



Dott.ssa Melania Melis
Corso di Laurea Ingegneria Biomedica
Lezioni di Elementi di Fisiologia

E' vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini in qualsiasi forma.
E' inoltre vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini non autorizzate espressamente dall'autore.

Il sistema motorio

Il sistema motorio conduce ai muscoli le informazioni che, attraverso l'attivazione dei muscoli scheletrici, ci permettono di interagire con l'ambiente.

Questa funzione è ottenuta tramite l'entrata in azione di specifici gruppi muscolari

La contrazione dei muscoli scheletrici necessaria al movimento è data dagli impulsi (potenziali d'azione) degli **α -motoneuroni** il cui corpo cellulare è localizzato nelle corna ventrali del midollo spinale

Le **giunzioni neuromuscolari** sono le sinapsi tra il motoneurone e la fibra muscolare

il neurotrasmettitore è **l'acetilcolina**

Il legame dell'acetilcolina con il recettore nicotinico presente sulla membrana del muscolo scheletrico determina la sua depolarizzazione.

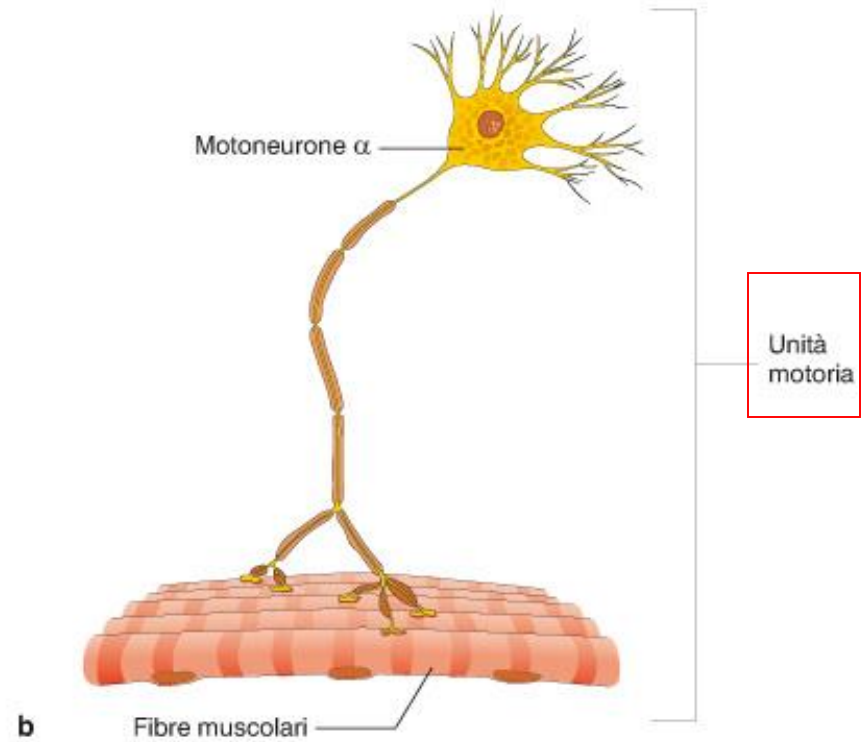
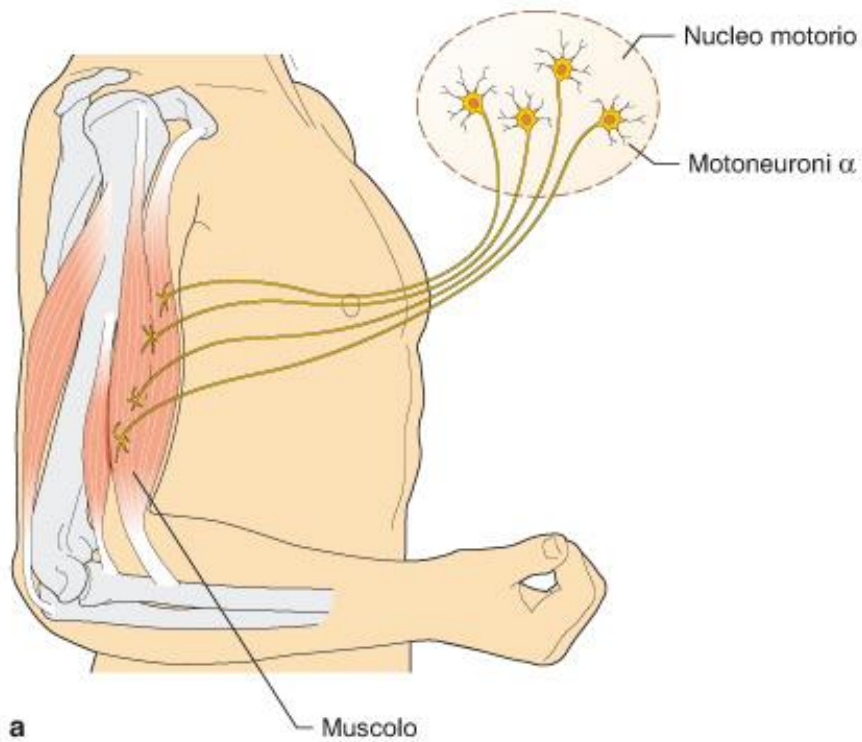
Nel caso dei muscoli scheletrici la depolarizzazione conduce ad una serie di eventi che determinano la **contrazione del muscolo**.

Un motoneurone può formare connessioni sinaptiche con molte fibre muscolari

Unità motoria: motoneurone α e tutte le fibre muscolari che esso innerva.

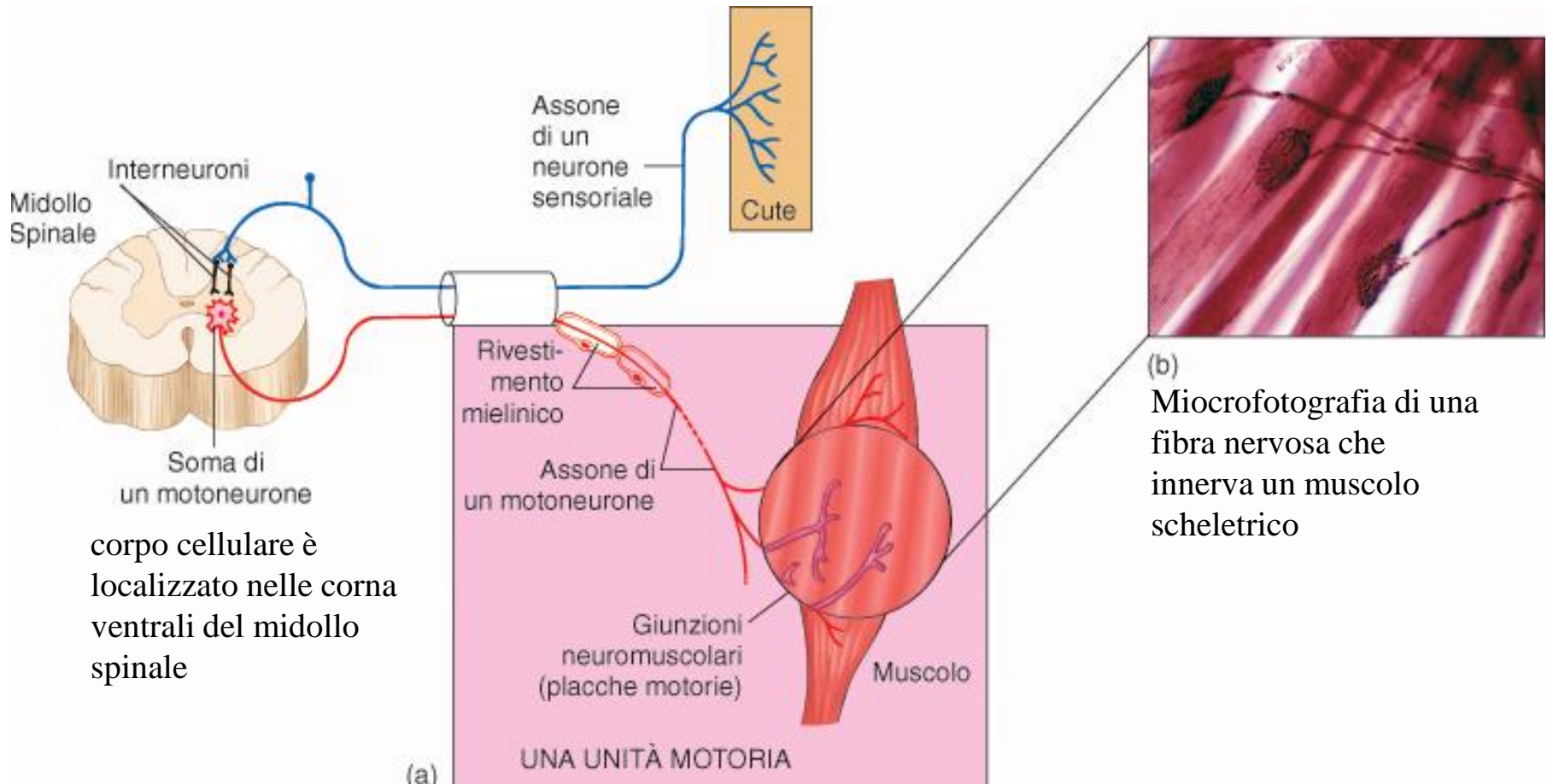
Piccola unità motoria: controllo preciso di movimenti fini (muscoli delle dita, lingua)

Grande unità motoria: responsabile di movimenti grossolani.



© 2006 edi.ermes milano

Nucleo motorio: tutti i motoneuroni che innervano un muscolo

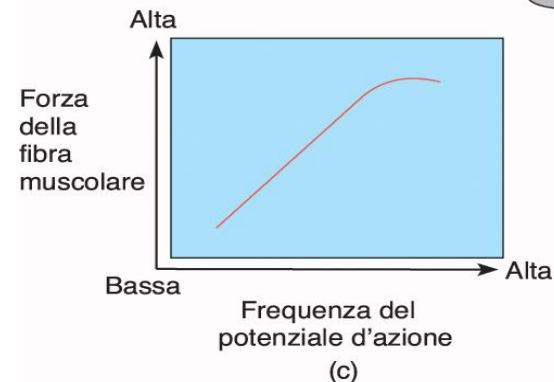
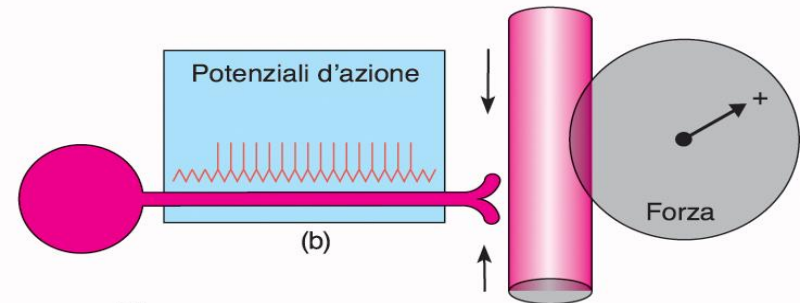
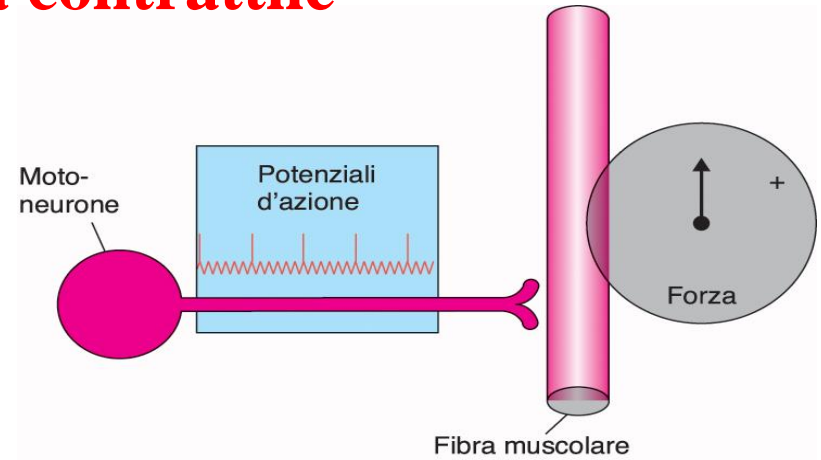


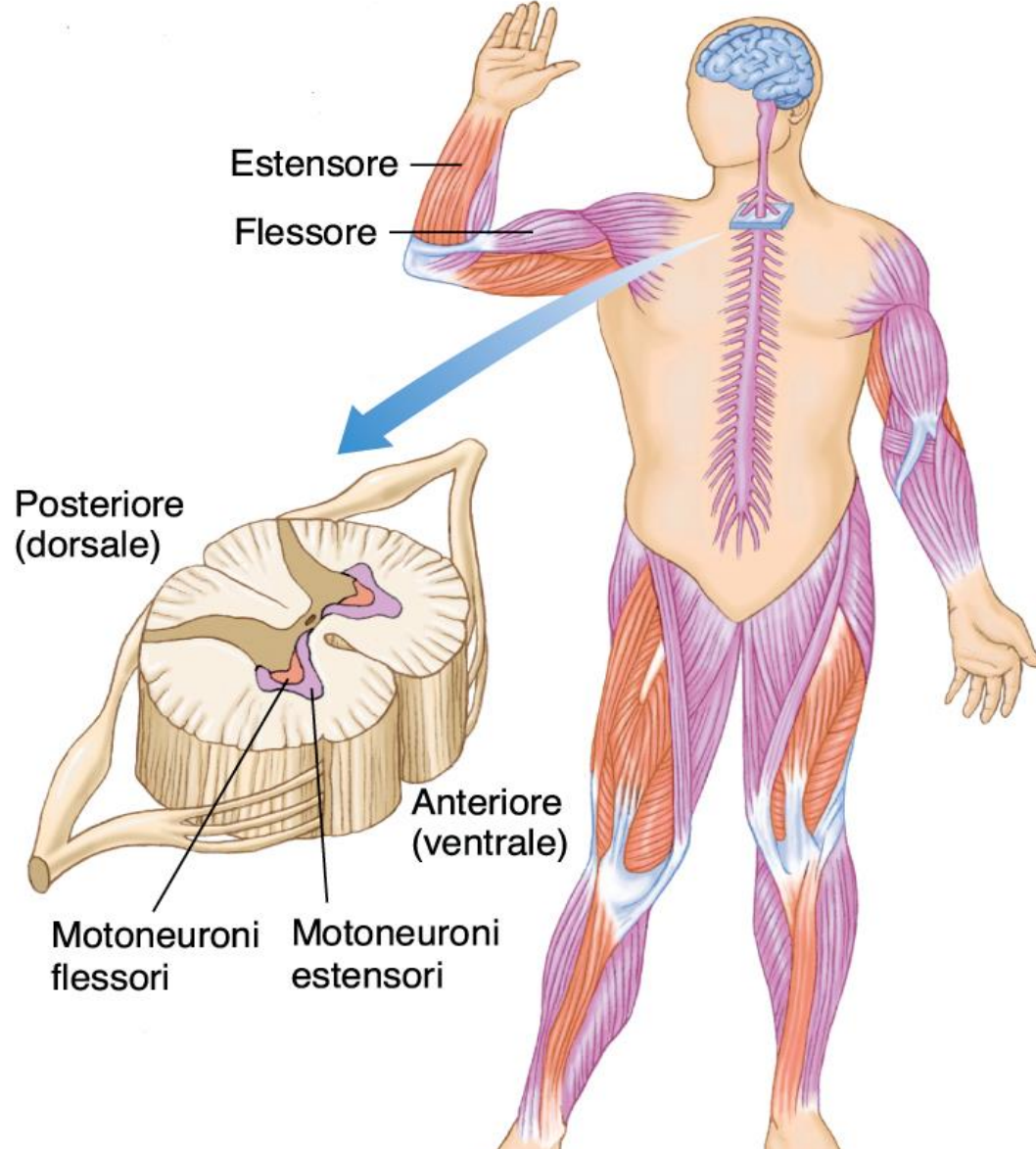
Codifica della forza contrattile

La quantità di forza che il muscolo sviluppa durante la contrazione è controllata dal sistema nervoso in due modi.

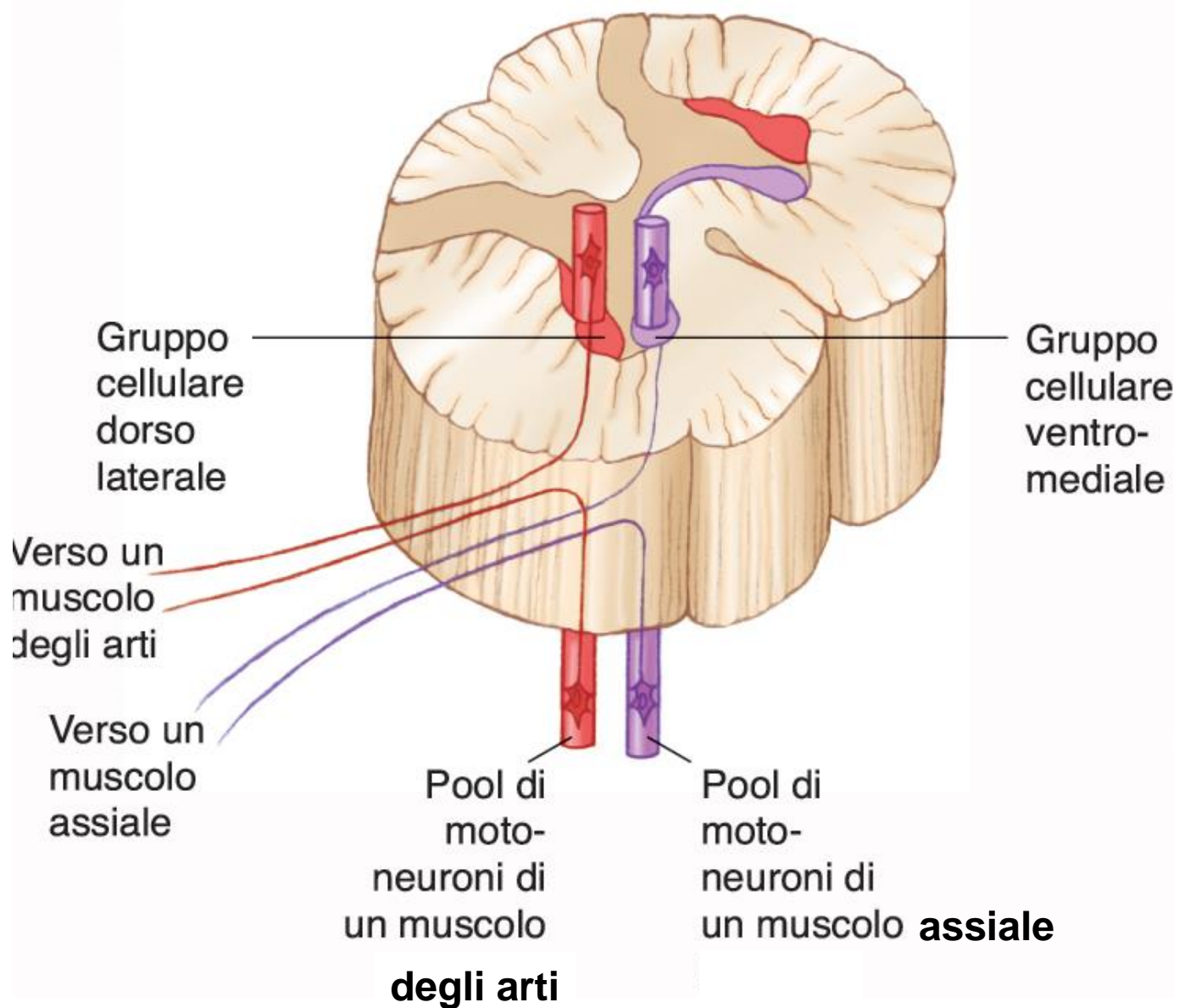
1 - la **tensione sviluppata** da una singola fibra muscolare dipende dalla **frequenza di potenziali d'azione** d'azione generata nel motoneurone che ne controlla l'attività.

2 - **molti motoneuroni, molte unità motorie**, possono essere attivate nello stesso tempo. Tale attività (***reclutamento di unità motoria***) incrementa la forza generata dal muscolo grazie al reclutamento, nella contrazione, di più fibre muscolari

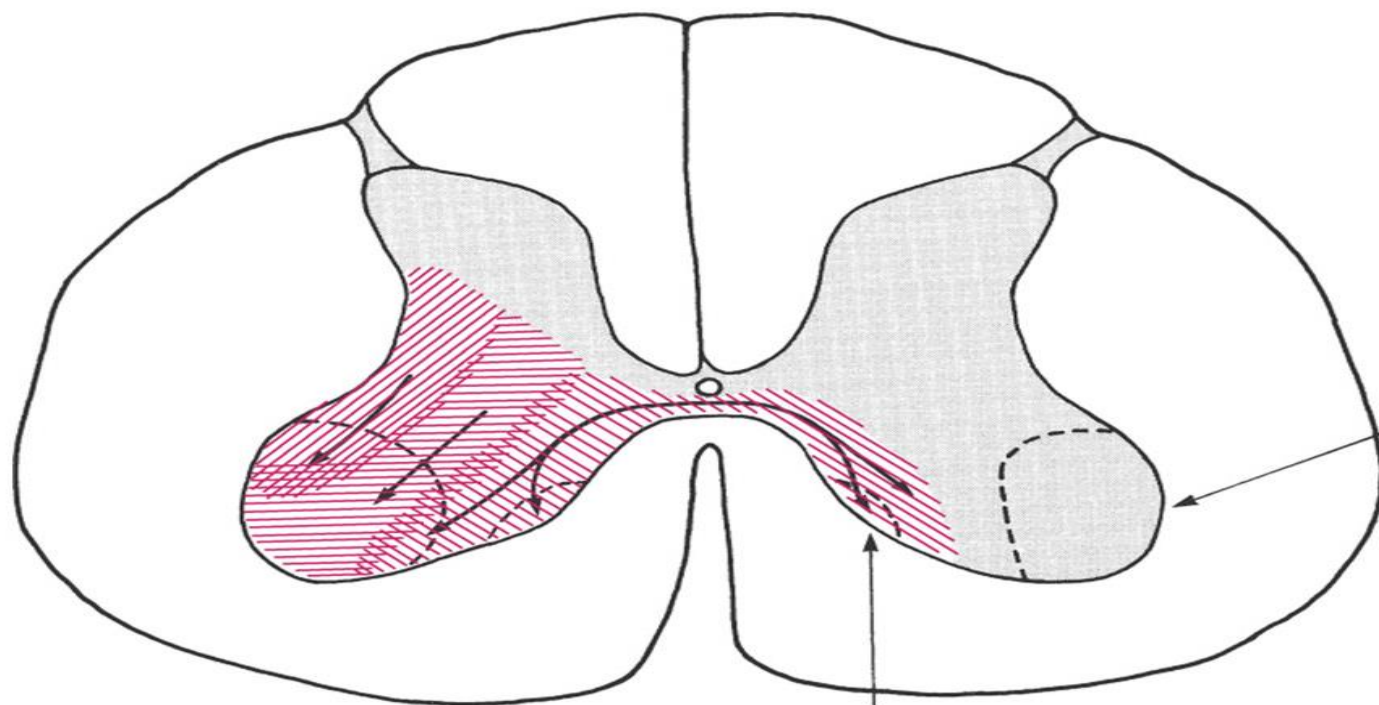




I motoneuroni che attivano i flessori originano nell'area dorsale del corno ventrale, mentre quelli che attivano gli estensori originano nella regione ventrale del corno ventrale



Un pool di motoneuroni è l'insieme di motoneuroni che innervano un singolo muscolo e l'attivazione di un pool di motoneuroni coordina l'azione contrattile del muscolo.



Gruppo laterale di motoneuroni

Gruppo mediale di motoneuroni

Interneuroni

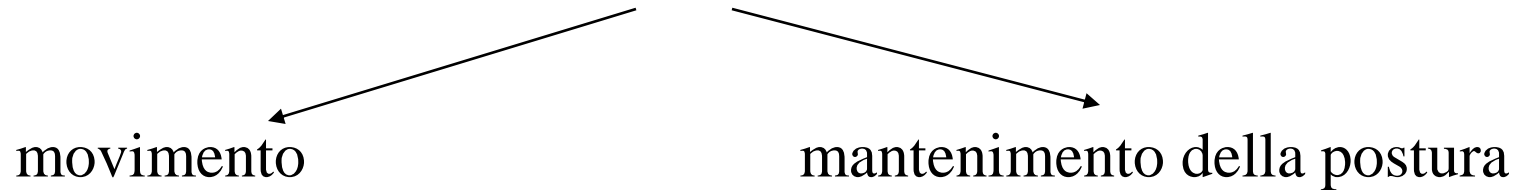
Sono localizzate nella regione intermedia del midollo spinale. Quelli localizzati nella parte laterale formano sinapsi **ipsilateralmente** con motoneuroni che innervano i muscoli degli arti.

Quelli che si trovano più vicino alla linea mediana formano sinapsi con motoneuroni di entrambe i lati del midollo che controllano i muscoli posturali.

Gli interneuroni formano sinapsi con i motoneuroni α e mediano **azioni inibitorie** o **eccitatorie**.

Gli effetti eccitatori sono associati con l'attivazione di muscoli **sinergici**, mentre quelli inibitori sono associati alla soppressione di attività nei muscoli **antagonisti**.

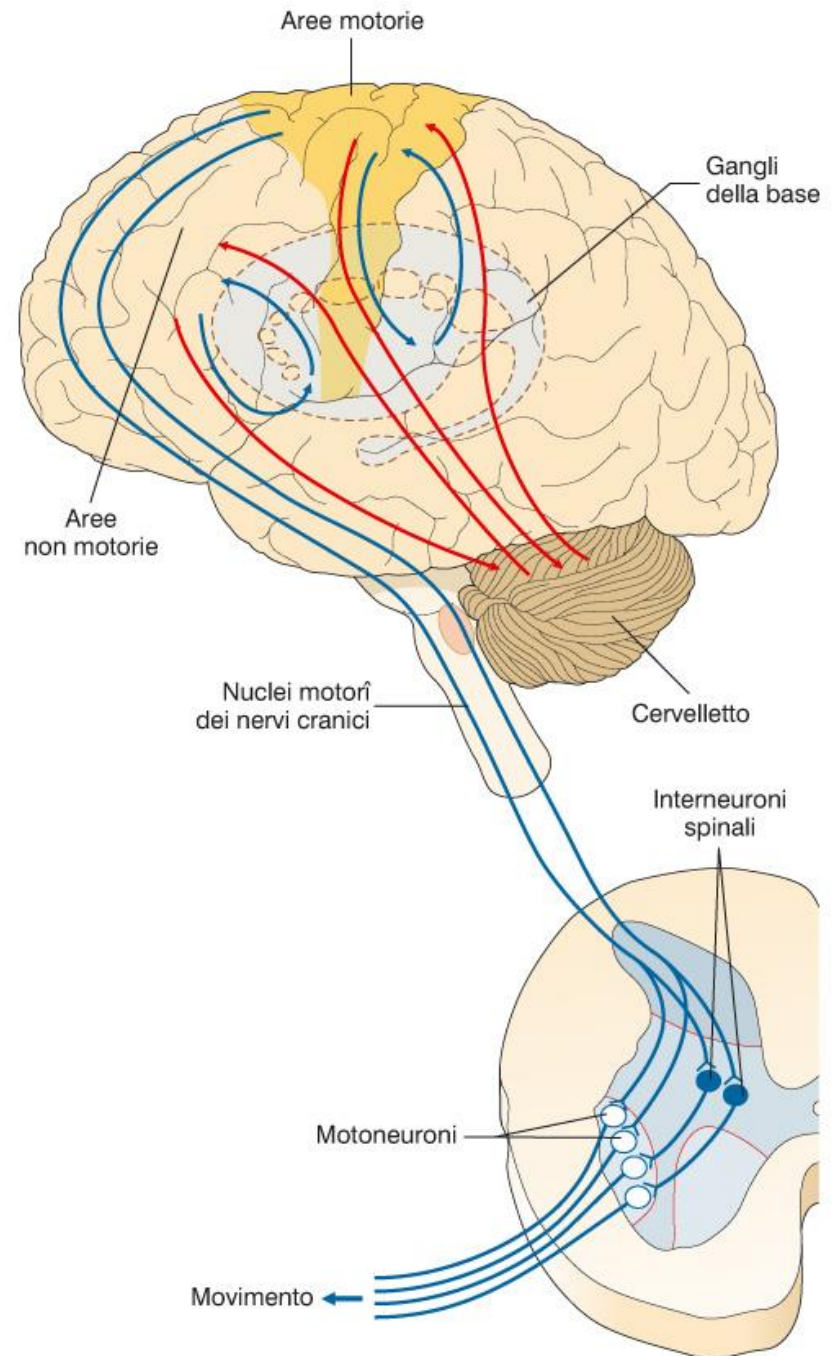
La contrazione dei muscoli scheletrici



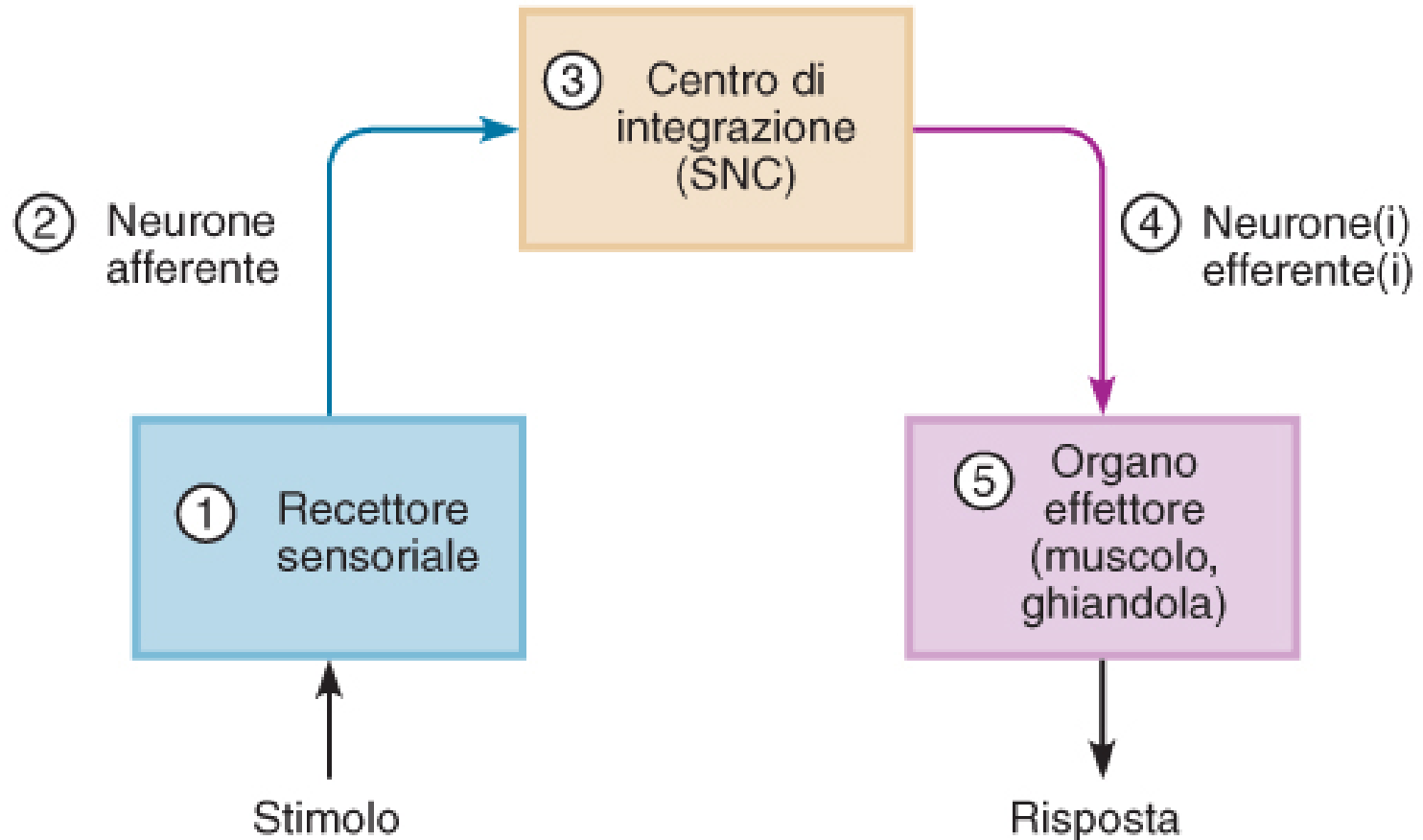
In entrambe i casi il **sistema motorio regola la contrazione equilibrata dei muscoli**, cioè regola l'entità e le caratteristiche temporali delle scariche dei motoneuroni che innervano i muscoli appropriati e la mancanza di scariche per i muscoli inappropriati

Il controllo motorio :

- **Azioni riflesse** (animale spinale)
- **Meccanismi inconsci** (animale decerebrato)
- **Volontario**



Arco riflesso:



Riflessi Spinali

Riflesso da stiramento
o riflesso miotatico

Riflesso miotatico inverso

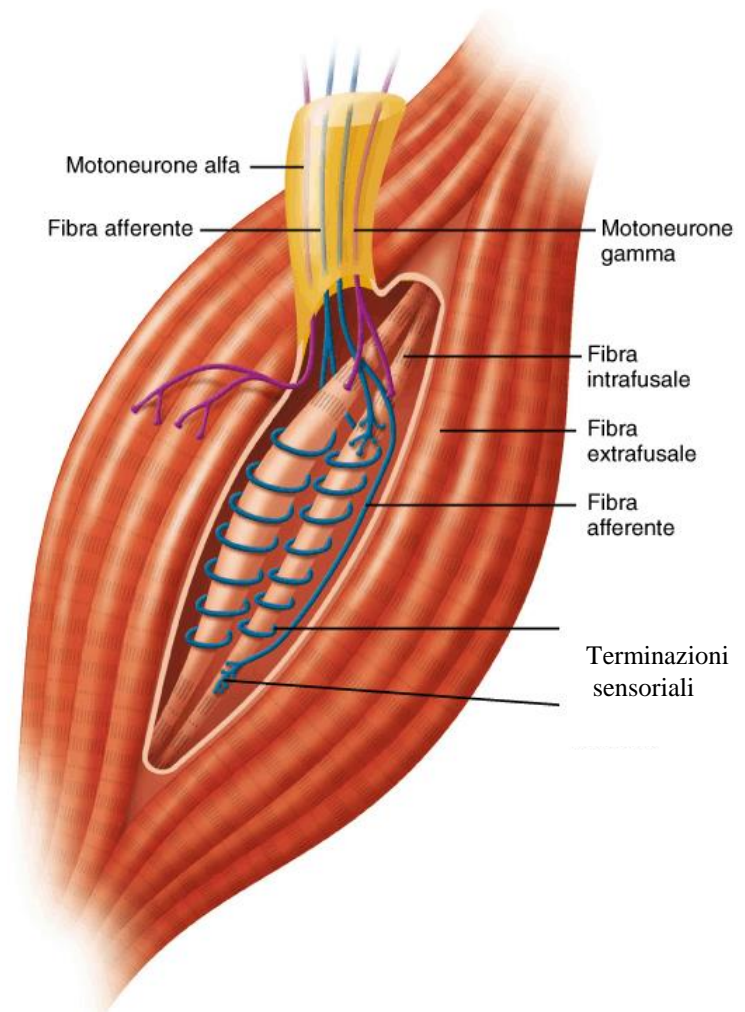
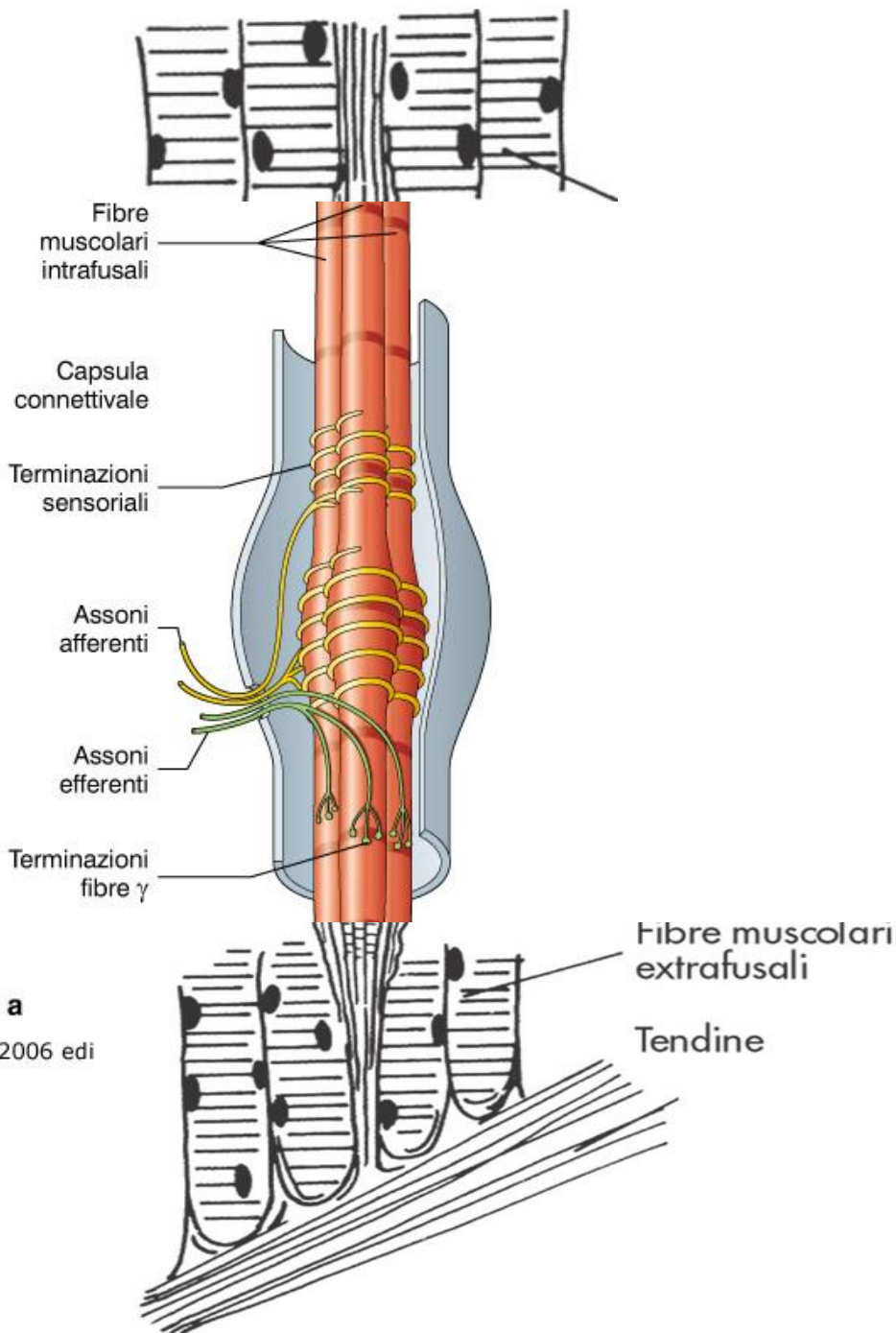
Riflesso flessorio

Recettori

fuso neuromuscolare

organo tendineo di Golgi

recettori cutanei
(afferenti del rifl. fless)



Il Fuso neuromuscolare
 è il recettore sensibile allo
 stiramento del muscolo

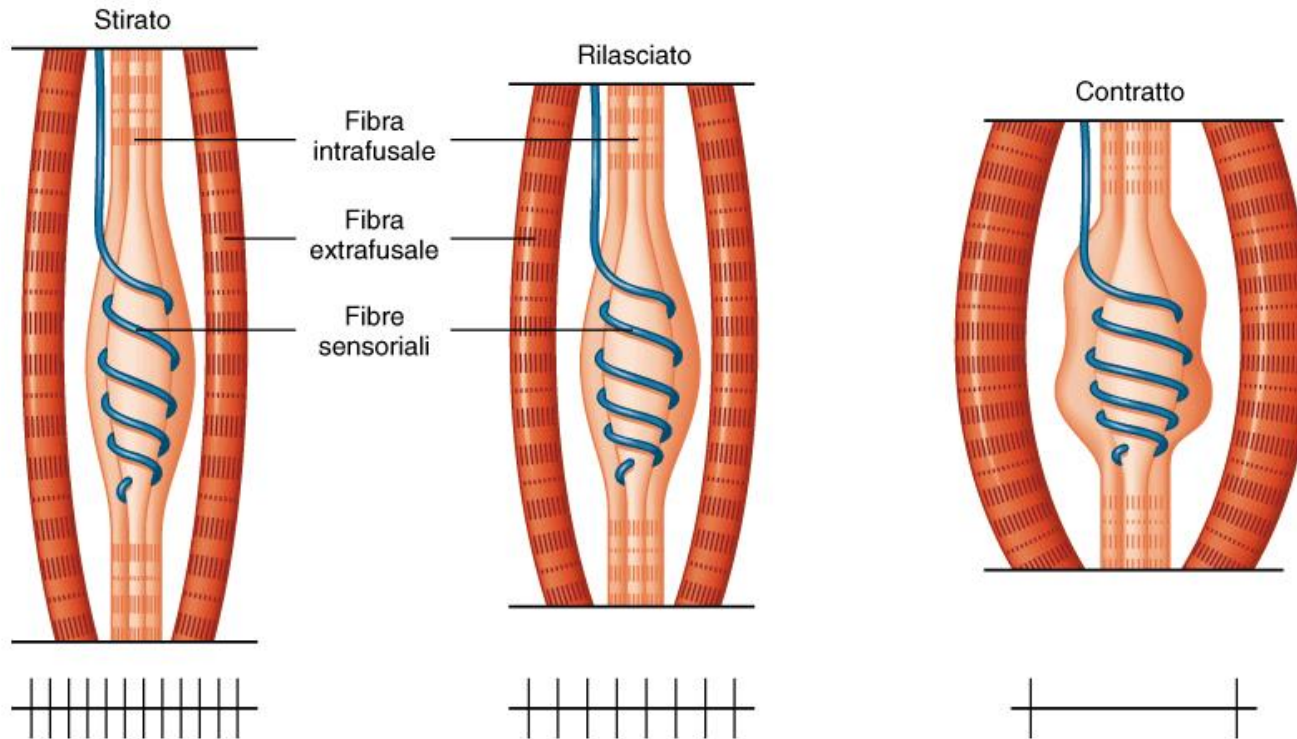
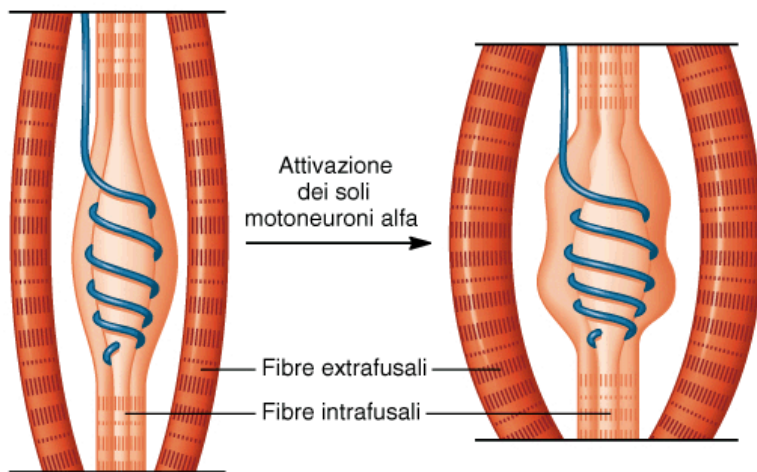
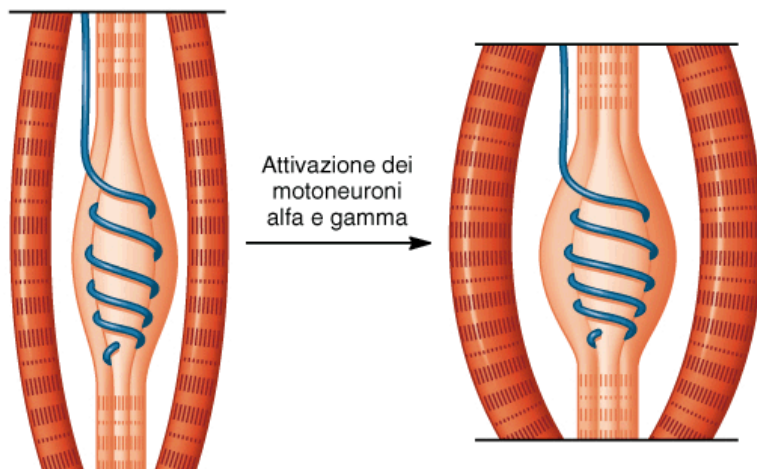


FIGURA 12.29 Risposte indotte da variazioni della lunghezza muscolare nelle fibre afferenti derivanti dal fuso neuromuscolare. Lo stiramento del muscolo determina aumento della frequenza dei potenziali d'azione, mentre la contrazione la diminuisce.



(a) Motoneuroni gamma inattivi



(b) Attivazione contemporanea dei motoneuroni alfa e gamma

L'attivazione del motoneurone γ bilancia l'effetto detensivo della contrazione muscolare sulla scarica di una fibra afferente fusale.

La **coattivazione** dei motoneurone α e γ mantiene le proporzioni di contrazione delle fibre intrafusali rispetto a quelle extrafusali **permettendo al fuso neuromuscolare di dare informazioni circa il suo allungamento a partire da ogni condizione di contrazione delle fibre extrafusali.**

FIGURA 12.30 Attivazione contemporanea dei motoneuroni alfa e gamma. (a) Risposta teorica del fuso neuromuscolare in presenza di stimolazione delle fibre extrafusali da parte dei motoneuroni alfa, in assenza di attivazione dei motoneuroni gamma. (b) Modalità con cui l'attivazione contemporanea degli alfa e dei gamma motoneuroni fa in modo che il fuso neuromuscolare sia costantemente pronto a percepire lo stiramento del muscolo.

L'organo tendineo di Golgi

segnala la forza applicata al muscolo e al suo tendine

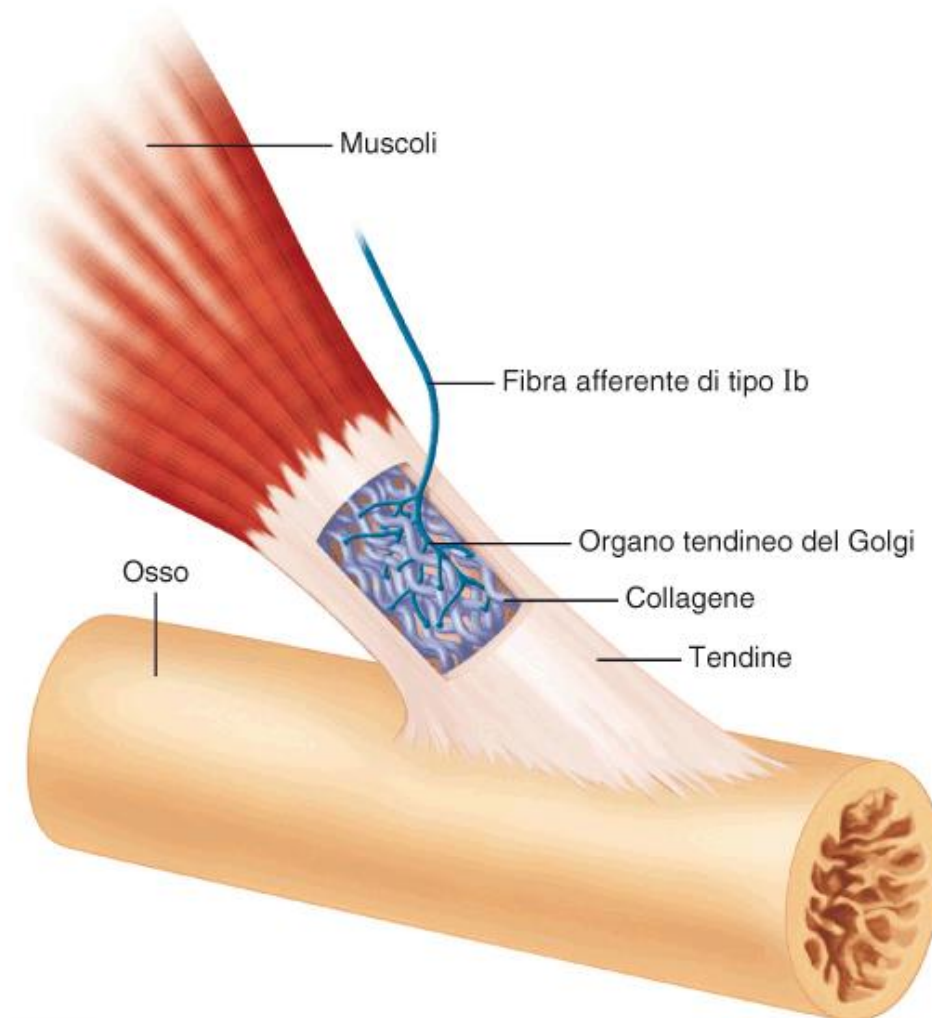
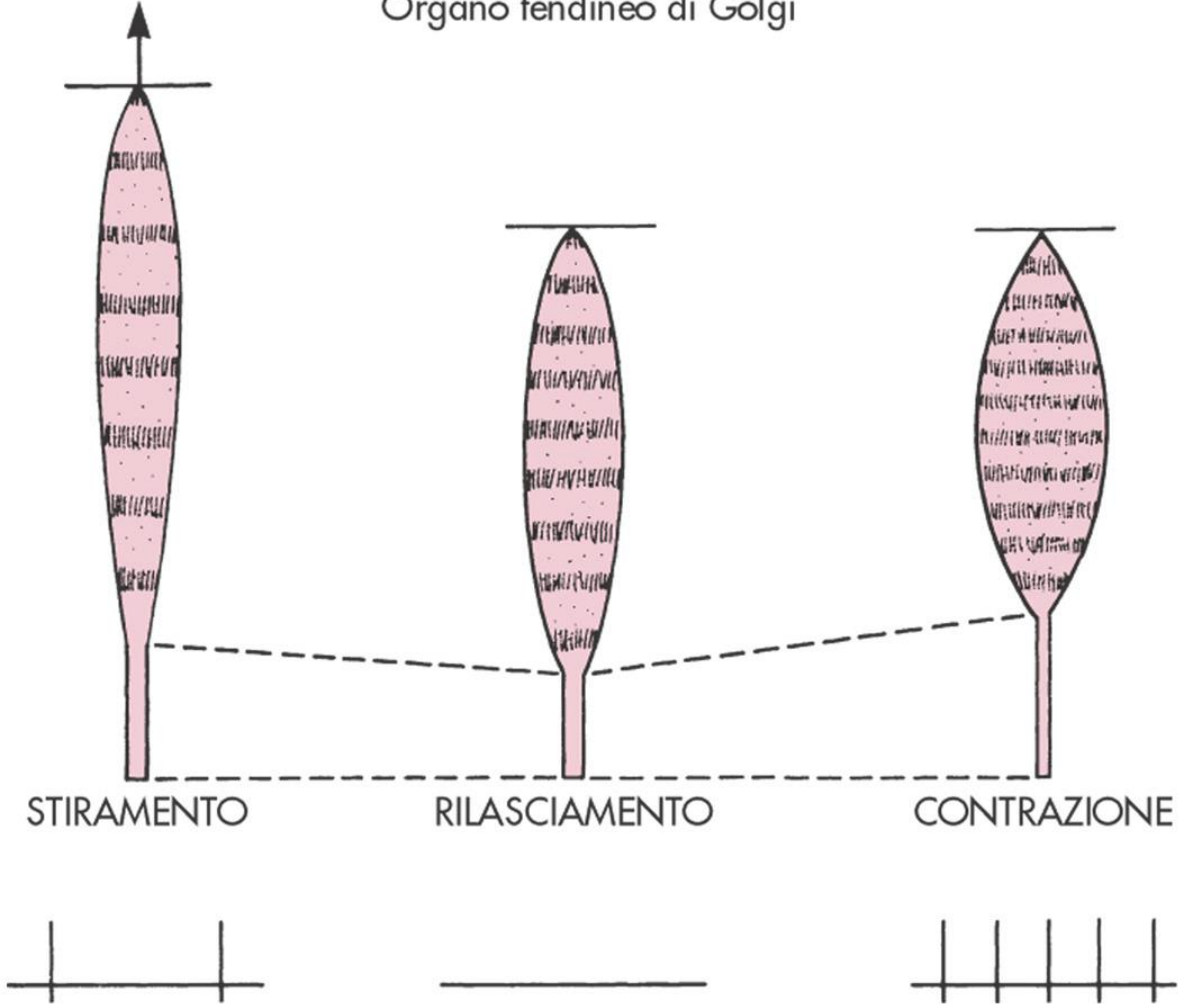


FIGURA 12.31 Organo tendineo del Golgi.

Organo tendineo di Golgi

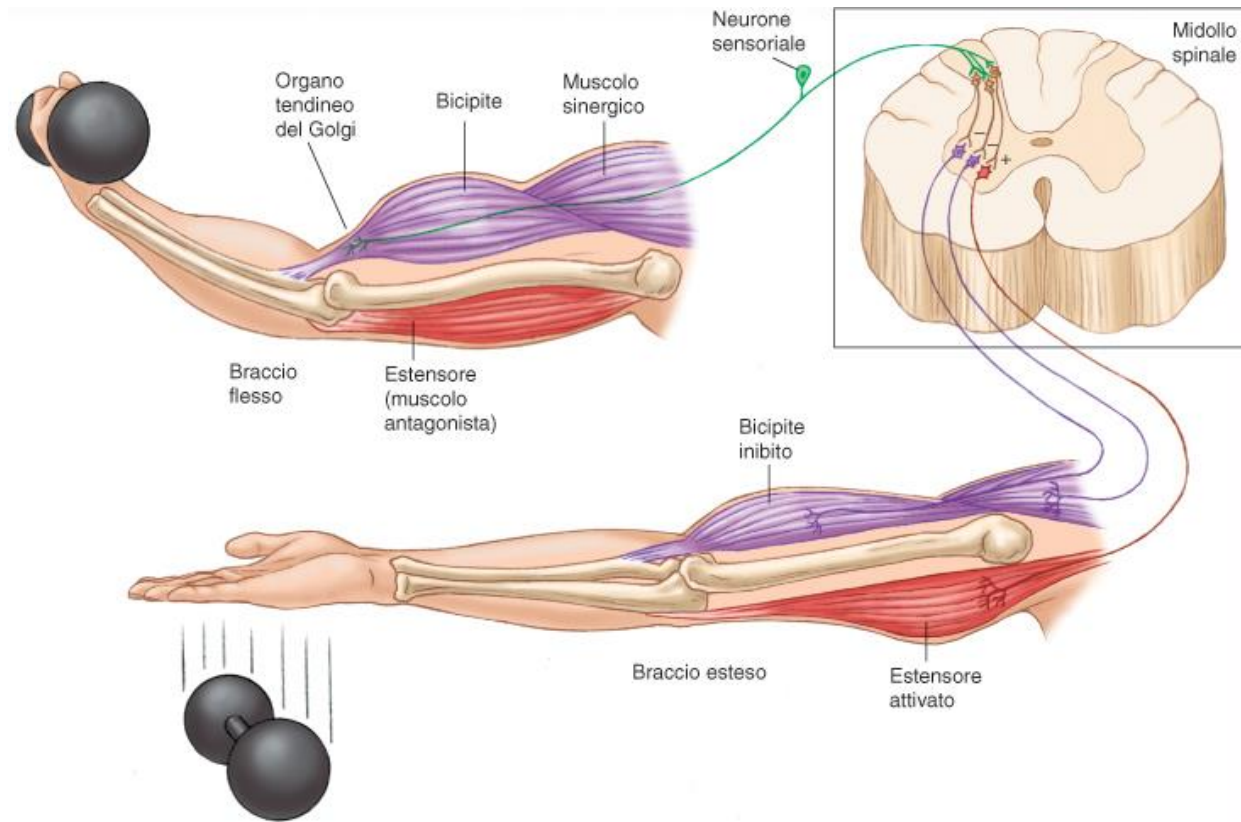


Riflesso da stiramento o miotatico

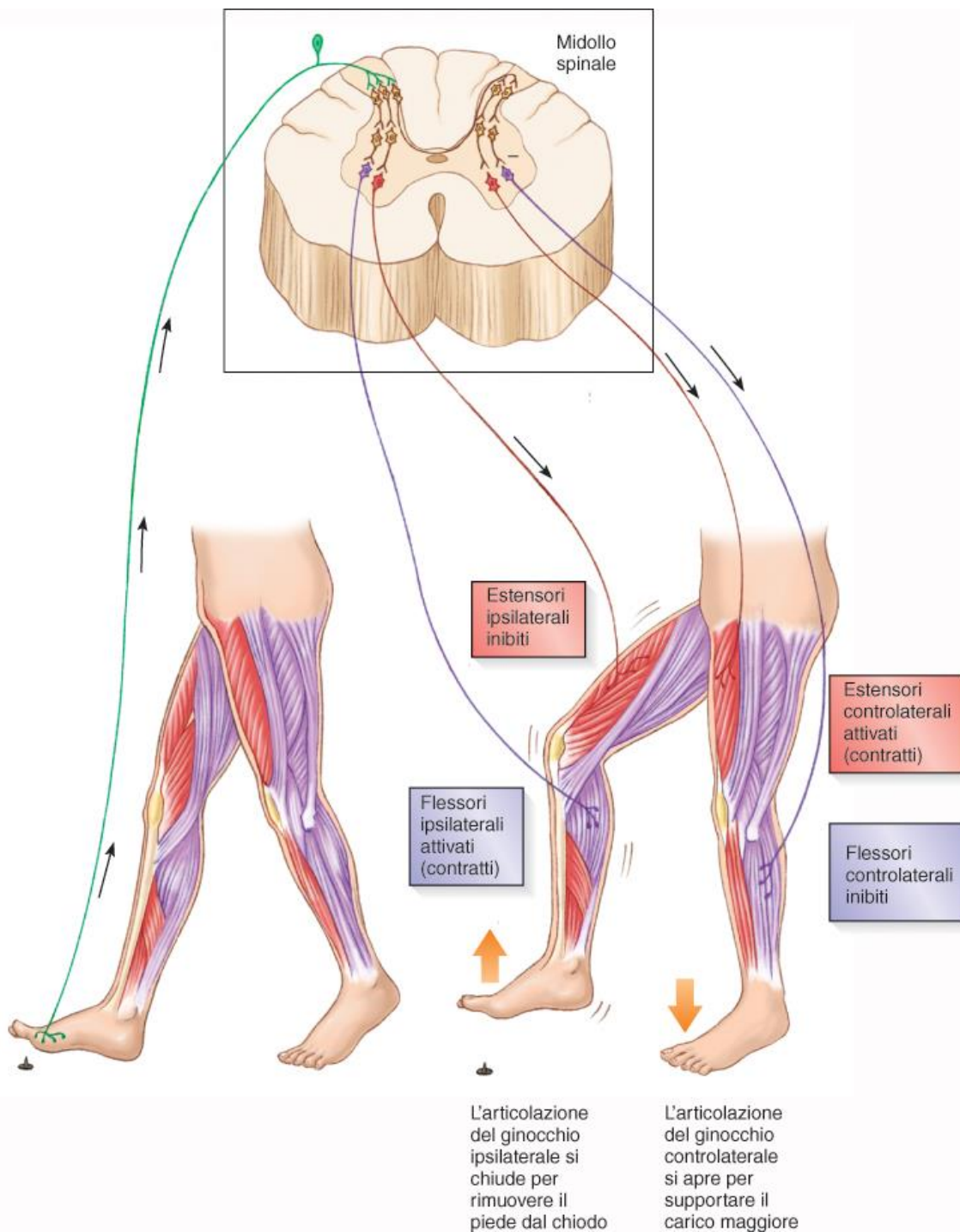


Il fuso neuromuscolare rileva uno stiramento unitario del muscolo che viene evocato dando un piccolo colpo sul ginocchio ed informa il midollo spinale che attiva il muscolo estensore ed inibisce quello flessore causando l'apertura dell'articolazione del ginocchio

Riflesso miotatico inverso

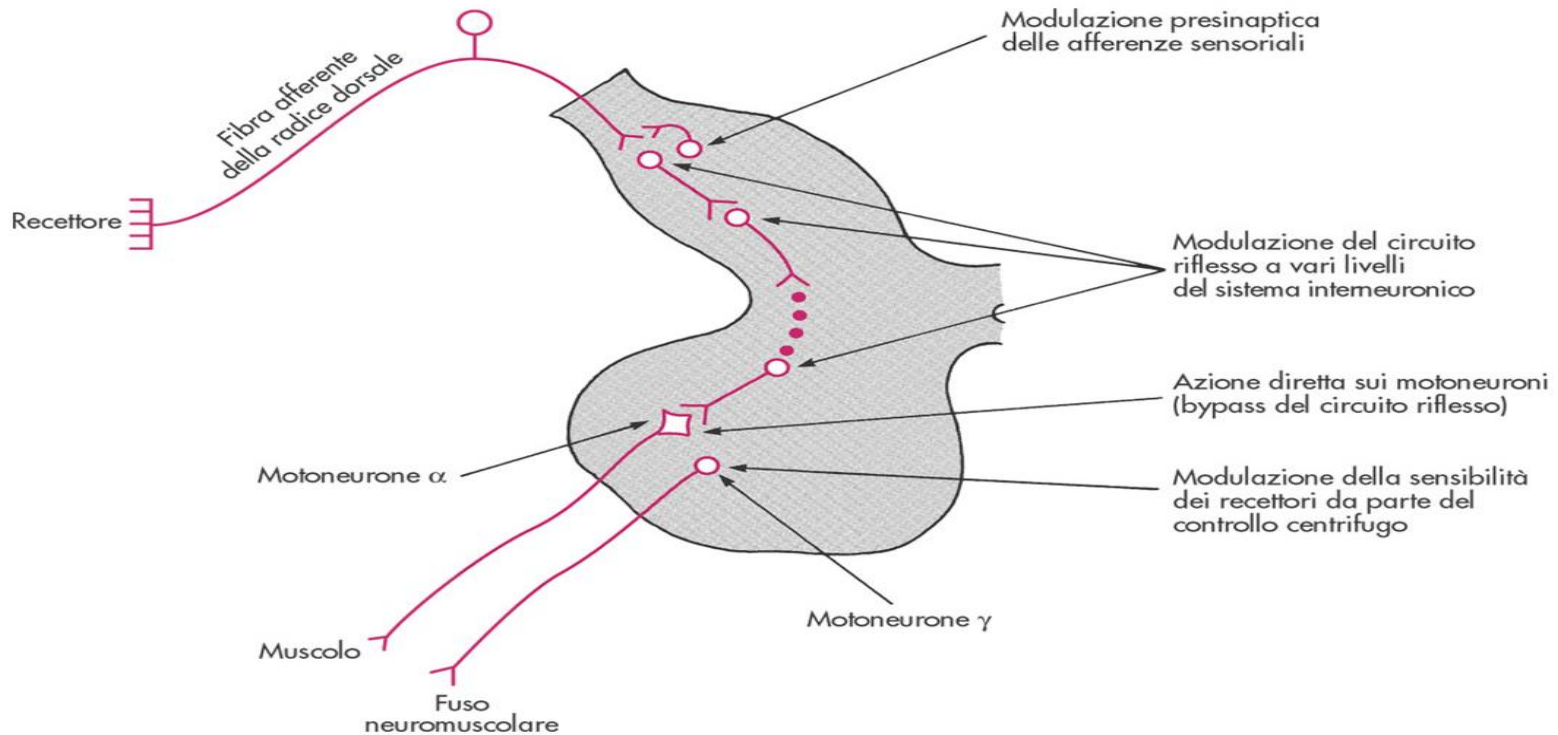


Il rilevamento di un carico eccessivo da parte dell'organo tendineo di golgi inizia il riflesso miotatico inverso che determina il rilasciamento del bicipite e la contrazione dell'estensore in modo tale che il braccio venga esteso lasciando cadere il peso che potrebbe causare un danno muscolare

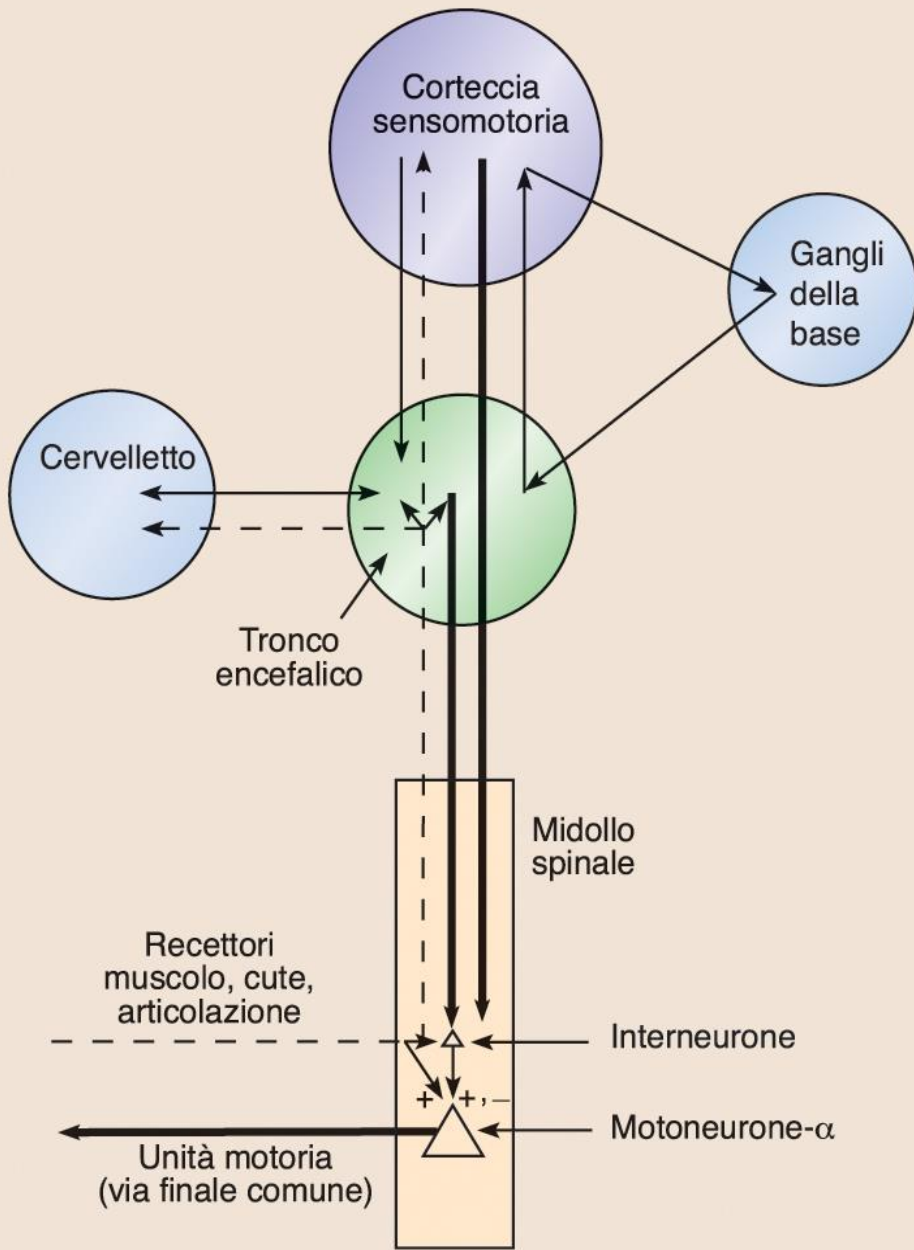


Il Riflesso flessorio da evitamento

in una gamba richiede la cooperazione della gamba opposta, ottenuta attraverso l'intervento di interneuroni nel midollo spinale



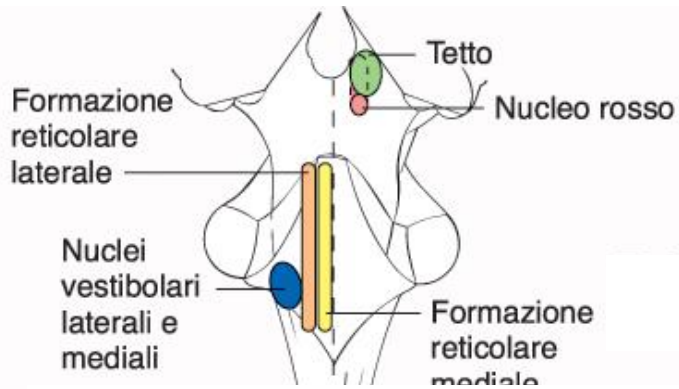
Rappresentazione schematica di un circuito spinale riflesso e dei livelli in cui le vie discendenti possono esercitare la loro influenza.



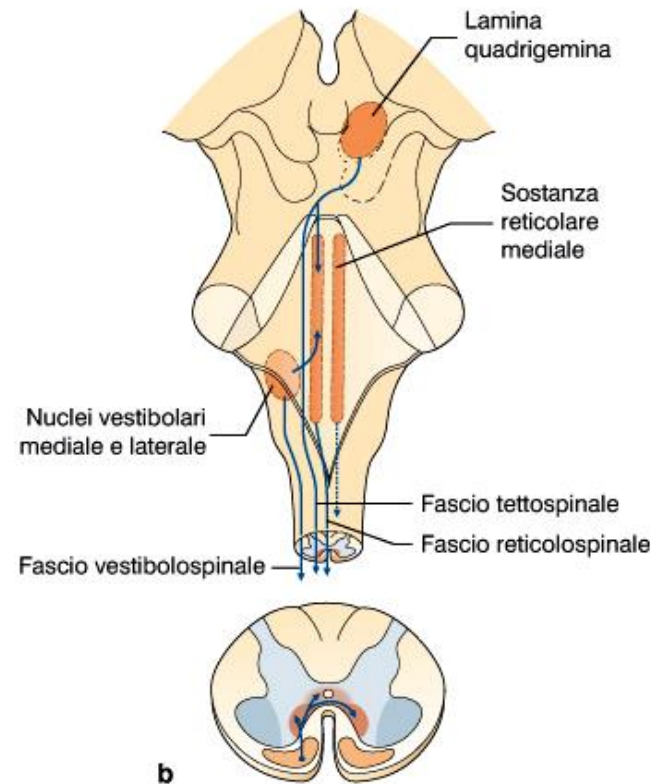
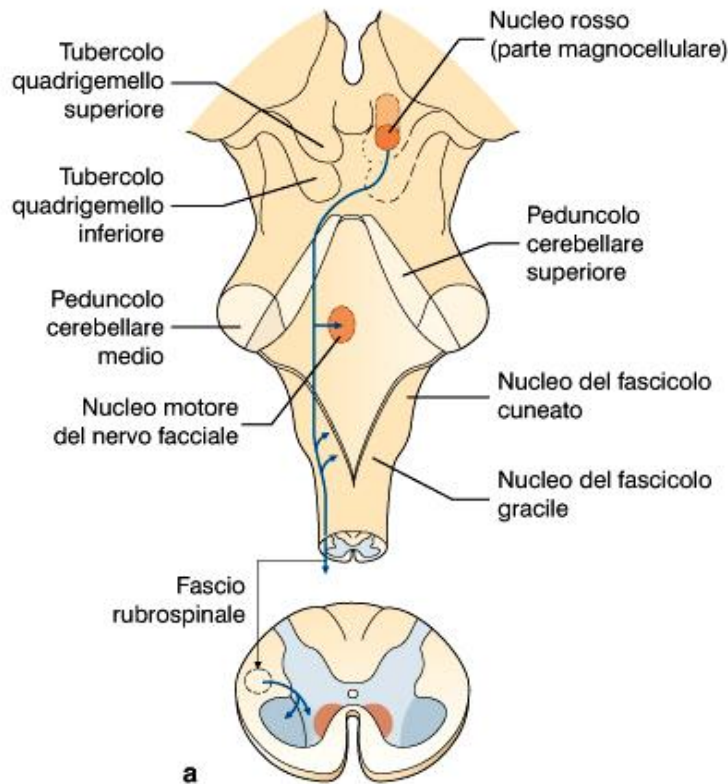
Il programma motorio viene portato avanti quando i neuroni della corteccia motoria primaria danno istruzioni a quelli del midollo spinale impiegando sistemi discendenti che originano dalla **corteccia**, dal **tronco encefalico**, dal **cervelletto** e dai **gangli della base**.

La forza, la velocità di contrazione e la lunghezza dei muscoli che si contraggono vengono tenute sotto controllo dai fusi neuromuscolari e dagli organi tendinei di Golgi.

Queste informazioni sensoriali vengono ritrasmesse alla corteccia motoria ed al cervelletto.



Il tronco dell'encefalo è un importante stazione intermedia del controllo sensorimotorio e per l'integrazione delle funzioni viscerale, controllo della postura ed equilibrio del corpo.

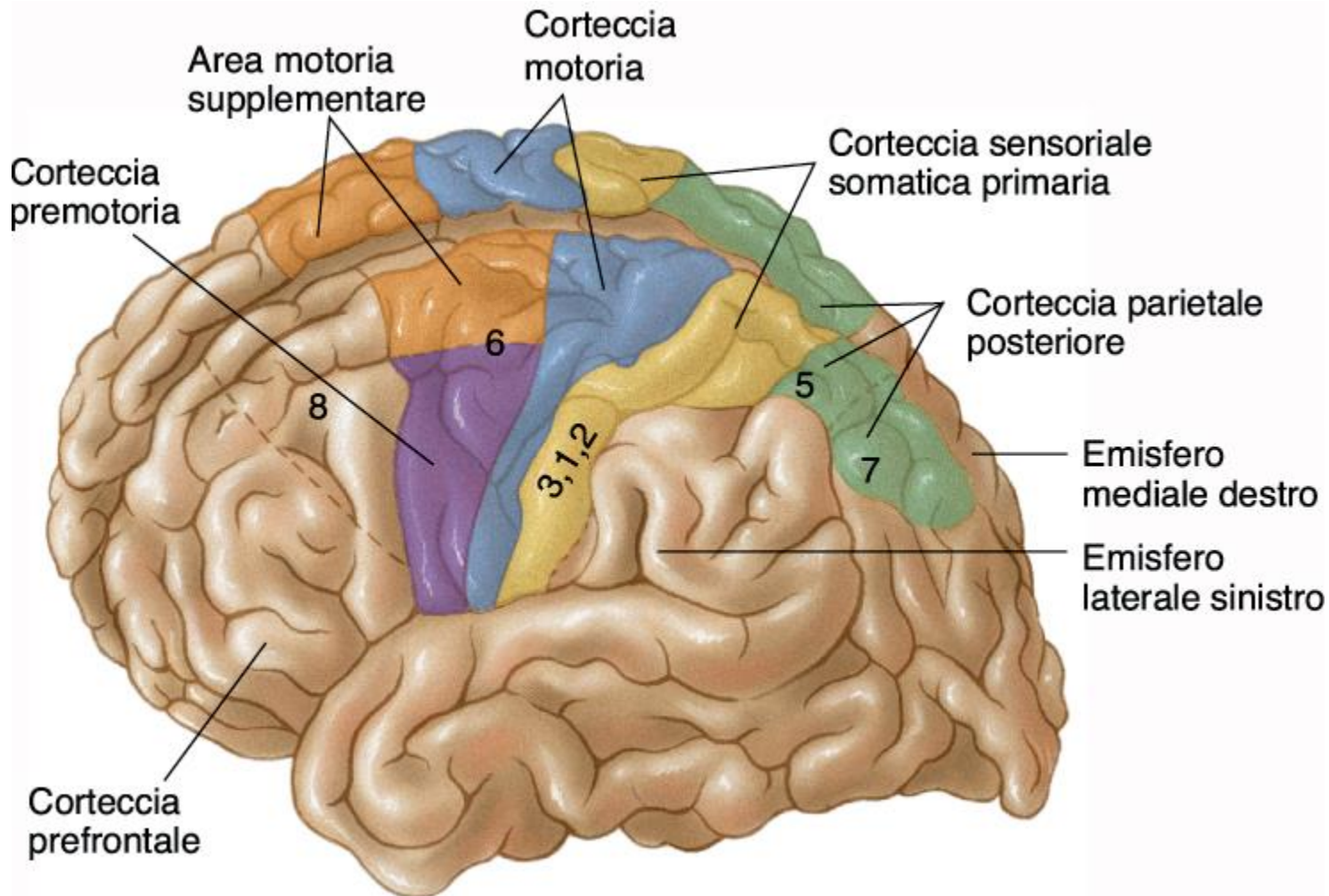


Via rubrospinale:
controllo della muscolatura assiale

Via ventromediale:
controllo dei muscoli flessori ed estensori

I movimenti volontari sono atti motori spesso complessi e variabili, generati da **processi cognitivi** e non da stimoli esterni.

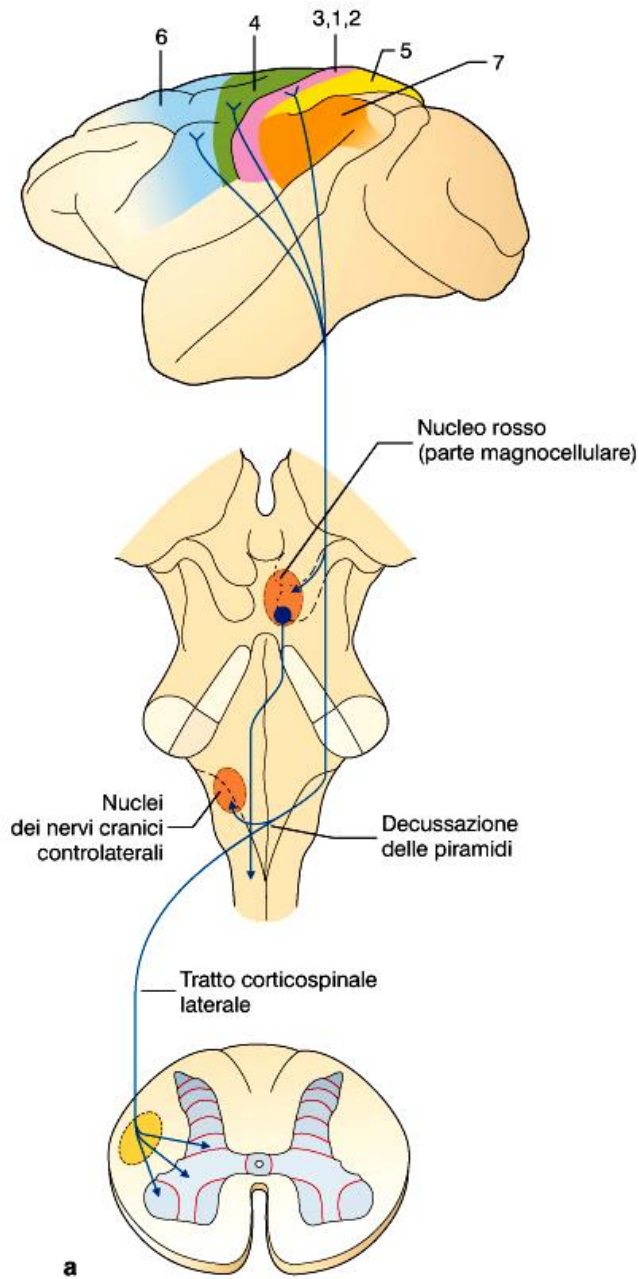
La corteccia motoria controlla i movimenti di raggiungimento e i movimenti volontari fini tramite vie discendenti al midollo spinale



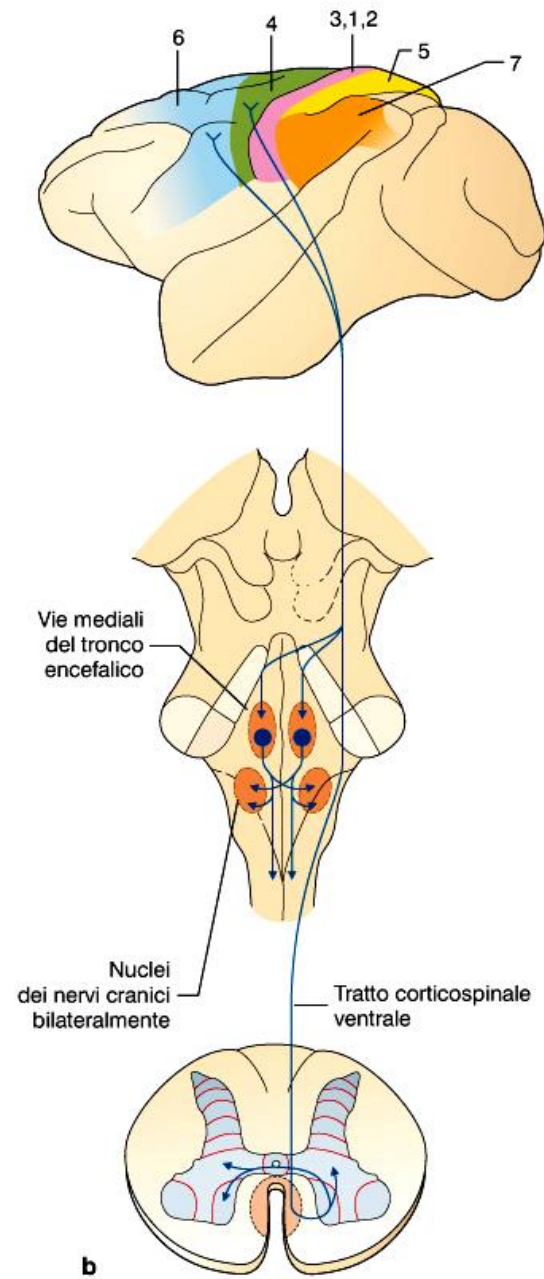
I sistemi discendenti possono essere suddivisi in:

sistema ventrale/mediale deputato al controllo della postura tramite regolazione della muscolatura assiale e prossimale e ha componenti bilaterali

sistema laterale che controlla funzioni come la manipolazione tramite regolazione controlaterale della muscolatura distale



Tratto corticospinale laterale

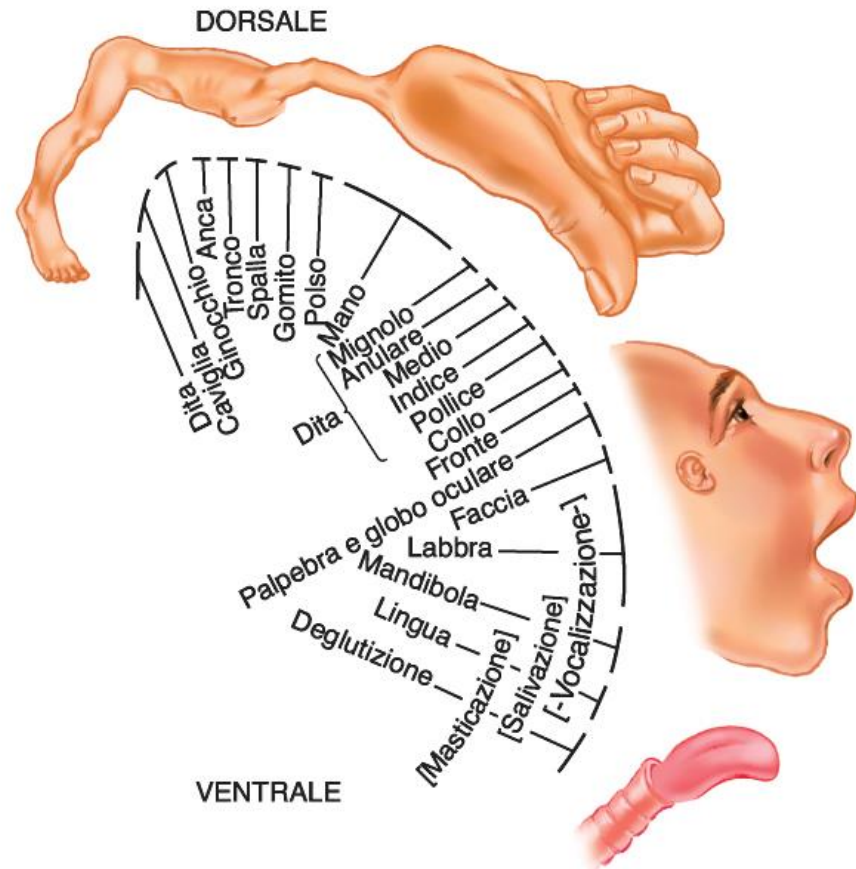


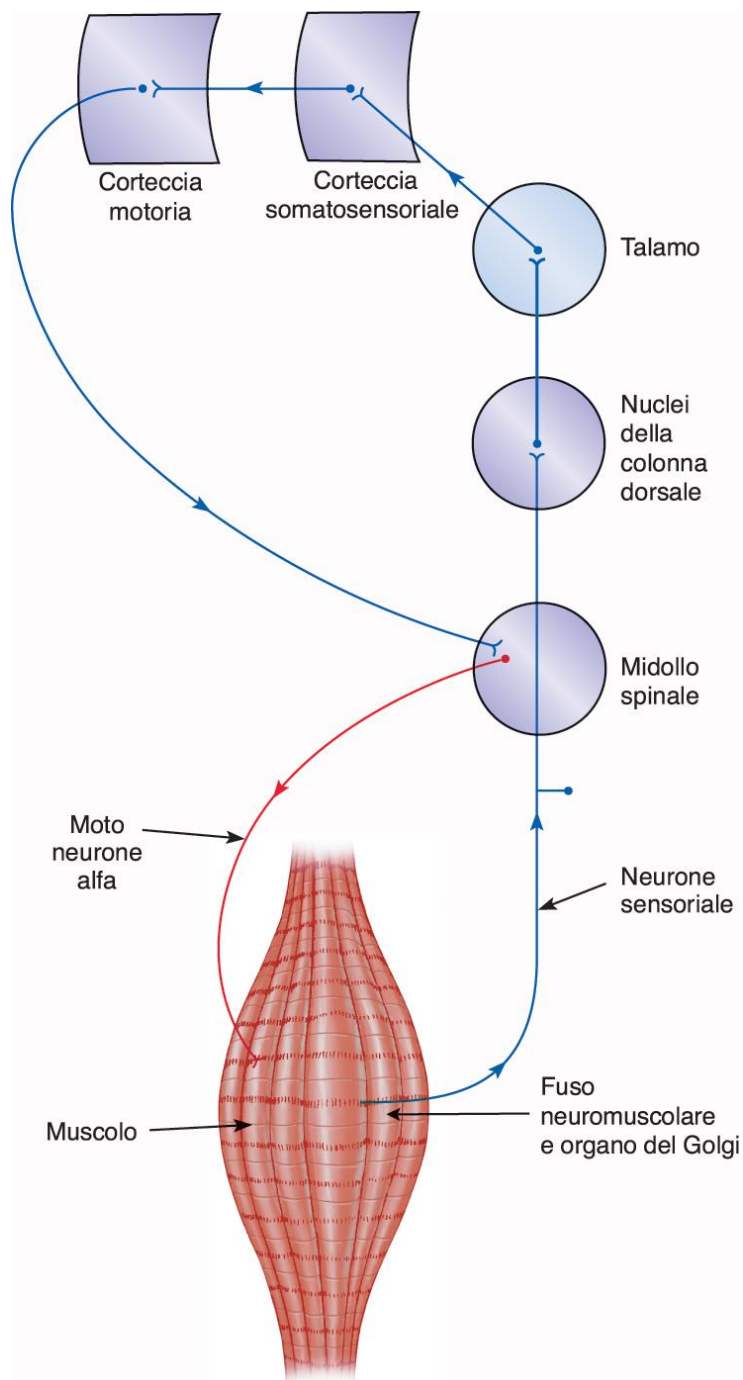
Tratto corticospinale ventrale

L'Homunculus motorio

Le cellule della corteccia motoria sono organizzate in maniera somatotopica simile a quella della corteccia sensoriale somatica.

La quantità di spazio corticale dedicato alle differenti parti del corpo è proporzionale al grado di controllo dei movimenti fini di ciascuna di esse





L'area motoria sviluppa un piano motorio (quali muscoli, durata di attivazione, sequenza) e lo attua tramite le vie discendenti verso il midollo spinale.

Il cervello valuta se i comandi motori sono stati eseguiti correttamente ed efficacemente. Questa funzione è attuata da un meccanismo a feedback

Il cervelletto

Confronta le informazioni sensoriali che riceve dalla periferia con le “copie” dei comandi motori inviategli dalle aree motorie della corteccia cerebrale.

Eventuali discrepanze vengono corrette da segnali efferenti cerebellari.

Il cervelletto regola la velocità, l'estensione, la forza e la direzione dei movimenti, contribuisce alla regolazione del tono muscolare, della postura e dei movimenti oculari e all'equilibrio.

Il cervelletto svolge un ruolo anche nei processi di apprendimento motorio.

Emisfero
(zona intermedia)

Emisfero
(zona laterale)

Verme

Movimento degli arti

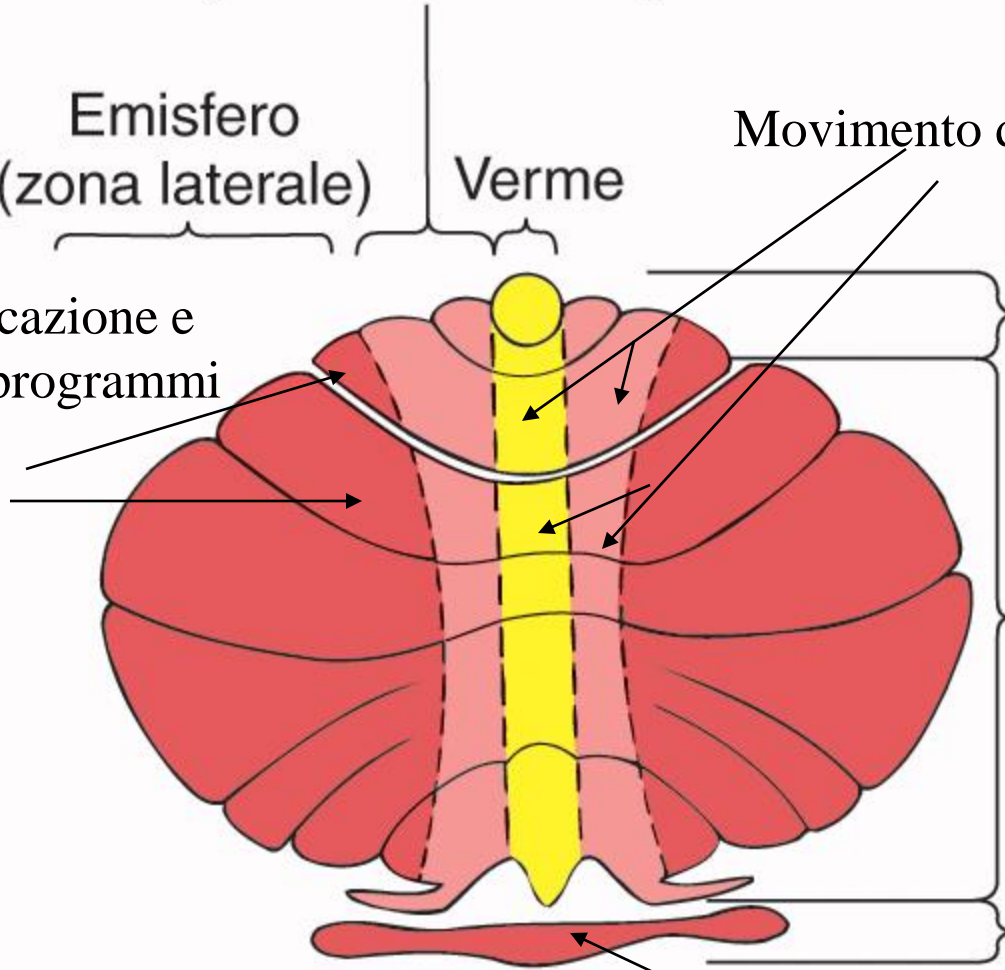
Pianificazione e
avvio programmi
motori

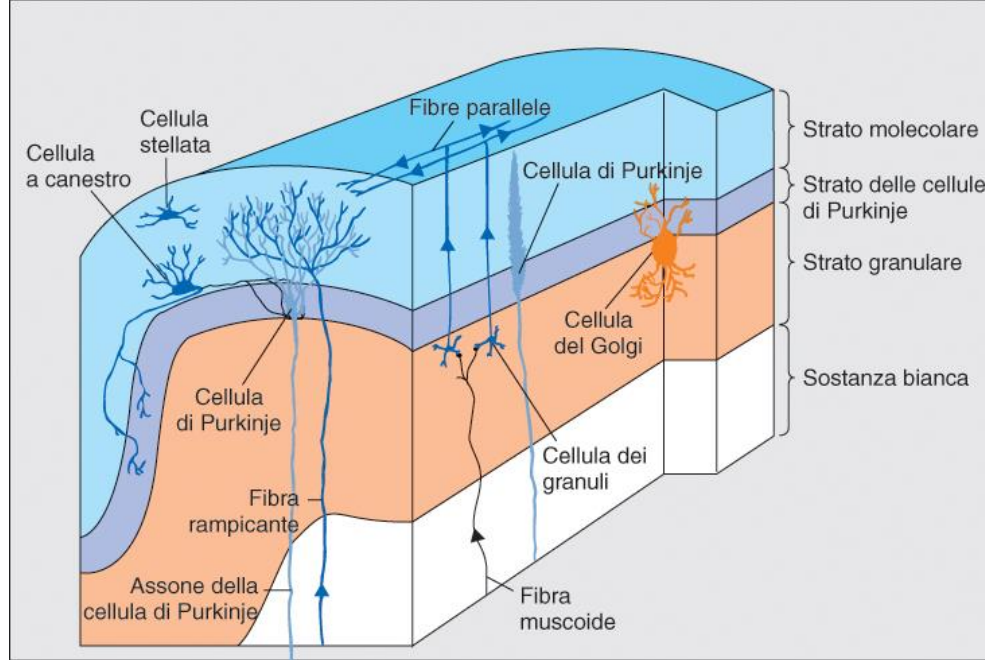
Lobo anteriore

Lobo
posteriore

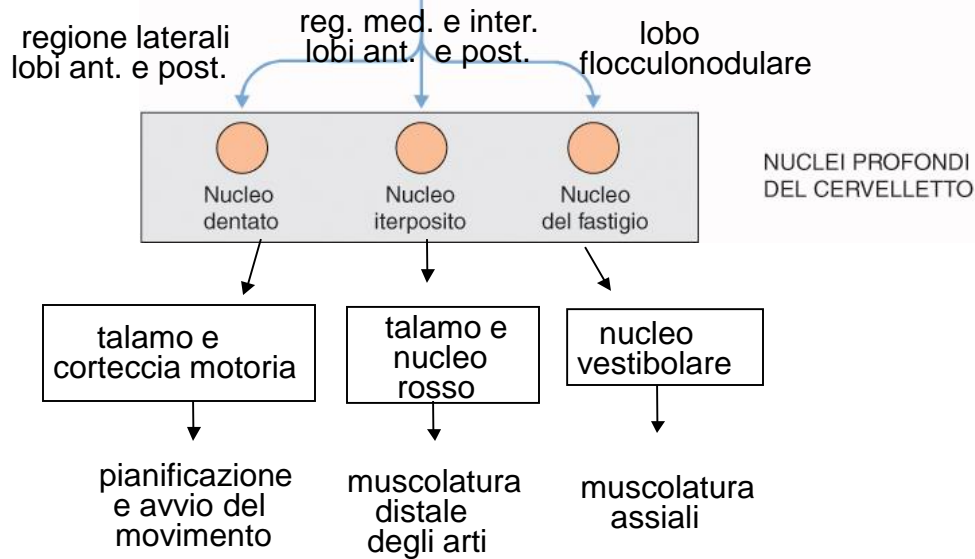
Lobo
flocculonodulare

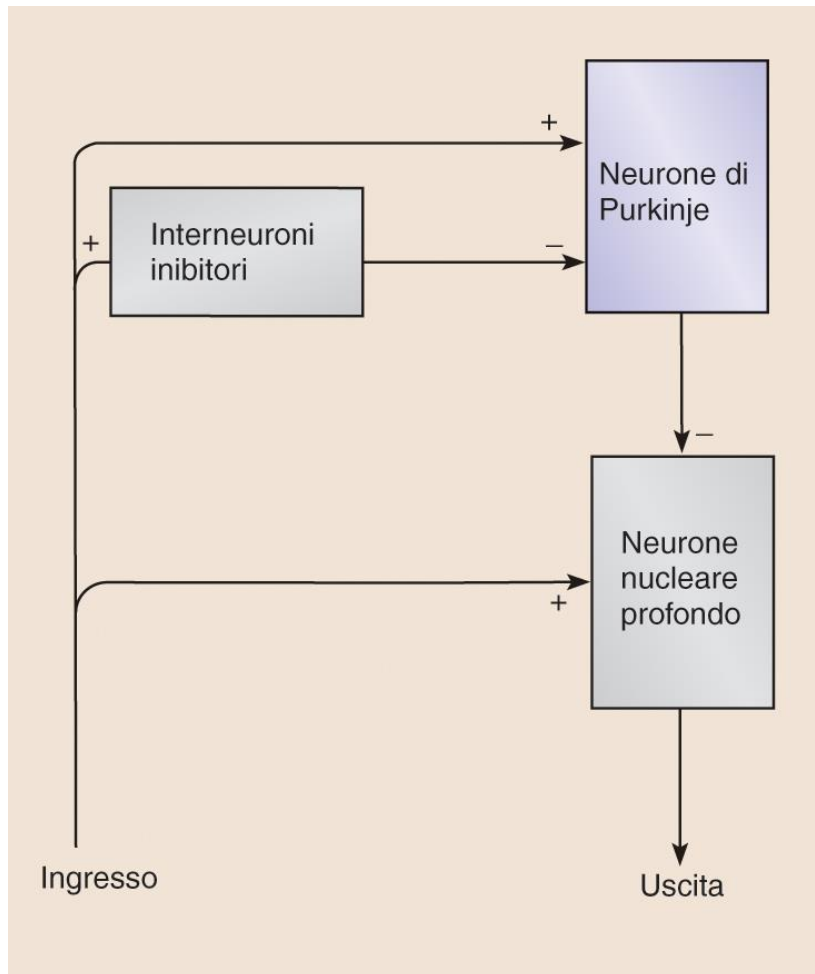
Mantenimento equilibrio e postura





GABA trasmettitore delle cellule di Purkinje determinando un effetto inibitorio sui nuclei cerebellari profondi





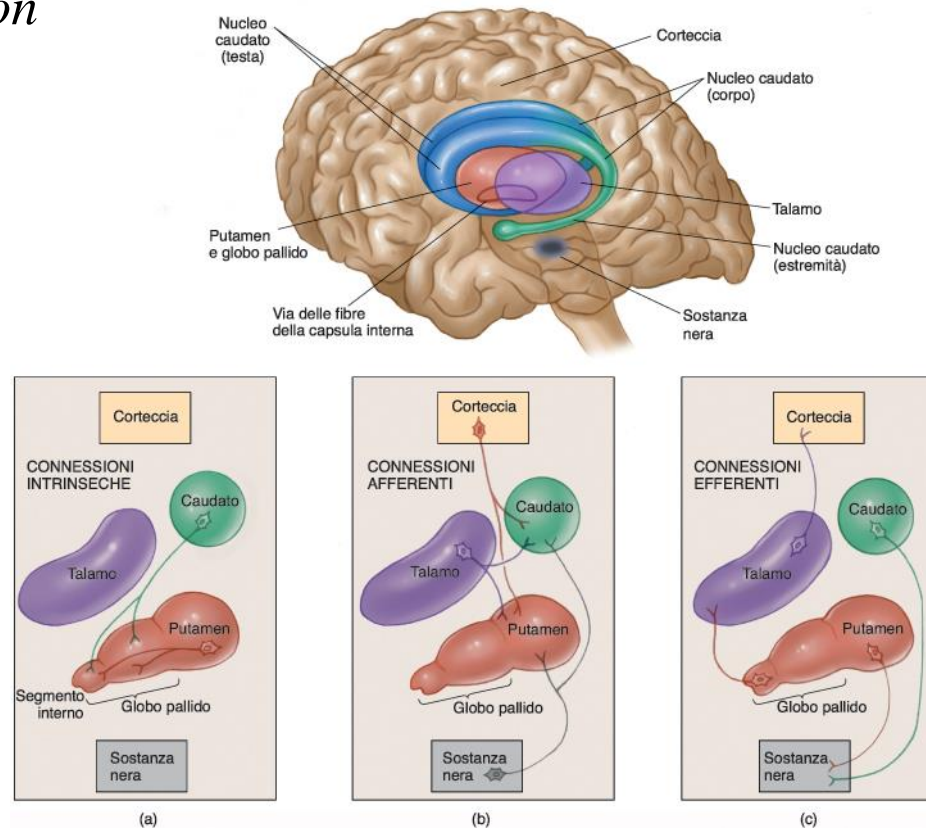
Le informazioni in ingresso al cervelletto dopo che queste sono state elaborate dal cervelletto vengono trasmesse per mezzo delle cellule di Purkinje ai nuclei cerebellari profondi.

I segnali in uscita dai nuclei cerebellari profondi vengono quindi modulati dall'azione inibitoria delle cellule di Purkinje nella comparazione tra il movimento pianificato e quello reale (dei propriocettori).

Il **caudato** e il **putamen** ricevono i segnali in ingresso ai gangli della base, mentre il **globo pallido** fornisce quelli in uscita. I gangli della base ricevono connessioni afferenti dalla neocorteccia, dal talamo e dalla sostanza nera.

I gangli della base possono modulare le componenti discendenti del sistema motorio.

Le fibre provenienti dalla sostanza nera hanno dopamina come neurotrasmettitore. La degenerazione di queste fibre dopaminergiche è la causa di quella malattia motoria chiamata *morbo di Parkinson*



Di seguito titolo, autore e editore delle fonti da cui sono state prese le immagini e i video mostrati durante le lezioni di fisiologia come supporto didattico:

Fisiologia, Stanfield-German, Edises

Fisiologia, Silverthorn, Ambrosiana

Fisiologia, Berne-Levy, Ambrosiana

Fisiologia generale e umana, Rhoades-Pflanzer, Piccin

Physiology Animations, versione 2.2.07 Argosy

Publishing, Inc., 2007-20017