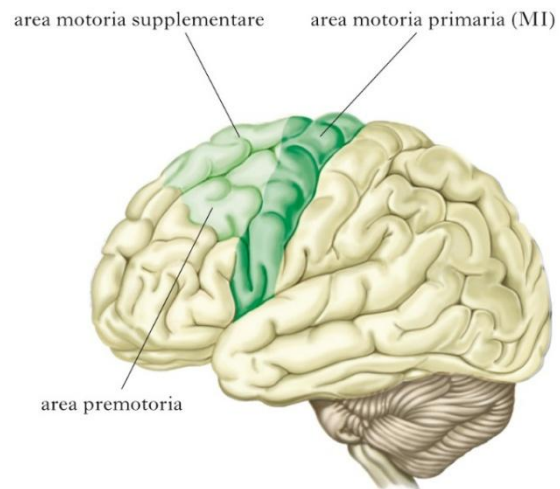
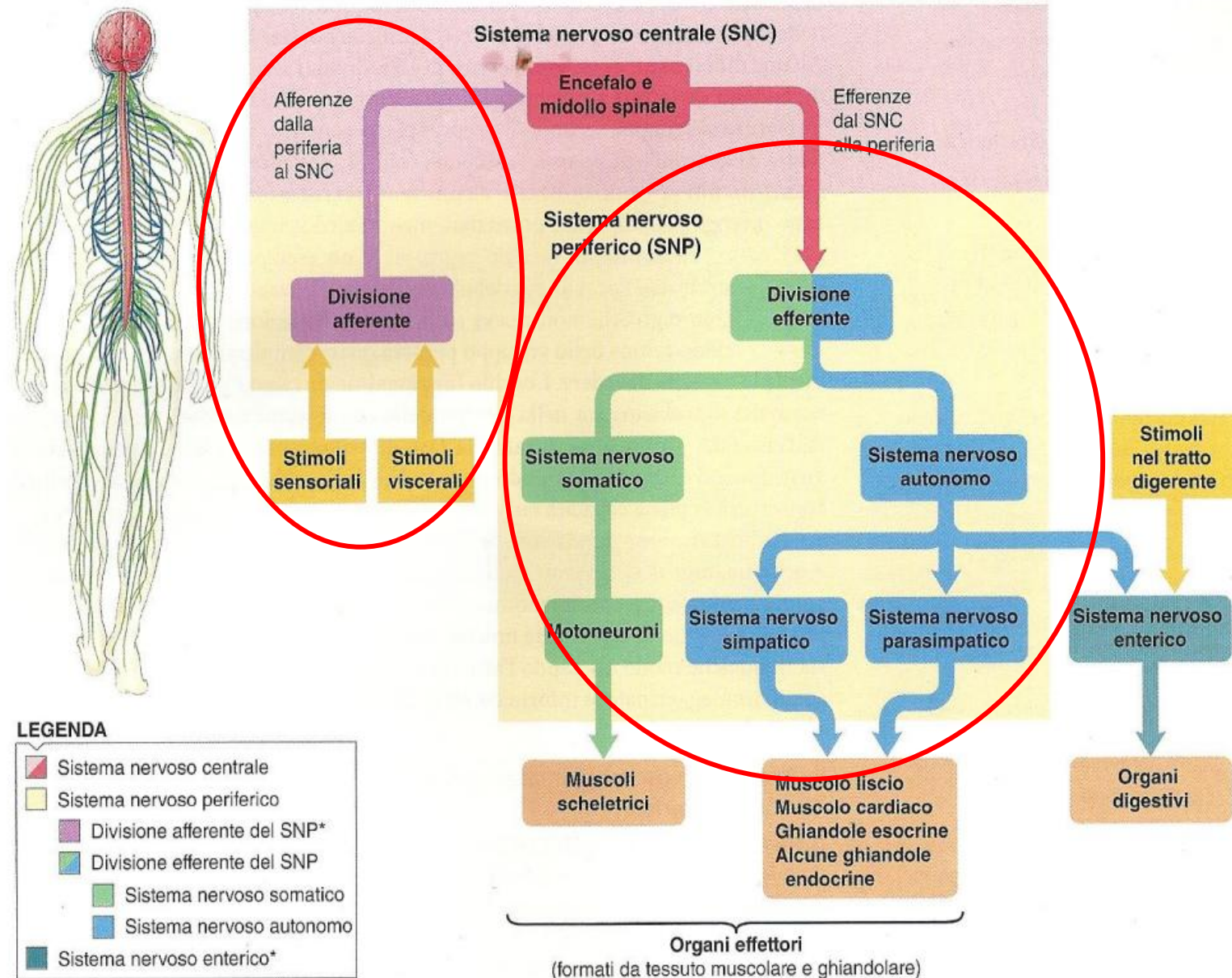


Riflessi e controllo del movimento corporeo



RIFLESSO: fenomeno che consiste in una risposta automatica, involontaria e fissa, con la quale l'organismo reagisce a un determinato stimolo.



- Il riflesso si realizza attraverso una serie di collegamenti nervosi tra la struttura recettrice dello stimolo e la struttura effettrice della risposta (muscolo o ghiandola).
- Questo circuito nervoso è detto ARCO RIFLESSO
- I riflessi più semplici hanno i loro centri nel midollo spinale, mentre quelli più complessi e specializzati coinvolgono anche centri nervosi superiori

CLASSIFICAZIONE DEI RIFLESSI

I riflessi nervosi possono essere classificati secondo vari criteri:

ESEMPI

Riflessi somatici

Riflessi autonomi

1. Divisione efferente che controlla l'effettore

- a. neuroni motori somatici, che controllano i muscoli scheletrici;
- b. neuroni autonomi, che controllano il muscolo liscio e cardiaco, le ghiandole e il tessuto adiposo.



Riflesso di retrazione



Variazione della frequenza cardiaca

Riflessi spinali

Riflessi cranici

2. Regione di integrazione all'interno del sistema nervoso centrale

- a. riflessi spinali, che non richiedono segnali dai centri superiori;
- b. riflessi cranici, che sono integrati a livello encefalico.



Riflesso di retrazione



Riflesso di deglutizione

Riflessi innati

Riflessi acquisiti

3. Periodo in cui si sviluppa il riflesso

- a. riflessi innati, geneticamente determinati;
- b. riflessi appresi (condizionati), acquisiti con l'esperienza.



Riflesso patellare



Esperimenti di Pavlov

Riflessi monosinaptici

Riflessi polisinaptici

4. Numero di neuroni dell'arco riflesso

- a. riflessi monosinaptici, che hanno solo due neuroni: uno afferente (sensoriale) e uno efferente. Solo i riflessi miotatici sono monosinaptici;
- b. riflessi polisinaptici, che presentano uno o più interneuroni tra il neurone afferente e quello efferente. Tutti i riflessi autonomi sono polisinaptici poiché possiedono almeno tre neuroni, uno afferente e due efferenti.

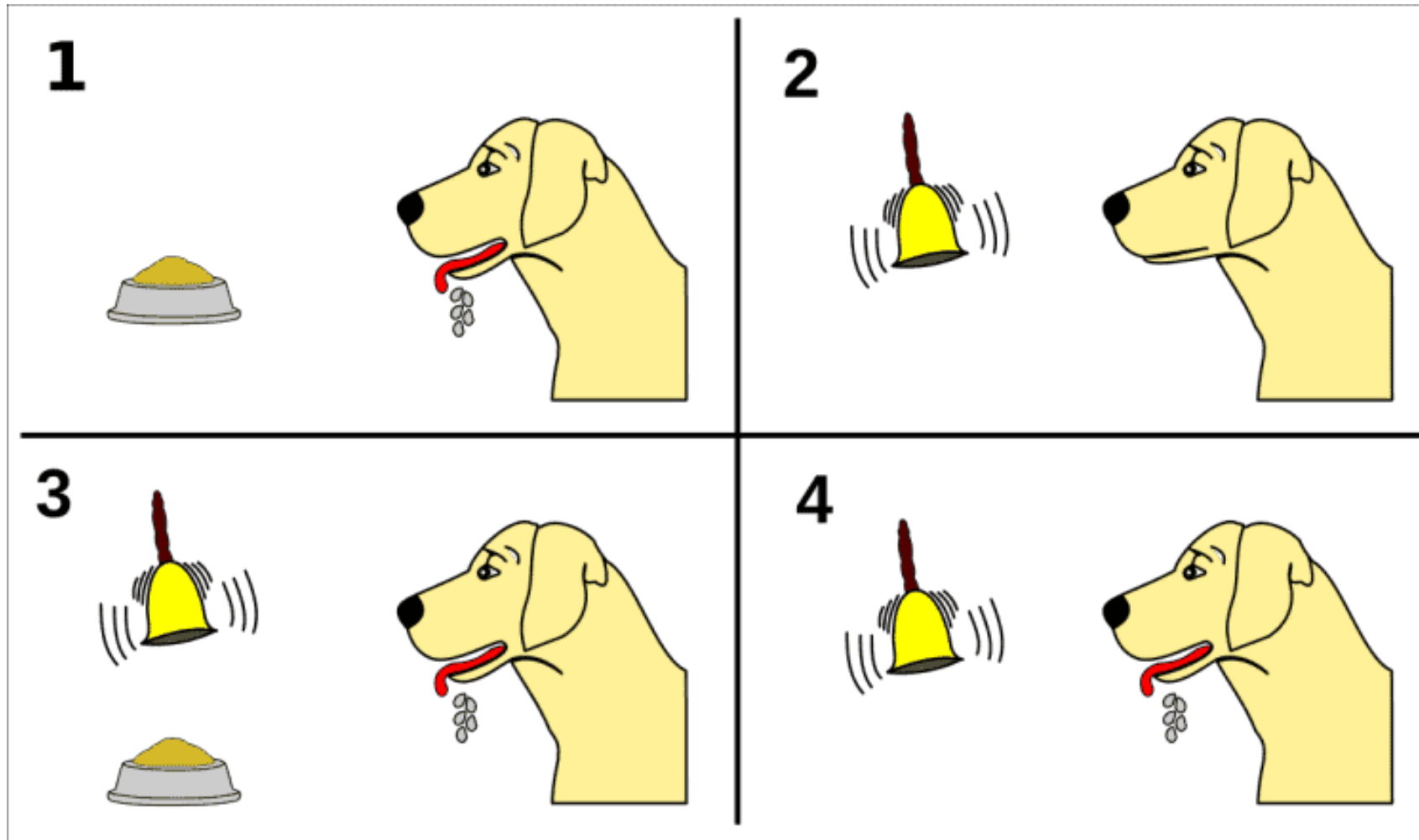


Riflesso patellare



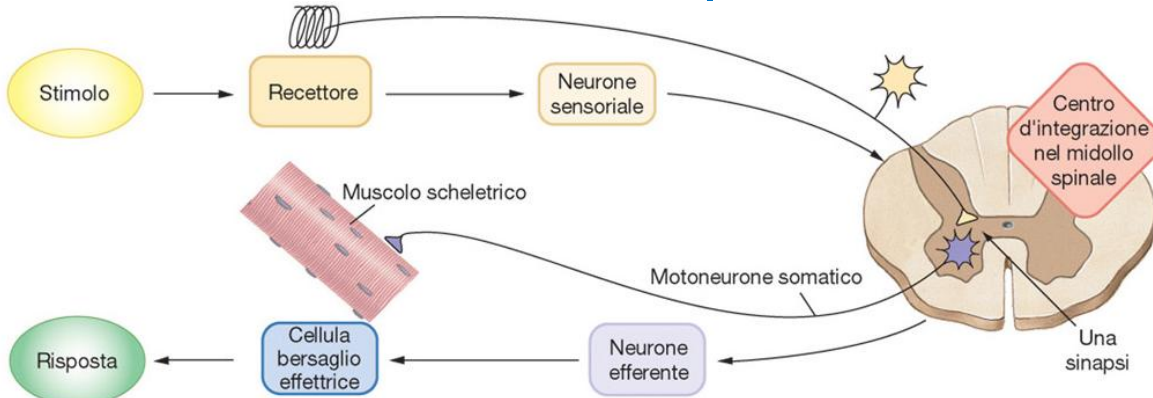
Controllo della temperatura corporea

I riflessi condizionati (scoperti dal fisiologo russo Ivan Pavlov) sono risposte apprese in cui uno stimolo inizialmente neutro, a seguito di ripetute associazioni con uno stimolo incondizionato, acquisisce la capacità di evocare una risposta simile a quella originariamente prodotta dallo stimolo incondizionato stesso.



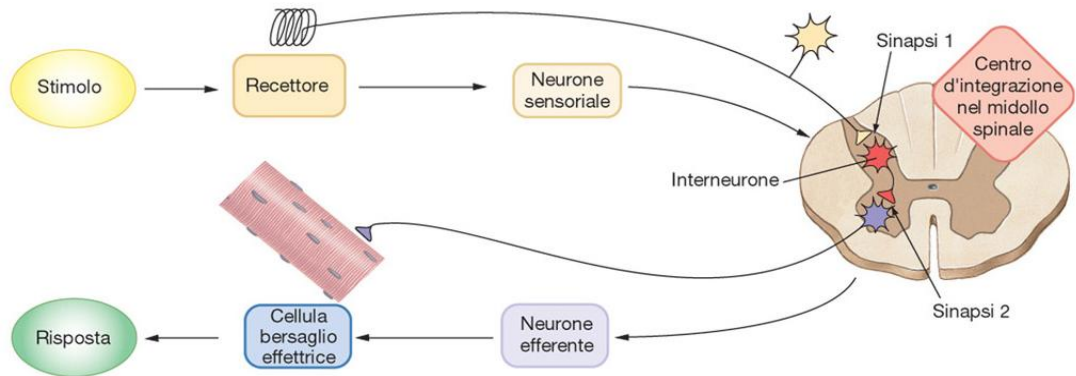
CLASSIFICAZIONE DEI RIFLESSI in base alla complessita' delle rete neurale

Riflessi motori somatici



MONOSINAPTICI

Una sinapsi tra neurone sensoriale e motoneurone

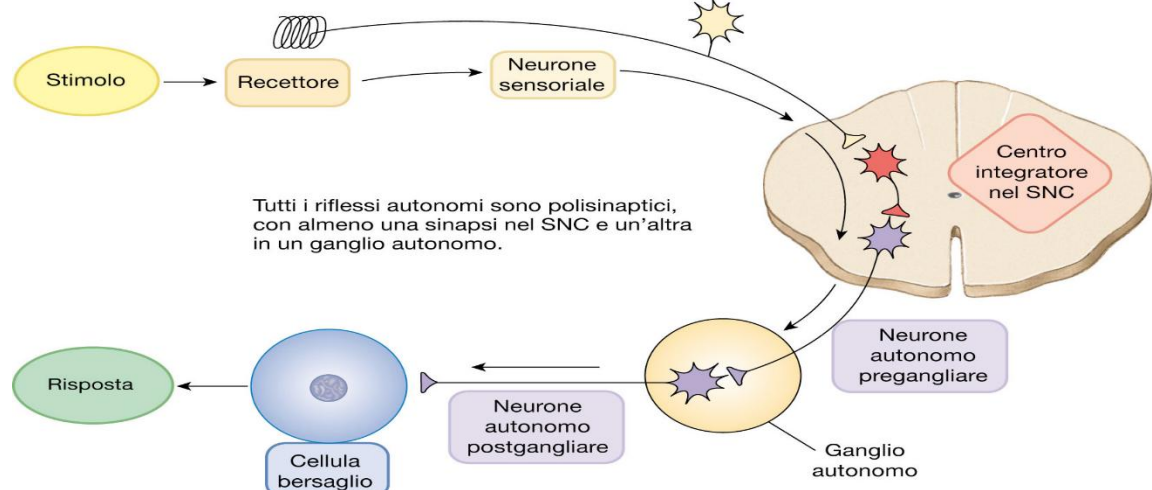


POLISINAPTICI

Due o piu' sinapsi (anche centinaia)

Riflessi autonomici

Tutti i riflessi autonomici sono polisinpatici, con almeno una sinapsi nel SNC e l'altra in un ganglio autonomico



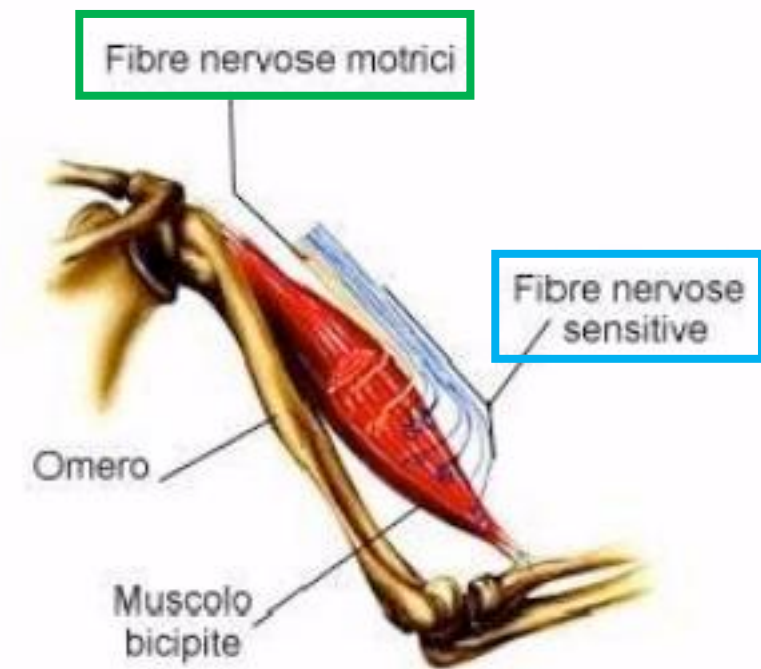
Tutti i riflessi autonomici sono polisinpatici, con almeno una sinapsi nel SNC e un'altra in un ganglio autonomico.

RIFLESSI SOMATICI MOTORI

1. I **recettori PROPRIOCETTIVI** mandano continuamente informazioni al SNC riguardo la variazione di posizione delle articolazioni e lo stiramento/tensione muscolare

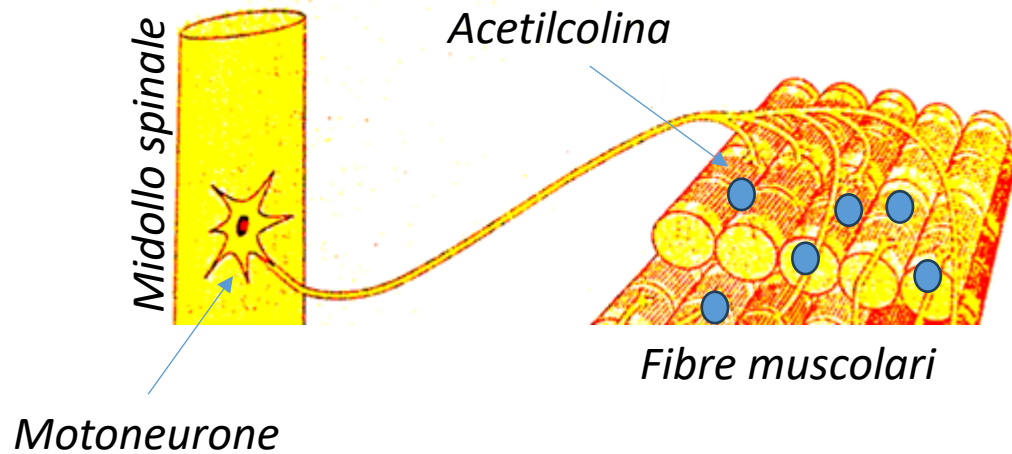
- ✓ Fusi neuromuscolari
- ✓ Organi tendinei del Golgi
- ✓ Meccanocettori articolari (nelle capsule e legamenti delle articolazioni)

2. Il SNC integra il segnale in ingresso per elaborare una risposta adeguata allo stimolo = indurre la contrazione o il rilassamento di un muscolo scheletrico.



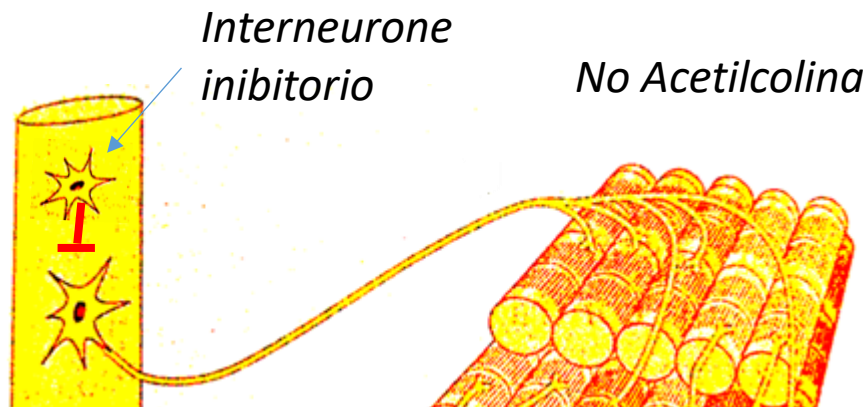
- I **motoneuroni somatici ALFA** (=cellule che innervano muscoli scheletrici) sono sempre neuroni **ECCITATORI**, le cellule bersaglio sono fibre contrattili dei muscoli scheletrici, detti anche **fibre extrafusali**

CONTRAZIONE MUSCOLARE



Quando il motoneurone spara potenziali d'azione, rilascia acetilcolina alla giunzione neuromuscolare. L'effetto è eccitatorio, di induzione della contrazione muscolare

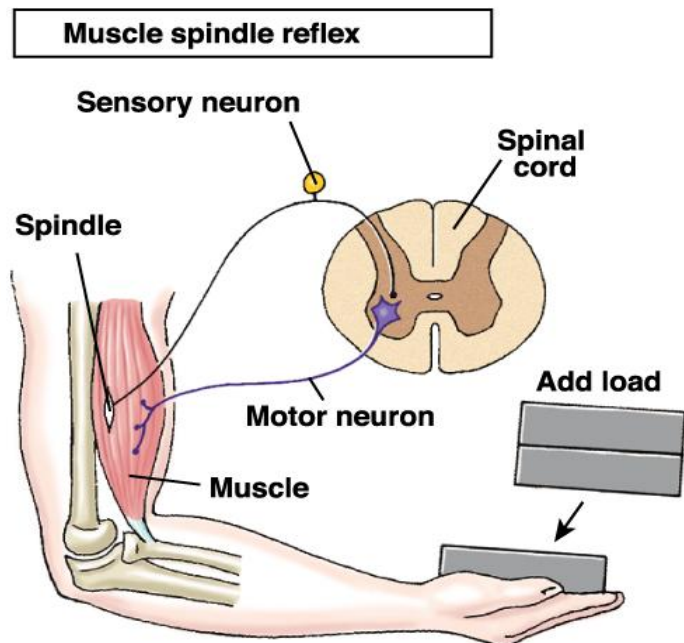
RILASSAMENTO MUSCOLARE



Il rilassamento muscolare si ottiene inibendo l'attività dei motoneuroni (no rilascio acetilcolina). Questo si ottiene **attraverso l'attivazione di interneuroni inibitori**

RIFLESSO MIOTATICO o DA STIRAMENTO: è un meccanismo di protezione che evita il danno muscolare da stiramento, tramite la contrazione del muscolo stesso

1

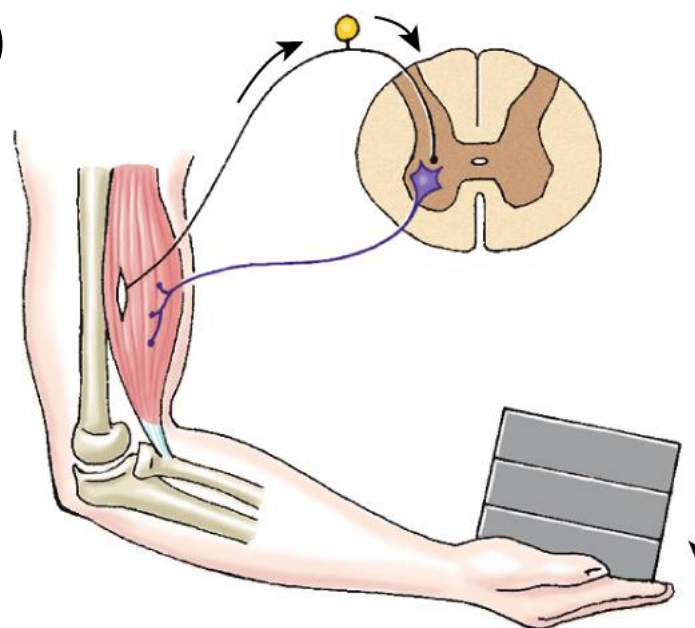


viene aggiunto un carico all'arto

Questo riflesso è attivato dall'informazione propriocettiva che parte dai **FUSI NEUROMUSCOLARI**

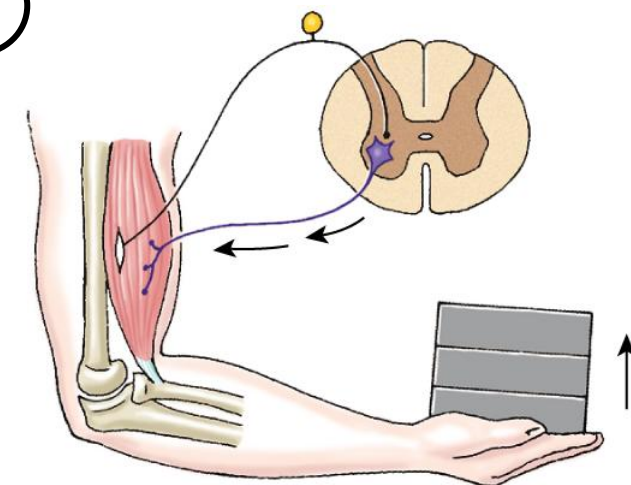
un esempio del riflesso da stiramento

2



l'arto cede e sia il muscolo che il fuso si stirano

3



la contrazione riflessa avviata dal fuso ripristina la posizione dell'arto

(a) I fusi neuromuscolari si trovano sparsi tra le fibre extrafusali del muscolo.

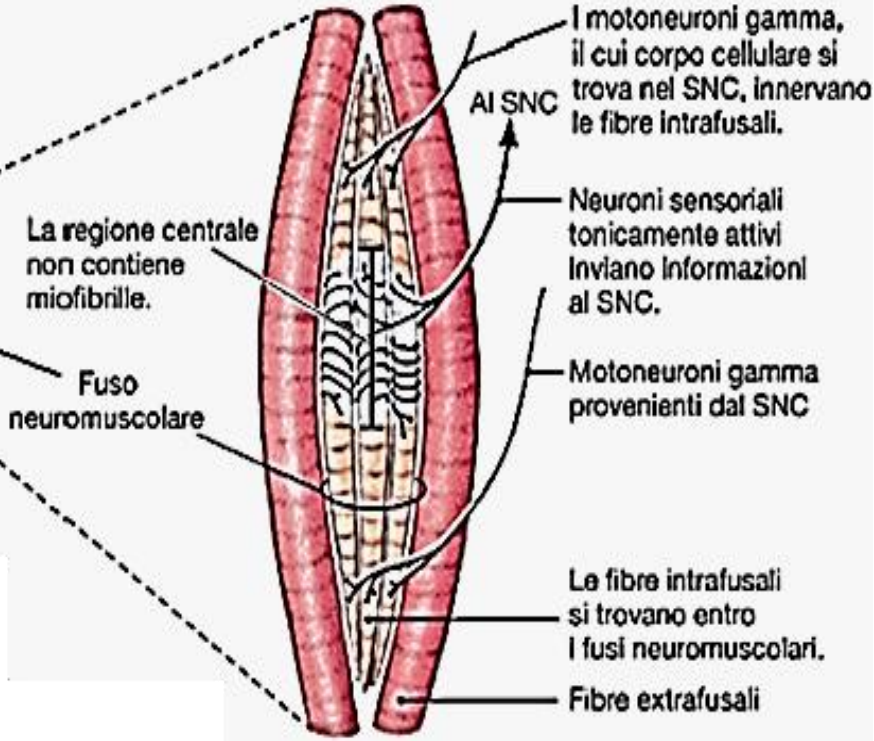
Le normali fibre muscolari contrattili vengono dette anche fibre extrafusali.



Tendine

Gli organi tendinei del Golgi sono posti al confine fra muscolo e tendine.

(b) I fusi neuromuscolari inviano al SNC informazioni sullo stiramento del muscolo.



I motoneuroni gamma, il cui corpo cellulare si trova nel SNC, innervano le fibre intrafusali.

AI SNC

Neuroni sensoriali tonicamente attivi inviano informazioni al SNC.

Motoneuroni gamma provenienti dal SNC

Le fibre intrafusali si trovano entro i fusi neuromuscolari.

Fibre extrafusali

La regione centrale non contiene miofibrille.

Fuso neuromuscolare

FUSI NEUROMUSCOLARI sono **proprioettori**: piccole strutture allungate che si trovano sparse tra le fibre extrafusali del muscolo e vengono **attivate dallo stiramento (=MECCANOCETTORI)**

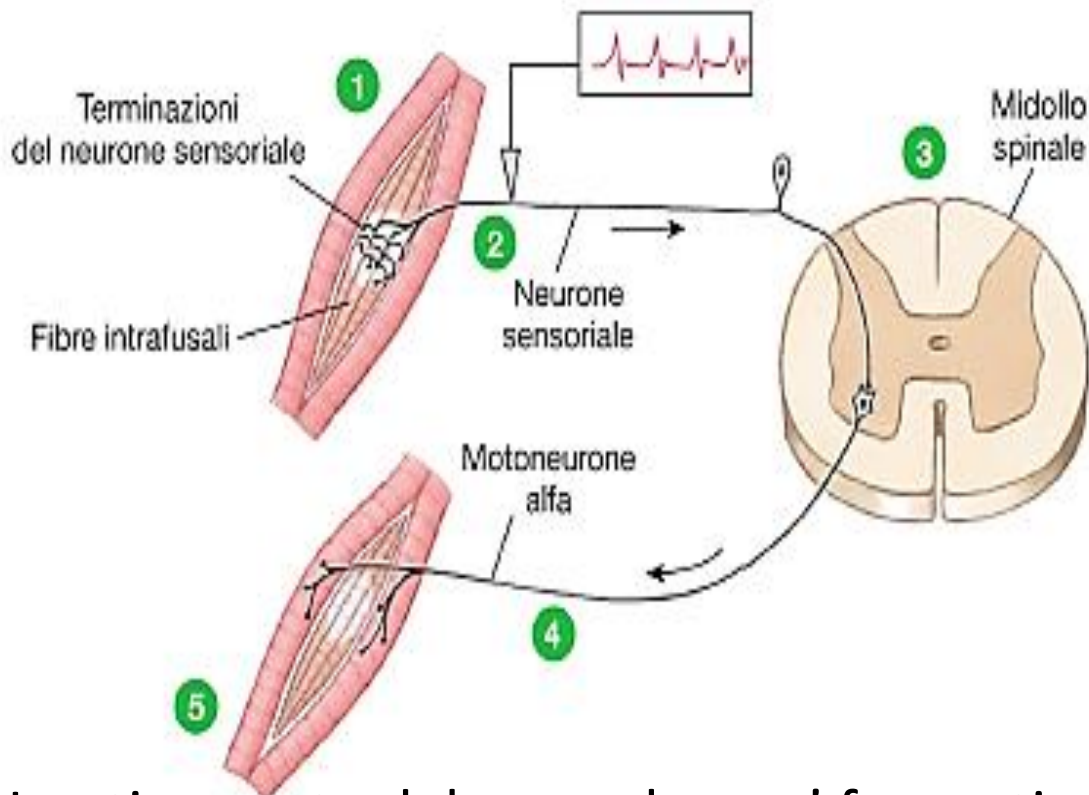
- Un fuso e' costituito da:

1) Una capsula di tessuto connettivo

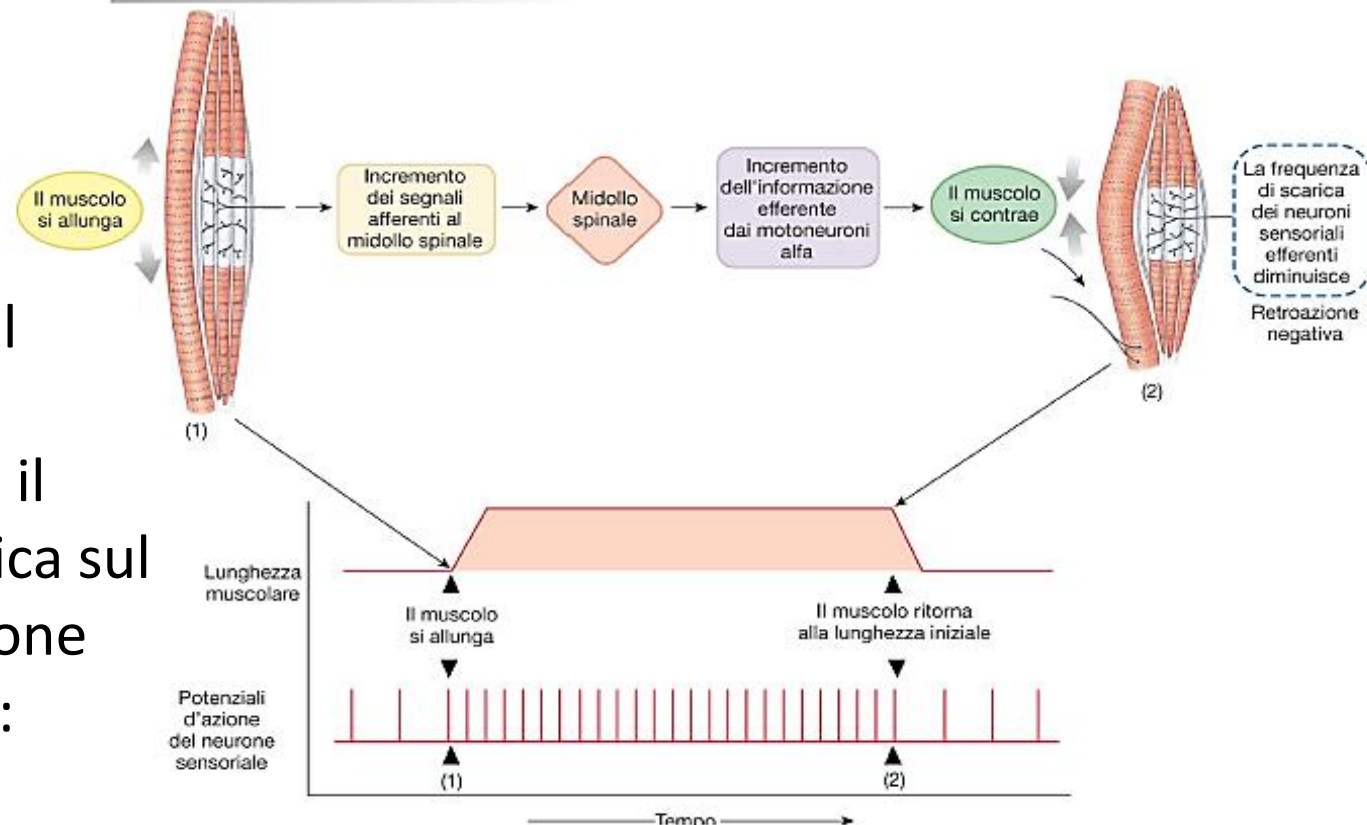
2) **Fibre intrafusali** che hanno la componente contrattile solo nell'estremita' del fuso. Questa e' innervata dai **MOTONEURONI GAMMA**.

3) La porzione centrale non contrattile del fuso e' avvolta da terminazioni sensoriale attivate dallo stiramento che formano sinapsi direttamente con il motoneurone alfa che innerva lo stesso muscolo

RIFLESSI MOTORI SOMATICI: riflesso da stiramento



- 1 Le fibre extrafusali sono alla lunghezza di riposo.
- 2 Il neurone sensoriale è tonicamente attivo.
- 3 Il midollo spinale agisce da centro integratore.
- 4 I motoneuroni alfa diretti alle fibre extrafusali ricevono tonicamente informazioni dai fusi neuromuscolari.
- 5 Le fibre extrafusali mantengono un certo livello di tensione anche a riposo.



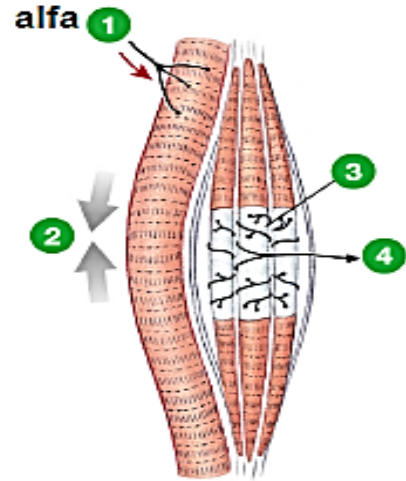
Lo stiramento del muscolo puo' far partire il riflesso miotatico.

L'ulteriore allungamento del muscolo attiva il recettore che aumenta la frequenza di scarica sul motoneurone alfa, inducendo una contrazione che evita il danno muscolare da stiramento:

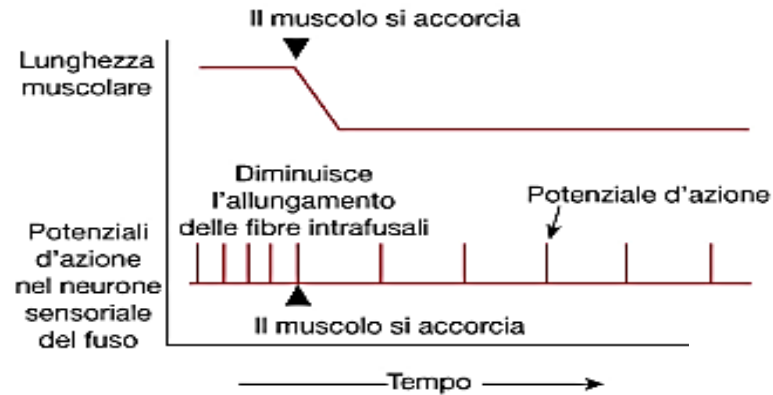
RIFLESSO MIOTATICO o DA STIRAMENTO.

I motoneuroni alfa e gamma che innervano lo stesso muscolo sono attivi simultaneamente. La **co-attivazione dei motoneuroni alfa-gamma** mantiene il fuso neuromuscolare funzionante anche quando il muscolo è contratto.

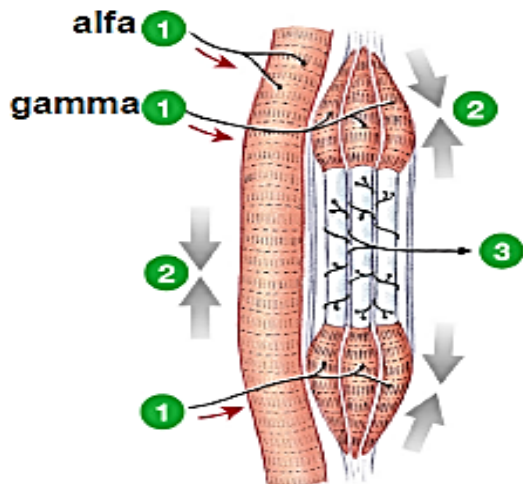
(a) Se le fibre dei motoneuroni gamma vengono tagliate, il fuso diminuisce la sua attività quando il muscolo è contratto.



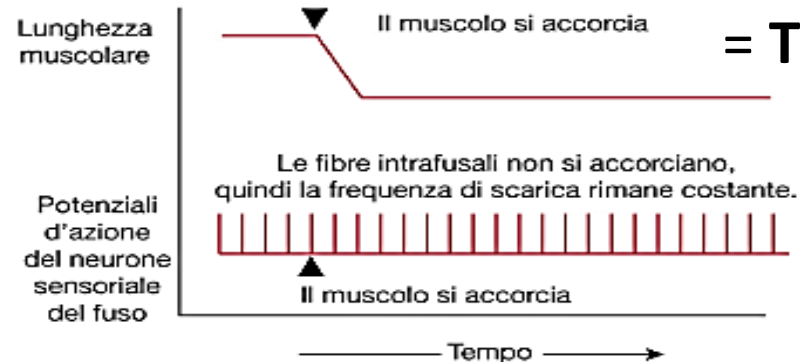
- 1 Il motoneurone alfa scarica.
- 2 Il muscolo si contrae.
- 3 Diminuisce l'allungamento del centro delle fibre intrafusali.
- 4 La frequenza di scarica del neurone sensoriale del fuso diminuisce.



(b) La coattivazione alfa-gamma mantiene i fusi funzionali quando il muscolo è contratto.



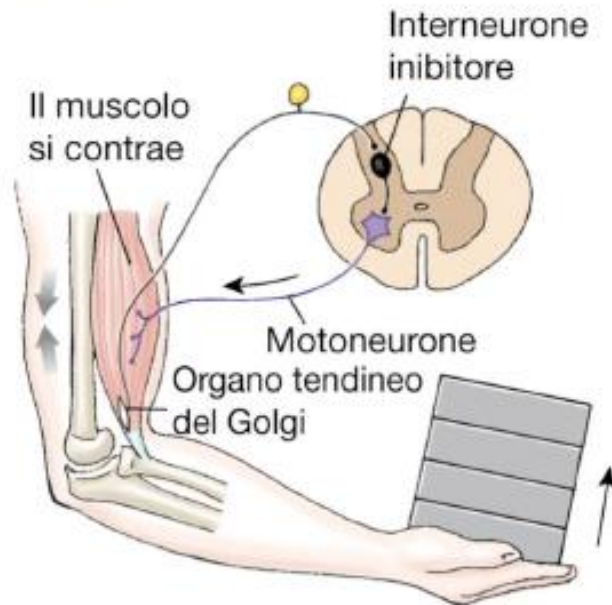
- 1 Il motoneurone alfa scarica e contemporaneamente scarica anche il motoneurone gamma.
- 2 Il muscolo si contrae
- 3 L'allungamento del centro delle fibre intrafusali non si modifica. La frequenza di scarica del neurone sensoriale del fuso rimane invariata.



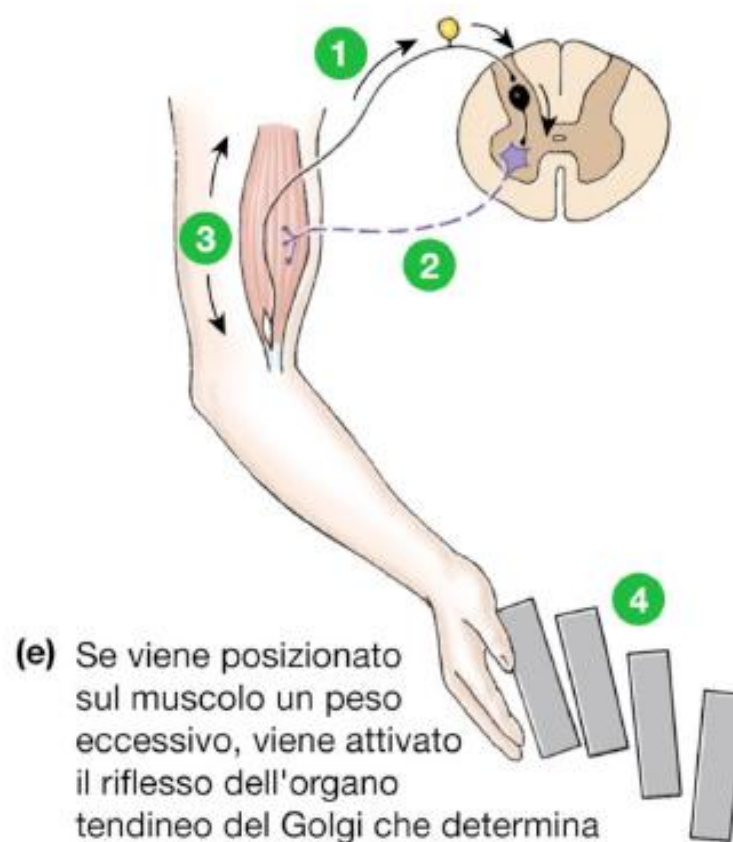
I fusi scaricano tonicamente quando il muscolo è a riposo = **TONO MUSCOLARE**

Esistono riflessi che proteggono i muscoli dal danno causato da un'eccessiva contrazione. Tali riflessi sono iniziati da segnali provenienti da un altro propriocettore: **l'organo tendineo del Golgi**. In questo riflesso la risposta adeguata a proteggere il muscolo è l'induzione del rilassamento del muscolo stesso.

Riflesso dell'organo tendineo del Golgi: protegge il muscolo da carichi eccessivi, determinando il rilasciamento del muscolo e la caduta del peso.



(d) La contrazione muscolare stira l'organo tendineo del Golgi



(e) Se viene posizionato sul muscolo un peso eccessivo, viene attivato il riflesso dell'organo tendineo del Golgi che determina il rilasciamento del muscolo e quindi lo protegge

1 Il neurone dall'organo tendineo del Golgi scarica.

2 Il motoneurone viene inibito.

3 Il muscolo si rilassa.

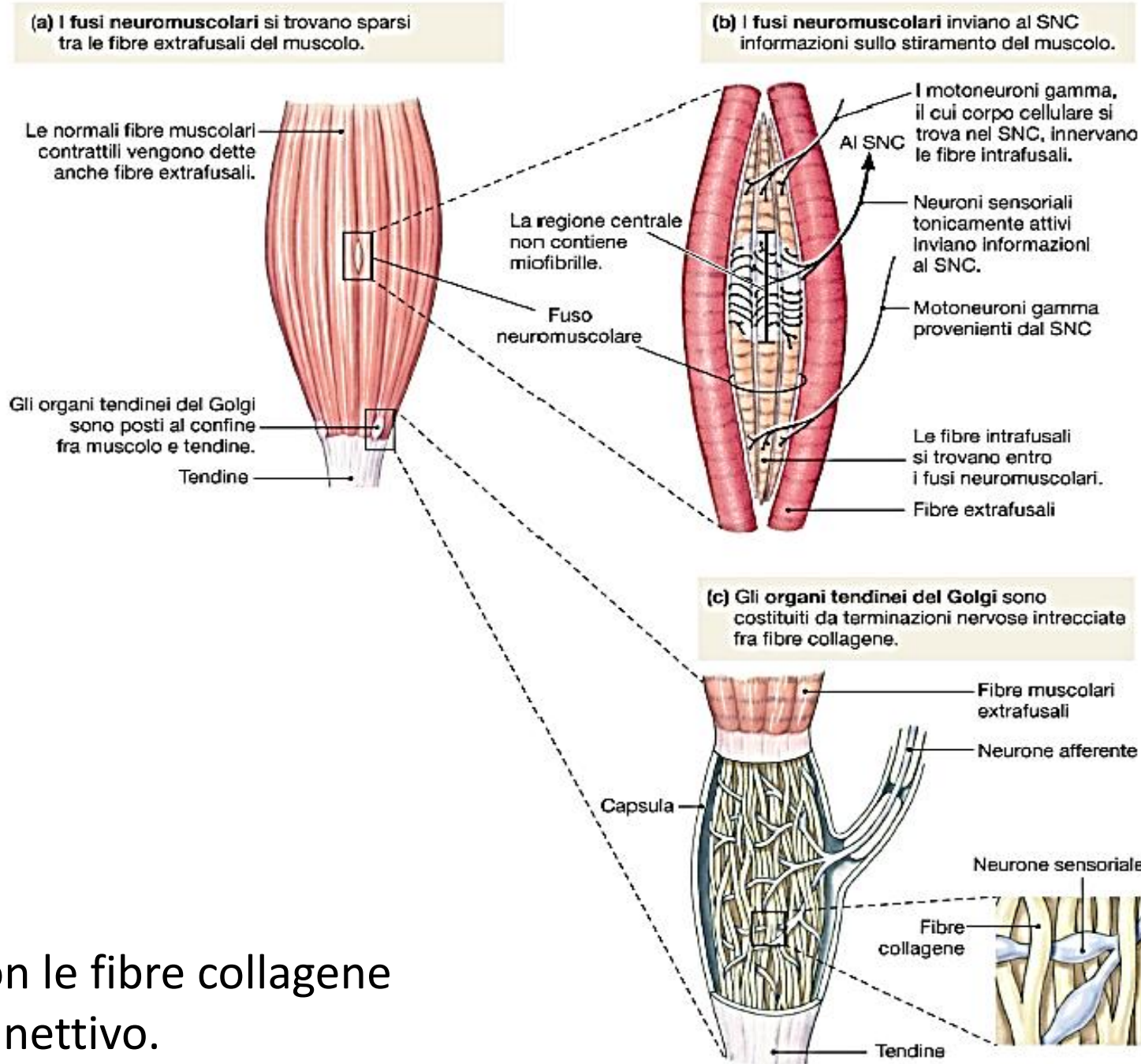
4 Il peso viene lasciato cadere.

I tendini sono strutture formate da fibre di collagene intrecciate fra di loro, ancorano i muscoli alle ossa e ne permettono il movimento attraverso la trasmissione dell'energia prodotta dalla contrazione

ORGANI TENDINEI DEL GOLGI:

recettori posti tra il tendine e le fibre muscolari. Sono MECCANOCETTORI attivati dalla tensione sviluppata dalla contrazione del muscolo.

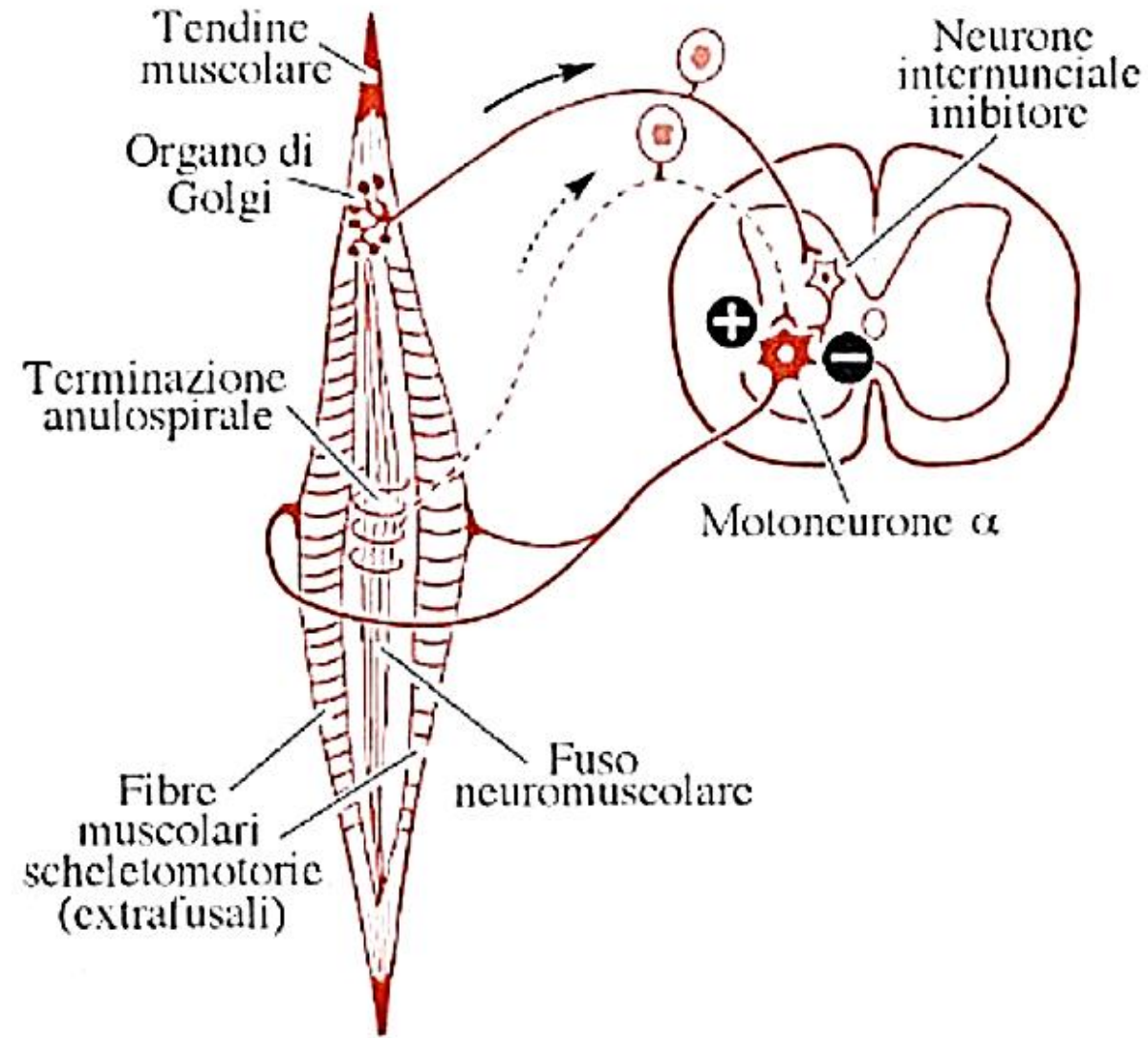
Sono fibre nervose che si intrecciano con le fibre collagene all'interno di una capsula di tessuto connettivo.



Durante la contrazione muscolare questi recettori sono attivati dallo stiramento e vanno ad indurre il rilassamento del muscolo contratto che potrebbe danneggiarsi.

Questo avviene attraverso l'attivazione di un **interneurone inibitorio** che spegne l'attività dell'alfa motoneurone

In conclusione, il **motoneurone ALFA** che innerva un muscolo scheletrico, riceve afferenze sia dai fusi neuromuscolari, che dagli organi tendini del Golgi dello stesso muscolo. I primi attivano un segnale di contrazione (sinapsi eccitatoria diretta), mentre i secondi portano al rilassamento muscolare ('spegnendo' il motoneurone attraverso un interneurone inibitorio)

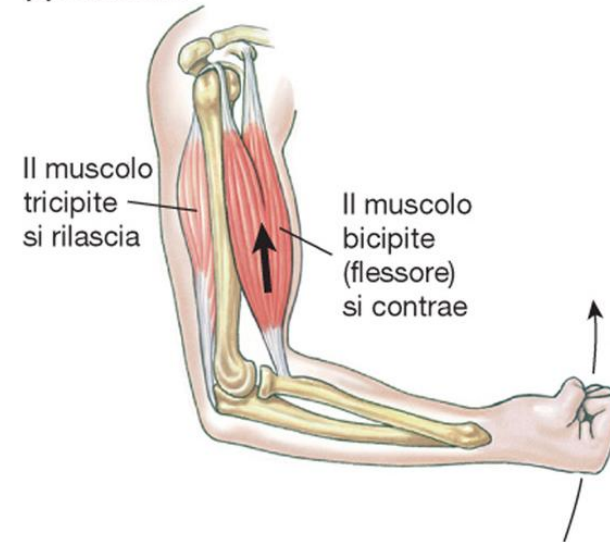


MUSCOLO SCHELETRICO

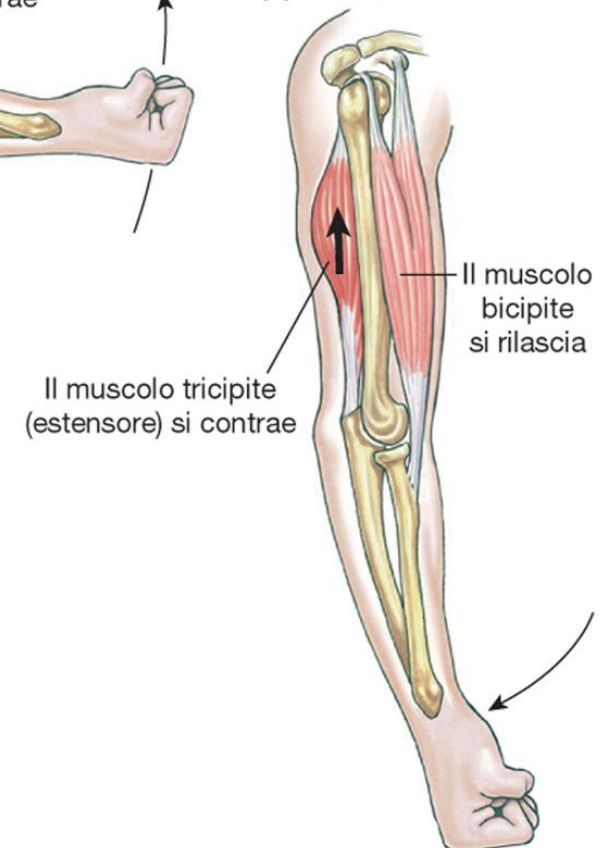
- I muscoli scheletrici sono attaccati alle ossa attraverso TENDINI (costituiti da collagene).
- Quando due ossa attaccate ad un muscolo sono connesse da un'articolazione mobile, la CONTRAZIONE del muscolo provoca un MOVIMENTO dello scheletro.
- Se il movimento avvicina il centro delle due ossa si parla di FLESSIONE e il muscolo e' detto FLESSORE;
- se lo allontana si parla di ESTENSIONE e il muscolo e' detto ESTENSORE.

- I muscoli costituiscono il 40% della massa del nostro corpo

(a) Flessione



(b) Estensione

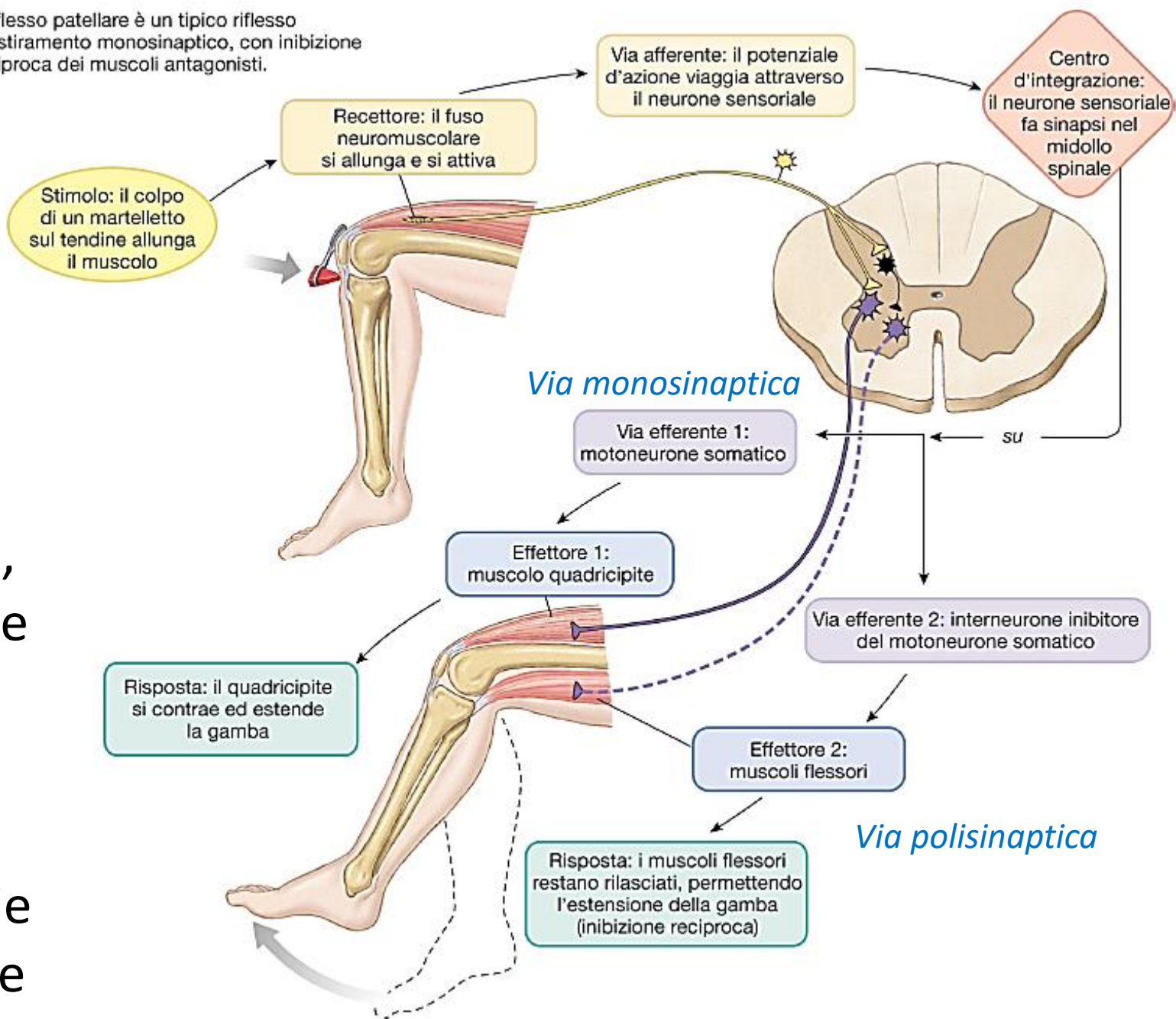


Le coppie di muscoli estensori/flessori sono dette GRUPPI MUSCOLARI ANTAGONISTI

UNITA' MIOTATICA, un esempio di funzionamento: il RIFLESSO PATELLARE

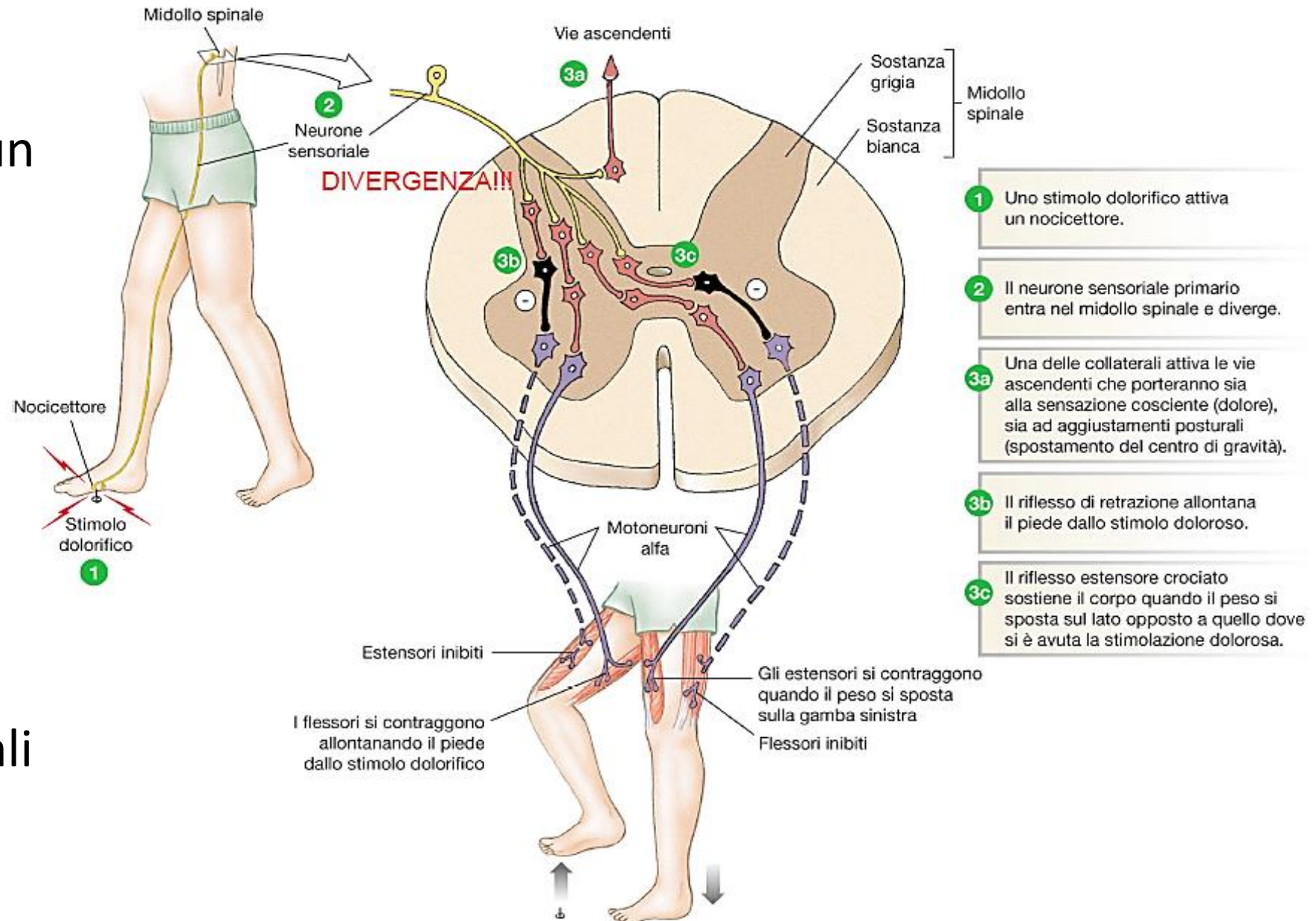
Il riflesso patellare è un tipico riflesso da stiramento monosinaptico, con inibizione reciproca dei muscoli antagonisti.

- Il movimento del nostro corpo e' garantito dall'attivita' coordinata di gruppi di muscoli agonisti e antagonisti.
- UNITA' MIOTATICA: insieme di vie nervose (neuroni sensoriali, interneuroni, motoneuroni) che controllano una singola articolazione
- Il RIFLESSO PATELLARE attiva vie DIVERGENTI nel midollo spinale



UNITA' MIOTATICA, un esempio di funzionamento: il RIFLESSO FLESSORIO ed ESTENSORIO CROCIATO

- Il riflesso flessorio in un arto provoca l'estensione dell'arto opposto per effetto di un riflesso estensore crociato.
- La coordinazione dei riflessi con gli aggiustamenti posturali e' essenziale per il mantenimento dell'equilibrio.



I sistemi sensoriali forniscono una rappresentazione interna del mondo esterno, una delle finalità di questa rappresentazione è' la generazione di informazioni necessarie alla guida dei movimenti che fanno parte del nostro repertorio comportamentale.

La decisione di eseguire un determinato movimento dipende dalla integrazione tra sistemi motori e sistemi sensoriali

Questi movimenti vengono controllati da un complesso di sistemi motori e ci permettono di mantenere l'equilibrio e la postura, di muovere gli arti, e di comunicare attraverso il linguaggio e la gestualità'.

A differenza dei sistemi sensoriali che trasformano energia fisica in informazioni nervose, i sistemi motori trasformano informazioni nervose in energia fisica, emettendo dei comandi che vengono trasmessi, attraverso tronco encefalico e midollo spinale, ai muscoli scheletrici.

CONTROLLO INTEGRATO DEL MOVIMENTO DEL CORPO

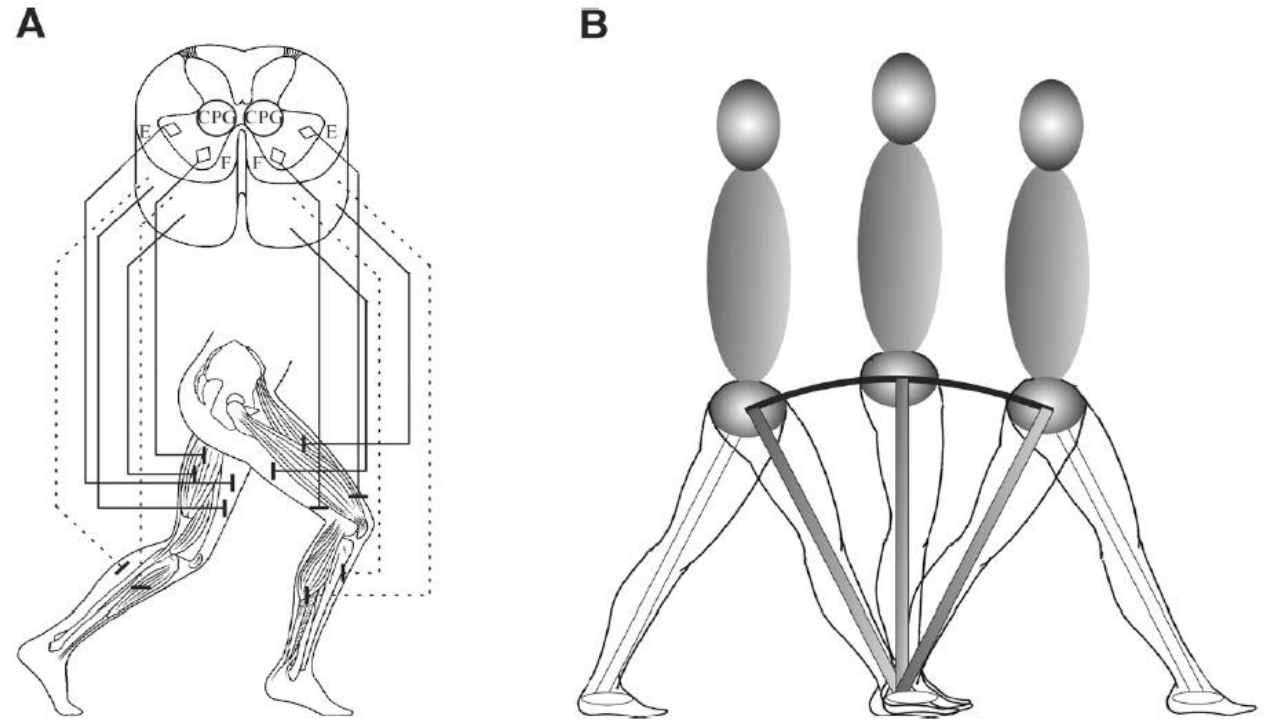
Tipi di movimento

	RIFLESSO	VOLONTARIO	RITMICO
Stimolo che innesca il movimento	Principalmente esterno, tramite recettori sensoriali; in minima parte volontario	Stimoli esterni o decisione del soggetto	Inizio e termine volontari
Esempio	Riflesso patellare, riflessi posturali, tosse	Suonare il pianoforte	Camminare, correre
Complessità	Relativamente poco complesso; integrato a livello del midollo spinale o del tronco encefalico, con la modulazione dei centri superiori	Molto complesso; integrato nella corteccia cerebrale	Complessità intermedia; integrato nel midollo spinale, ma è necessario l'intervento dei centri superiori
Commenti	Rapido, innato	Movimenti appresi che migliorano con la pratica; una volta appresi possono diventare subconsci ("memoria muscolare")	I circuiti spinali agiscono come generatori di modelli; l'attivazione di queste vie richiede l'attivazione da parte del tronco encefalico

CONTROLLO INTEGRATO DEL MOVIMENTO DEL CORPO

I movimenti ritmici sono iniziati e terminati da vie discendenti dalla corteccia, tuttavia una volta iniziati essi vengono mantenuti spontaneamente da gruppi di interneuroni presenti nel midollo spinale.

Tali reti neurali sono dette **generatori centrali di movimenti stereotipati** (central pattern generator, **CGP**)



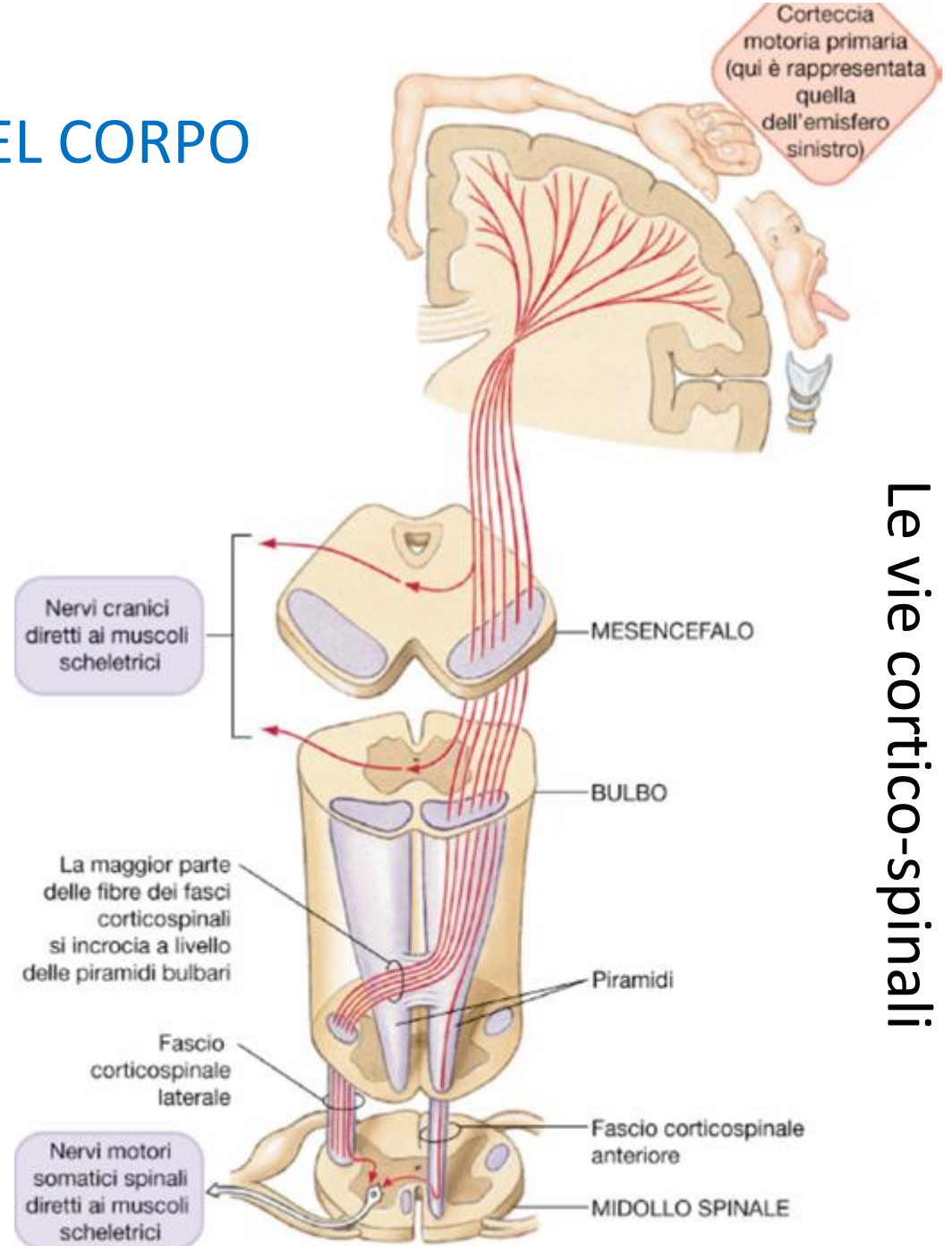
Lacquaniti F et al. *Physiology* 1999;14:168-174

<https://www.youtube.com/watch?v=8896RiorUSY&t=9s>

Nuove tecnologie per il ripristino dell'attività locomotoria in soggetti con lesioni spinali

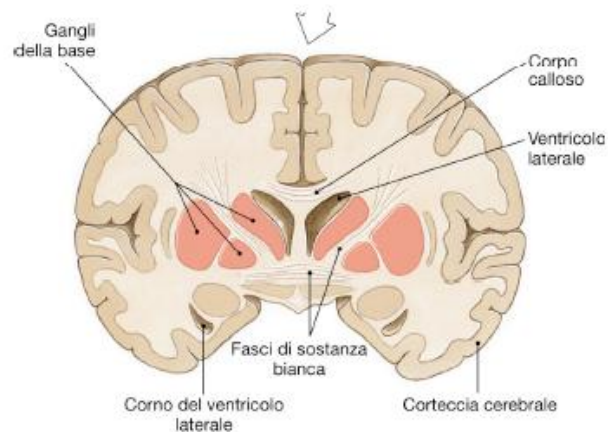
CONTROLLO INTEGRATO DEL MOVIMENTO DEL CORPO

- ✓ La corteccia motoria primaria si trova nel lobo frontale.
- ✓ Le vie cortico-spinali incrociano il piano mediano del corpo.
- ✓ La corteccia motoria presenta una organizzazione topografica del corpo

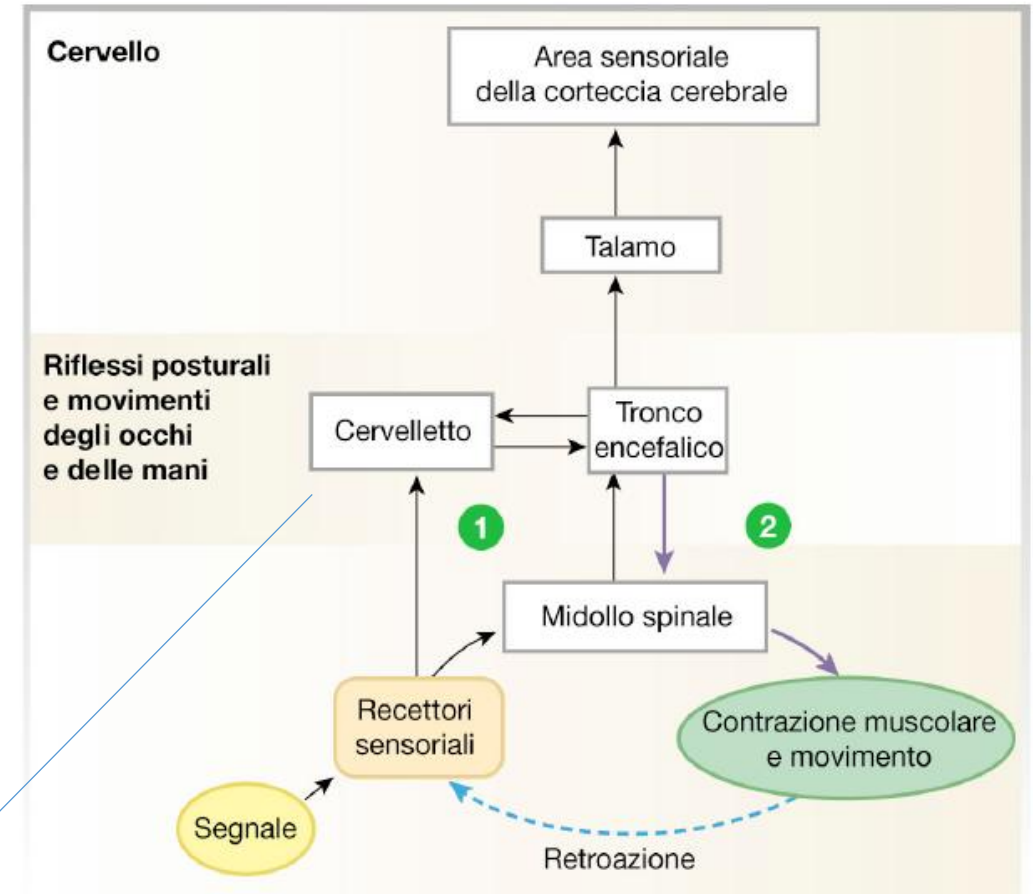


Le vie cortico-spinali

LOCALIZZAZIONE	RUOLO	RICEVE INFORMAZIONI DA:	INVIA INFORMAZIONI A:
Midollo spinale	Riflessi spinali; generatori di modelli, per esempio per la locomozione	Recettori sensoriali	Tronco encefalico, cervelletto, talamo/corteccia cerebrale
Tronco encefalico	Postura, movimenti oculari e delle mani	Cervelletto; recettori sensoriali soprattutto visivi e vestibolari	Midollo spinale
Aree motorie della corteccia cerebrale	Programmazione e coordinazione di movimenti complessi	Talamo	Tronco encefalico, midollo spinale (fascio corticospinale), cervelletto, gangli della base
Cervelletto	Monitora le informazioni uscenti dalla corteccia cerebrale e aggiusta il movimento	Midollo spinale (sensoriale), corteccia cerebrale (comandi)	Tronco encefalico, corteccia cerebrale (notare: tutte le informazioni uscenti sono inibitorie)
Talamo	Contiene nuclei di collegamento che trasferiscono informazioni alla corteccia cerebrale	Gangli della base, cervelletto, midollo spinale	Corteccia cerebrale
Gangli della base	Programmazione motoria	Corteccia cerebrale	Corteccia cerebrale, tronco encefalico



Informazioni propriocettive vengono integrate con quelle dell'equilibrio e della vista



1 L'ingresso sensoriale (→) va dai recettori al midollo spinale, alla corteccia cerebrale e al cervelletto. I segnali dell'apparato vestibolare vanno direttamente al cervelletto.

2 I riflessi posturali e spinali non richiedono integrazione nella corteccia. I segnali in uscita (→) danno inizio al movimento senza che siano necessarie influenze superiori.

CONTROLLO INTEGRATO DEL MOVIMENTO DEL CORPO

Fasi del movimento volontario

