

# Apprendimento neuro-motorio

*Come impara il cervello motorio*

*La correzione dell'errore motorio*

*L'occhio e la percezione della palla*

*Il sistema vestibolare*

*Le funzioni esecutive e il sistema attentivo*

Prof. Angelo Luigi Sangalli

**Pedagogista**

*Professore a contratto Università di Verona*

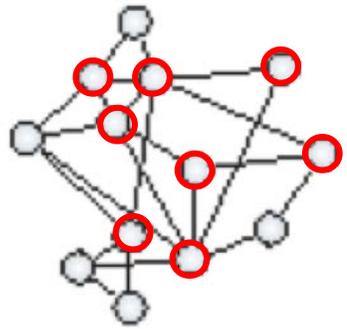
*Facoltà di Scienze Motorie*

**Didattica delle attività motorie e sportive**

Cavalese, 7 giugno 2022



**Come si apprendono gli schemi motori**

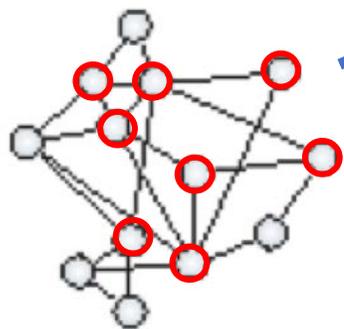
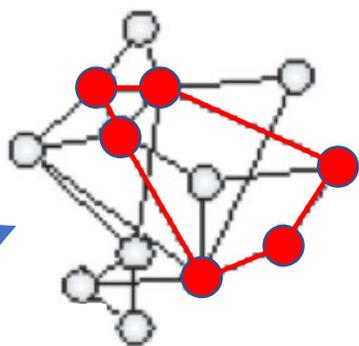


Neuronal  
ensemble

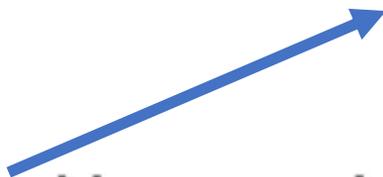
Un ENGRAM della memoria ha quattro caratteristiche distintive:

- (i) deve riferirsi a un'esperienza specifica;
- (ii) deve generare un cambiamento duraturo nel substrato neurale;
- (iii) può rimanere inattivo per lunghi periodi;
- (iv) deve consentire il richiamo della memoria, avendo così un impatto sul comportamento

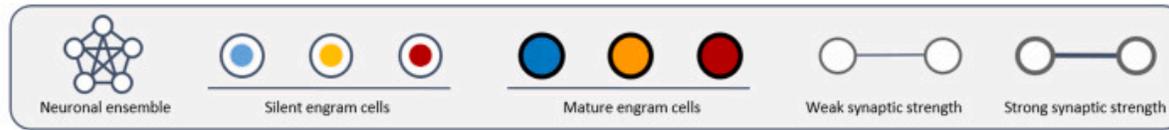




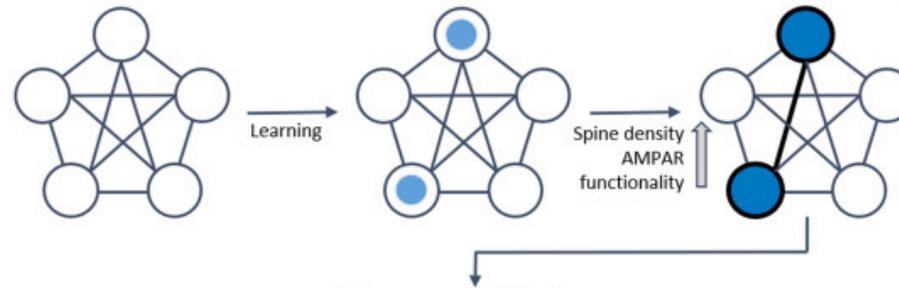
Neuronal  
ensemble



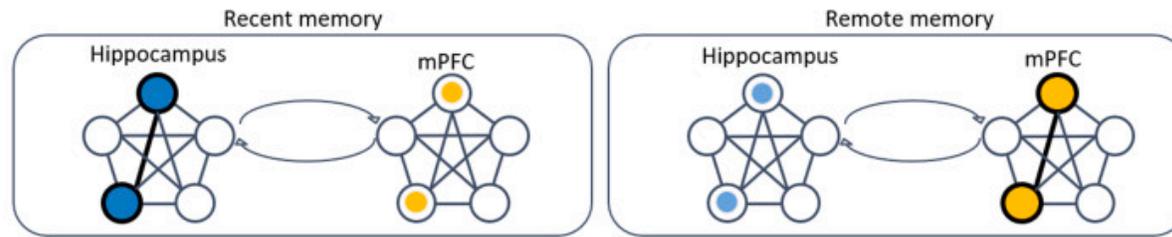




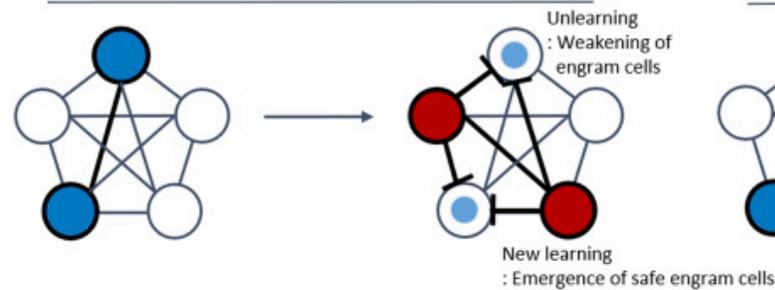
**a. Cellular consolidation**



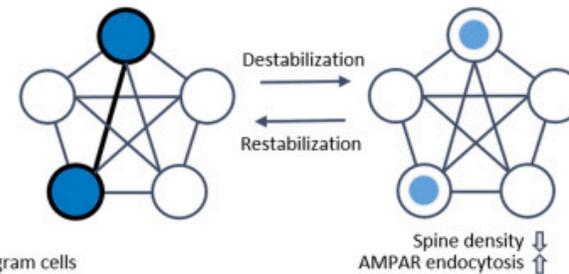
**b. Systems consolidation**



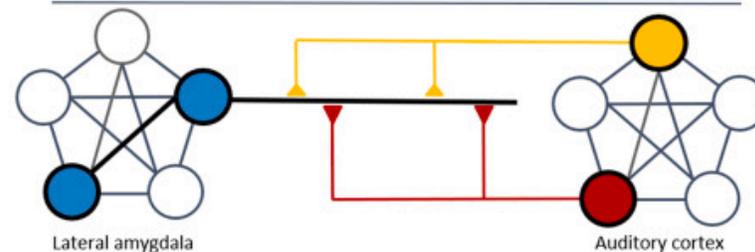
**c. Extinction**



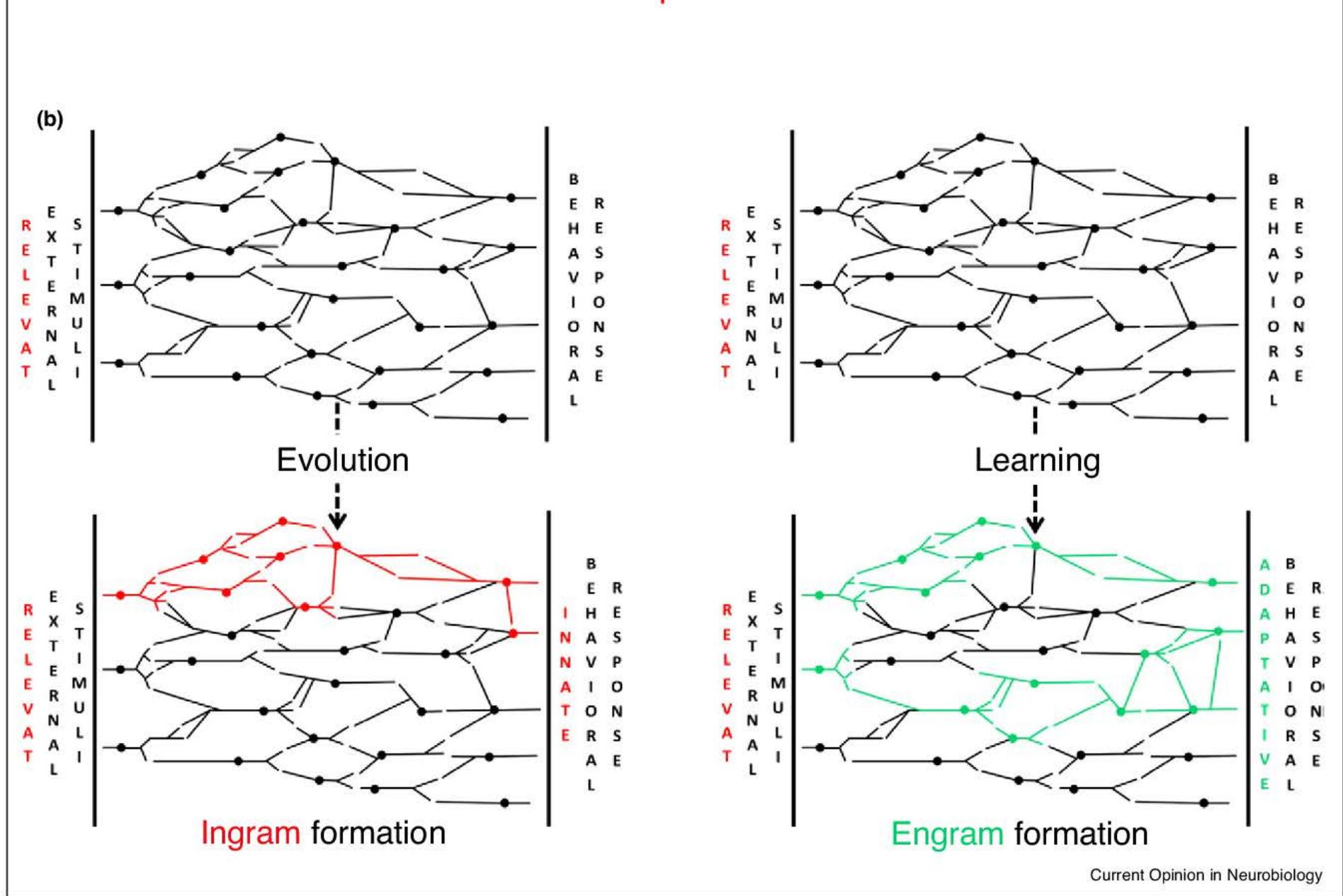
**d. Reconsolidation**

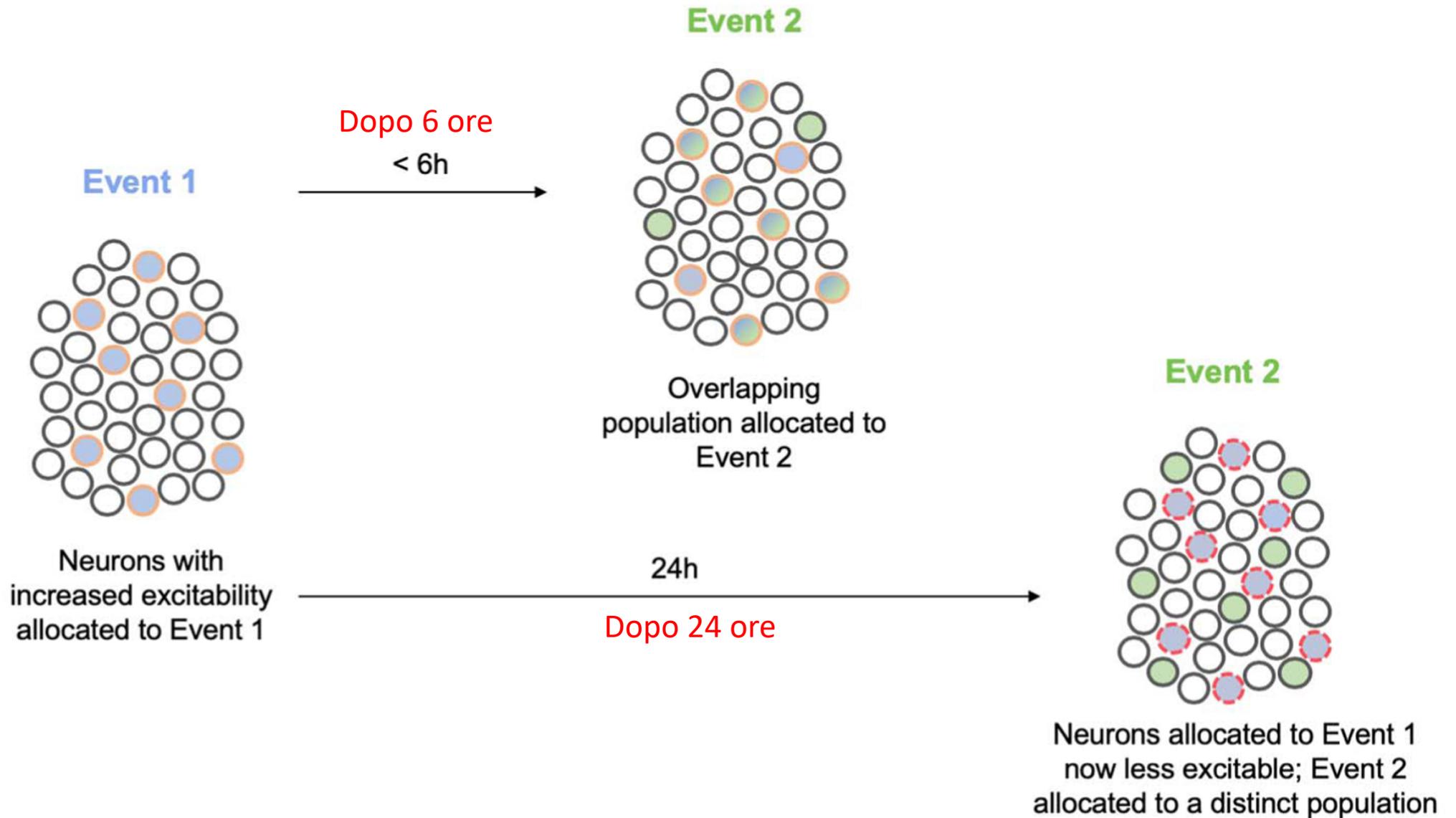


**e. Association**

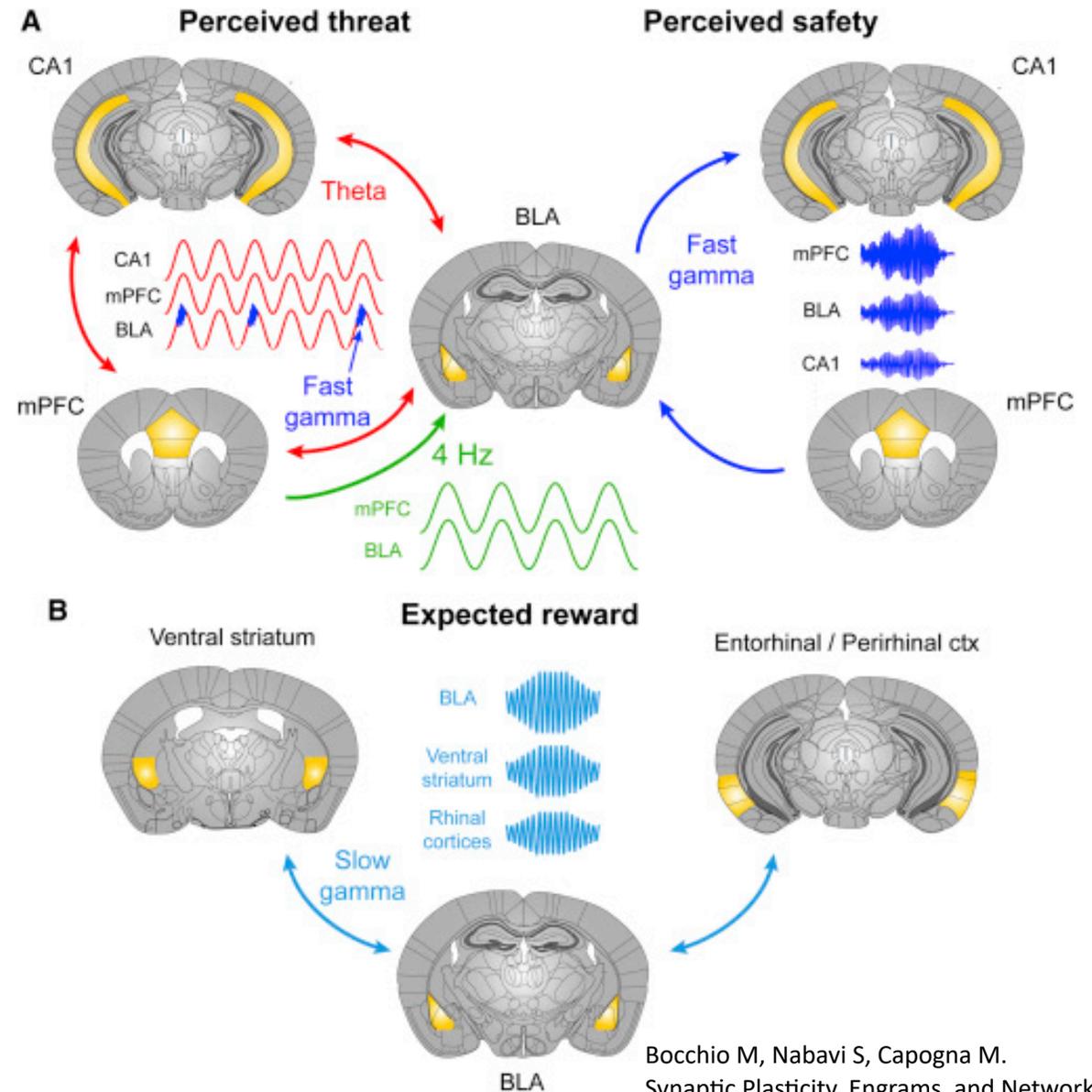
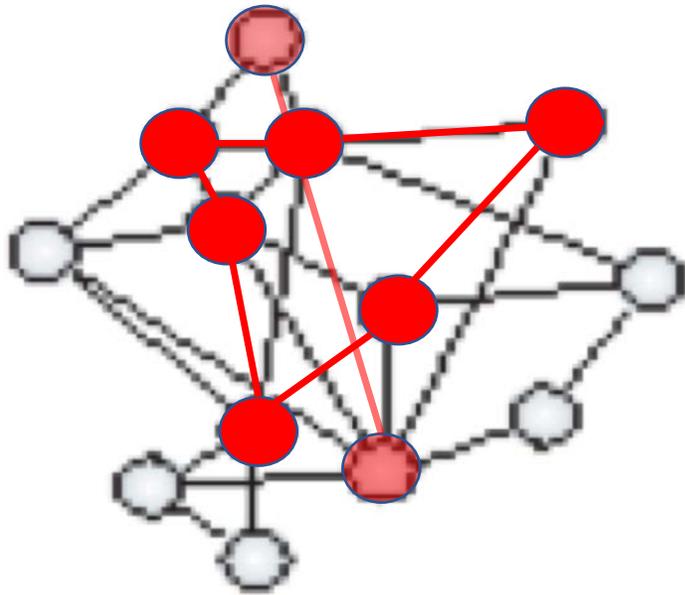


Dae Hee Han, Pojeong Park, Dong Il Choi, Tim V.P. Bliss, Bong-Kiun Kaang, The essence of the engram: Cellular or synaptic?, Seminars in Cell & Developmental Biology, Volume 125, 2022, Pages 122-135, ISSN 1084-9521.





Le forti emozioni creano engrammi che si sovrappongono o collegano, consolidando i legami sinaptici.



Cai, D., Aharoni, D., Shuman, T. *et al.* A shared neural ensemble links distinct contextual memories encoded close in time. *Nature* **534**, 115–118 (2016).  
<https://doi.org/10.1038/nature17955>

Bocchio M, Nabavi S, Capogna M. Synaptic Plasticity, Engrams, and Network Oscillations in Amygdala Circuits for Storage and Retrieval of Emotional Memories. *Neuron*. 2017 May 17;94(4):731-743.

Emozione positiva: **DOPAMINA**

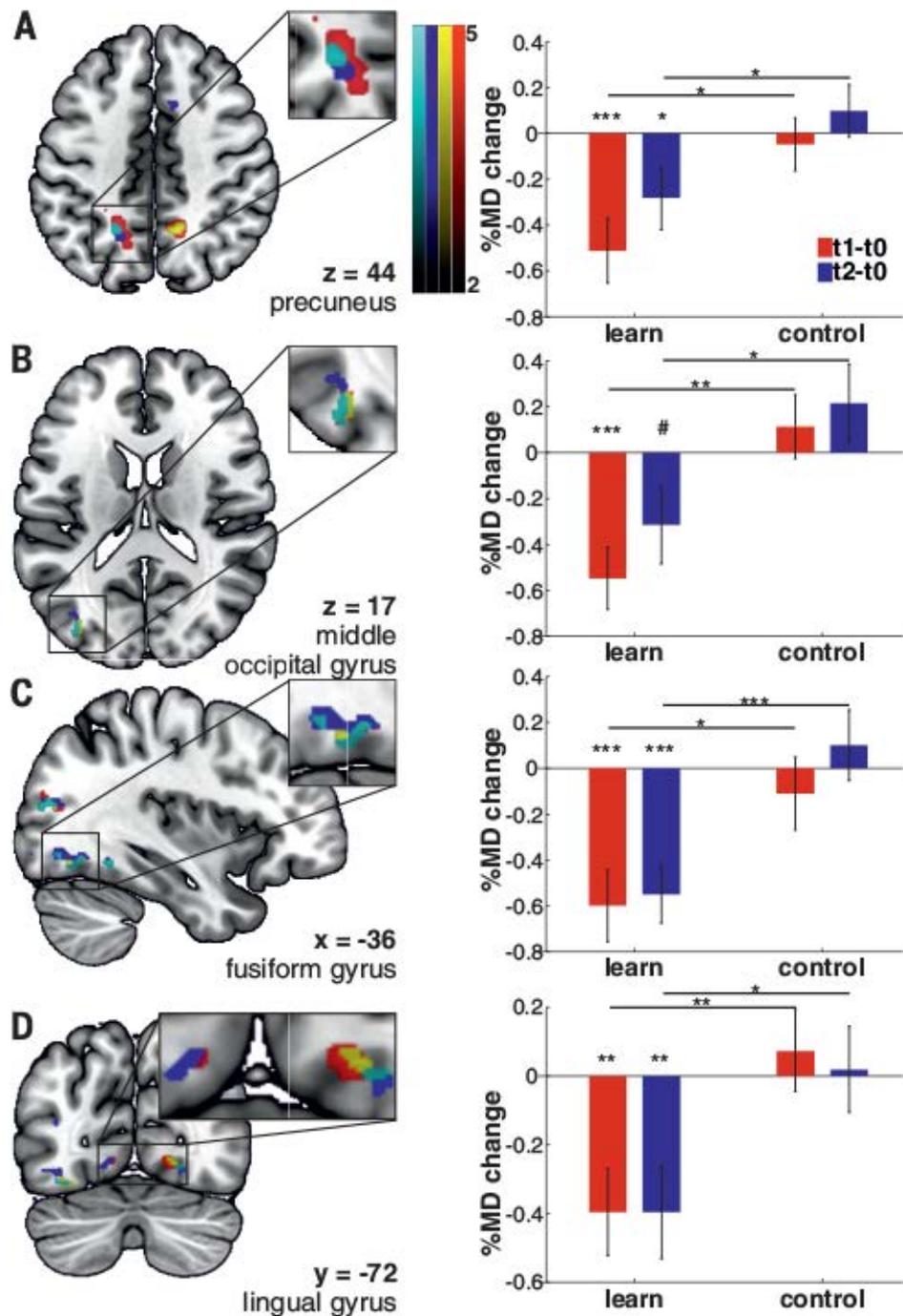
Rinforza la plasticità

Memorizzazione di una abilità

Emozione negativa: **AMIGDALA**

Eccitabilità generale

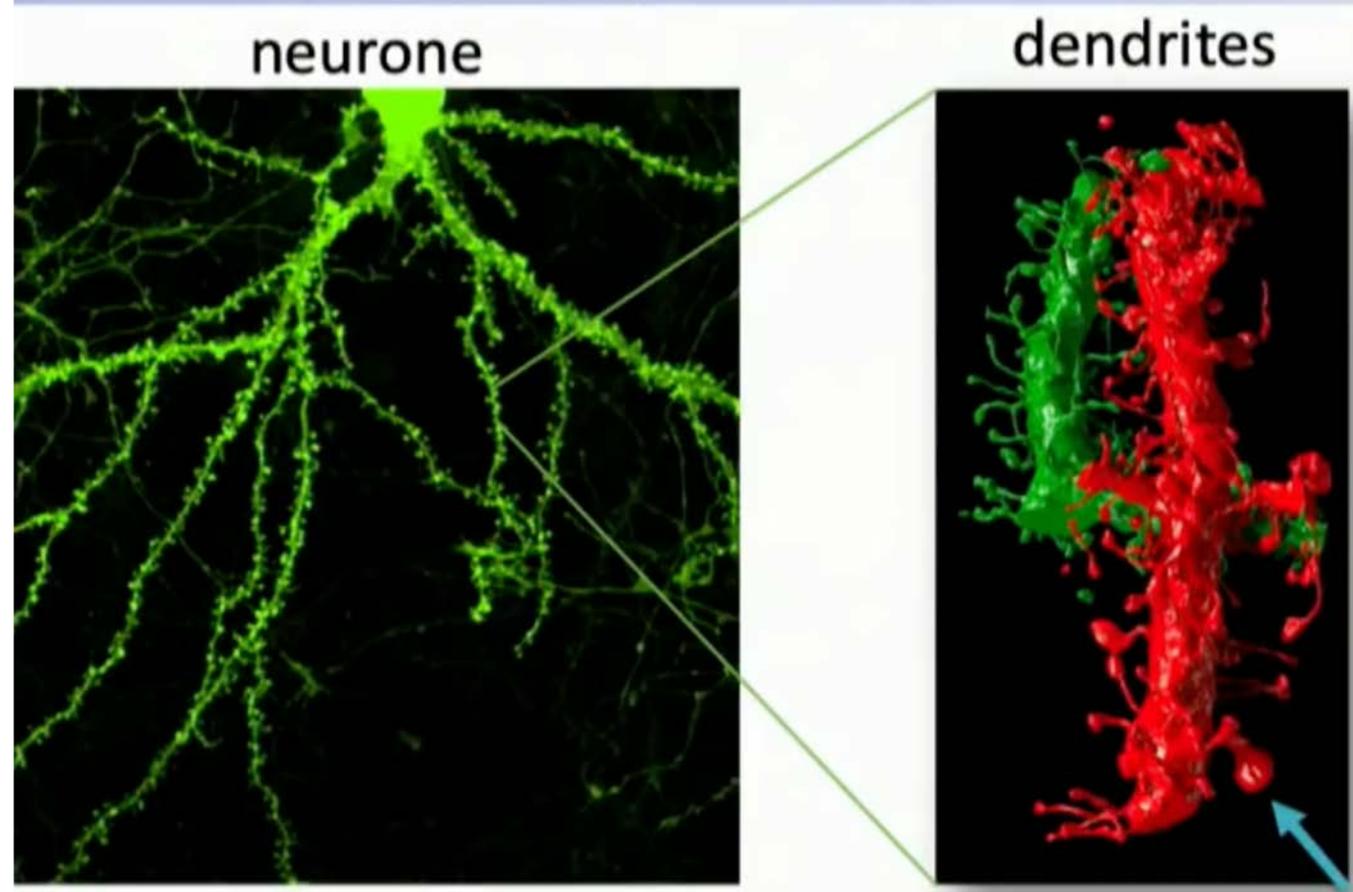
Memorizzazione dello stimolo  
ansioso



L'apprendimento produce cambiamenti veloci microstrutturali nella neocorteccia

La plasticità neocorticale avviene già dopo 1 ora dall'apprendimento

Brodth, S., Gais, S., Beck, J., Erb, M., Scheffler, K., & Schönauer, M. (2018). Fast track to the neocortex: A memory engram in the posterior parietal cortex. *Science*, 362(4618), 1045-1048. doi:10.1126/science.aau2528.

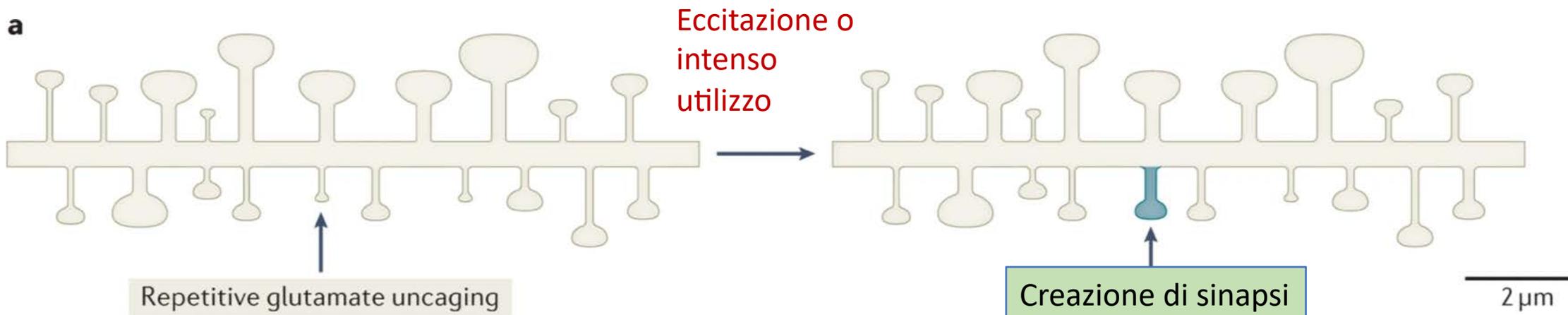


**SPINA**

Kasthuri, Narayanan, Kenneth Jeffrey Hayworth, Daniel Raimund Berger, Richard Lee Schalek, José Angel Conchello, Seymour Knowles-Barley, Dongil Lee, et al. « Saturated Reconstruction of a Volume of Neocortex ». *Cell* 162, no 3 (30 juillet 2015): 64861

# L'apprendimento

Attività  
+++++

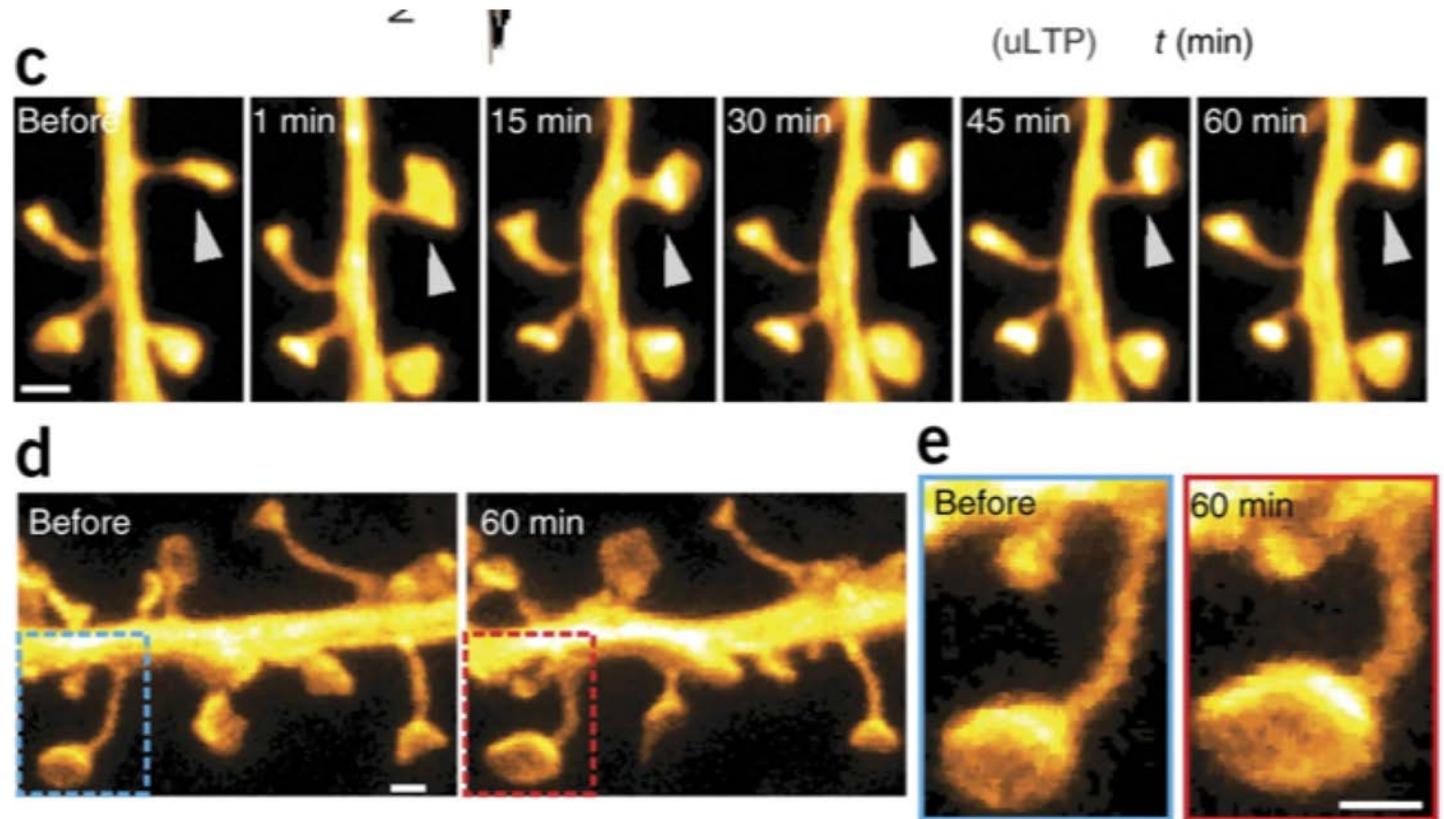


Attività  
-----

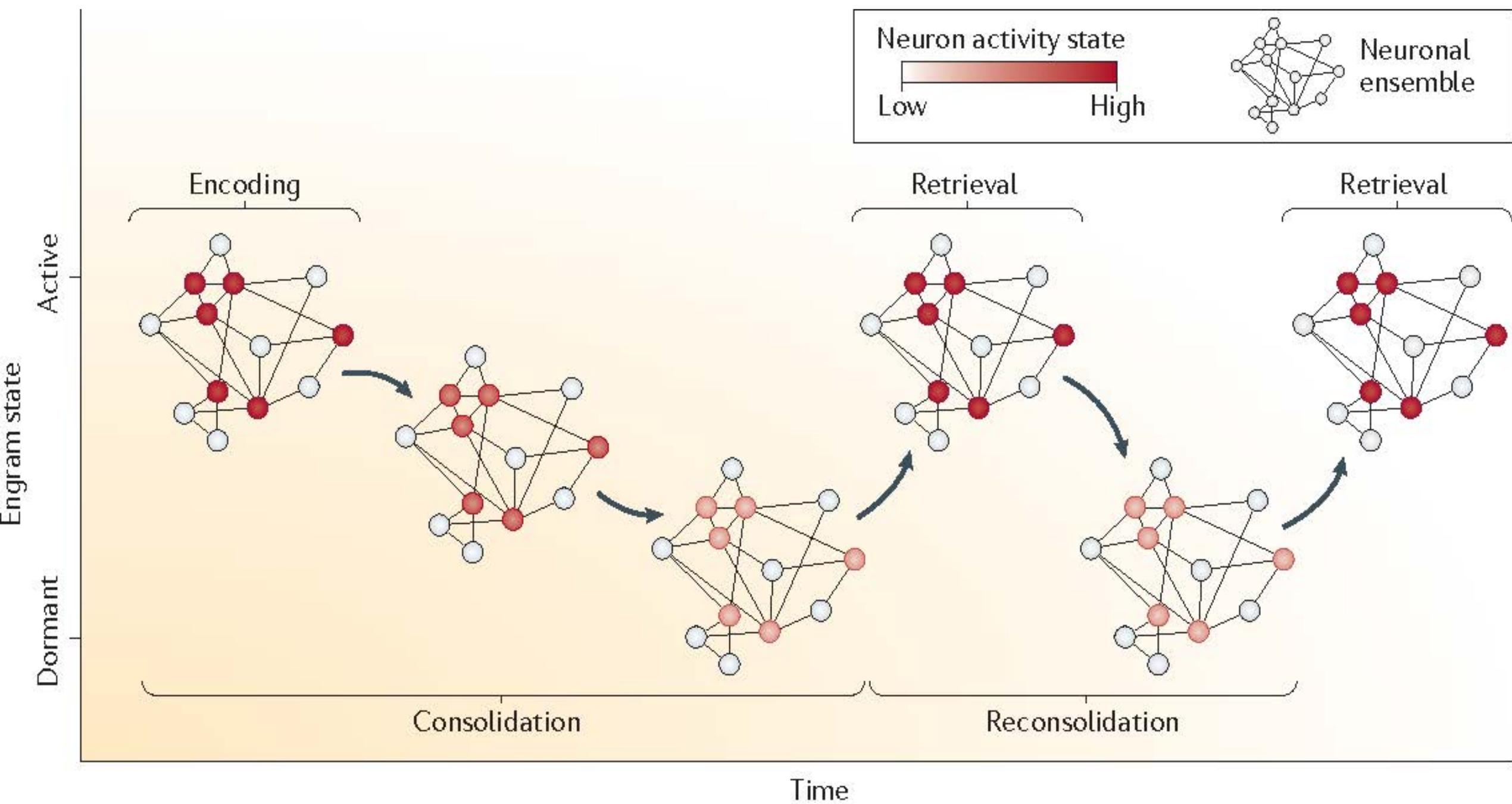


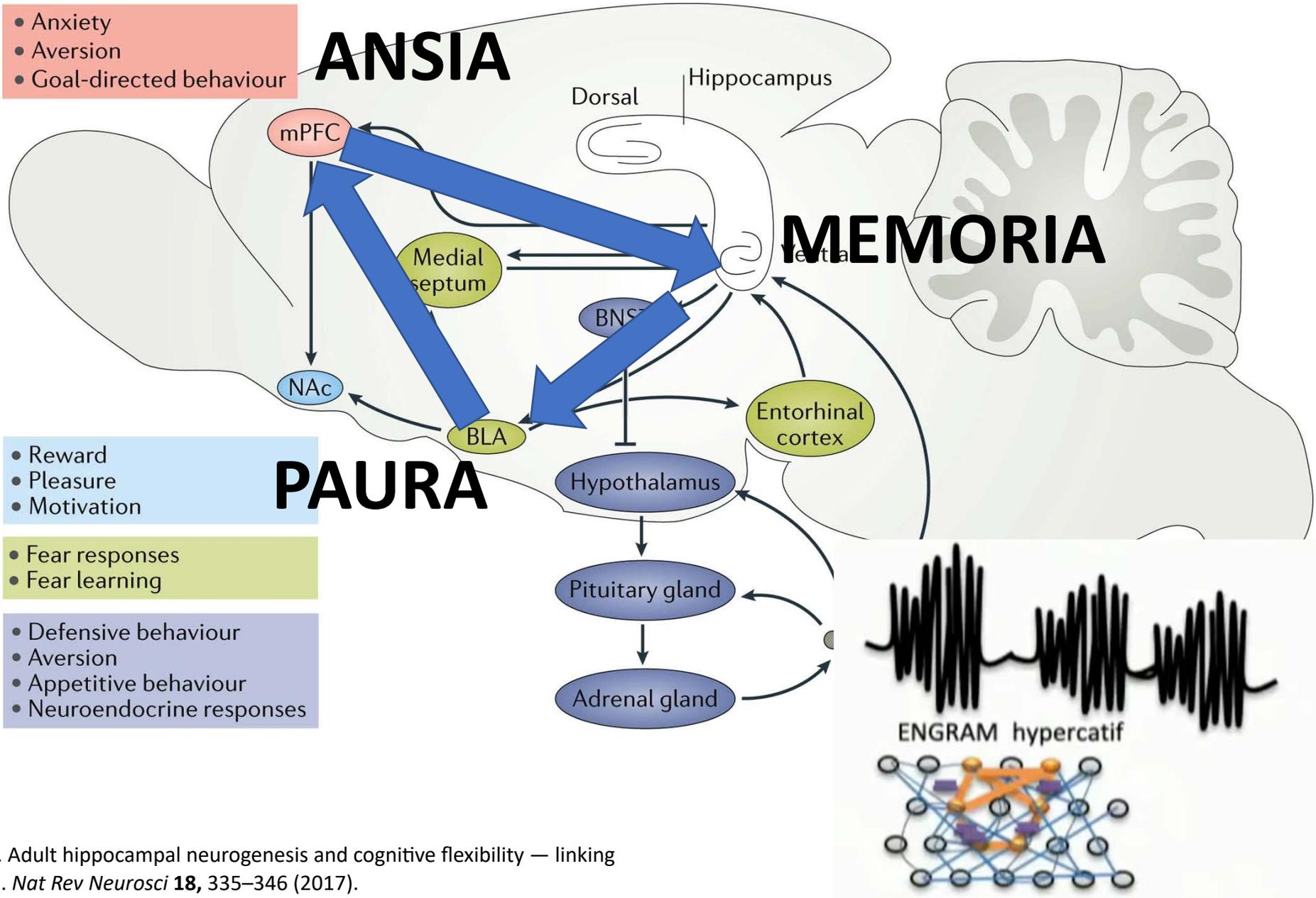
**long-term potentiation (LTP)**  
Aiuta la comunicazione tra i  
recettori sinaptici

**long-term depression (LTD)**  
Soppressione dei recettori sinaptici



Tønnesen, Jan, Gergely Katona, Balázs Rózsa, et U. Valentin Nägerl. « Spine Neck Plasticity Regulates Compartmentalization of Synapses ». *Nature Neuroscience* 17, no 5 (mai 2014): 67885





Anacker, C., Hen, R. Adult hippocampal neurogenesis and cognitive flexibility — linking memory and mood. *Nat Rev Neurosci* **18**, 335–346 (2017).

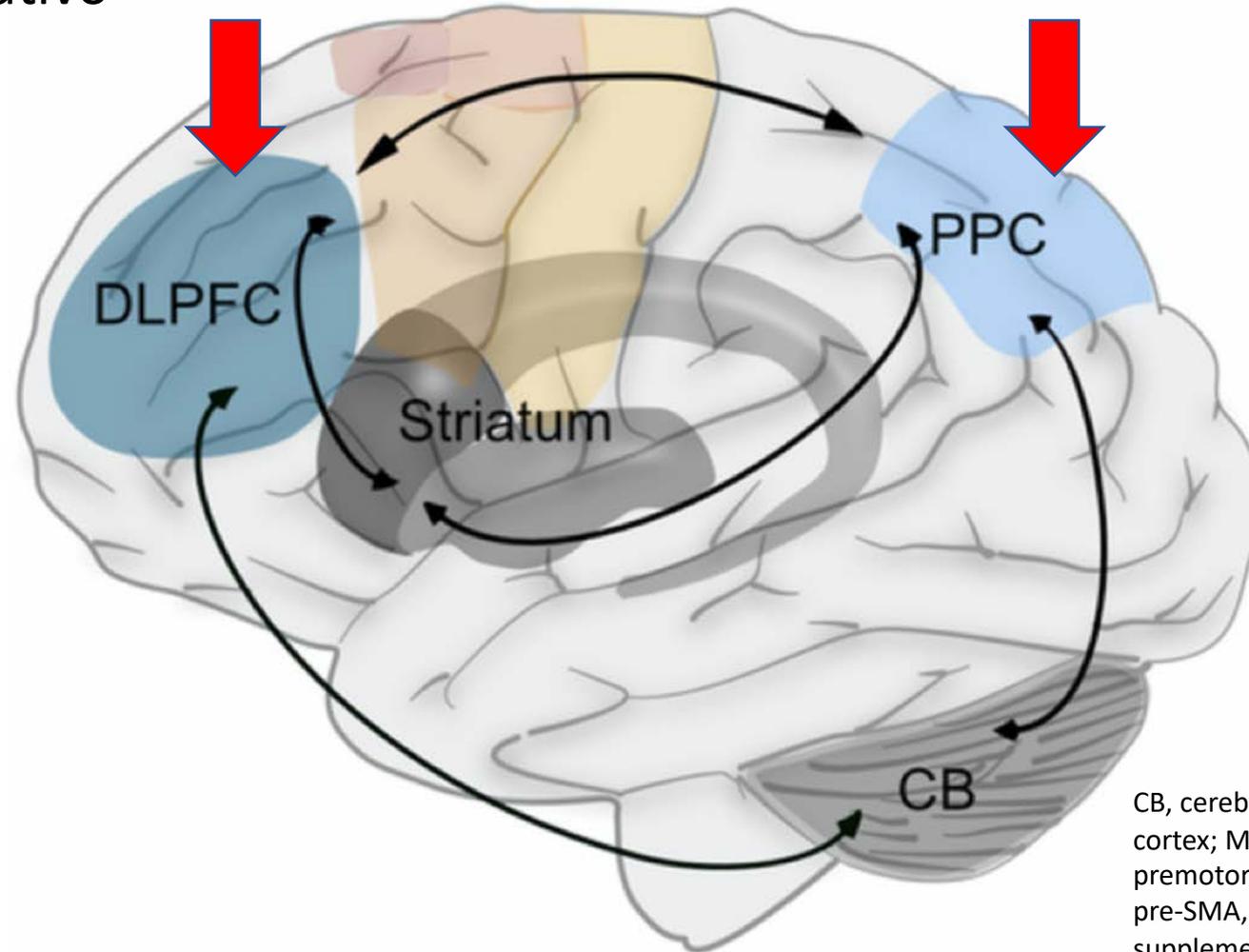
# Le tappe dell'apprendimento motorio

- 1 PROPRIOCEZIONE E PERCEZIONE TATTILE
- 2 ATTENZIONE
- 3 SELEZIONE
- 4 MEMORIA DI LAVORO
- 5 COMPrensione/METTERE IN RELAZIONE
- 6 MEMORIZZAZIONE

# STAGE I acquisition

Attenzione  
Selezione degli stimoli  
Memoria di lavoro  
Controllo esecutivo

Integrazione  
sensoriale



Dahms C, Brodoehl S, Witte OW, Klingner CM.  
The importance of different learning stages for  
motor sequence learning after stroke. Hum  
Brain Mapp. 2020 Jan;41(1):270-286.

CB, cerebellum; DLPFC, dorsolateral prefrontal  
cortex; M1, primary motor cortex; PMA,  
premotor area; PPC, posterior parietal cortex;  
pre-SMA, pre-supplementary motor area; SMA,  
supplementary motor area

# STAGE II

## consolidation

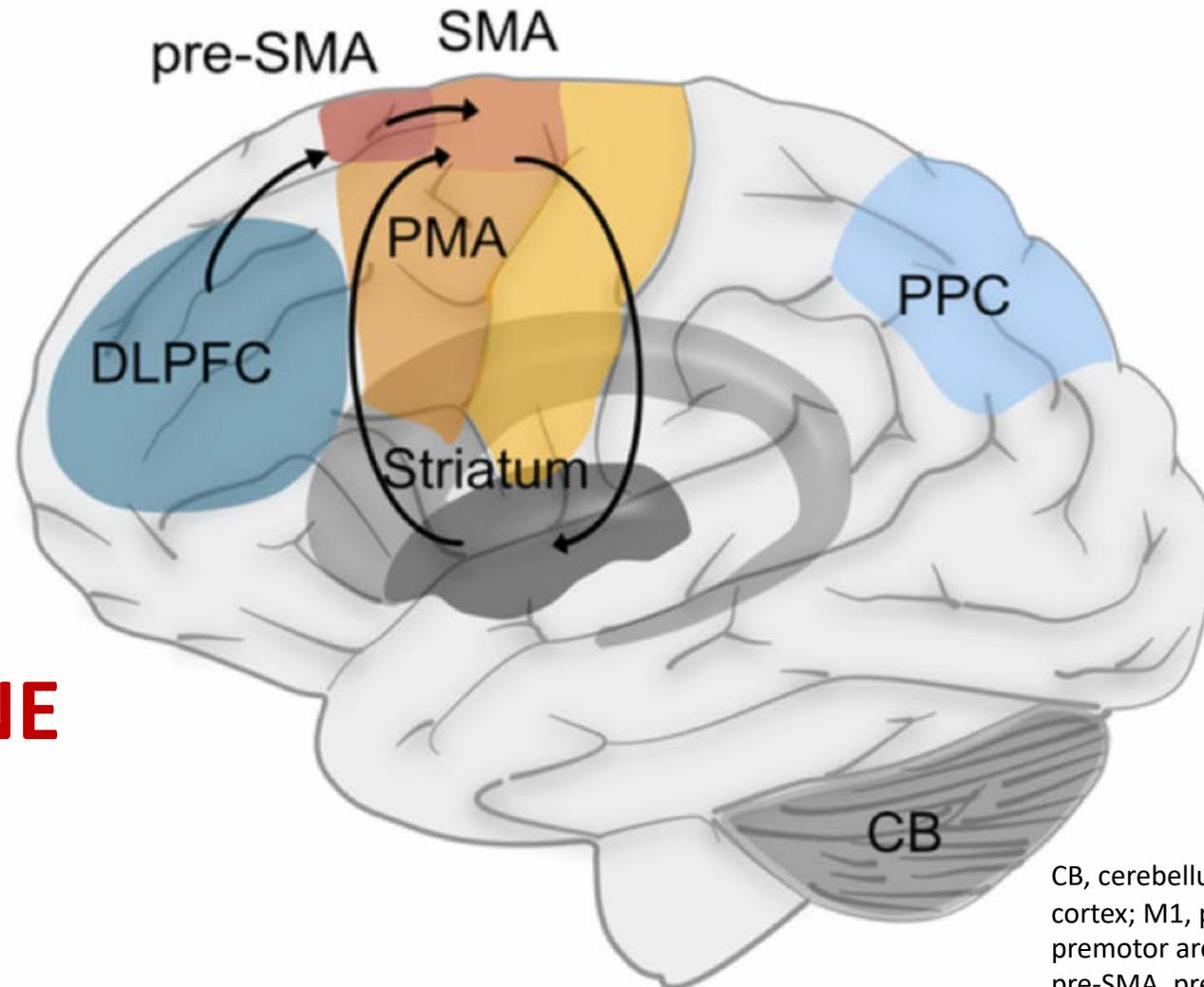
**SONNO**

**RIUTILIZZO**

**RIATTIVAZIONE**

**EMOZIONE E**

**VALORIZZAZIONE**



CB, cerebellum; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; M1, primary motor cortex; PMA, premotor area; PPC, posterior parietal cortex; pre-SMA, pre-supplementary motor area; SMA, supplementary motor area

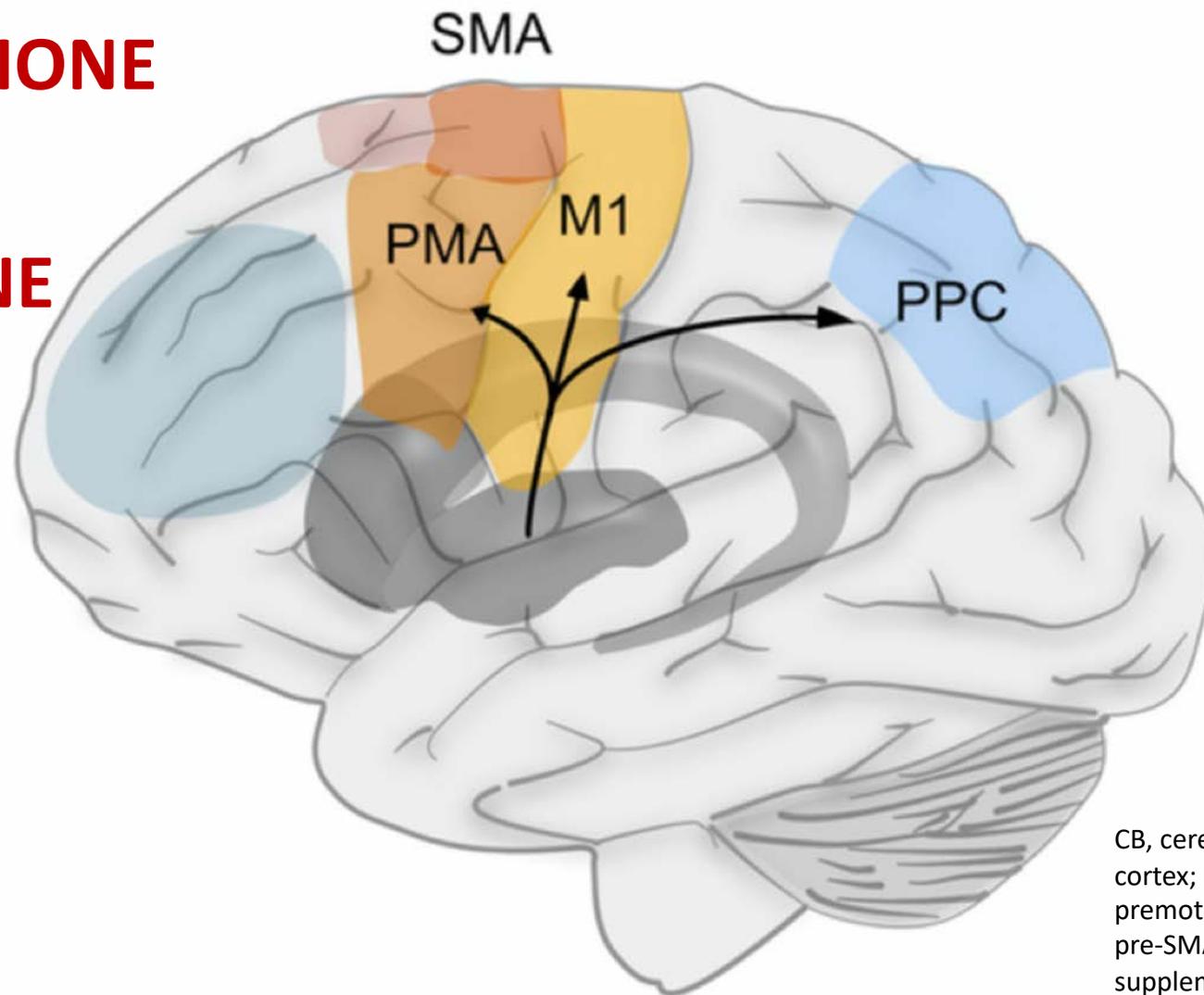
# STAGE III

retention

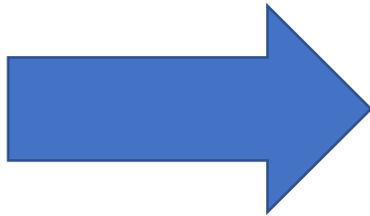
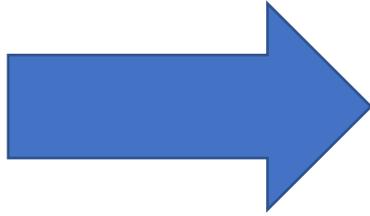
**AUTOMATIZZAZIONE**

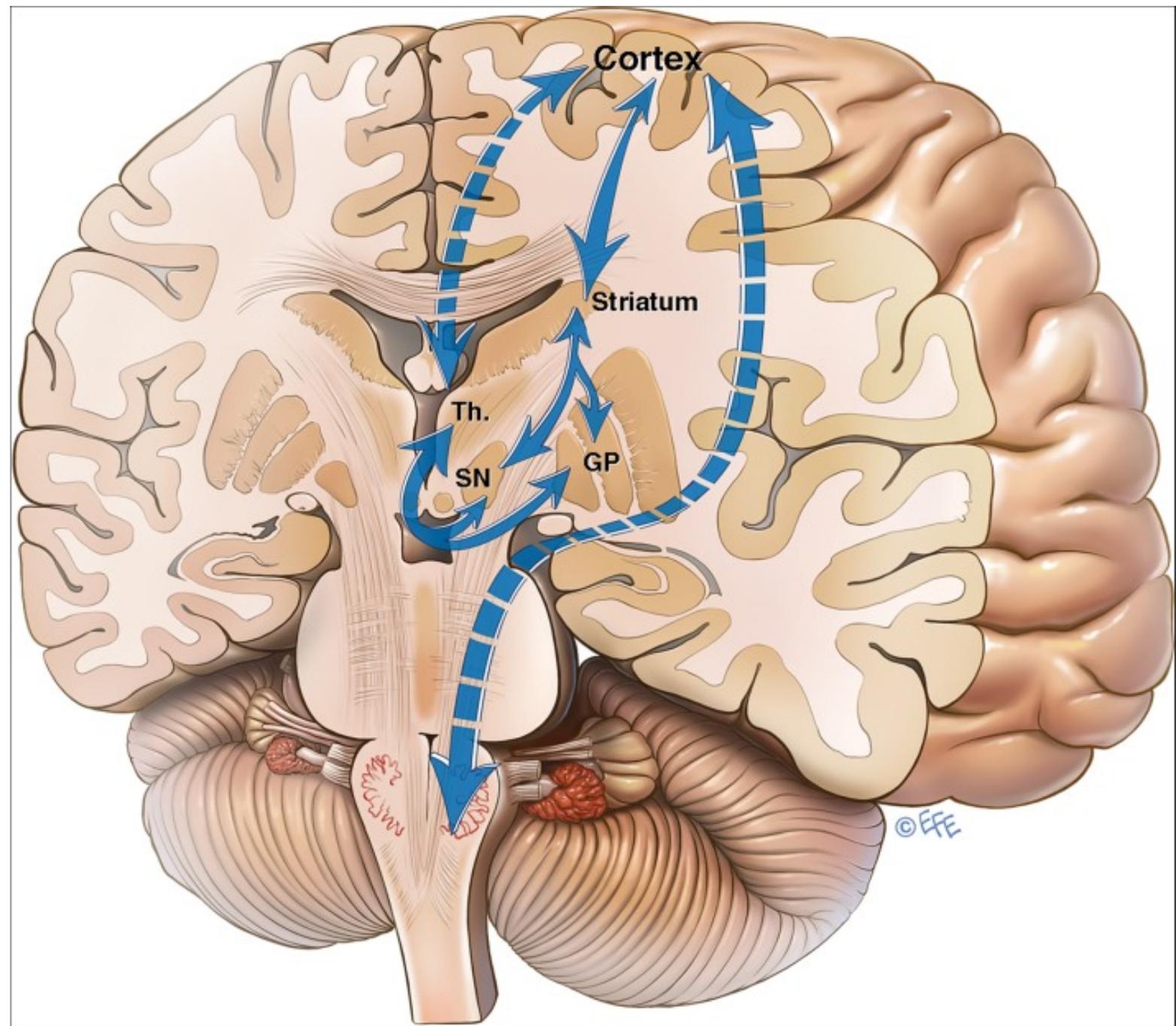
**OTTIMIZZAZIONE**

**FLESSIBILITÀ**



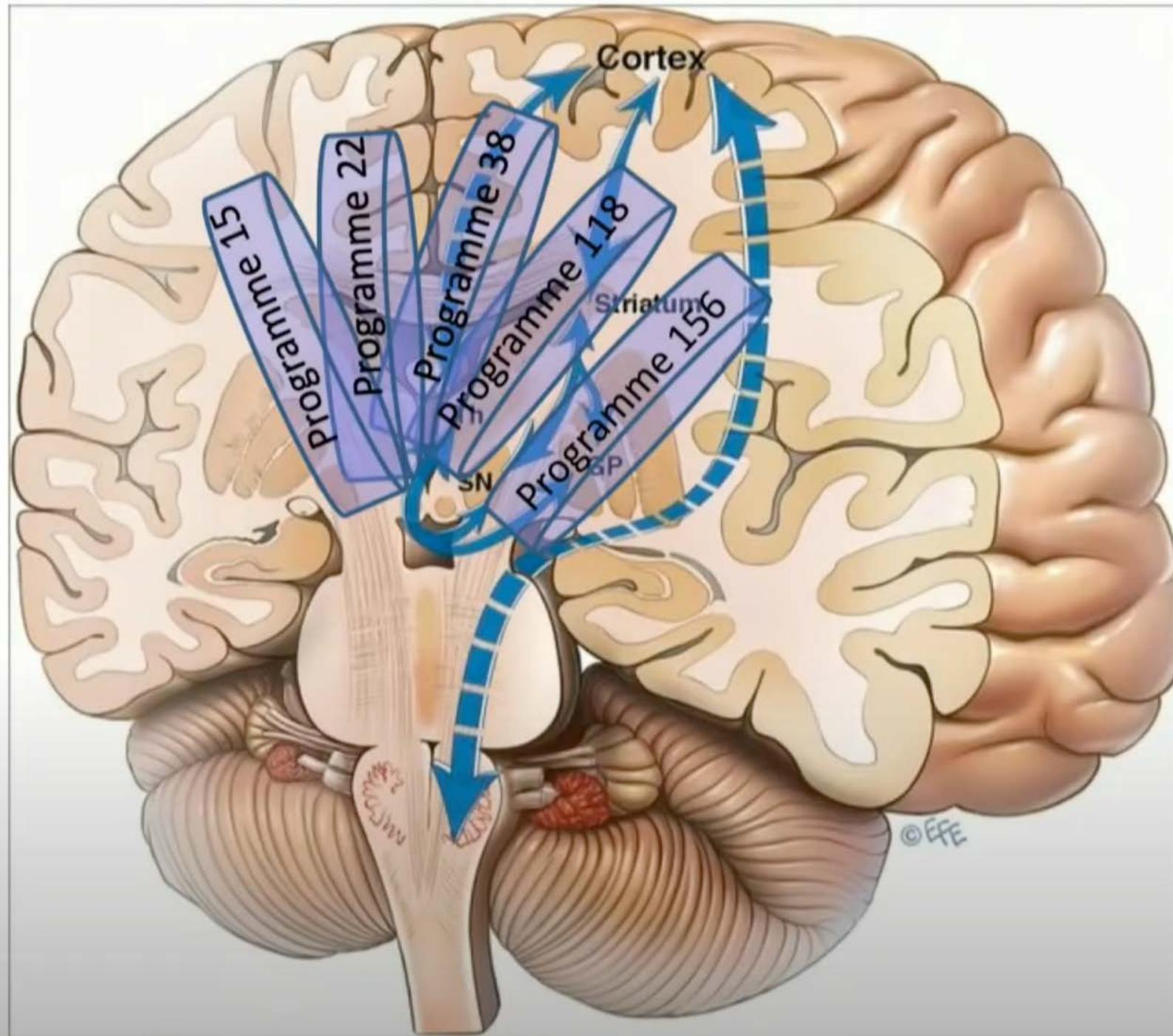
CB, cerebellum; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; M1, primary motor cortex; PMA, premotor area; PPC, posterior parietal cortex; pre-SMA, pre-supplementary motor area; SMA, supplementary motor area





Hayhow, Bradleigh D., Islam Hassan, Jeffrey C. L. Looi, Francesco Gaillard, Dennis Velakoulis, et Mark Walterfang. « The Neuropsychiatry of Hyperkinetic Movement Disorders: Insights from Neuroimaging into the Neural Circuit Bases of Dysfunction ». *Tremor and Other Hyperkinetic Movements* (New York, N.Y.) 3 (2013): tre-03-175-4242-1.

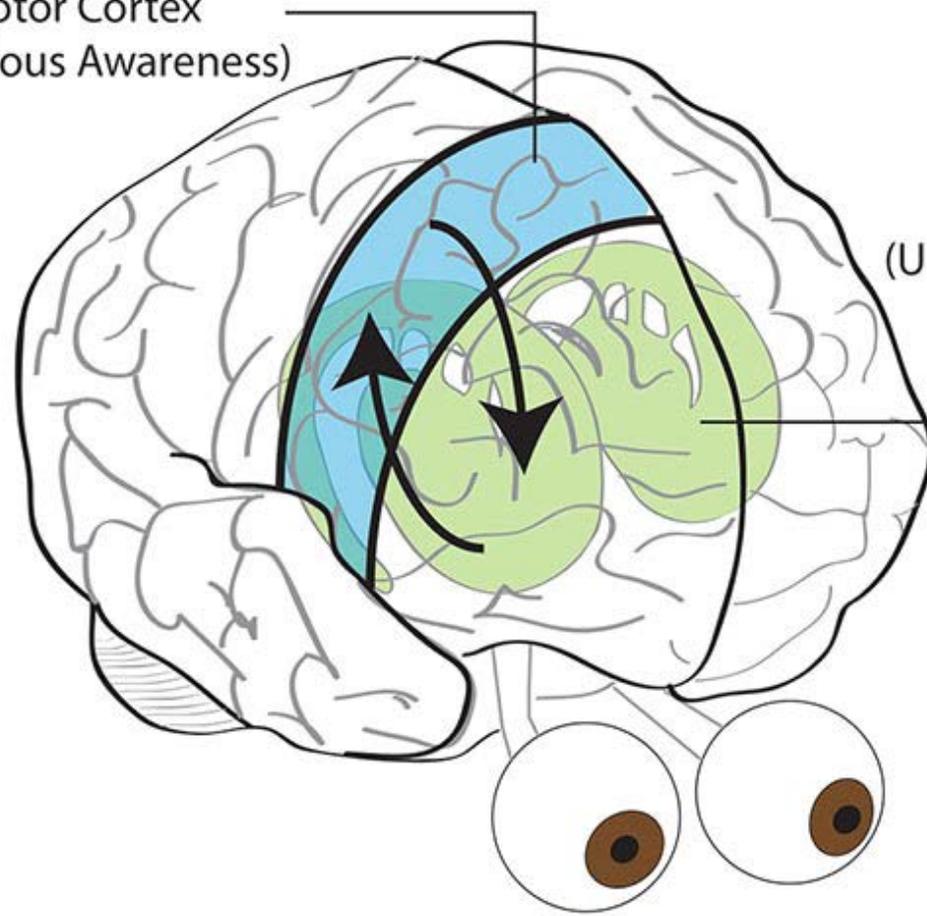
Badre, David, et Derek Evan Nee. « Frontal Cortex and the Hierarchical Control of Behavior ». *Trends in Cognitive Sciences* 22, no 2 (février 2018): 17088.



gangli della  
base per la  
selezione  
dell'azione

Procedure  
automatiche  
rapide ed  
efficaci

Motor Cortex  
(Conscious Awareness)



Basal Ganglia  
(Unconscious Processing)

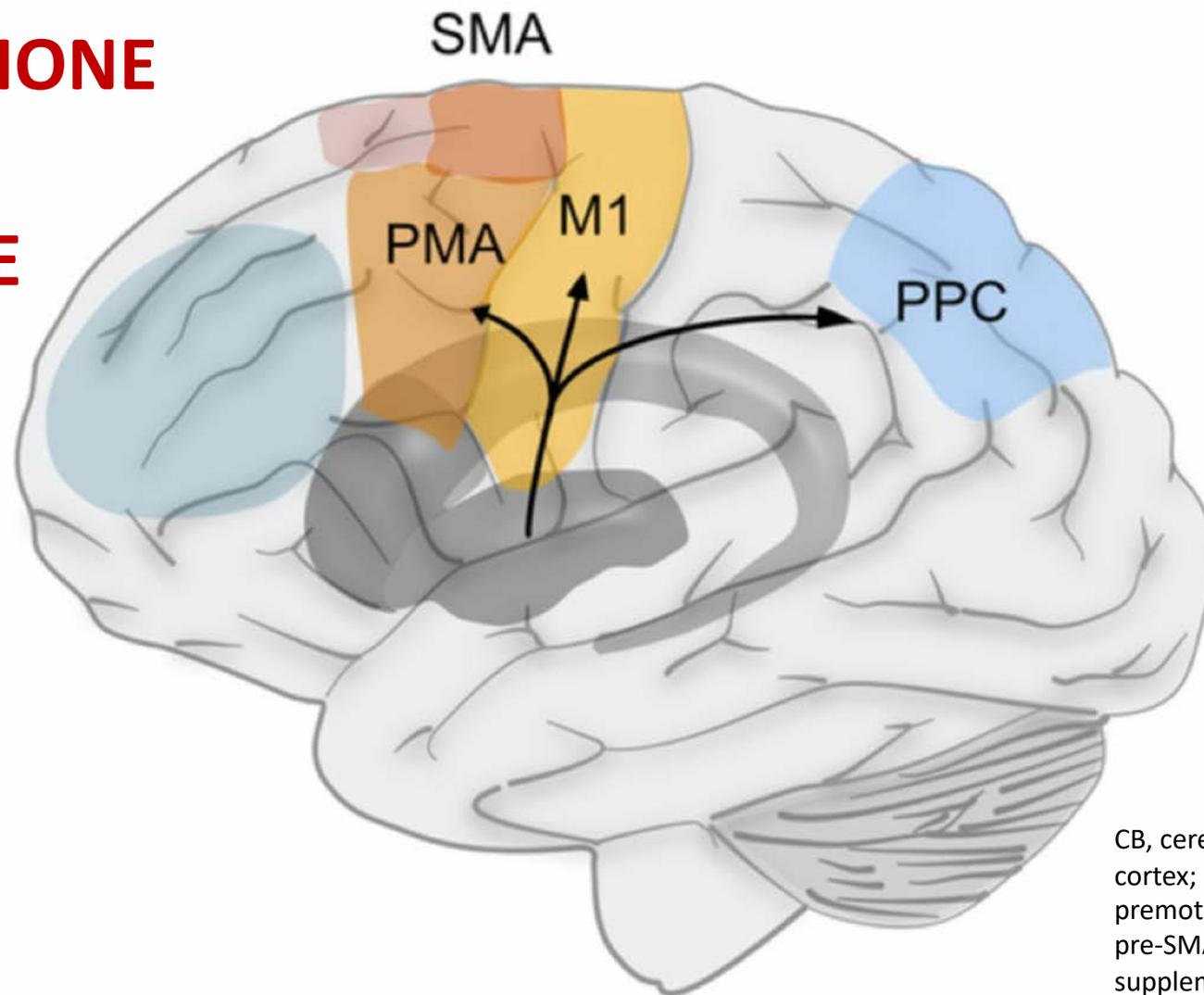
# STAGE III

retention

**AUTOMATIZZAZIONE**

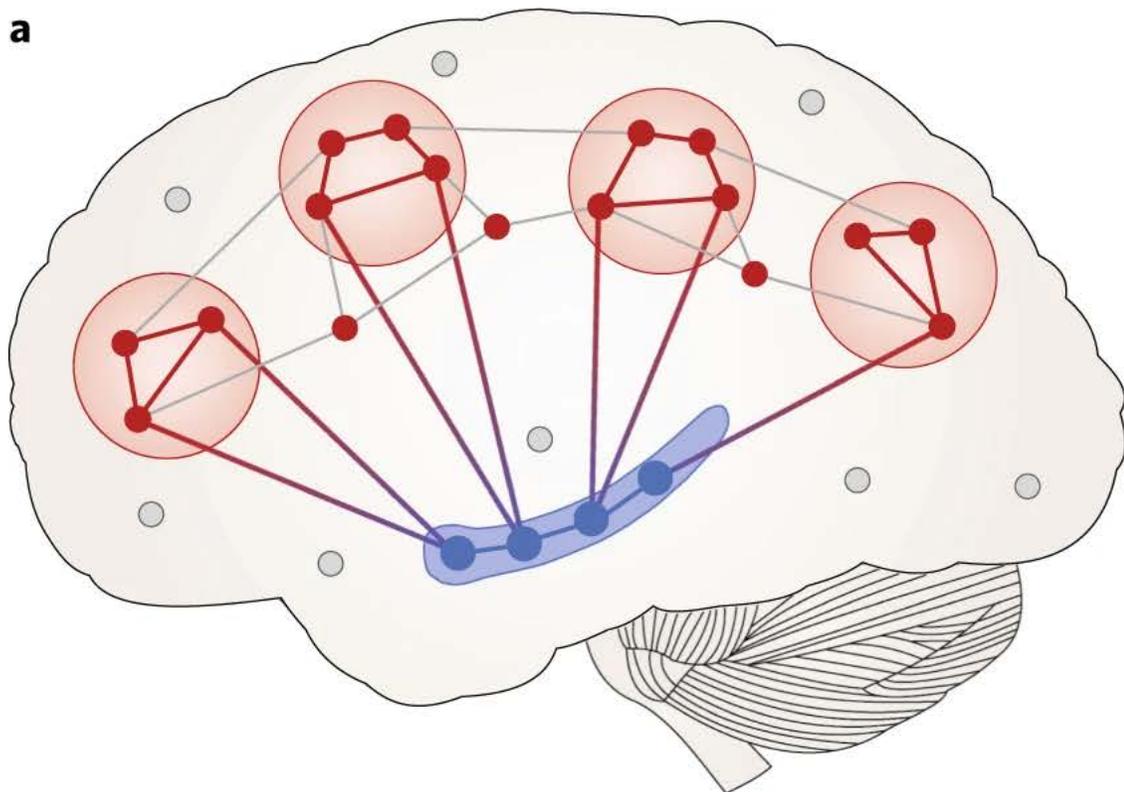
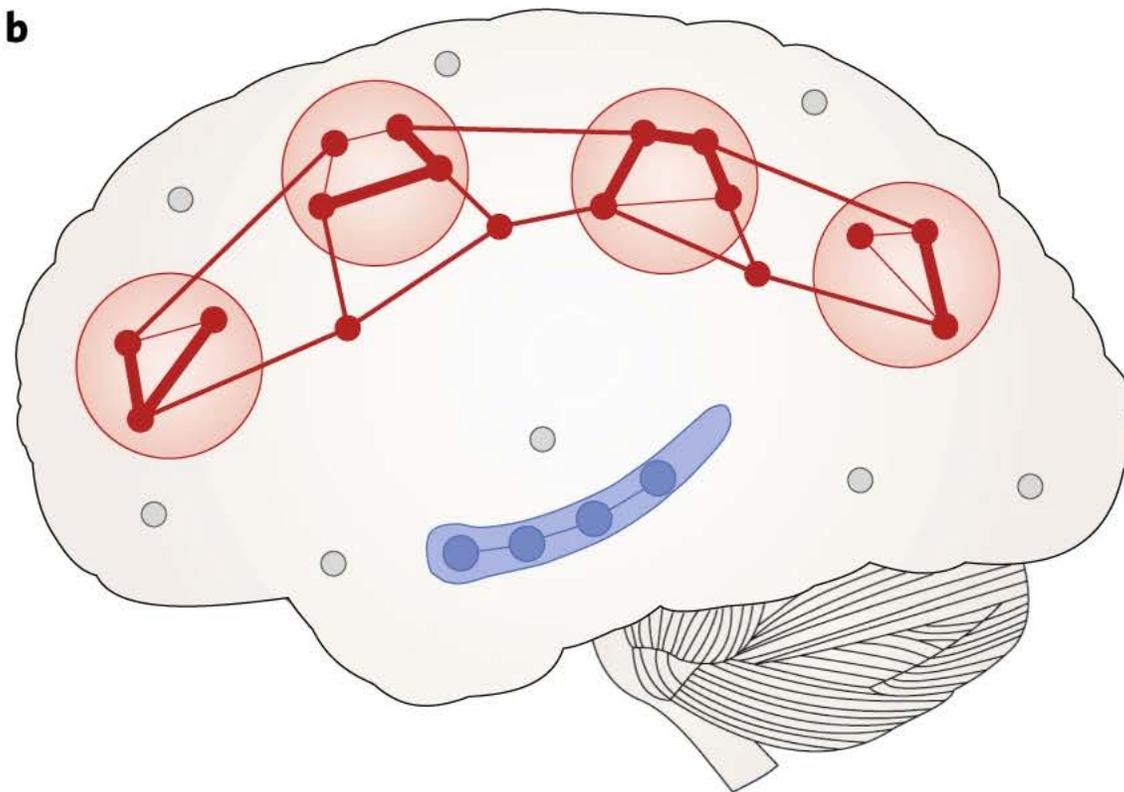
**OTTIMIZZAZIONE**

**FLESSIBILITÀ**

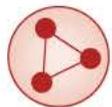


CB, cerebellum; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; M1, primary motor cortex; PMA, premotor area; PPC, posterior parietal cortex; pre-SMA, pre-supplementary motor area; SMA, supplementary motor area

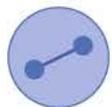
# Il sonno

**a****b**

Cell ensembles contributing to...



Recently encoded neocortical part of a representation



Recently encoded hippocampal part of a representation

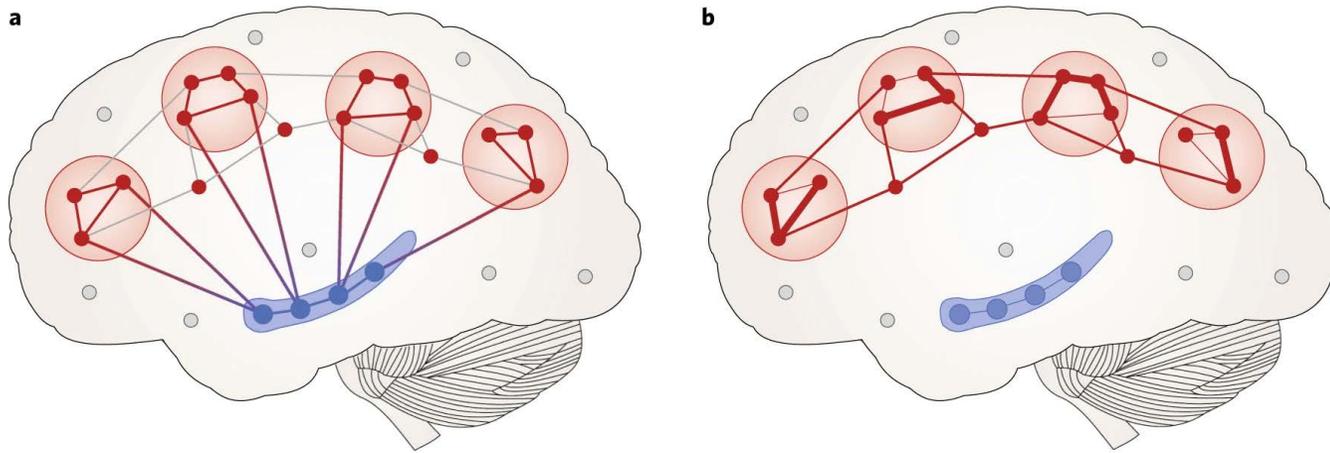


Associated pre-existing representation



Unrelated pre-existing representation

Klinzing, Jens G., Niels Niethard, et Jan Born. « Mechanisms of Systems Memory Consolidation during Sleep ». *Nature Neuroscience* 22, no 10 (octobre 2019): 1598-1610.



Cell ensembles contributing to...



Recently encoded neocortical part of a representation



Recently encoded hippocampal part of a representation



Associated pre-existing representation



Unrelated pre-existing representation

**a** - Una rappresentazione appena appresa di un'esperienza (engram) è distribuita tra le regioni cerebrali neocorticali (**reti in rosso**) e l'ippocampo (**rete in blu**), l'ultimo dei quali porta le caratteristiche episodiche dell'esperienza (**blu**). Durante il sonno si innesca contemporaneamente la riattivazione della proiezione neocorticale.

**b** - Riattivazioni ripetute determinano una riorganizzazione a livello di sistema della rappresentazione.

- (i) il rafforzamento di alcune connessioni sinaptiche (linee più spesse),
- (ii) l'indebolimento di altre (linee più sottili)
- (iii) la formazione di alcune nuove connessioni sinaptiche con cellule al di fuori della rappresentazione codificata di recente.

# Intensità, frequenza e durata

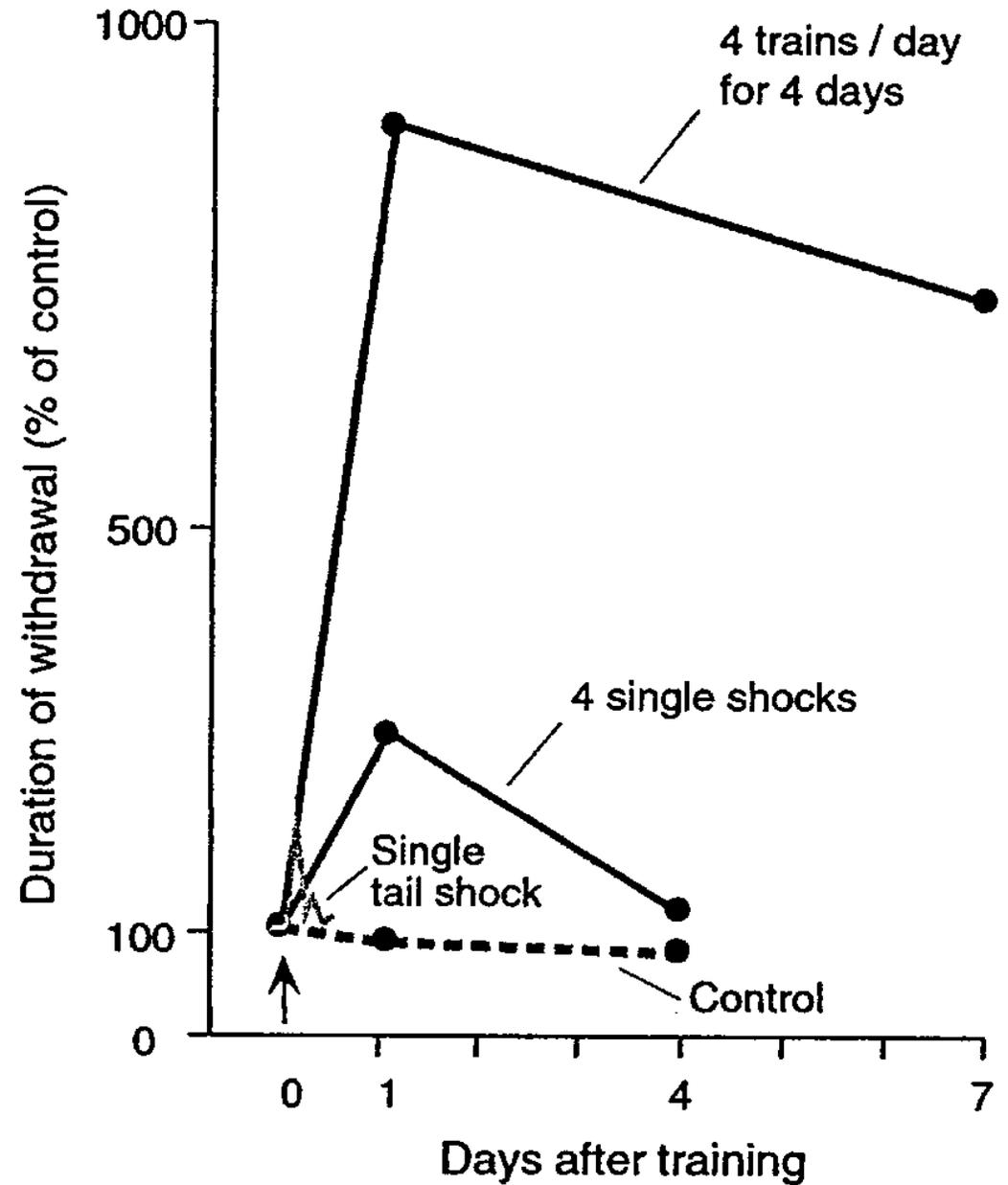
L'**intensità** è data dallo sforzo con cui viene svolta una sequenza di movimenti, dalla velocità di esecuzione in rapporto allo sforzo richiesto per essere eseguita.

La **frequenza** è il numero di ripetizioni delle sequenze motorie in un arco di tempo stabilito, nella giornata, in un'ora, o un più breve tratto di minuti assunto come unità di tempo.

La **durata** è il tempo continuativo dell'atto motorio, per quanto tempo viene svolto l'esercizio e per quanto tempo (mesi o settimane ) deve essere svolto.

**The Molecular Biology of Memory Storage:  
A Dialog Between Genes and Synapses**

Eric R. Kandel<sup>1</sup>



LUNEDI'



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



MARTEDI'



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



MERCOLEDÌ



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



GIOVEDI'



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN



30 - 45 MIN





Non tutti gli atleti apprendono allo  
stesso modo  
(diverso stile cognitivo)

# La correzione dell'errore motorio

Schemi motori di base ed  
errori negli schemi motori  
superiori: come  
funzionano

# Il coordinamento

Il coordinamento motorio, inteso come acquisizione degli schemi motori superiori, ha una struttura gerarchica, ovvero le acquisizioni precedenti si aggiungono al completamento delle acquisizioni successive. (Nel bene come nel male)

La maturazione dello schema motorio di base inizia alla nascita e si consolida verso i 36 mesi con la corsa in perfetto schema crociato, termina verso i 7 anni con la maturazione della completa dominanza.

Dopo il raggiungimento di questa tappa motoria ogni futura acquisizione diventa schema motorio superiore.

Nell'allenamento sui coordinamenti motori, ogni incertezza nello schema motorio di base, (mal lateralizzazione, difficoltà nella convergenza in volo ecc.) rende difficoltosa ogni acquisizione successiva. Dopo i 18 anni la possibilità di modificare gli schemi motori di base è pressochè impossibile in quanto il cervello motorio si è strutturato.

Le acquisizioni superiori si organizzano tra di loro negli anni successivi (allenamento), ma la correzione di un errore motorio, o l'apprendimento di una schema nuovo possono risultare impossibili data la rigidità della corteccia motoria oppure per lo schema motorio di base non maturo.

Questo rivela l'importanza della preparazione degli allenatori che lavorano con i bambini e i futuri atleti. Devono saper valutare i livelli motori ed eventualmente permettere loro di recuperare gli schemi di base e solo successivamente avviarli all'acquisizione dei gesti tecnici superiori propri della disciplina.



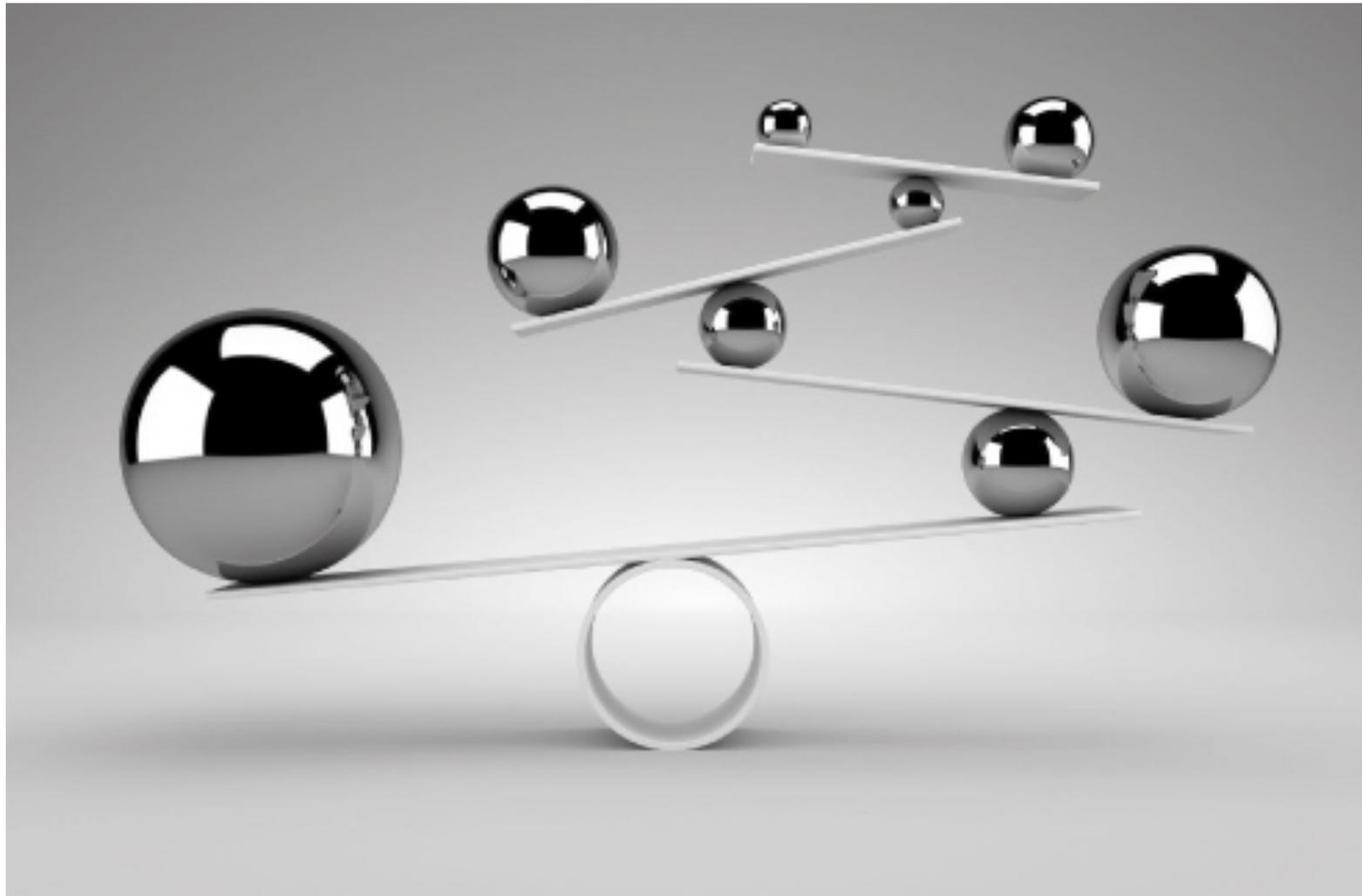
msc

# Il sistema vestibolare

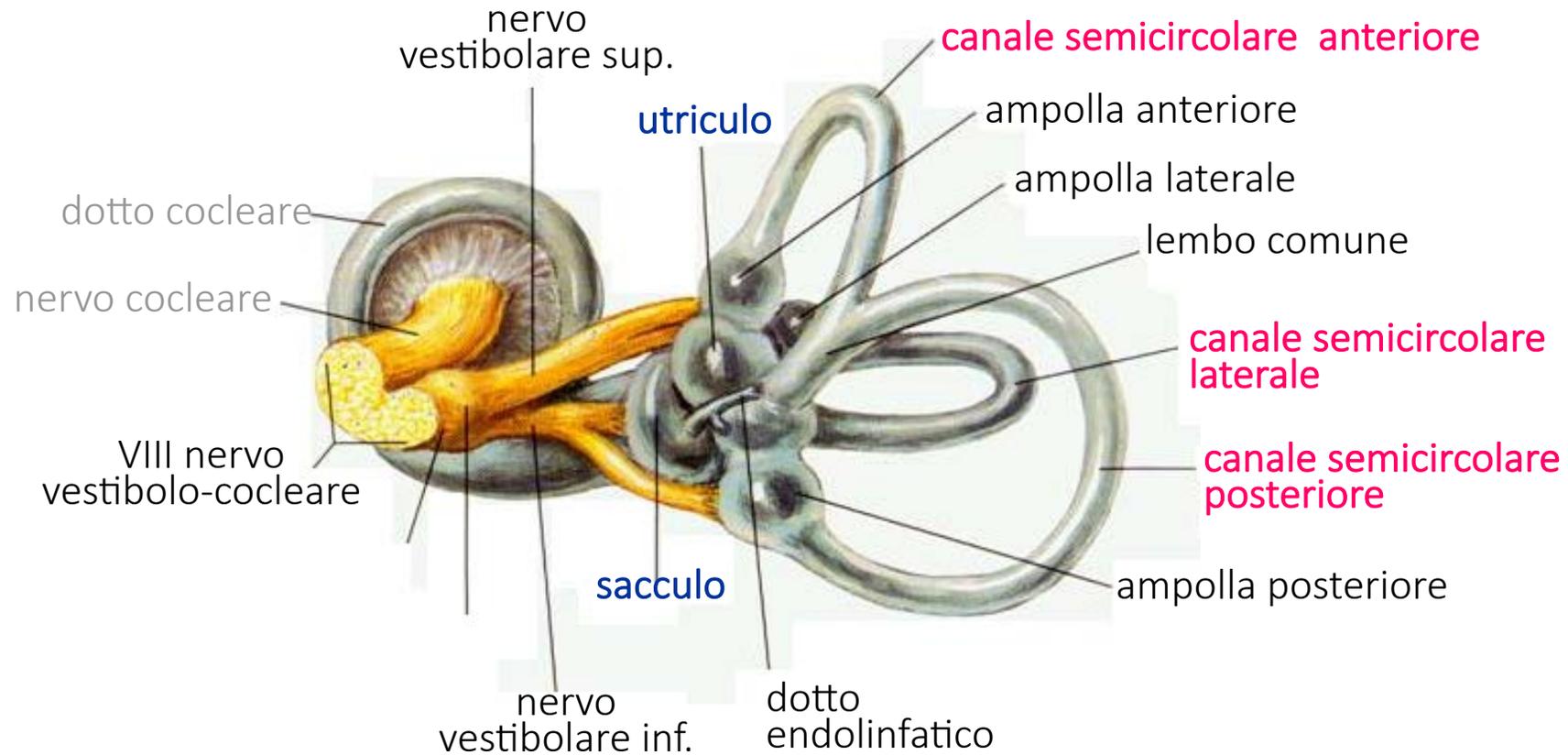
# Una questione di equilibrio

Angelo Luigi Sangalli



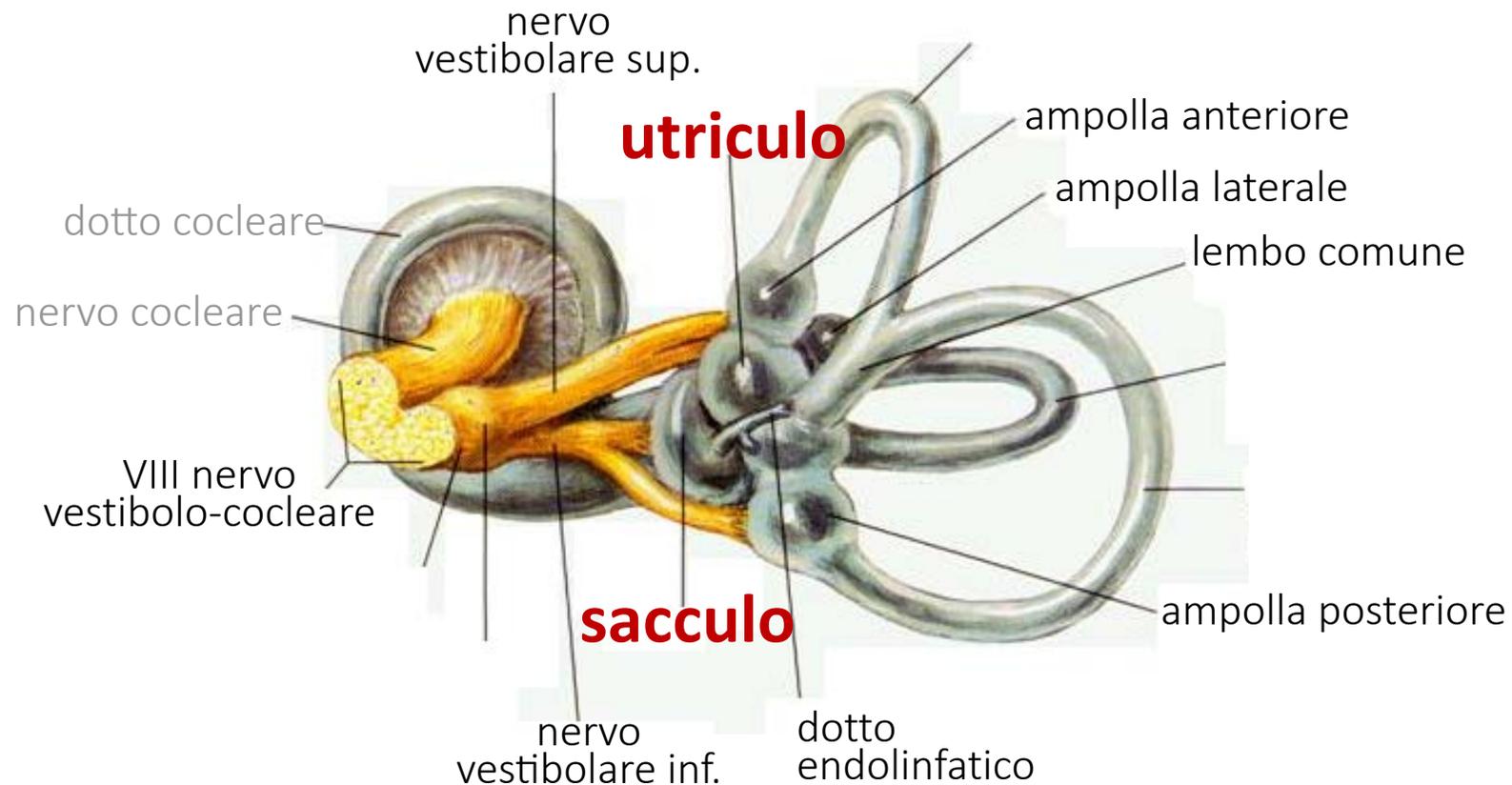


Il labirinto è un sistema di cavità le quali contengono i sensori per i sistemi vestibolare e uditivo.



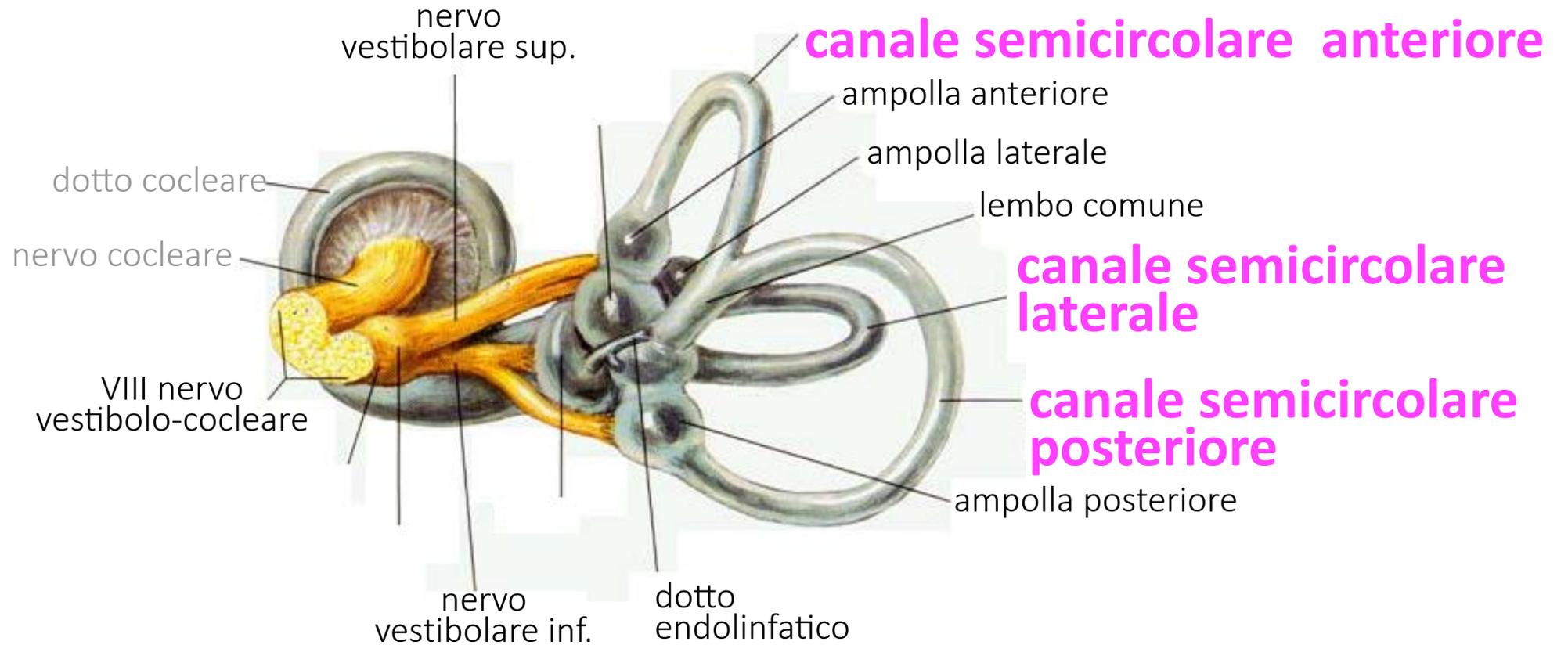
Il sistema vestibolare ha importanti funzioni sensoriali e motorie, che contribuiscono alla percezione dei propri movimenti, della posizione della testa, dell'orientamento spaziale rispetto alla gravità e al mantenimento dell'equilibrio

Il labirinto è un sistema di cavità le quali contengono i sensori per i sistemi vestibolare e uditivo.



Il sistema vestibolare ha importanti funzioni sensoriali e motorie, che contribuiscono alla percezione dei propri movimenti, della posizione della testa, dell'orientamento spaziale rispetto alla gravità e al mantenimento dell'equilibrio

Il labirinto è un sistema di cavità le quali contengono i sensori per i sistemi vestibolare e uditivo.



Il sistema vestibolare ha importanti funzioni sensoriali e motorie, che contribuiscono alla percezione dei propri movimenti, della posizione della testa, dell'orientamento spaziale rispetto alla gravità e al mantenimento dell'equilibrio

**Il sistema vestibolare è costituito da due parti:**

**gli organi otolitici (utrículo e sacco) e i canali semicircolari**

I **canali semicircolari** captano i movimenti rotatori (accelerazione angolare) della testa.

Gli **organi otolitici (utrículo e sacco)** hanno due funzioni:

1. Sono sensibili alle accelerazioni lineari della testa;
2. Sono anche in grado di captare la posizione della testa rispetto alla gravità

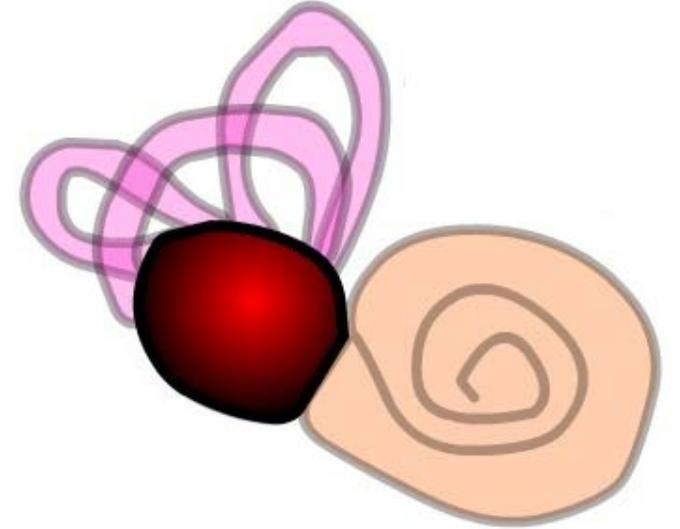
I **canali semicircolari** captano i movimenti rotatori (accelerazione angolare) della testa.

## Accelerazione angolare

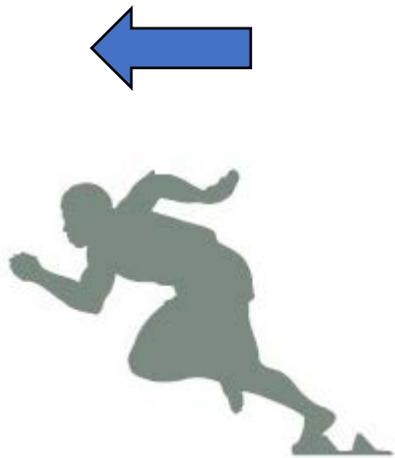


Gli **organi otolitici** hanno due funzioni:

1. Sono sensibili alle accelerazioni lineari della testa;
2. Captare la posizione della testa rispetto alla gravità.



**Accelerazione lineare**



**Gravità**

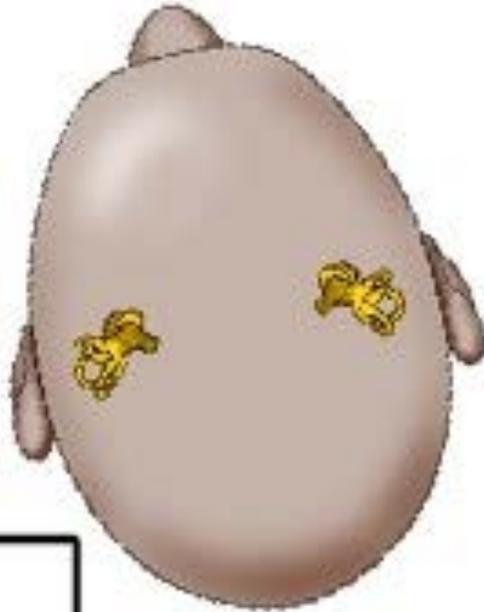
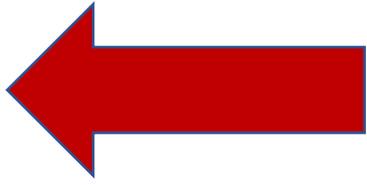


Il labirinto calcola la direzione della rotazione della testa.

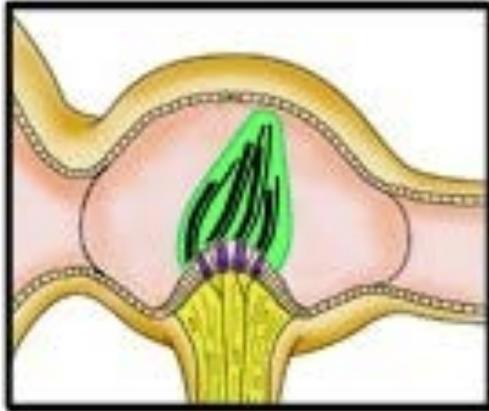
- i canali sono organizzati a coppie: ciascun canale ha un partner controlaterale
- quando uno è eccitato, l'altro è inibito.
- se la testa ruota a destra, vi è eccitamento nel canale orizzontale destro e inibizione in quello sinistro.



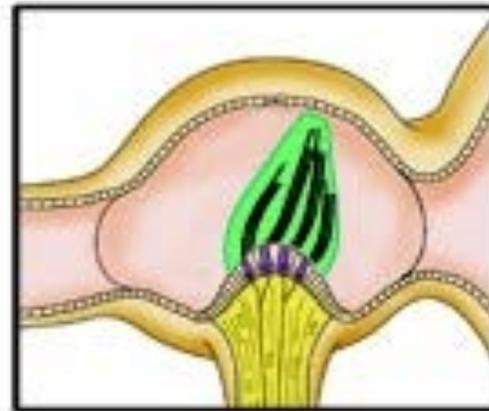
S



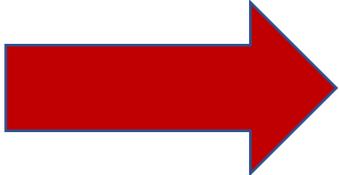
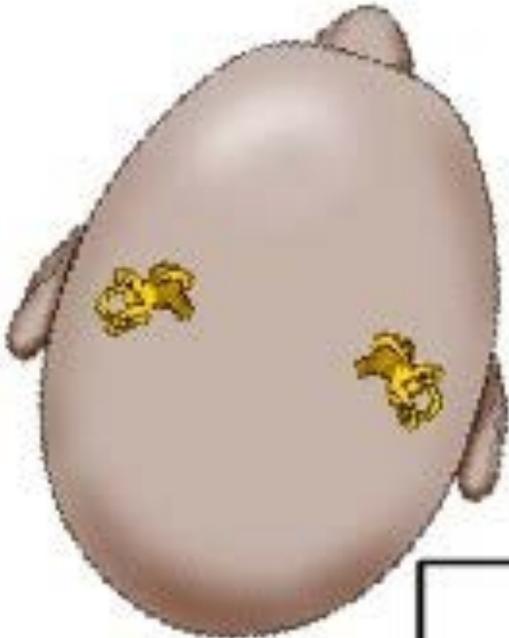
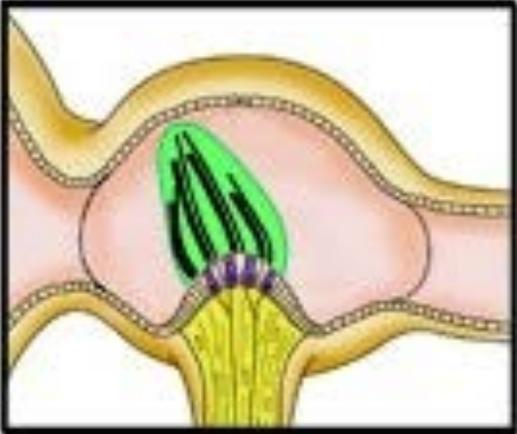
Eccitamento



Inibizione

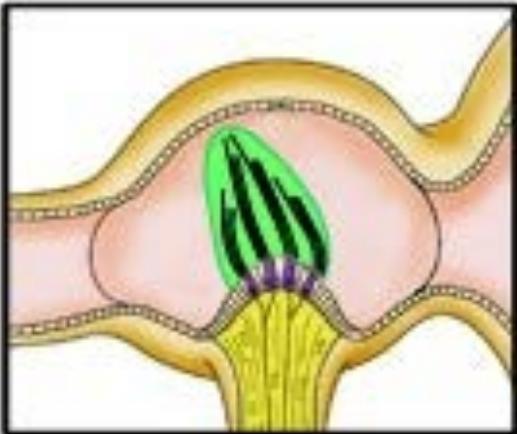


Inibizione

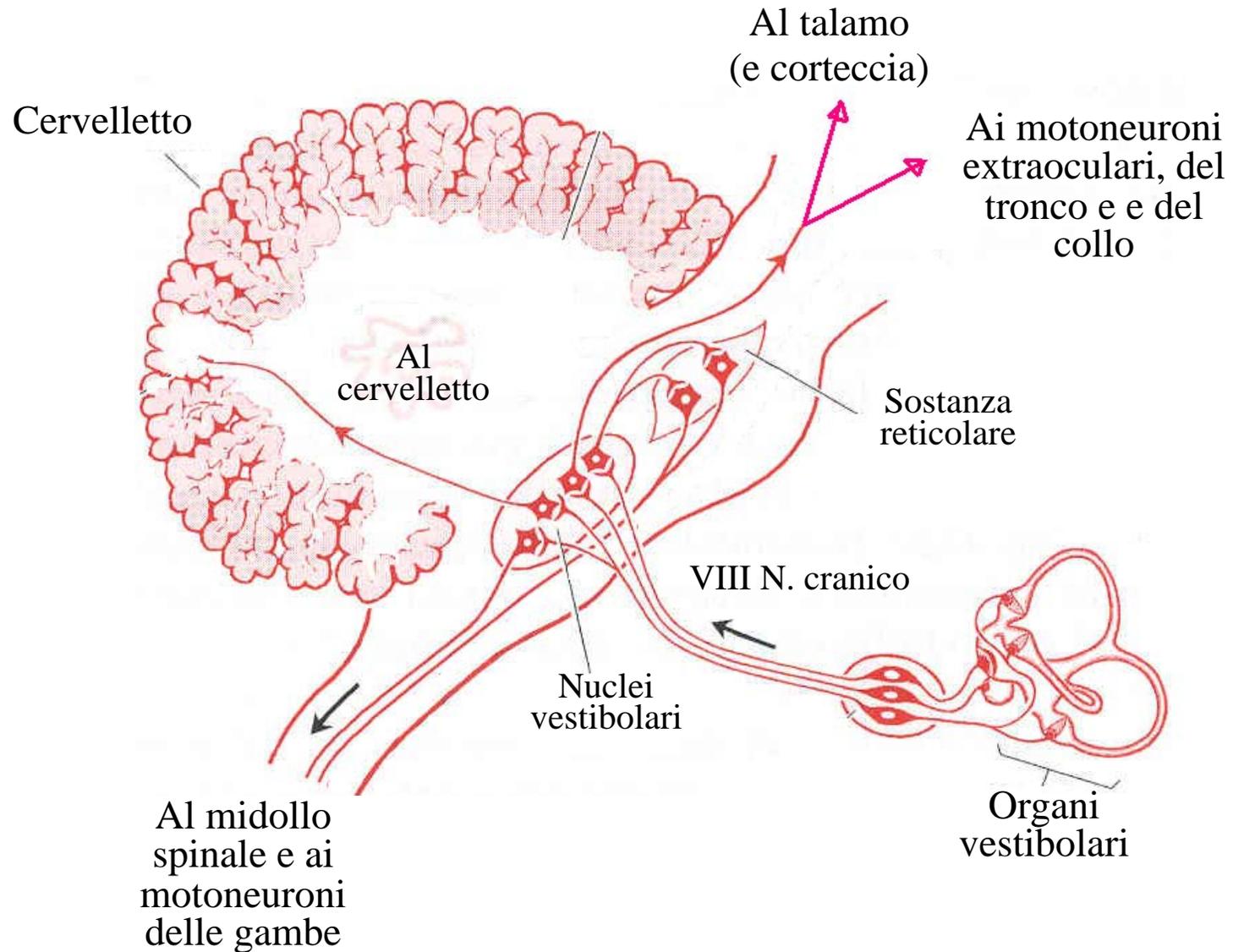


D

Eccitamento



# Le vie vestibolari ascendenti e discendenti



## Fibre vestibolo-cerebellari

Il cervelletto riceve fibre afferenti dal complesso dei nuclei vestibolari e direttamente dal nervo vestibolare e proietta a sua volta ai nuclei vestibolari, esercitando per lo più un'azione inibitoria.

Le fibre del nervo vestibolare dirette al cervelletto bypassano il complesso dei nuclei vestibolari e si portano direttamente al cervelletto, attraverso il peduncolo cerebellare inferiore.

Schmahmann JD.

**The cerebellum and cognition.** Neurosci Lett. 2019 Jan 1;688:62-75.

Tanaka H, Ishikawa T, Kakei S. **Neural Evidence of the Cerebellum as a State Predictor.** Cerebellum. 2019 Jun;18(3):349-371.

Caligiore D, Arbib MA, Miall RC, Baldassarre G. **The super-learning hypothesis: Integrating learning processes across cortex, cerebellum and basal ganglia.** Neurosci Biobehav Rev. 2019 May;100:19-34.

Gao Z, Liu X, Zhang D, Liu M, Hao N. **The indispensable role of the cerebellum in visual divergent thinking.** Sci Rep. 2020 Oct 6;10(1):16552.

# Riflessi vestibolari

Generano movimenti del corpo compensatori per mantenere una stabilità posturale e quindi prevenendo le cadute

Ad es., aiutano a mantenere una posizione eretta quando camminiamo sul ponte di una nave che oscilla per le onde.

L'atteggiamento conseguente viene denominato "postura" e corrisponde ad una strategia che consente l'equilibrio in risposta alla forza di gravità o a perturbazioni ambientali .

La postura è la posizione assunta dal corpo attraverso la distribuzione del tono muscolare nei vari segmenti.

**Riflesso vestibolare tonico.** Gli assoni degli **organi otolitici** proiettano al ***nucleo vestibolare laterale***, il quale proietta tramite il *tratto vestibolo-spinale* ai motoneuroni spinali i quali, eccitati, **controllano i muscoli delle gambe aiutandoli a mantenere la postura, ovvero a riportare il corpo nella sua naturale stazione.**

**Riflesso vestibolare cinetico.** Assoni dei **canali semicircolari** proiettano al ***nucleo vestibolare mediale*** che invia assoni al *fascicolo longitudinale mediale* per eccitare i motoneuroni del tronco e i muscoli del collo che orientano la testa. Si tratta di reazioni motorie complesse intese a **correggere con immediatezza, durante i movimenti rapidi del capo, gli sbilanciamenti del corpo rispetto alla normale posizione di equilibrio.**

## Funzioni primarie del sistema vestibolare

Mantenere una corretta posizione degli occhi e quindi l'orientamento dello sguardo durante i movimenti rapidi del capo. Stabilizzazione dello sguardo.

Queste funzioni vengono realizzate attraverso le vie vestibolo-oculari, vestibolo-spinali e vestibolo-corticali.

## Funzioni primarie del sistema vestibolare

Mantenere un corretto tono dei muscoli del collo, del tronco e degli arti in opposizione alla forza di gravità. “Verticale soggettiva”. Stabilizzazione posturale.

Il sistema vestibolare opera sempre in stretta coordinazione con i sistemi visivo e somatosensoriale (tattile e propriocettivo)

*I deficit di uno o piu' di questi sistemi vengono supportati dal potenziamento delle attività dei sistemi residui.*

# Funzioni primarie del sistema vestibolare

Contribuire a una corretta sensazione di orientamento nello spazio.

Una delle funzioni essenziali del sistema vestibolare è di registrare i movimenti della testa in un sistema di riferimento euclideo.

**Tatto**  
**Vista**  
**Udito**  
**Olfatto**  
**Gusto**  
**Propriocezione**  
**Vestibolare**  
**Senso del movimento**  
**(cinestesia)**

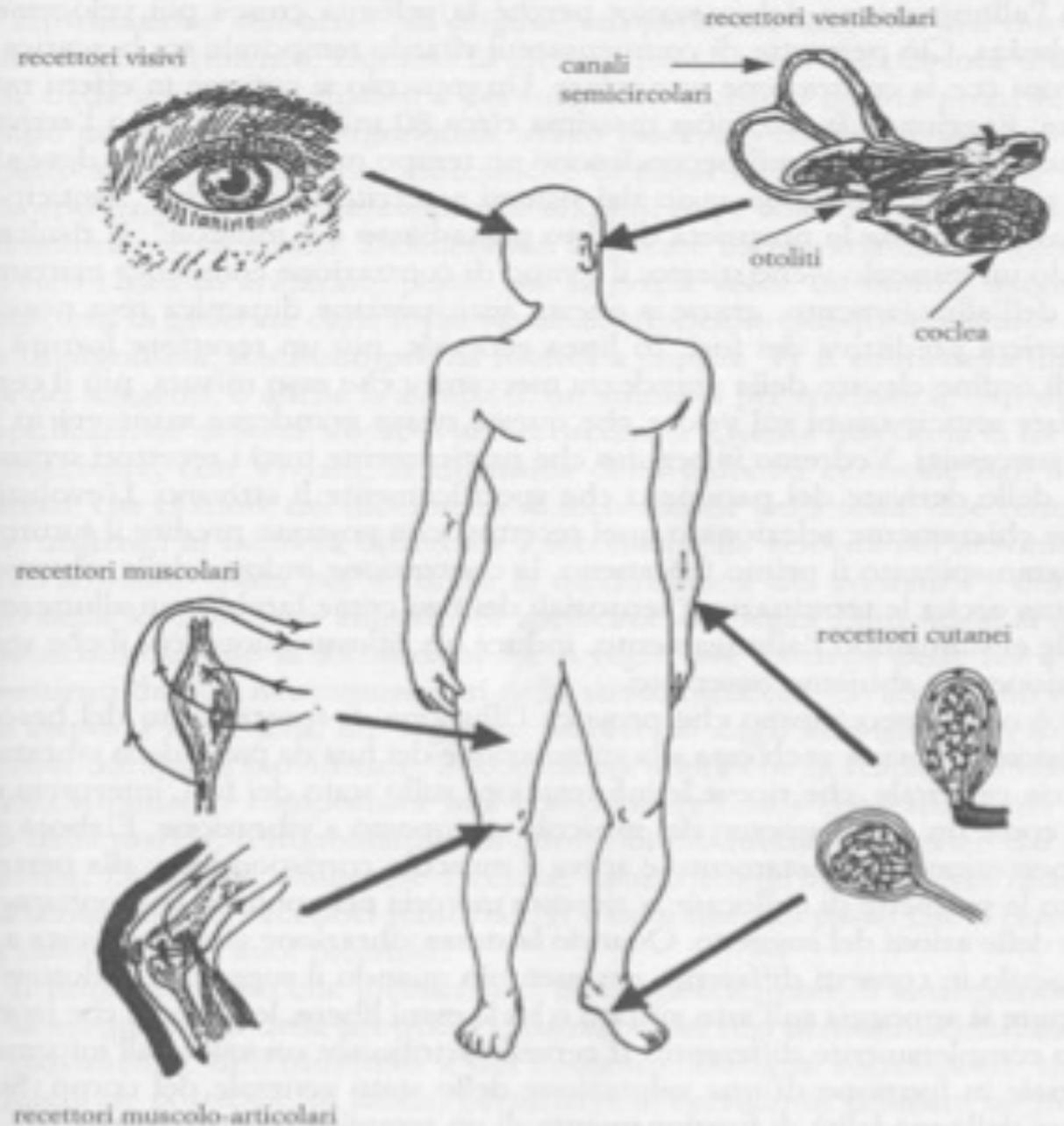
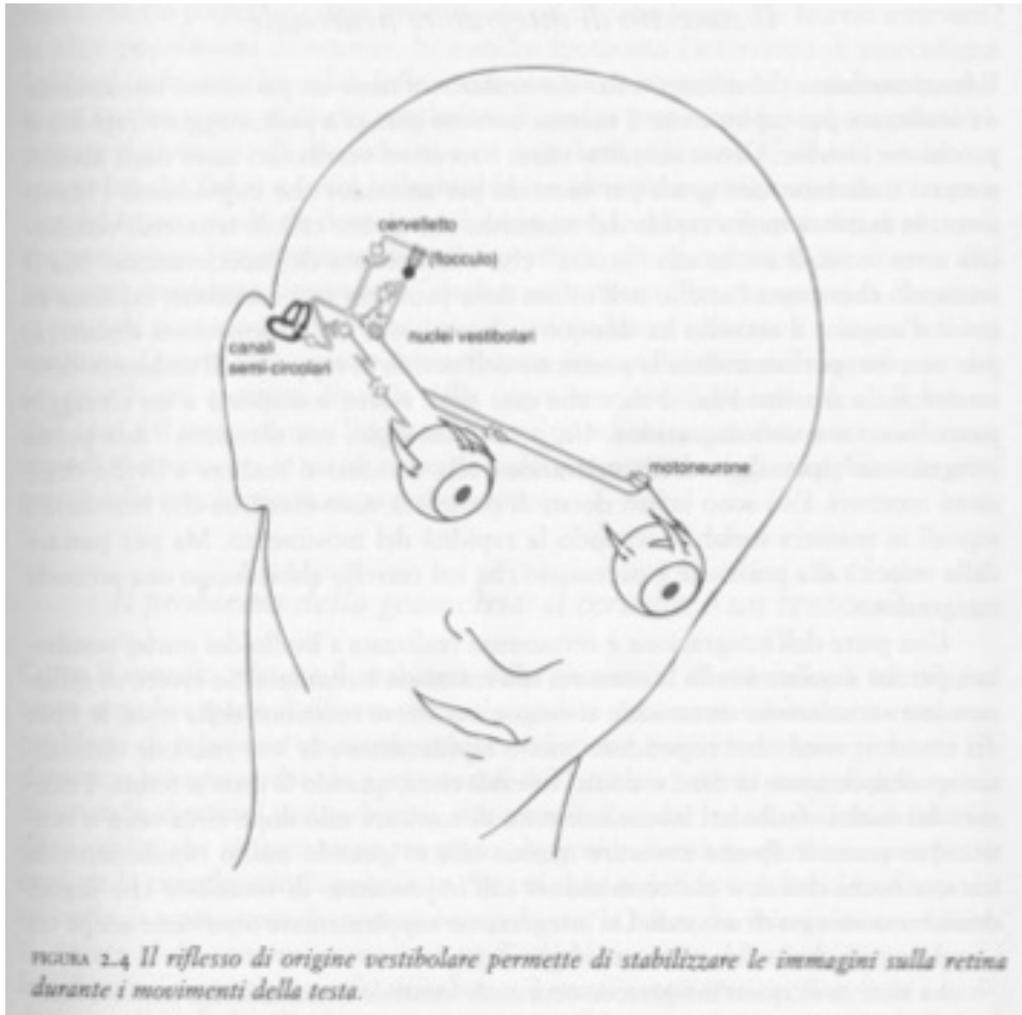


FIGURA 2.1 I recettori sensoriali che partecipano al senso del movimento.



1. Riflesso vestibolo-oculare
2. Riflesso optocinetico
3. Movimenti di vergenza
4. Movimenti di inseguimento lento
5. Movimenti saccadici

# LA VISIONE E IL SUO FUNZIONAMENTO

La visione rappresenta la porta d'accesso delle informazioni sensoriali che dall'esterno arrivano al cervello.

E' dalla visione della palla, dei giocatori, degli avversari, del campo che si decidono e si prendono le decisioni motorie e strategiche principali.

L'occhio coglie gli oggetti in movimento (palla) utilizzando la visione periferica. Dalla visione periferica che cattura la palla in movimento ha inizio il processo neuro-motorio e cognitivo che dà il via alla risposta motoria. L'informazione passa al Collicolo Superiore che attiva i movimenti oculari involontari. IL CS interagisce anche con il sistema vestibolare e attiva il VOR (riflessi vestibolo oculari).

