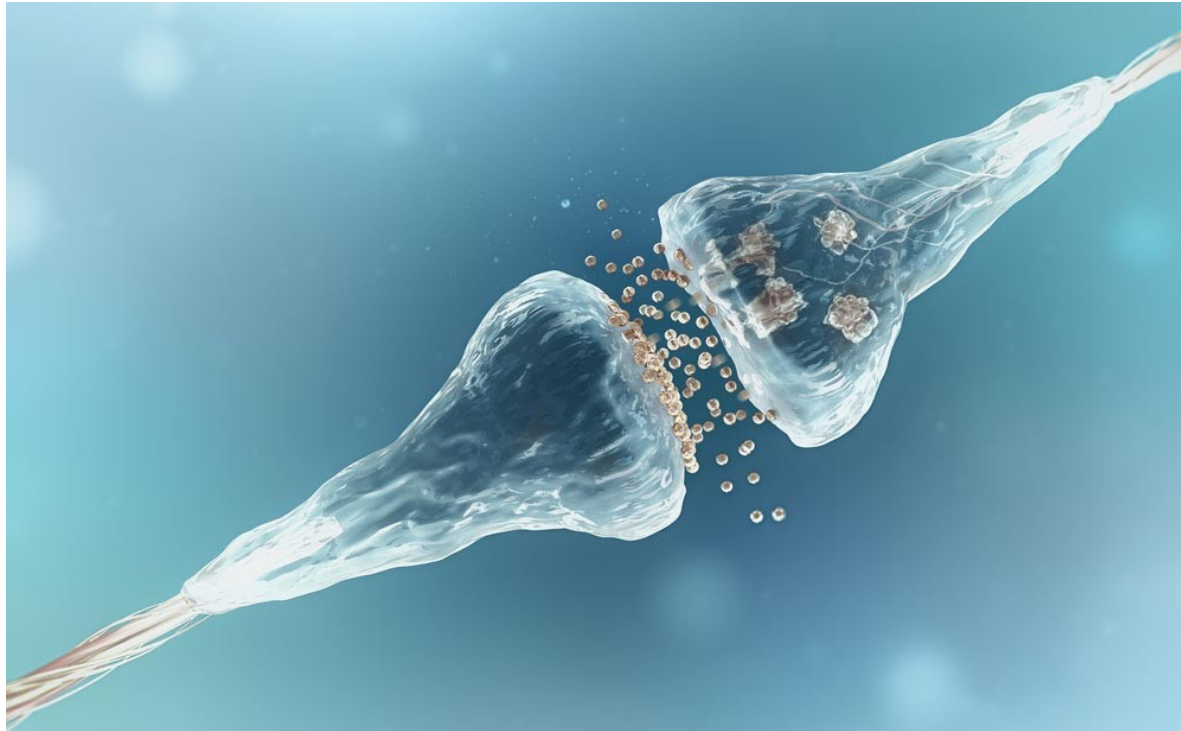
# Neurone



Cervelletto

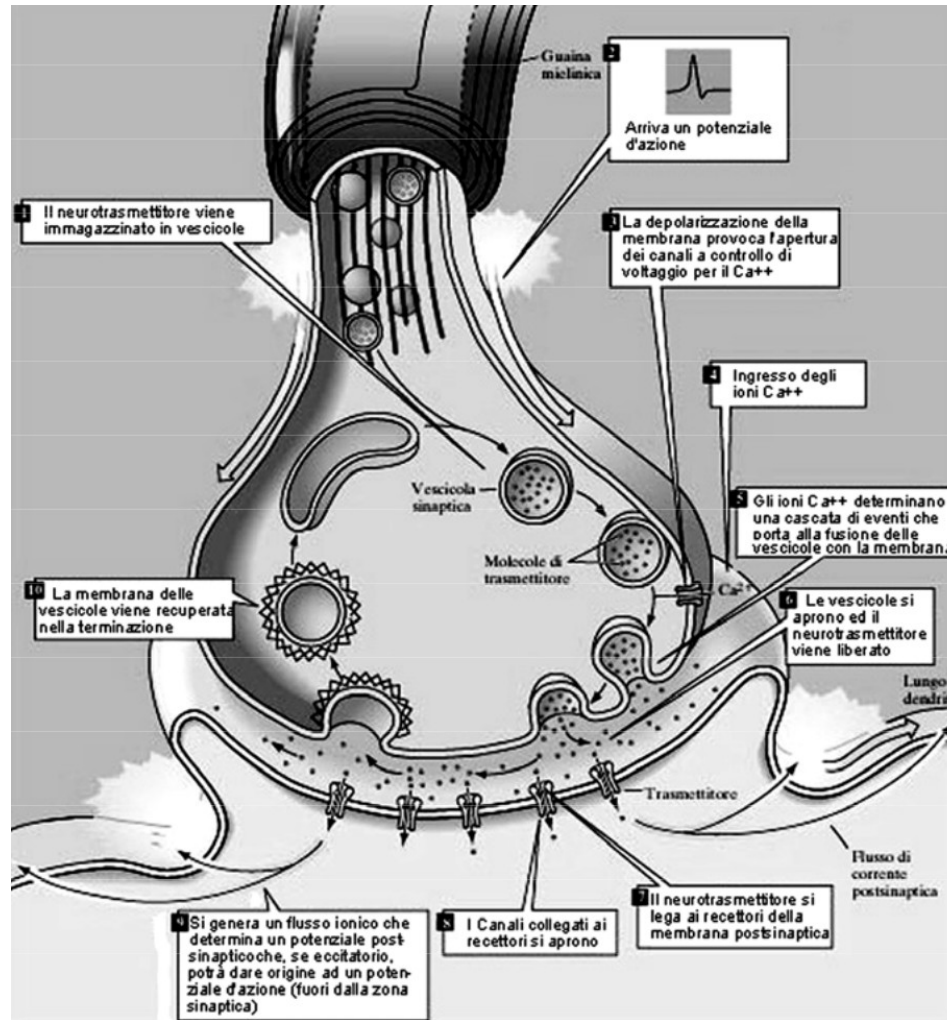
Corteccia

# Chimica del cervello



Sinapsi elettriche (canali ionici) e chimiche (fessura sinaptica).

# Chimica del cervello



Canali calcio e neurotrasmettitori (eccitatori, inibitori e modulatori).



# La glia

Le cellule gliali sono delle cellule non neuronali classicamente suddivise in due gruppi principali, microglia e macroglia.

La glia differisce dai neuroni per diversi aspetti:

- I neuroni possono generare potenziali d'azione: le cellule gliali no, ma hanno un potenziale di riposo
- I neuroni hanno sinapsi che usano neurotrasmettitori: la glia ha sinapsi chimiche
- I neuroni non continuano a dividersi (non quelli “maturi, almeno): le cellule gliali sì
- Ci sono molte più cellule gliali che neuroni ( 10 – 50 volte)

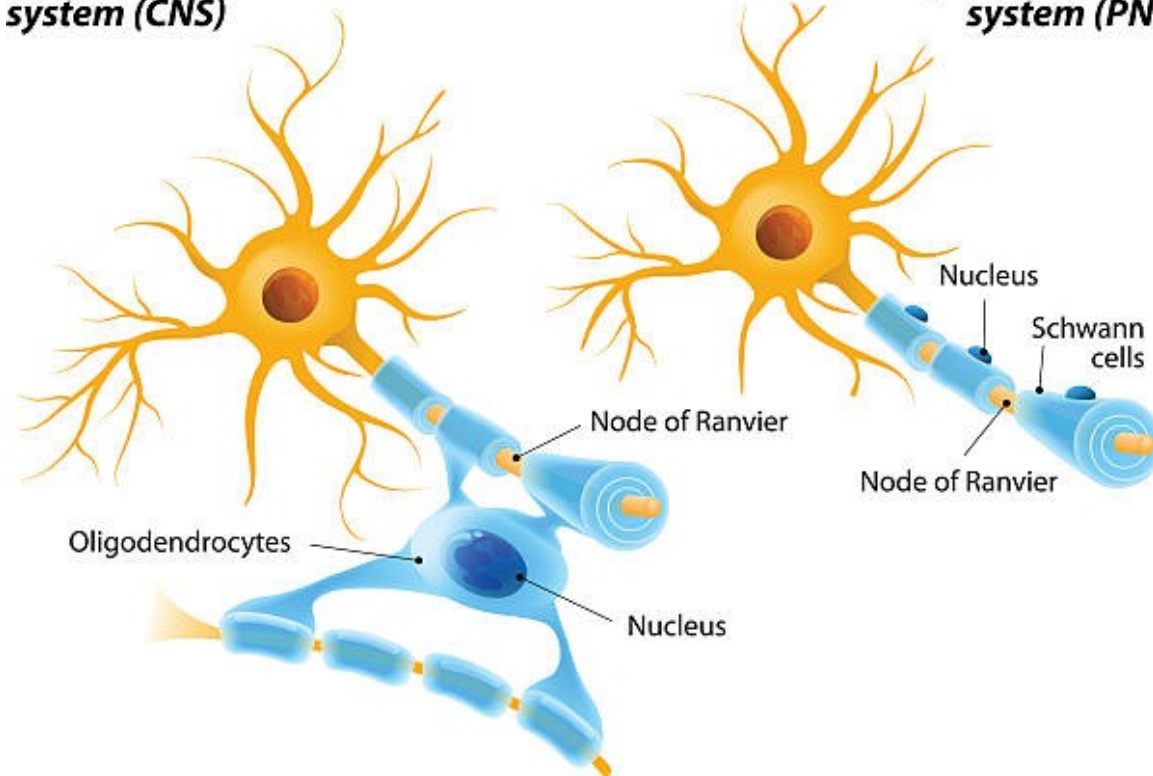




# La glia

**Central nervous system (CNS)**

**Peripheral nervous system (PNS)**



# La glia

Le cellule **microgliali** sono delle piccole cellule gliali che svolgono un pò la stessa funzione dei macrofagi, cellule del sistema immunitario.

Gli **astrociti** sono delle cellule stellate (da qui la parola astrocita) che collaborano con i neuroni. Uno dei loro compiti più noti è quello di interporsi tra il sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale) e il sangue trasportato nei vasi formando una sorta di filtro, la barriera ematoencefalica (BEE), con lo scopo di impedire a molecole troppo grandi, cellule, farmaci, di entrare nel cervello. Inoltre forniscono nutrimento e sostegno meccanico ai neuroni, collaborano con la microglia nella pulizia e nel rilascio di sostanze infiammatorie (citochine) e fattori di crescita.

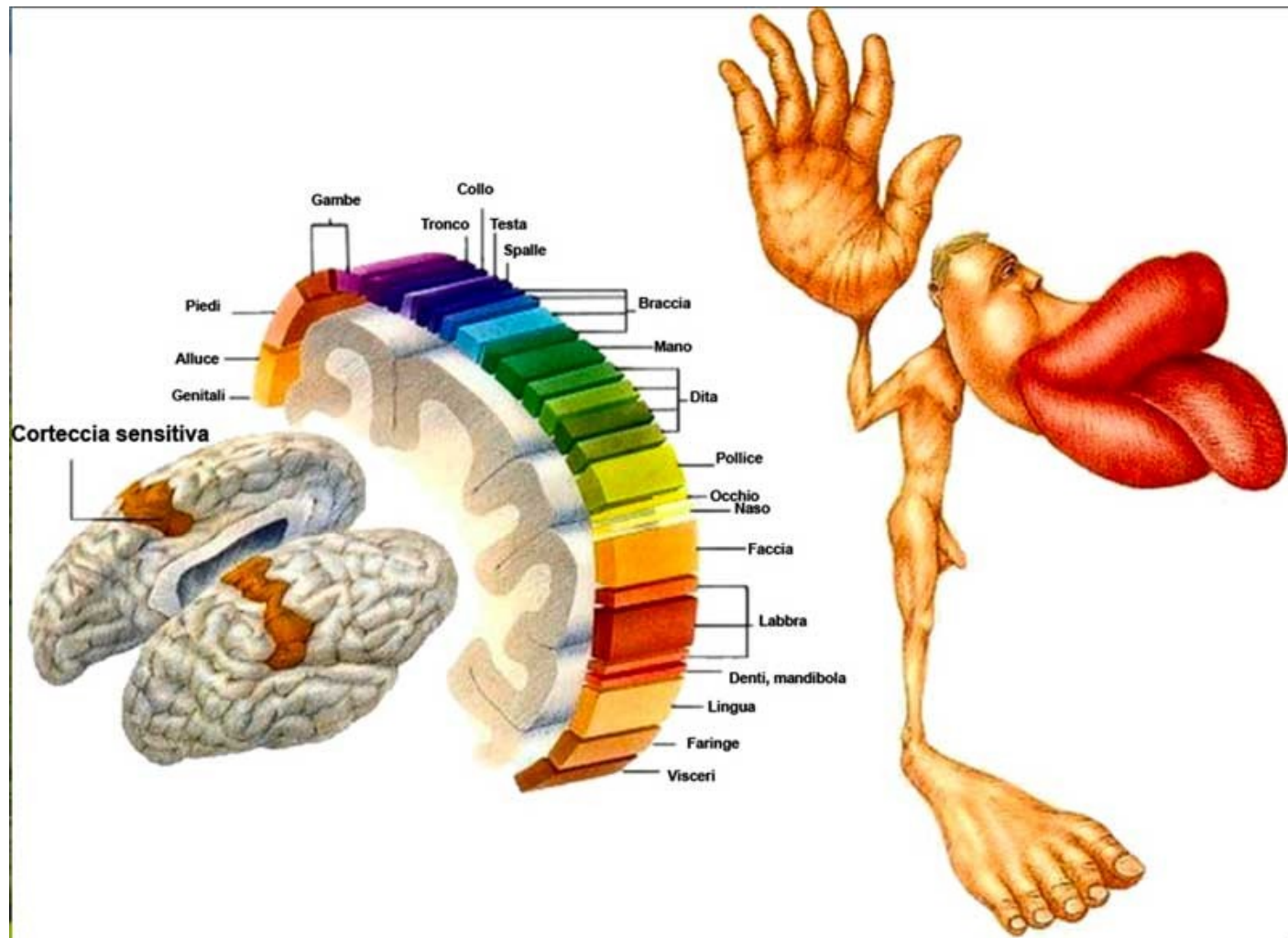


# I sensi



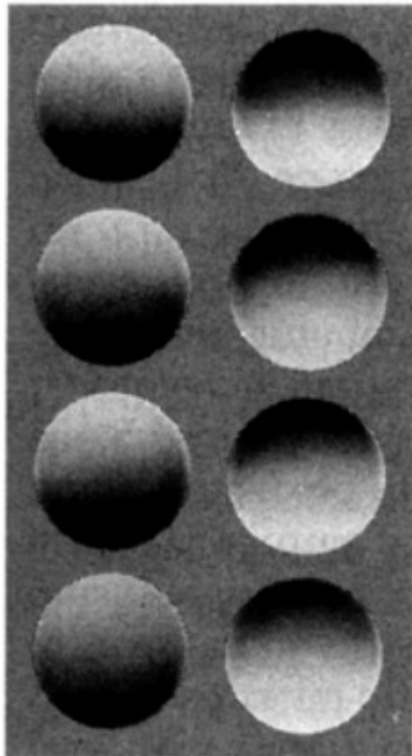
Che differenza c'è fra un senso e l'altro?

# I sensi



# I sensi

Il cervello lavora con **rappresentazioni** del mondo circostante.



Le illusioni ottiche sono legate alle informazioni a priori che il nostro cervello ha a disposizione a partire dalla storia evolutiva.

# Il dolore

La Natura ha fatto in modo che il dolore sia un segnale che non può essere ignorato. Nel cervello, ad esempio, il dolore non è trattato da una sola regione o area specializzata, ma da molte, fra le quali quelle coinvolte nell'attenzione, nelle emozioni e nel controllo dei movimenti. E se una di queste regioni viene danneggiata, la sua funzione viene assunta da un'altra.

Per quanto utili siano nel proteggerci, questa molteplicità di vie complica enormemente la ricerca di metodi per lenire il dolore.



# Il dolore

Ci sono tre tipi di fibre nervose che portano al cervello segnali che daranno origine a sensazioni coscienti.

Le fibre “**A-beta**” rispondono al tatto, al caldo, al freddo ed a sostanze chimiche che non sono dolorose.

Le fibre “**A-delta**” e le fibre “**C**”, invece, trasportano segnali che generalmente danno origine a dolore. Le fibre A-delta sono più grandi e conducono le informazioni più velocemente (dolore immediato), mentre le fibre C, più piccole, conducono informazioni più lentamente (dolore sordo e lancinante).

# Il dolore

Non si sa esattamente come impulsi veicolati da fibre nervose possano dare origine alla percezione del dolore. Ma quello che i ricercatori sanno bene (e non solo loro, purtroppo) è che più a lungo dura il dolore, più intenso è probabile che diventi; il sistema nervoso, infatti, si sensibilizza e la stessa entità di stimolazione viene percepita come più intensa.

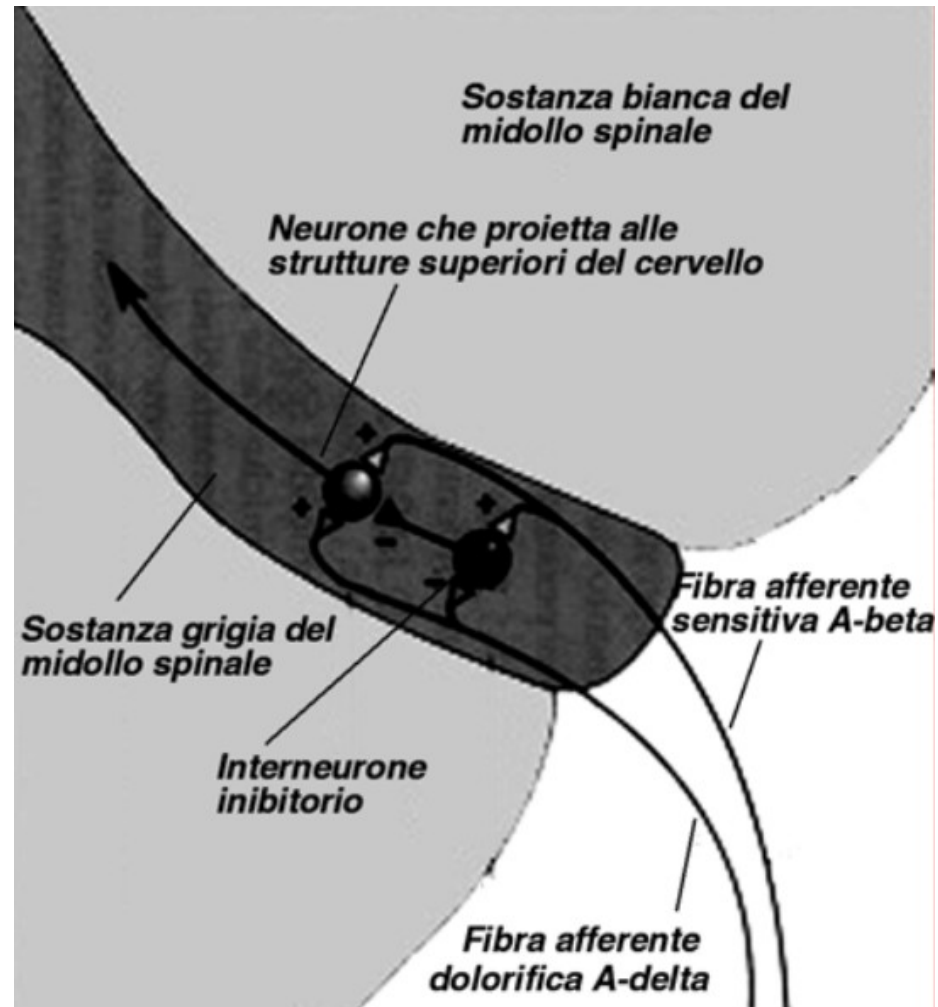


# La teoria del “controllo a cancello”

Tante volte, dopo aver picchiato la testa o subito un colpo da qualche parte, troviamo sollievo massaggiandoci la parte offesa. Come mai? Secondo la “teoria del controllo a cancello”, le informazioni tattili non dolorifiche sarebbero in grado di controllare, cioè di “chiudere la porta” alle informazioni dolorifiche, non appena queste entrano nel midollo spinale.

Il modello considera nel midollo un neurone collegato sia alle fibre non dolorifiche (A-beta) che a quelle dolorifiche (A-delta), che è collegato in maniera inibitoria ad un altro neurone che riceve sia le fibre A-beta (in maniera eccitatoria) che quelle A-delta (in maniera inibitoria).

# La teoria del “controllo a cancello”



# La modulazione centrale del dolore

La percezione del dolore dipende dal contesto degli eventi nel corso dei quali si verifica la lesione come pure dall'esperienza culturale e sociale dell'individuo.

La presenza di recettori per gli oppioidi all'interno del sistema nervoso centrale dimostra l'esistenza di sistemi fisiologici che producono naturalmente queste sostanze allo scopo di regolare la percezione del dolore. Altrimenti perché dovrebbero esistere dei recettori per molecole che non esistono nel nostro organismo?

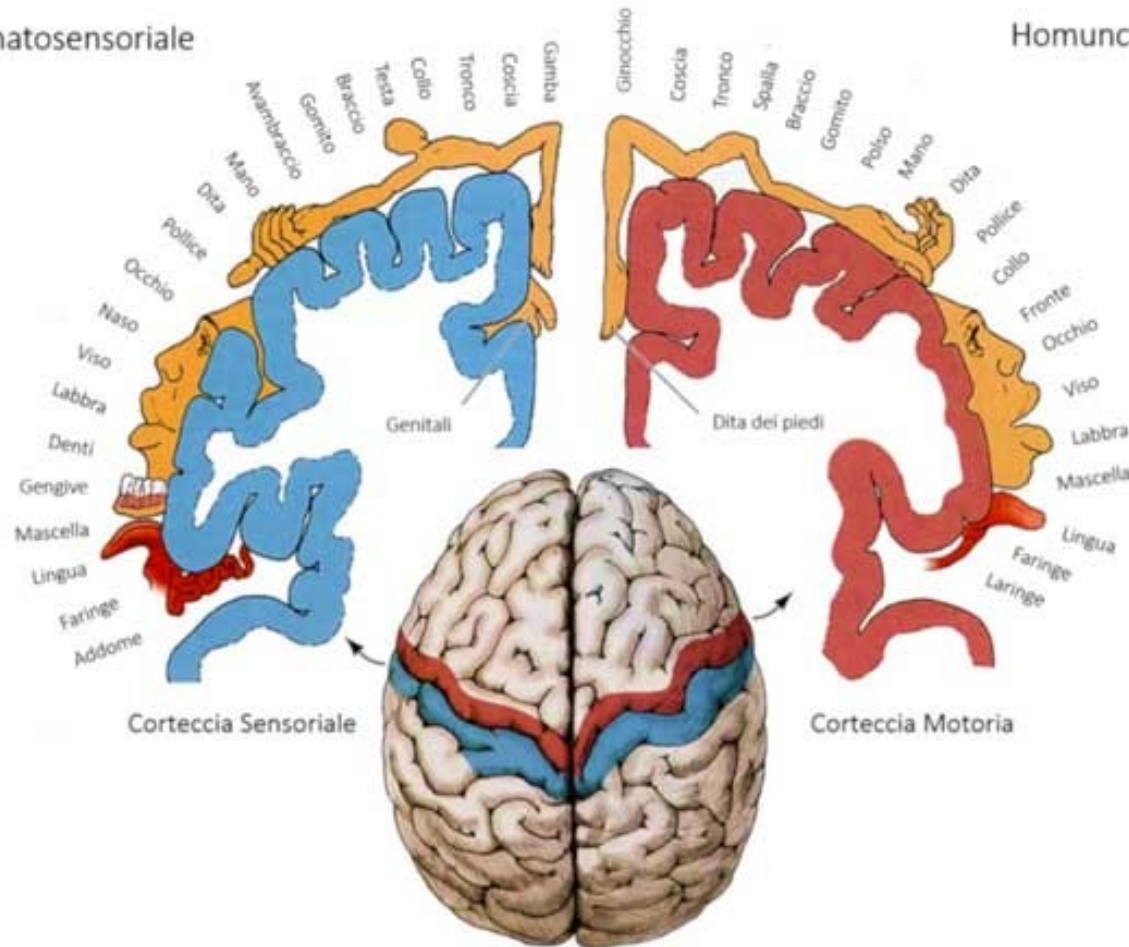
Furono scoperti sistemi neurali diversi che contengono “oppioidi endogeni” (encefaline, endorfine e dinorfine) coinvolti nella modulazione centrale del dolore.



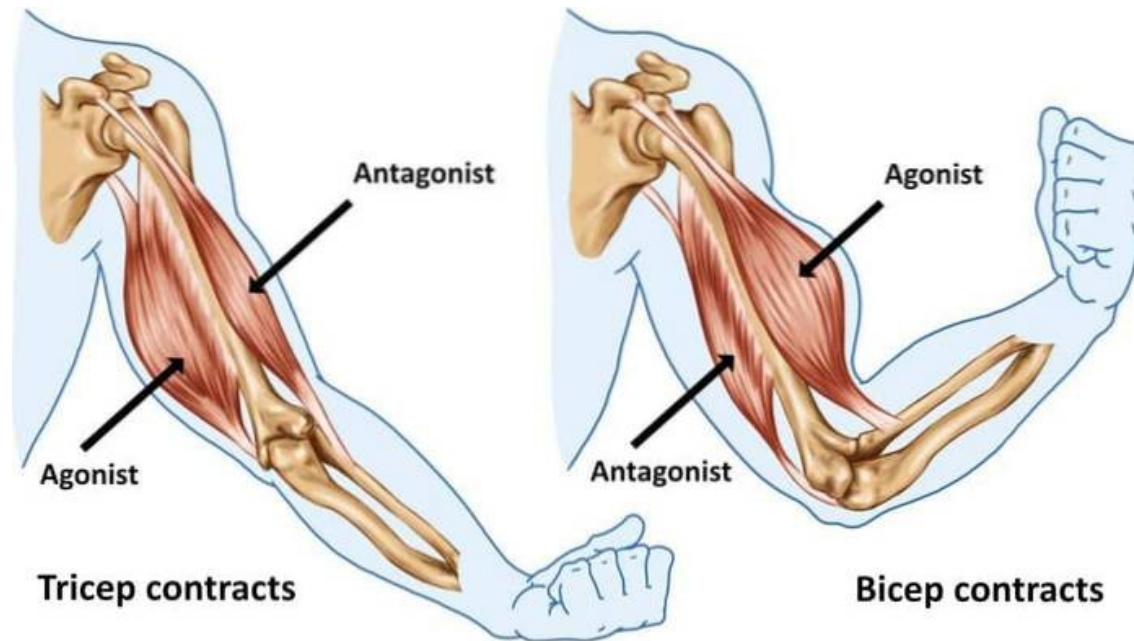
# Il sistema motorio

Homunculus Somatosensoriale

Homunculus Motorio



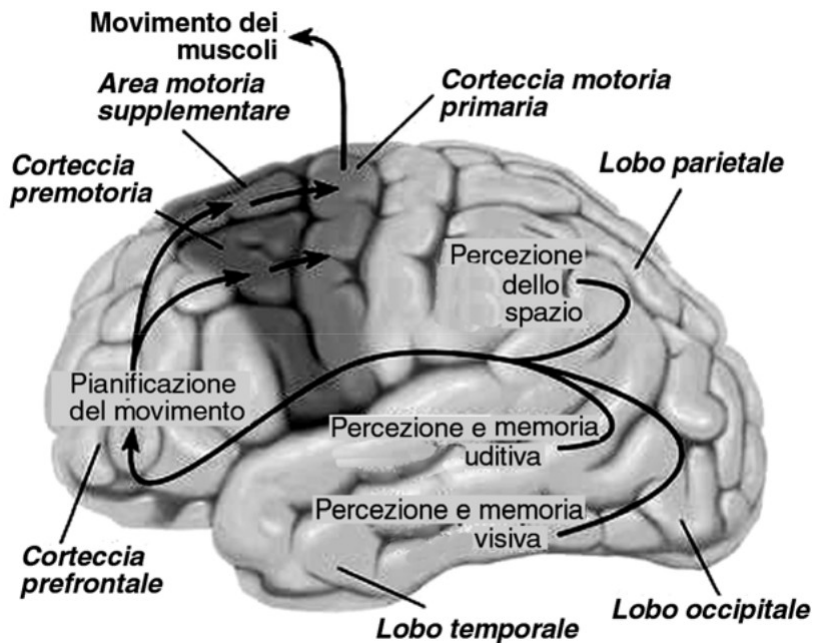
# Il sistema motorio



Un muscolo è composto da migliaia di fibre muscolari, ognuna delle quali è controllata da un solo neurone, molto grande, che prende il nome di alfa motoneurone. D'altro canto, un alfa motoneurone può controllare centinaia di fibre muscolari, creando così una unità motoria.

# Il sistema motorio

Quando si intende compiere un movimento verso un oggetto, si attiva quasi tutta la corteccia cerebrale. L'informazione visiva eccita il **lobo occipitale**; da qui, le informazioni vanno ai **lobi temporale e parietale** per il riconoscimento dell'oggetto e la sua localizzazione spaziale. Quindi il flusso di informazioni si porta alla **corteccia prefrontale** per la pianificazione del movimento e finalmente si attivano le **cortecce motorie** per la sua esecuzione.



# Il sistema motorio

Gran parte della programmazione e messa in atto dei movimenti avviene nella corteccia cerebrale.

L'azione congiunta di aree frontali e parietali permette la programmazione di movimenti più o meno complessi. In queste aree, le informazioni sull'ambiente circostante e sulla posizione del proprio corpo rispetto ad essi vengono integrate e utilizzate per programmare i movimenti desiderati.

Queste informazioni vengono poi inviate all'area corticale principalmente devota al controllo dei neuroni del midollo spinale e gran parte dei motoneuroni, l'area motoria.

# Il sistema motorio

Il **cervelletto** riceve ed integra informazioni sensoriali direttamente dai recettori muscolari, dai sensori all'interno dell'orecchio che codificano la posizione e il movimento della testa, e dalla corteccia cerebrale per assicurare un'affidabile **coordinazione muscolare** che ci possa permettere di eseguire movimenti complessi in maniera più o meno **automatica**.

Alcuni esperimenti indicano che, nel momento in cui impariamo a camminare, parlare o suonare uno strumento, il dettagliato insieme di informazioni necessario a eseguire questi compiti è immagazzinato nel cervelletto e recuperato dalla corteccia cerebrale ogni volta che è richiesto.



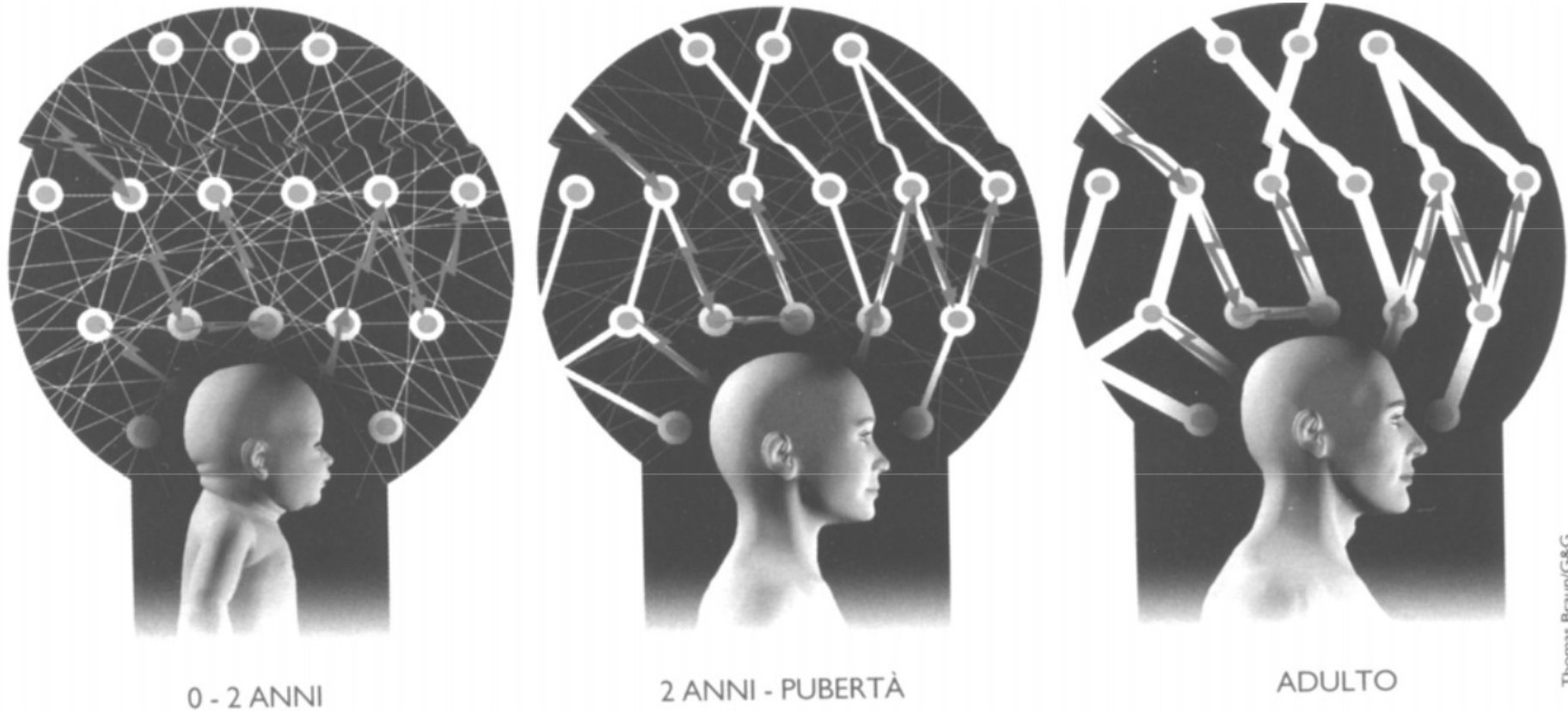
# Lo sviluppo del cervello umano

A partire dall'embrione, i diversi tipi di cellule si devono differenziare. Affinché i neuroni (ancora non specializzati) diventino tipi altamente specializzati di cellule nervose, ad ogni passo, devono essere esposti a delle molecole particolari.

Il neurone, una volta differenziato, è necessario che sia dislocato nel luogo dove dovrà compiere le sue funzioni. Così nel cervello deve potersi muovere dagli strati dove si differenzia - più interni - verso la superficie esterna. Molti fattori esterni, come l'alcool e la cocaina, impediscono una corretta migrazione portando a risultati disastrosi come ritardi mentali. Dopo la migrazione si compongono le connessioni appropriate per ogni singola funzione.



# Lo sviluppo del cervello umano



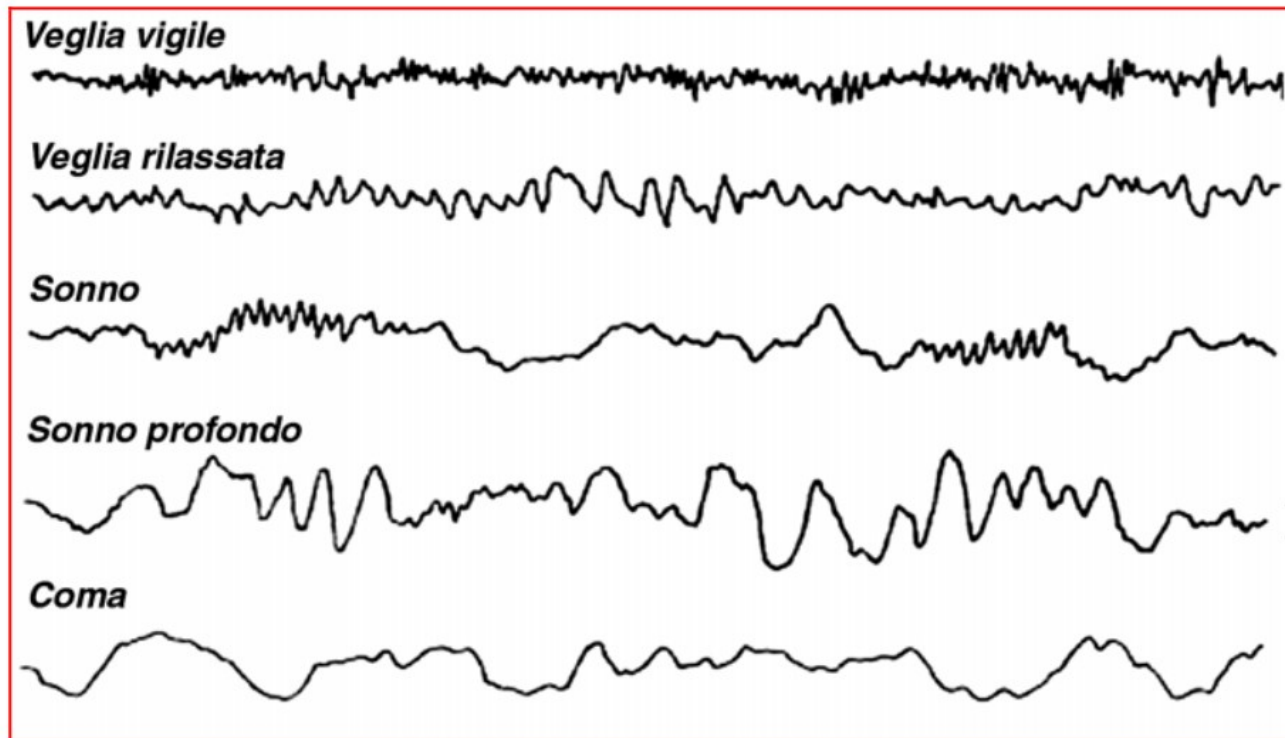
Il cervello beneficia durante il suo sviluppo (e non solo) di ambienti ricchi di stimoli.

# Lo sviluppo del cervello umano

## Principali differenze tra il cervello della donna e quello dell'uomo

UOMO	DONNA
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maturazione più lenta</li><li>• Maggiore organizzazione asimmetrica</li><li>• Maggiore asimmetria funzionale</li><li>• Maggiore quantità di fibre intra-emisferiche</li><li>• Migliore analisi dello spazio</li><li>• Percezione: minore quantità di informazioni percepite, maggiore analisi e memoria spaziale</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maturazione più veloce</li><li>• Minore organizzazione asimmetrica</li><li>• Maggiore quantità di fibre inter-emisferiche</li><li>• Maggiore percezione dello spazio nel suo insieme</li><li>• Percezione: maggiore quantità di informazioni percepite nell'unità di tempo, maggiore sintesi</li><li>• Maggiore percezione dell'aspetto emozionale</li><li>• Maggiore fluidità verbale</li></ul>

# Il sonno



# Il sonno

L'individuazione di movimenti oculari rapidi durante il sonno ha permesso di suddividerlo in due fasi distinte: il sonno REM ed il sonno non-REM. Il sonno REM (circa 1/4 del totale), acronimo di “rapid eye movement”, rappresenta la fase in cui si registrano e si osservano tali movimenti; il sonno non-REM (circa 3/4 del totale) rappresenta la fase in cui tali movimenti sono assenti.

Il sonno REM è caratterizzato da un'intensa attività cerebrale che paradossalmente assomiglia a quella della veglia.

Il sonno non-REM si suddivide in 4 stadi fondamentali che sono caratterizzati da onde cerebrali suddivise per diversa ampiezza e frequenza.



# Imparare, ricordare, dimenticare



Henry Molaison

Memoria a breve ed a lungo termine.

# Coscienza

La maggior parte di ciò che avviene nella nostra mente non raggiunge la coscienza: perchè alcuni contenuti mentali, e solo quelli, raggiunge il livello di coscienza?

Le azioni volontarie sono precedute da una decisione cosciente?

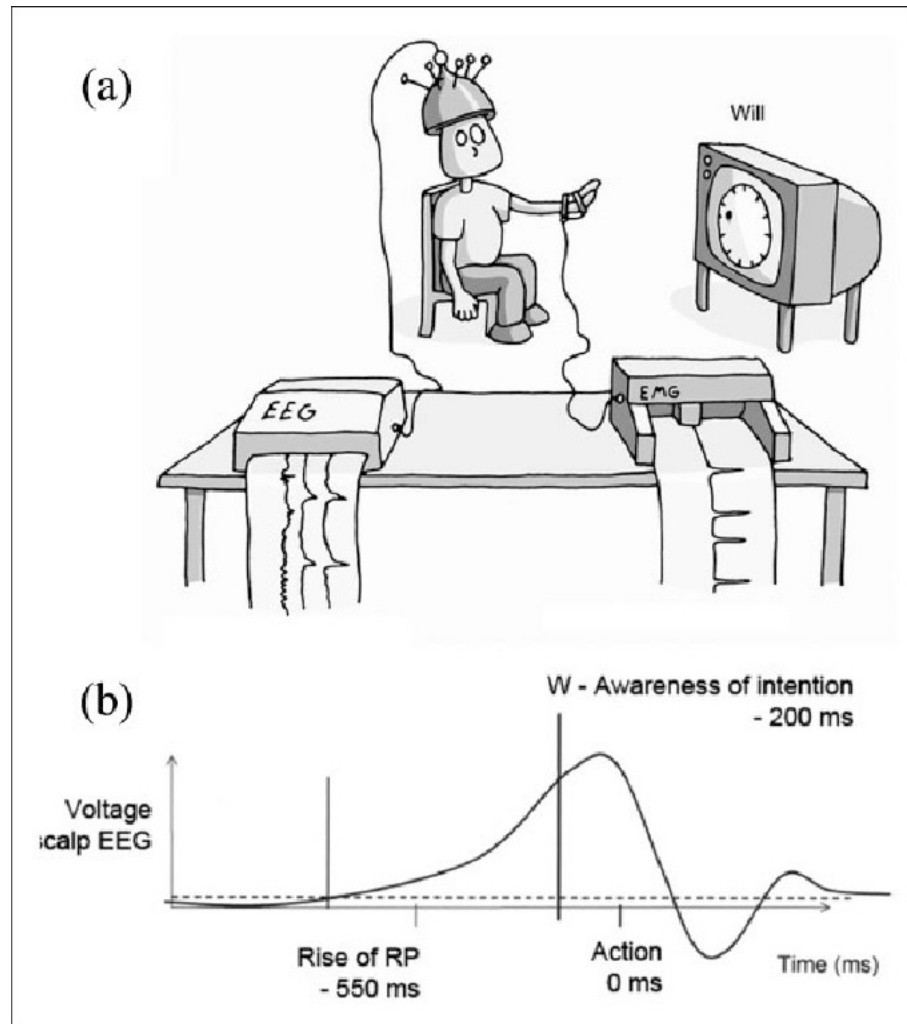
Decisione (ad es. di alzare la mano) → programmazione del movimento → esecuzione del movimento

*quindi*

attivazione area prefrontale → attivazione area premotoria → attivazione di una porzione dell'area motoria



# Coscienza



## Esperimento di Libet (1985).



# Coscienza

Distinguiamo processi (sempre inconsci) e rappresentazioni (a volte consci). Ad es.: quanto fa  $6+3$ ?

Affinchè una rappresentazione mentale sia cosciente, si devono verificare due condizioni:

- 1)che il substrato nervoso della rappresentazione appartenga a quelle poche strutture nervose in grado di produrre l'esperienza soggettiva di coscienza;
- 2)che la rappresentazione sia selezionata dall'attenzione.

Se una di queste condizioni non si verifica, la rappresentazione si forma ed influenza il comportamento ma non raggiunge il livello di coscienza.

# Coscienza

Prosopoagnosia (impossibilità a riconoscere i volti):

- Lesione della FFA (fusiform face area), che produce rappresentazioni coscienti.
- Non c'è percezione cosciente del volto, nemmeno se familiare.
- Tuttavia, in caso di volto noto e non riconosciuto, la conduttanza cutanea (risposta psico-galvanica) è più ampia rispetto ad un volto sconosciuto.

Test del tempo di appartenenza ad una categoria di volti e nomi.

Non c'è coscienza perchè manca la condizione 1).

# Coscienza

Esiste un centro unitario della coscienza nel cervello?

Se esistesse un automa, una persona con un comportamento del tutto normale ma non cosciente (es. chiedersi se si è chiuso il gas andando in vacanza), ciò proverebbe l'esistenza di tale centro.

Al momento non sembra esistere, per ciò la risposta sembra essere **no**.

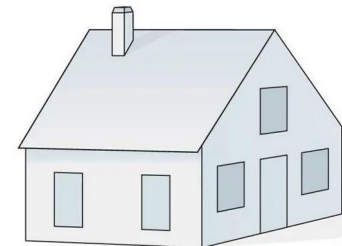
# Coscienza

Eminegligenza spaziale (neglect) destra o sinistra:

- Lesione lobulo parietale inferiore (attenzione spaziale)
- Non c'è percezione coscente di una parte (destra o sinistra) dello spazio: deficit di attenzione spaziale.

Test:

in quale casa preferiresti vivere? E perchè?



Non c'è coscienza perchè manca la condizione 2).