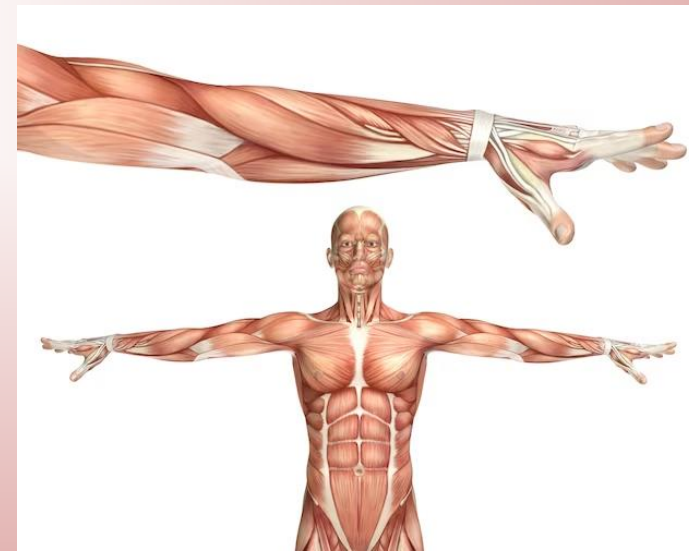
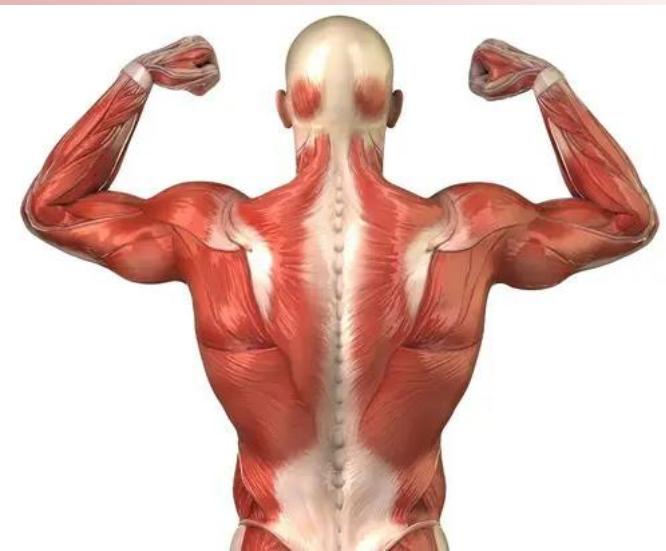


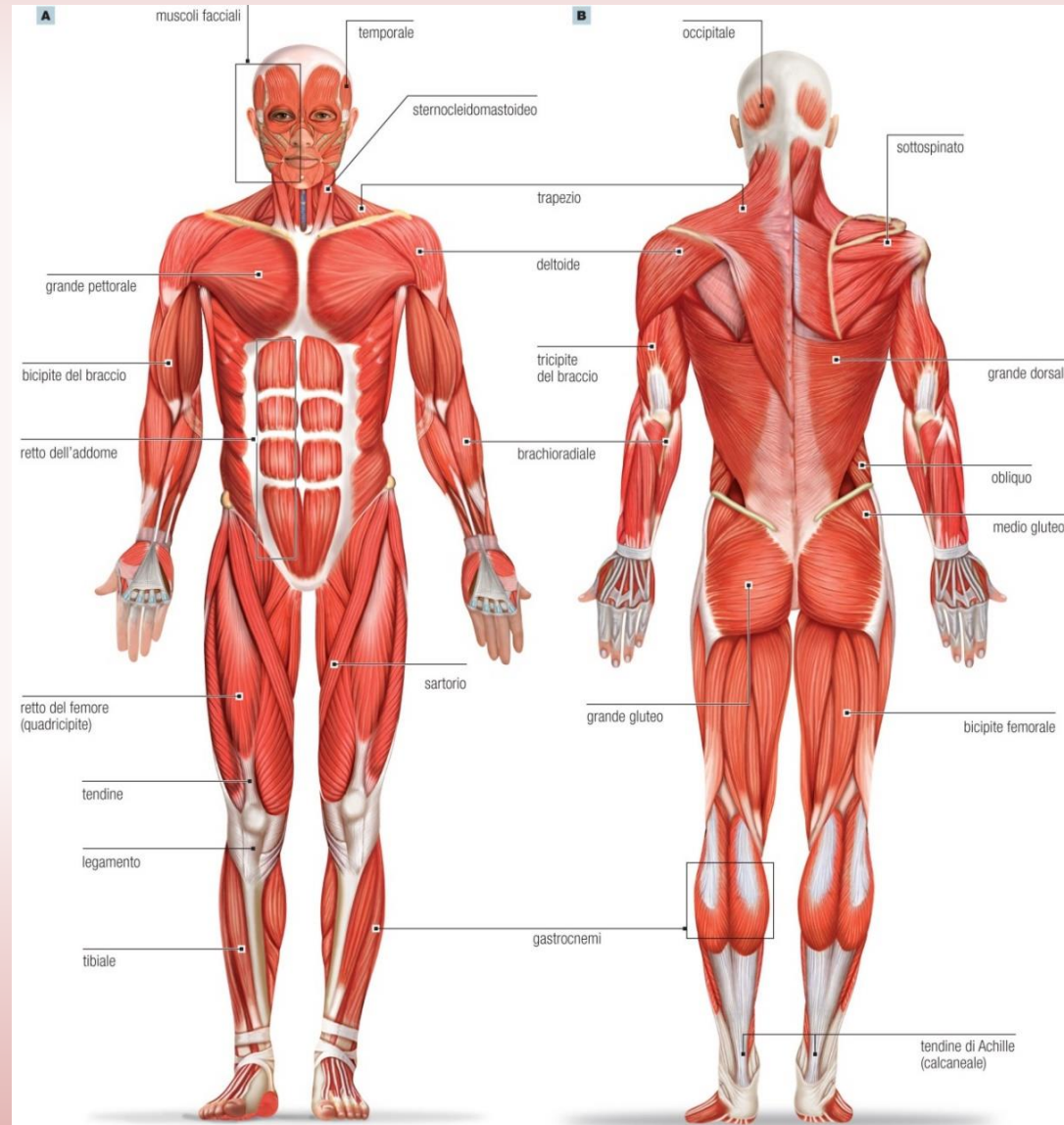
IL SISTEMA MUSCOLARE



IL SISTEMA MUSCOLARE

- Il **sistema muscolare** permette il sollevamento e lo spostamento delle ossa, grazie alla contrattilità dei suoi muscoli
- Insieme, il sistema scheletrico e il sistema muscolare formano l'**apparato locomotore**
- Nel corpo umano esistono tre tipi diversi di tessuto muscolare ma i muscoli che permettono il movimento e sono in genere associati alle ossa sono i **muscoli scheletrici** che risultano essere striati e volontari
- Nel nostro corpo ci sono più di 600 muscoli scheletrici che hanno la capacità di contrarsi e di rilassarsi ed è proprio l'alternarsi di contrazioni e rilassamenti muscolari che determina l'origine dei movimenti

IL SISTEMA MUSCOLARE



LE FUNZIONI DEL SISTEMA MUSCOLARE

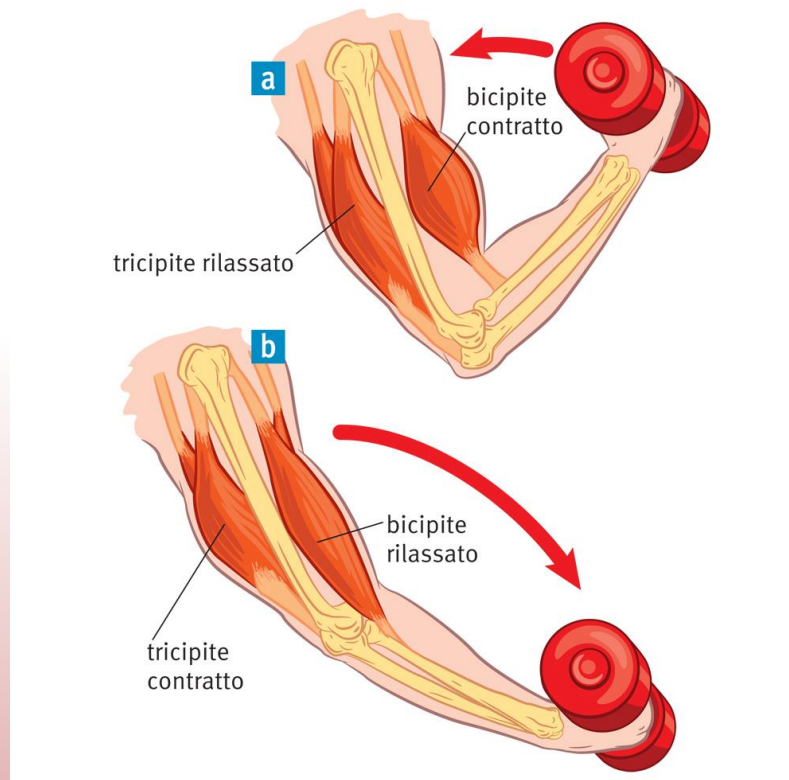
Funzione	Spiegazione
Movimento volontario	I muscoli collegati alle ossa formano sistemi di leve sotto controllo volontario
Controllo degli orifizi del corpo	I muscoli scheletrici permettono di controllare volontariamente le palpebre, la bocca e l'ano
Mantenimento della postura e della stabilità articolare	I muscoli collegati alle ossa mantengono il corpo in posizione eretta e stabilizzano le articolazioni
Comunicazione	Il movimento dei muscoli scheletrici permette di assumere espressioni diverse del viso, di parlare, scrivere e gesticolare.
Mantenimento della temperatura corporea	L'attività metabolica nei muscoli scheletrici genera calore

IL SISTEMA MUSCOLARE

- In base al movimento che fanno compiere alle ossa, i muscoli possono essere classificati in:
 - **Muscoli estensori:** la loro principale funzione è l'estensione, movimento che determina l'allontanamento di segmenti ossei tra loro
 - **Muscoli flessori:** hanno la funzione di avvicinare tra loro due segmenti scheletrici determinando il piegamento dell'uno sull'altro
 - **Muscolo abduttori:** allontanano una parte mobile del corpo (es. arto) rispetto ad un punto di riferimento
 - **Muscoli adduttori:** avvicinano una parte mobile del corpo (es. arto) alla linea mediana
 - **Muscoli costrittori:** la loro contrazione restringe il diametro di un'apertura naturale (es. bocca)
 - **Muscoli dilatatori:** la loro contrazione allarga il diametro di un'apertura naturale

IL SISTEMA MUSCOLARE

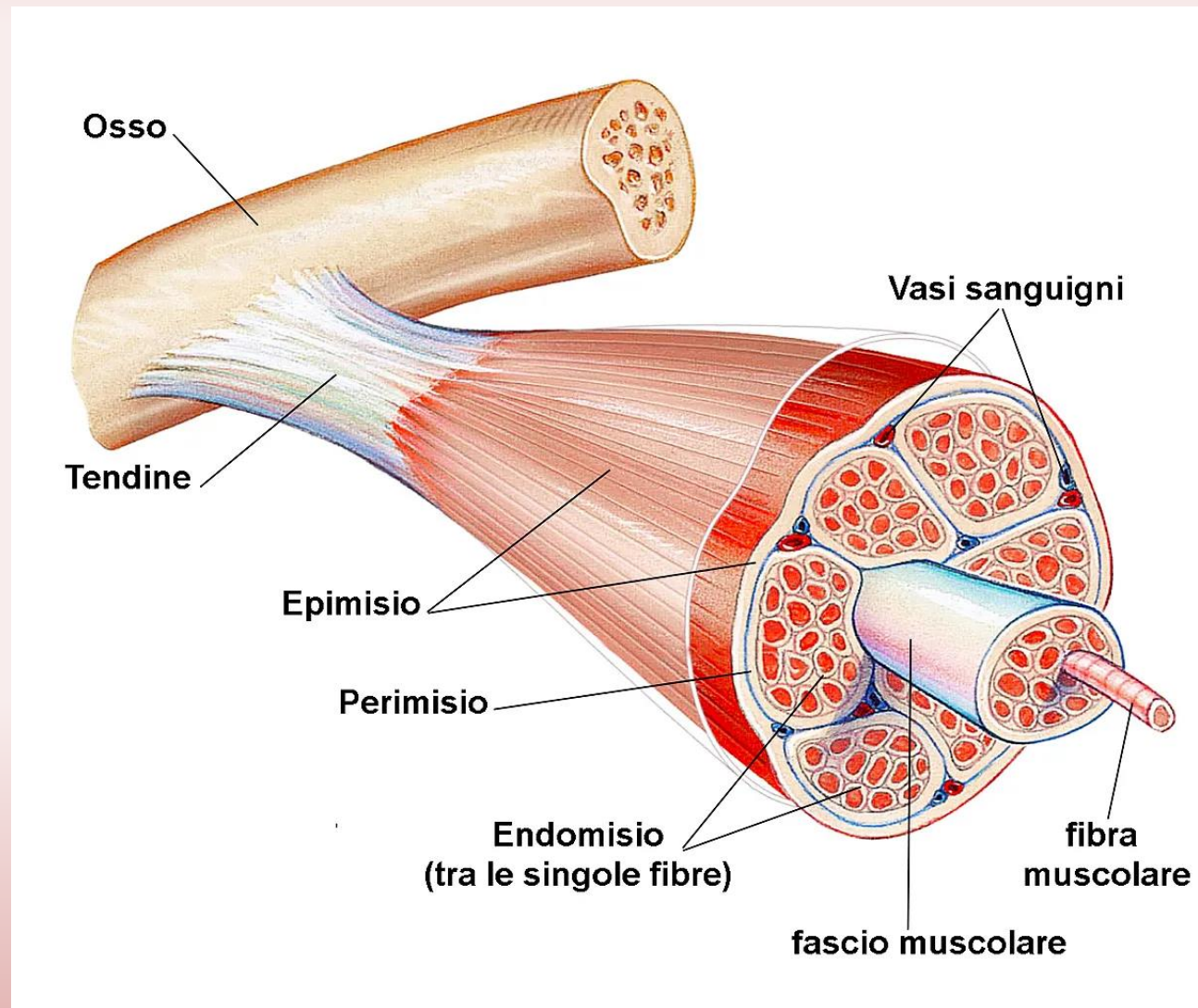
- Si definiscono **muscoli antagonisti** quei muscoli che esercitano la loro azione in senso opposto. Alla contrazione di uno corrisponde in genere il rilassamento del suo antagonista
- I muscoli che concorrono al compimento della stessa azione si dicono **sinergici**



IL MUSCOLO SCHELETRICO

- I muscoli sono formati da diversi tipi di tessuto (es. tessuto connettivo, tessuto muscolare, tessuto nervoso)
- Il tessuto connettivo si ritrova nella formazione dei tendini e delle guaine che circondano il muscolo a vari livelli
- I **tendini** sono fasce di tessuto connettivo fibroso con la funzione di fissare il muscolo sul segmento osseo
- L'**endomisio** è un sottile strato di tessuto connettivo lasso, in cui scorrono nervi e vasi sanguigni, che avvolge le singole cellule muscolari
- Il **perimisio** è una guaina di tessuto connettivo lasso che raggruppa le fibre muscolari in fasci grossolani
- L'**epimisio** è formato da tessuto connettivo denso ed è la membrana più esterna che circonda l'intero muscolo. L'epimisio si continua con i tendini in prossimità delle ossa

IL MUSCOLO SCHELETRICO



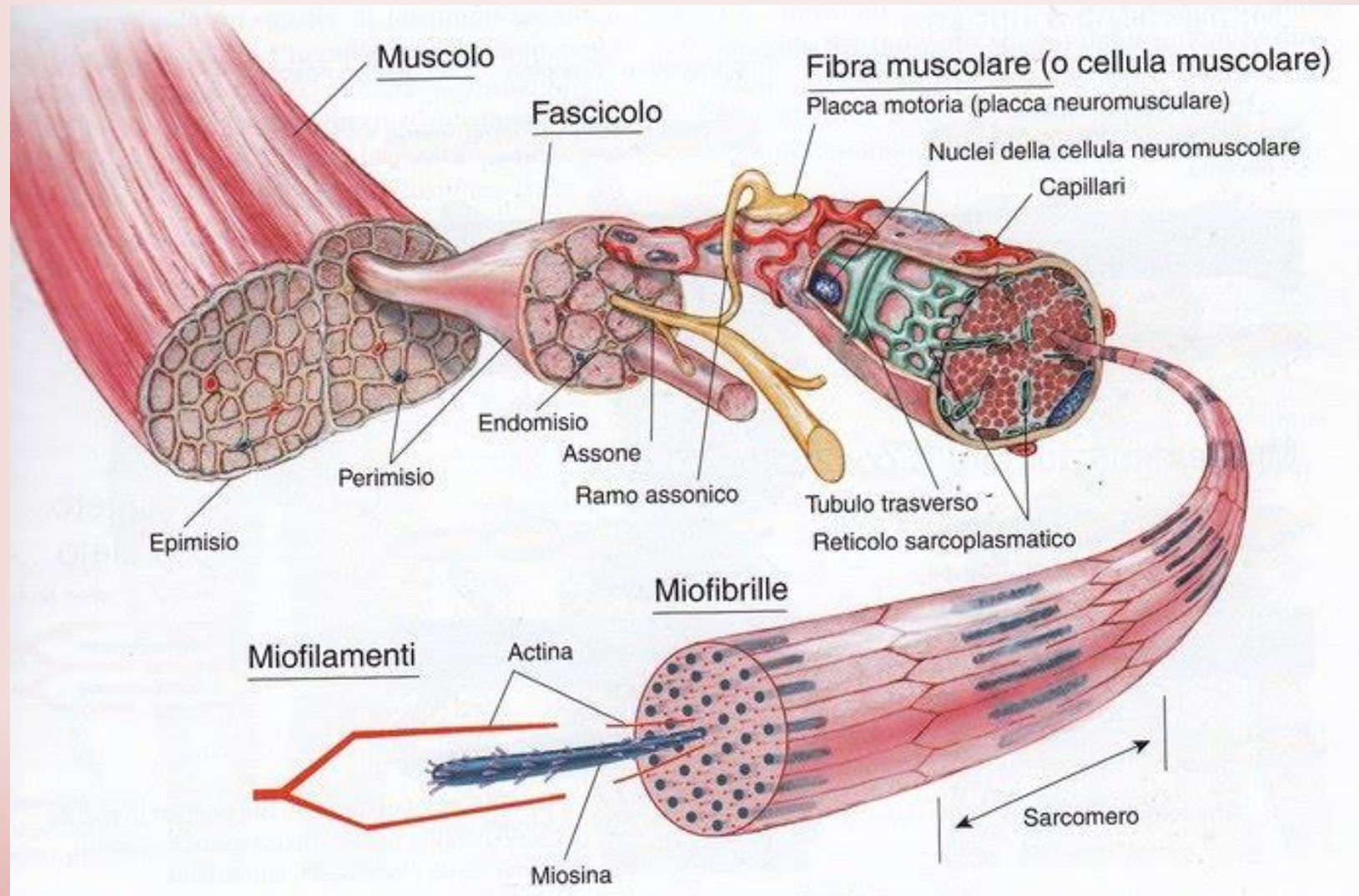
IL MUSCOLO SCHELETRICO

- I muscoli scheletrici sono formati principalmente da tessuto muscolare striato, costituito da **fibre muscolari** o **miofibre**
- Ogni fibra muscolare è una cellula plurinucleata, di forma cilindrica, lunga e sottile, la cui membrana è detta **sarcolemma**
- Nel citoplasma, chiamato anche **sarcoplasma** nel caso delle miofibre, ci sono le **miofibrille** o **miofilamenti** che sono fasci di filamenti proteici che si estendono per l'intera lunghezza della cellula
- Ogni miofibrilla è composta da due tipi di filamenti proteici:
 - **filamenti spessi**: costituiti da fasci di **miosina**
 - **filamenti sottili**: composti da catene intrecciate di **actina**
- Sono inoltre presenti, associate ai filamenti sottili, due proteine regolatrici chiamate **troponina** e **tropomiosina**

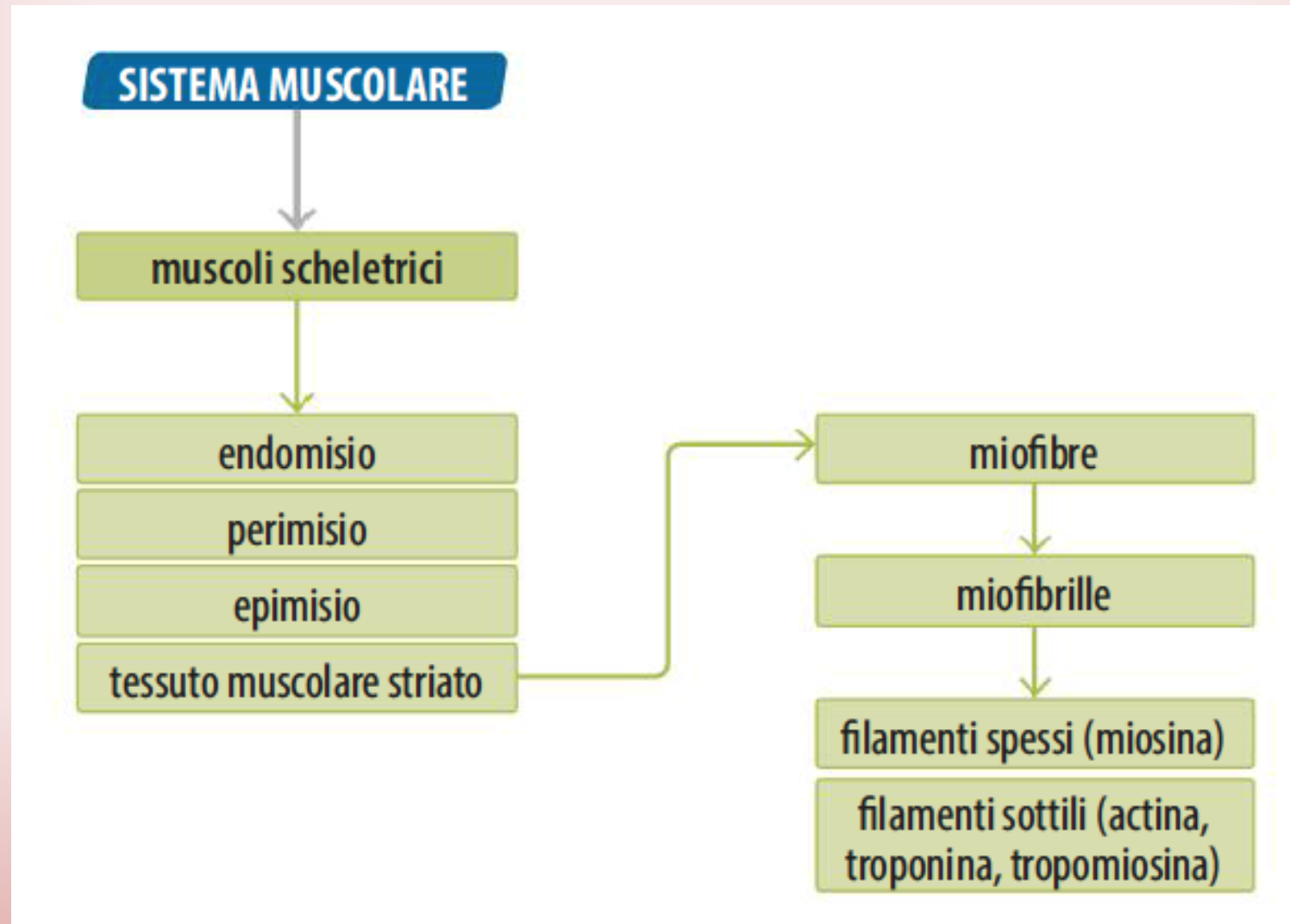
IL MUSCOLO SCHELETRICO

- Nelle fibre del muscolo scheletrico, i filamenti spessi e quelli sottili sono disposti in maniera estremamente regolare, e ciò determina il caratteristico aspetto «striato» o «a bande»
- In particolare, la disposizione dei filamenti spessi e sottili prevede che ogni filamento spesso sia circondato da sei filamenti sottili
- Intorno alle miofibrille è presente il reticolo endoplasmatico che prende il nome di **reticolo sarcoplasmatico** ed è attraversato da tubi trasversali (**sistema T**)
- Il reticolo sarcoplasmatico funge da riserva cellulare di ioni calcio, ed è importante per il meccanismo di contrazione muscolare

IL MUSCOLO SCHELETRICO

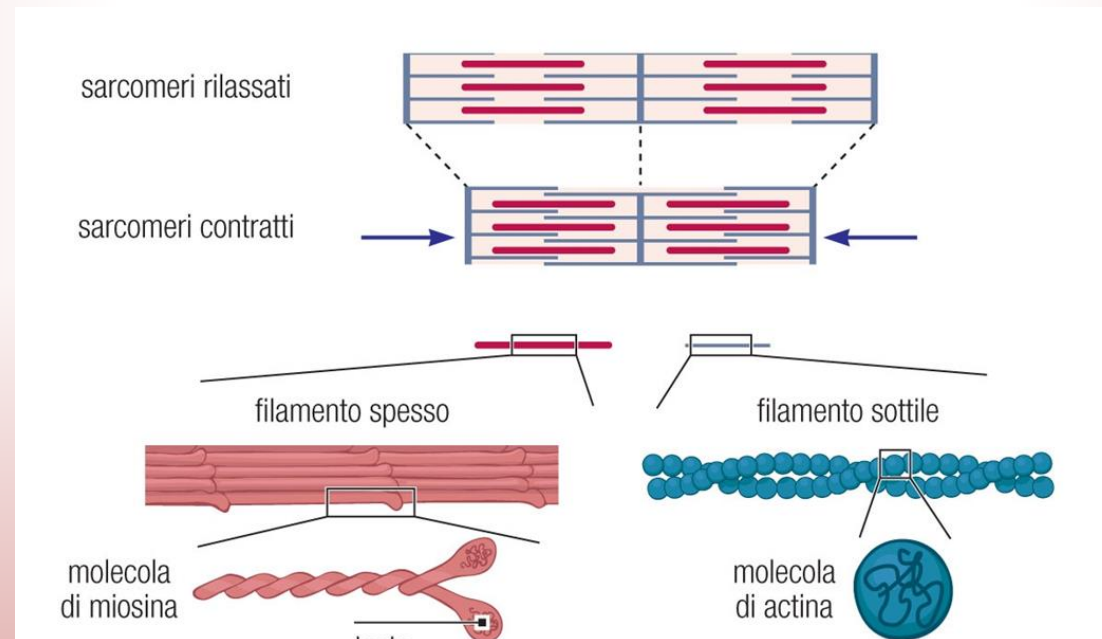


IL MUSCOLO SCHELETRICO



STRUTTURA DEL SARCOMERO

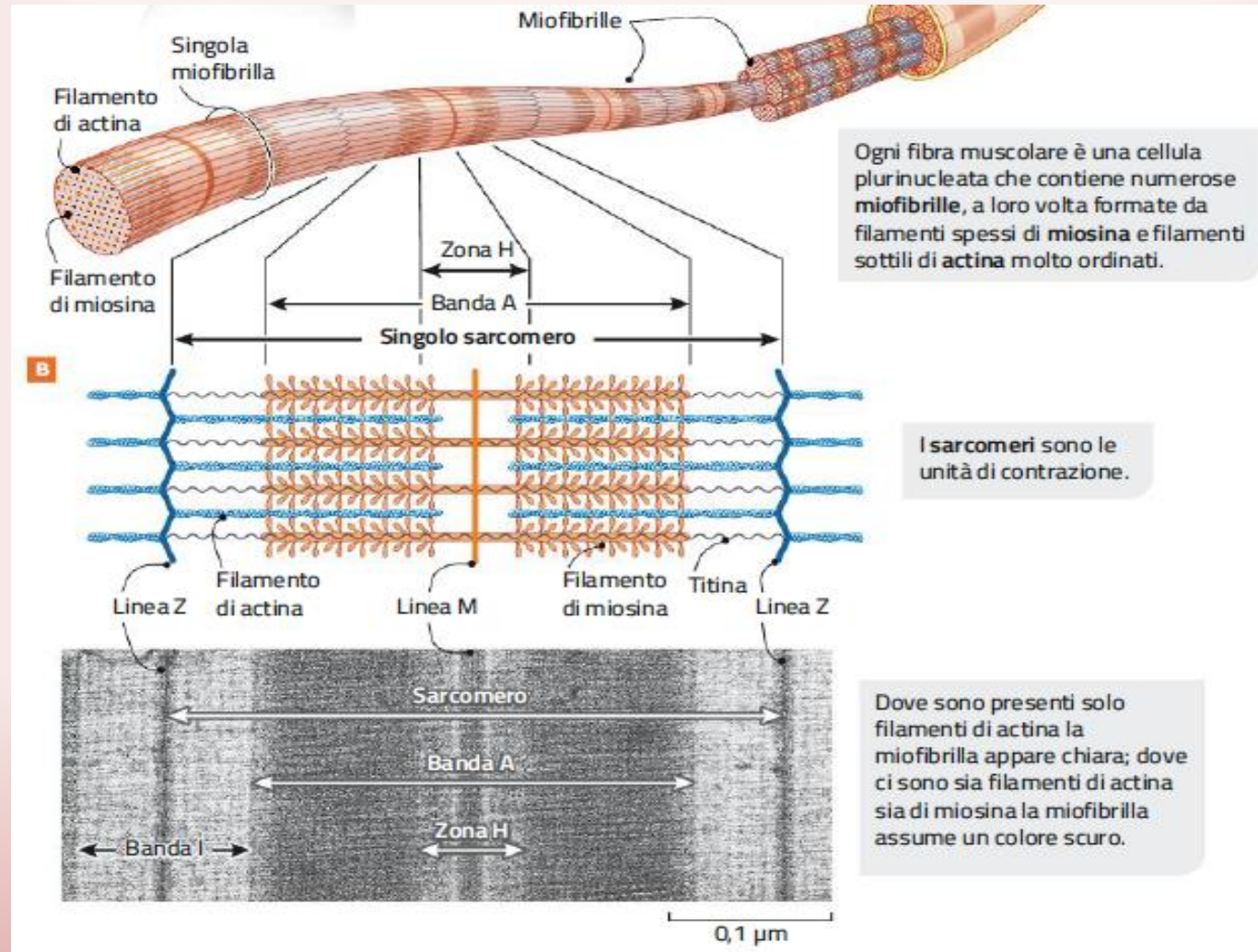
- All'interno delle miofibrille, i filamenti spessi e sottili si organizzano in unità modulari in grado di accorciarsi, i **sarcomeri**
- Il **sarcomero** è l'unità funzionale delle miofibrille e appare al microscopio come una serie di bande chiare e scure che si alternano



STRUTTURA DEL SARCOMERO

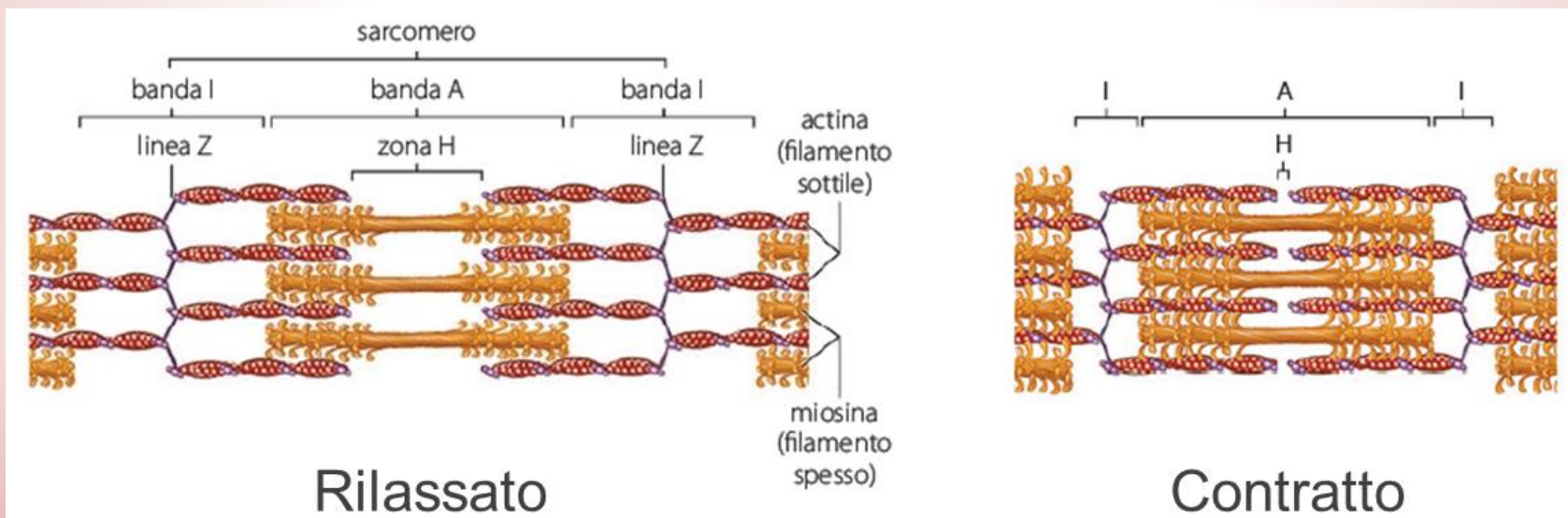
- All'interno di ogni sarcomero è possibile distinguere:
 - **Linea Z:** struttura che segna il confine tra due sarcomeri adiacenti e rappresenta il punto di collegamento dei filamenti di actina
 - **Banda I:** banda chiara presente ai lati delle linee Z, contenente solo filamenti sottili di actina
 - **Banda A:** banda scura che si trova andando verso l'interno, ed è costituita da filamenti di actina e filamenti di miosina interposti tra di loro
 - **Zona H:** piccola zona al centro della banda A che appare più chiara e contiene solo dei filamenti spessi di miosina
 - **Linea M:** di colore scuro, si trova al centro della banda H, ed è costituita da proteine che connettono i filamenti spessi di miosina tra loro

STRUTTURA DEL SARCOMERO

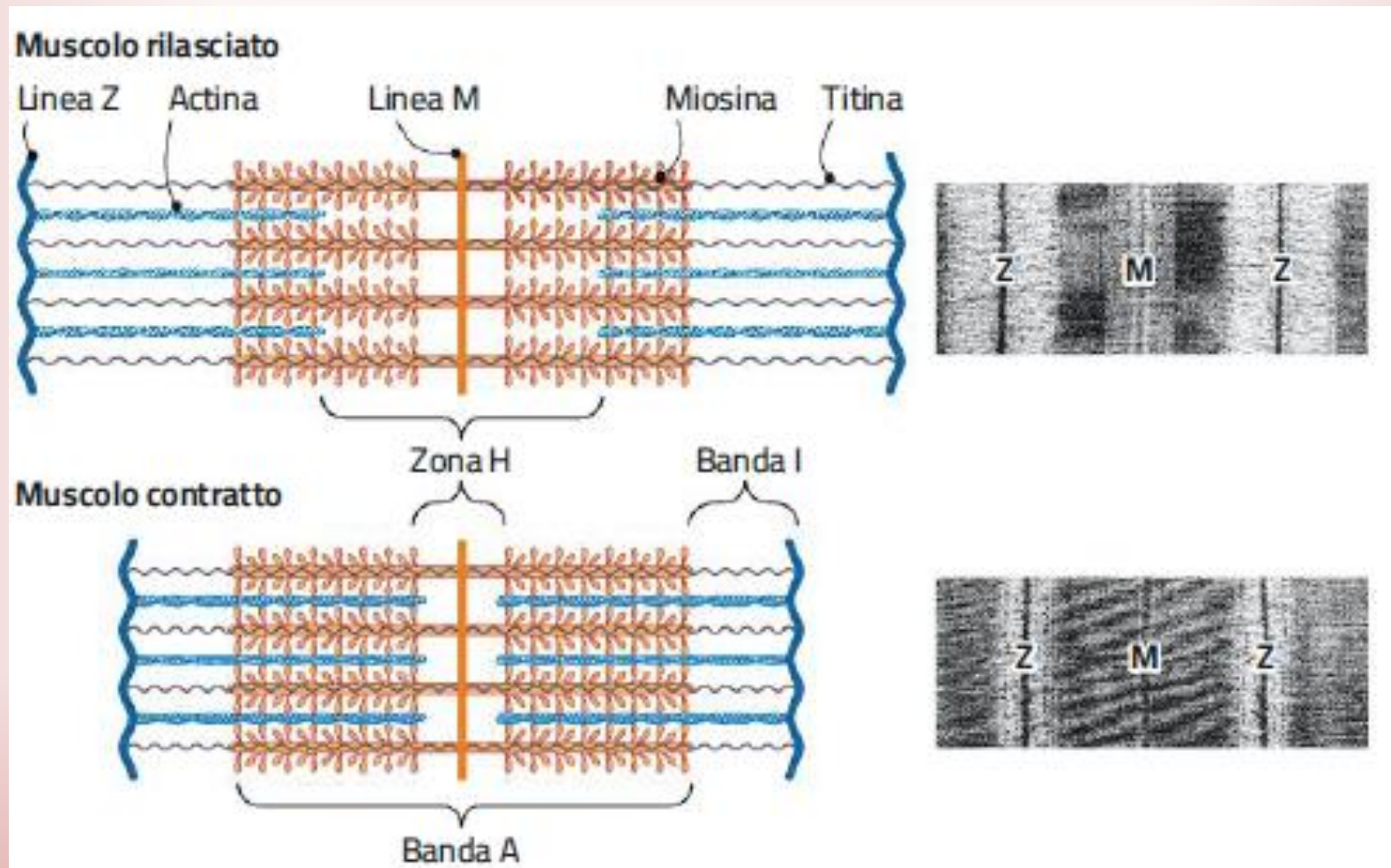


LO SCORRIMENTO DEI FILAMENTI

- Durante la contrazione muscolare i filamenti di actina e miosina scorrono uno sull'altro e il sarcomero si accorcia, secondo il **modello di scorrimento dei filamenti proteici**
- In particolare, i filamenti sottili scorrono tra quelli spessi determinando l'avvicinamento delle linee Z e l'accorciamento della banda I e della zona H



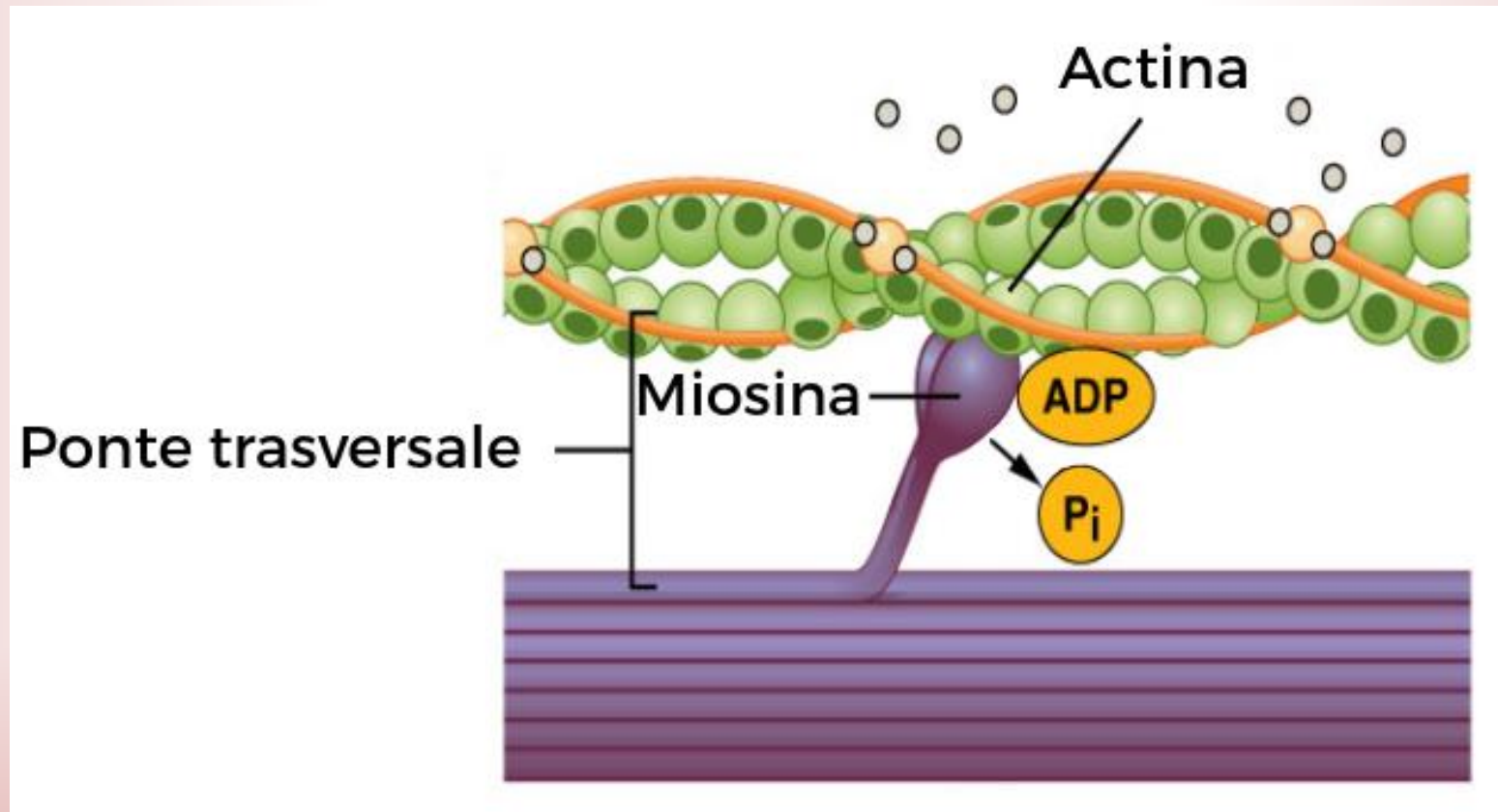
LO SCORRIMENTO DEI FILAMENTI



LO SCORRIMENTO DEI FILAMENTI

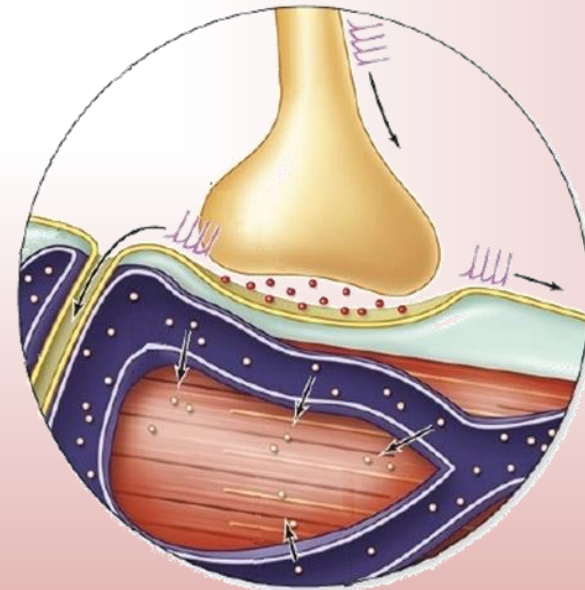
- Il meccanismo dello scorrimento dei filamenti è possibile grazie a dei **ponti crociati** o **trasversali** che si vengono a creare tra le teste della miosina e specifici siti presenti sull'actina
- Tali siti presenti sull'actina sono disponibili solo nel momento in cui il muscolo viene stimolato
- Quando il muscolo è a riposo, invece, le proteine regolatrici troponina e tropomiosina mascherano (nascondono) questi siti rendendoli inaccessibili alla miosina
- Oltre alle varie proteine e allo stimolo nervoso, intervengono nel meccanismo di contrazione muscolare anche il calcio e le molecole di ATP

LO SCORRIMENTO DEI FILAMENTI



LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

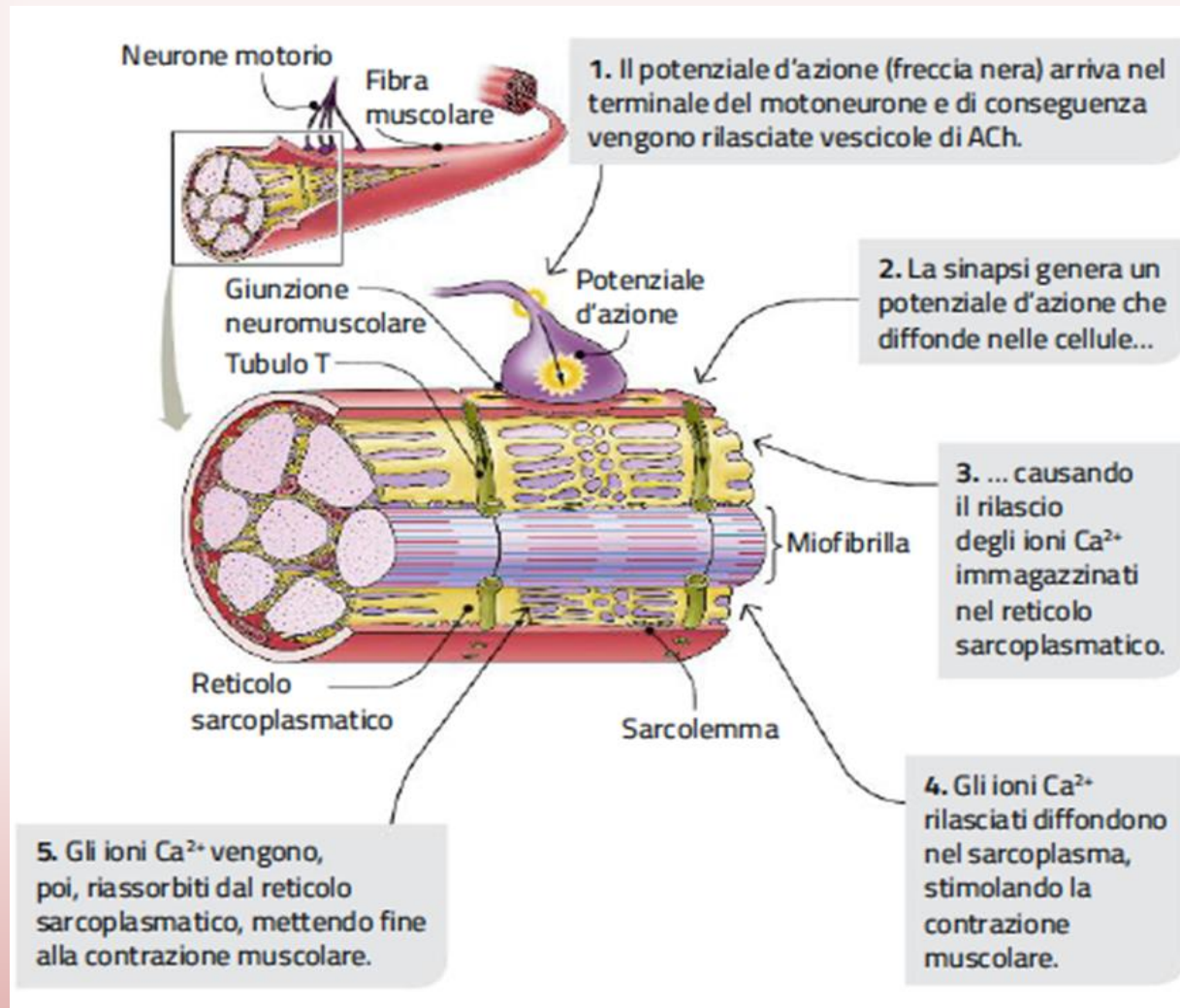
- La contrazione delle fibre muscolari è stimolata dai **motoneuroni** o **neuroni motori**
- La trasmissione del segnale tra il motoneurone e la fibra muscolare avviene a livello della **giunzione neuromuscolare** o **sinapsi periferica**
- Le due cellule sono separate da un piccolo spazio chiamato **spazio sinaptico** e la regione della fibra muscolare vicina al terminale del motoneurone viene definita **placca motrice**



LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

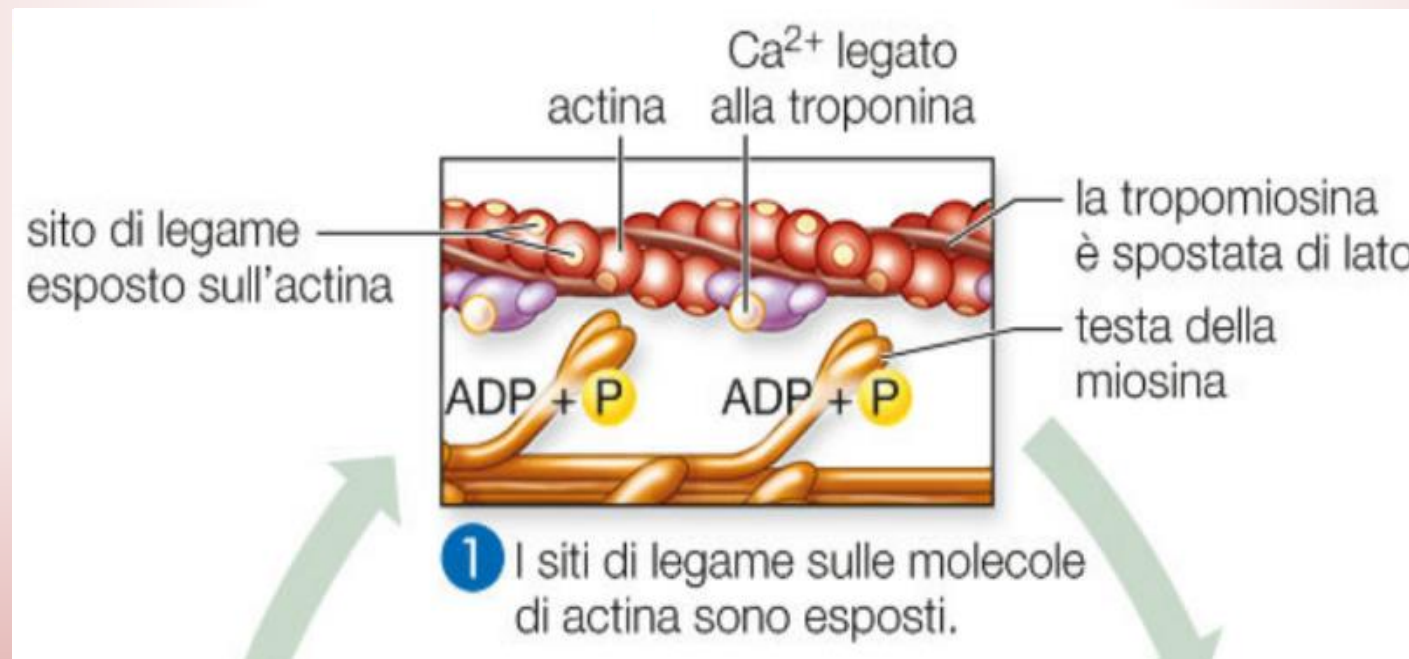
- L'impulso elettrico inviato dal sistema nervoso centrale viaggia nel motoneurone
- Una volta arrivato alla giunzione neuromuscolare, l'impulso nervoso induce il rilascio del neurotrasmettitore **acetilcolina** (messaggero chimico) in corrispondenza dello spazio sinaptico
- L'acetilcolina rilasciata si lega a degli specifici recettori presenti sulla membrana della fibra muscolare e ciò determina l'insorgenza di un impulso elettrico che si propaga lungo la membrana
- Il segnale si propaga lungo i **tubuli T** che convogliano l'impulso elettrico al reticolo sarcoplasmatico
- Giunto in corrispondenza del reticolo sarcoplasmatico, l'impulso elettrico provoca l'apertura dei canali del calcio presenti
- L'apertura dei canali del calcio determina un flusso di ioni Ca^{2+} verso l'esterno, secondo il gradiente di concentrazione, poiché nel muscolo la concentrazione di questi ioni è molto maggiore all'interno del reticolo rispetto al citoplasma

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE



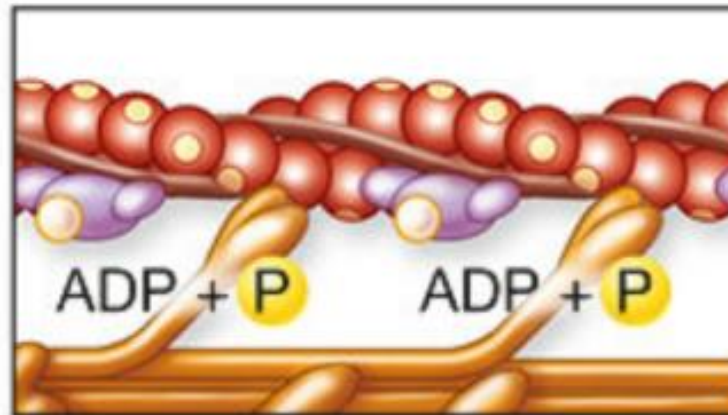
LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

- Gli ioni Ca^{2+} rilasciati dal reticolo sarcoplasmatico legano le molecole di troponina presenti sui filamenti sottili e ciò induce un cambiamento nella troponina e lo spostamento delle molecole di tropomiosina, che liberano i siti di attacco sull'actina



LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

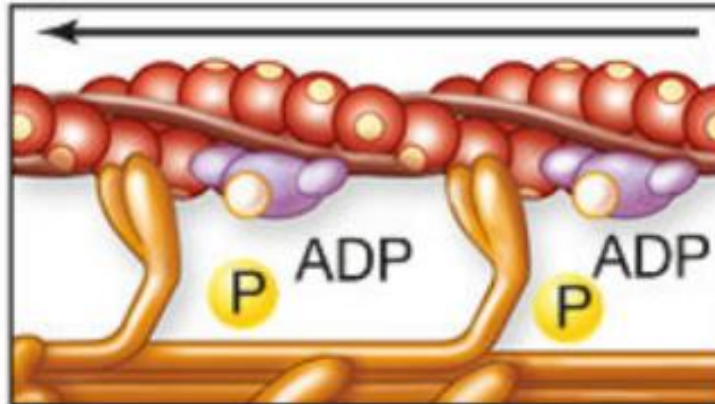
- Le teste di miosina legano i siti di attacco esposti sui filamenti di actina e si ha la formazione del ponte crociato (le teste di miosina sono inclinate di circa 45° rispetto al filamento sottile)



2 I ponti crociati legano l'actina alla miosina.

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

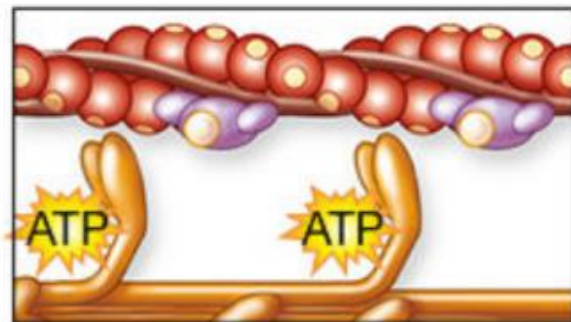
- La miosina causa lo scorrimento dei filamenti di actina verso l'interno e rilascia l'ADP e il gruppo fosfato (derivati dall'idrolisi dell'ATP)



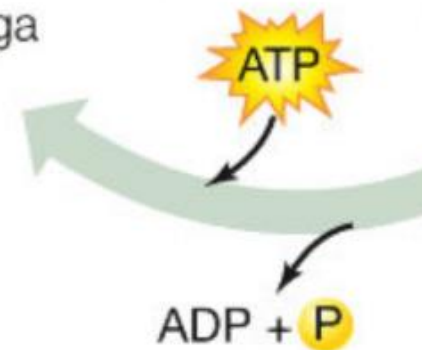
3 I ponti crociati tirano i filamenti sottili (il colpo di remi); ADP + **P** sono rilasciati dalla miosina.

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

- Il legame di una nuova molecola di ATP alla miosina determina la rottura del ponte trasversale con il distacco della testa di miosina dal filamento di actina

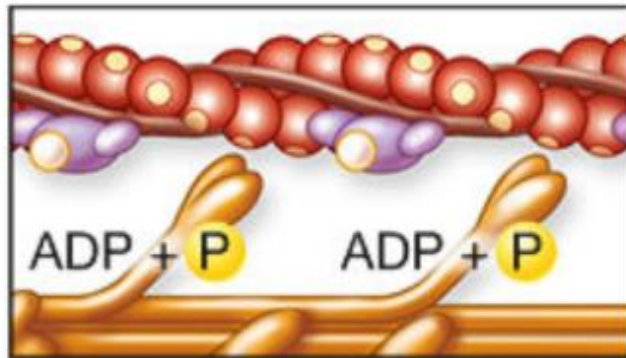


4 Nuovo ATP si lega alla miosina, sciogliendo i legami.



LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

- Una volta legata alla miosina, la molecola di ATP viene scissa in ADP e gruppo fosfato
- L'energia che si libera da questa reazione permette alla testa di miosina di tornare nella posizione iniziale
- ADP e gruppo fosfato rimangono legati alla miosina ma potranno essere rilasciati durante la contrazione

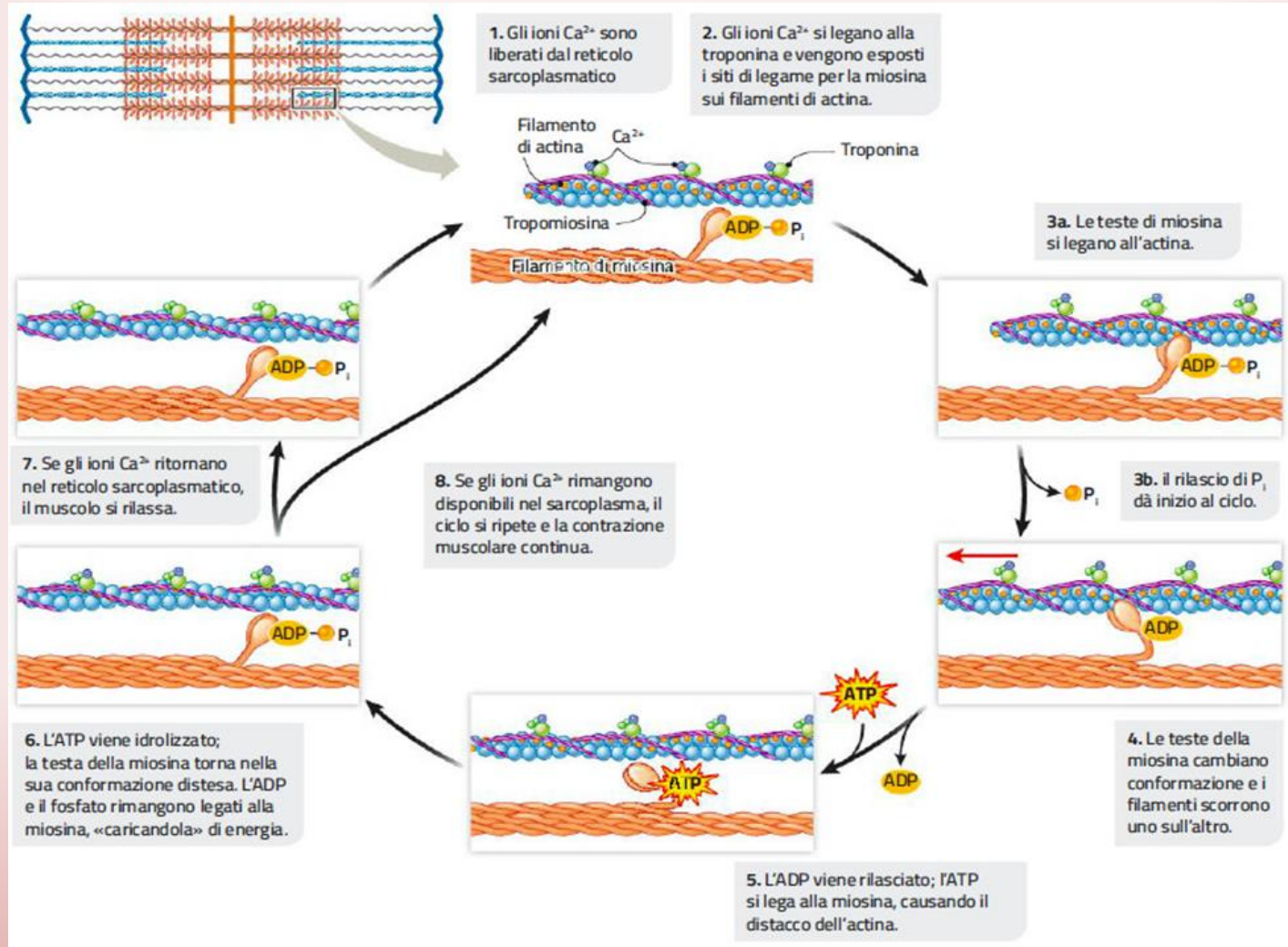


- 5** L'ATP si scinde, fornendo l'energia necessaria a inclinare le teste della miosina.

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

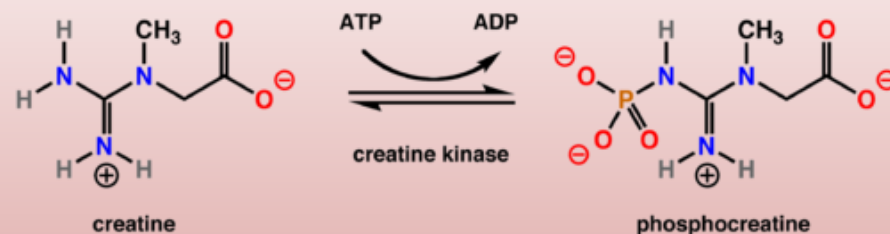
- A questo punto, se nel citoplasma sono ancora presenti gli ioni calcio, la miosina può di nuovo attaccarsi all'actina e far ripartire il ciclo
- Se invece gli ioni calcio vengono riportati, mediante trasporto attivo, nel reticolo sarcoplasmatico, il muscolo si rilassa
- Ciò avviene perché la troponina e la tropomiosina, in assenza di ioni calcio, ritornano nelle loro posizioni originali e di conseguenza l'actina e la miosina non riescono ad interagire tra loro, nonostante l'ATP sia ancora disponibile

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

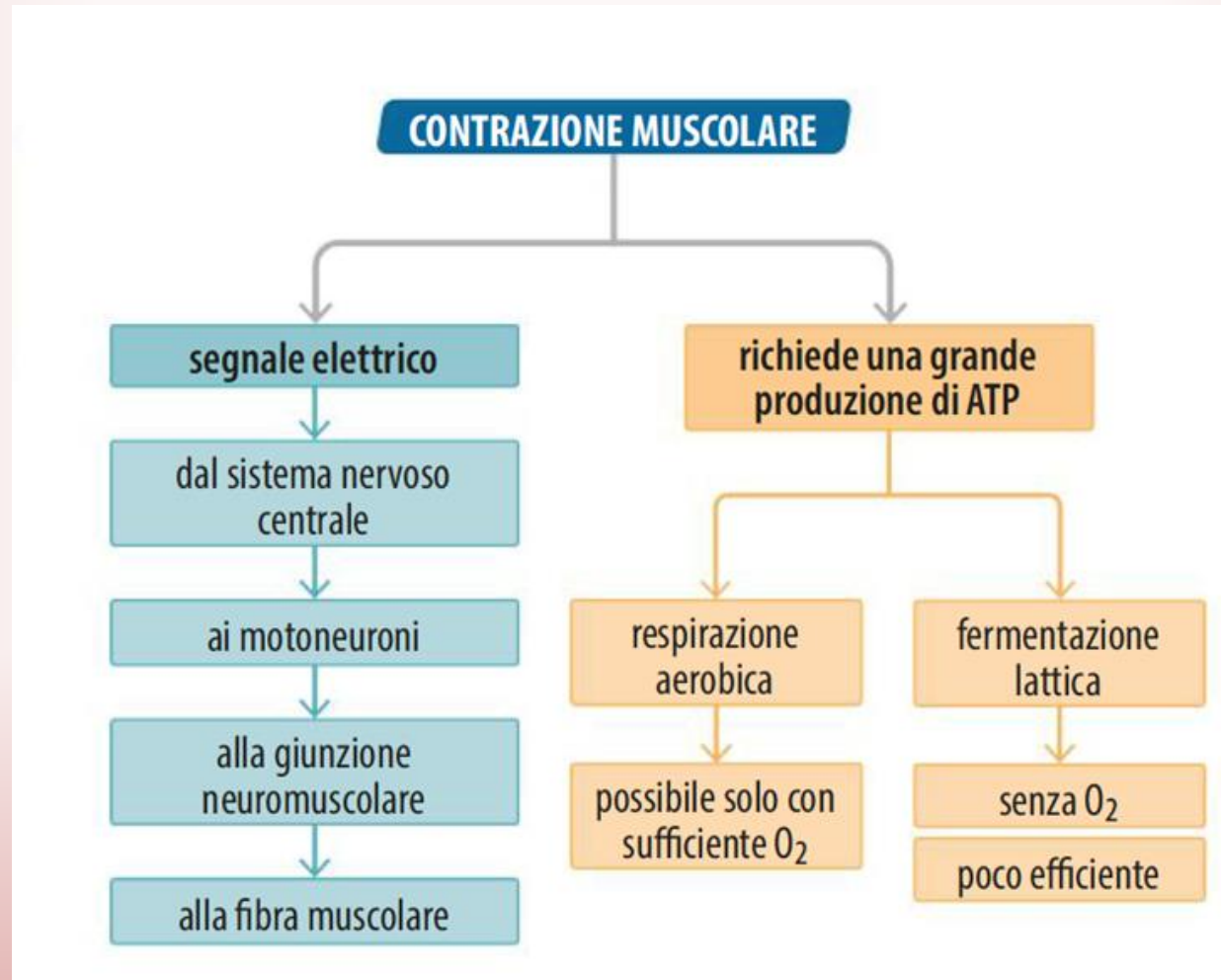


MUSCOLO SCHELETRICO E ATP

- Il muscolo scheletrico necessita energia, e quindi di ATP, per sciogliere il legame tra actina e miosina durante il processo di contrazione ma anche per riportare gli ioni Ca^{2+} nel reticolo sarcoplasmatico al termine della stimolazione
- Il muscolo può produrre ATP attraverso tre diverse modalità:
 - **respirazione aerobica:** via metabolica che utilizza ossigeno (O_2) per generare ATP
 - **scissione della fosfocreatina:** molecola che, cedendo all'ADP gruppi fosfato ad alta energia, è in grado di reintegrare le scorte di ATP
 - **fermentazione lattica:** via metabolica che non richiede la presenza di O_2 per generare una piccola quantità di ATP

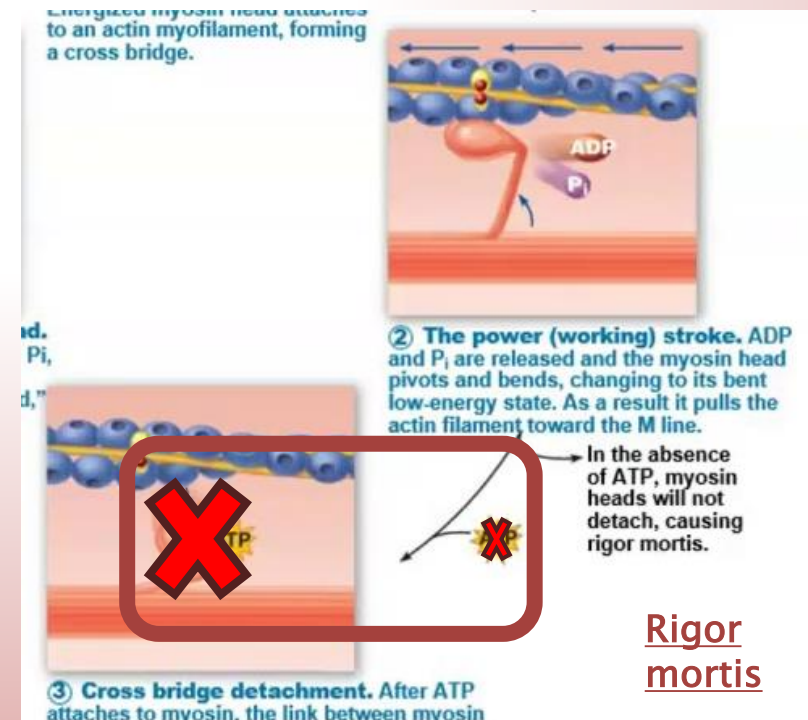
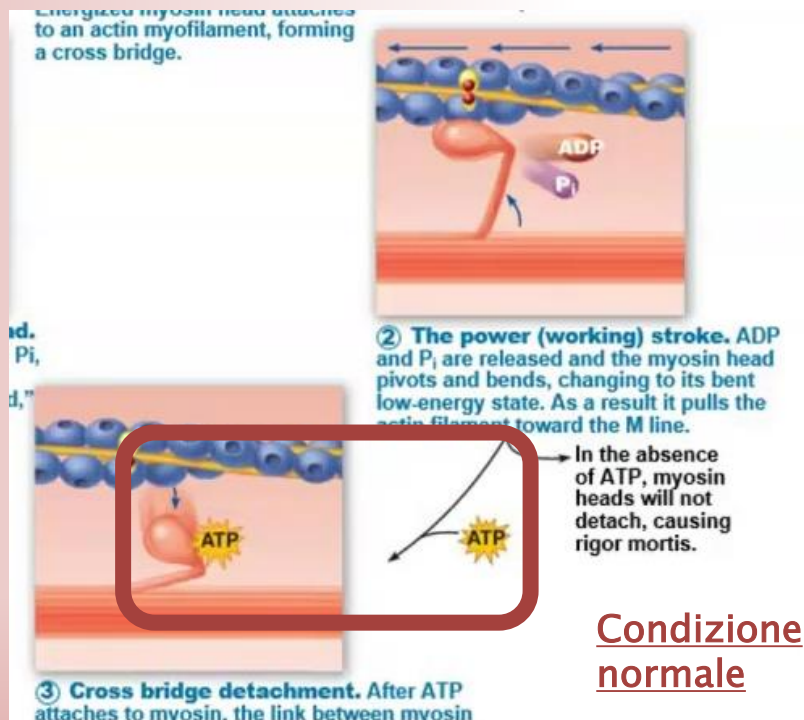


LA CONTRAZIONE MUSCOLARE



RIGOR MORTIS

- Il rigor mortis è una condizione che porta all'irrigidimento dei muscoli e si verifica poco dopo il decesso
- Subito dopo la morte, infatti, i muscoli smettono di produrre ATP e di conseguenza i ponti crociati non possono sciogliersi
- La rigidità muscolare si protrae in genere per un paio di giorni, fino a quando i filamenti proteici cominciano ad essere degradati



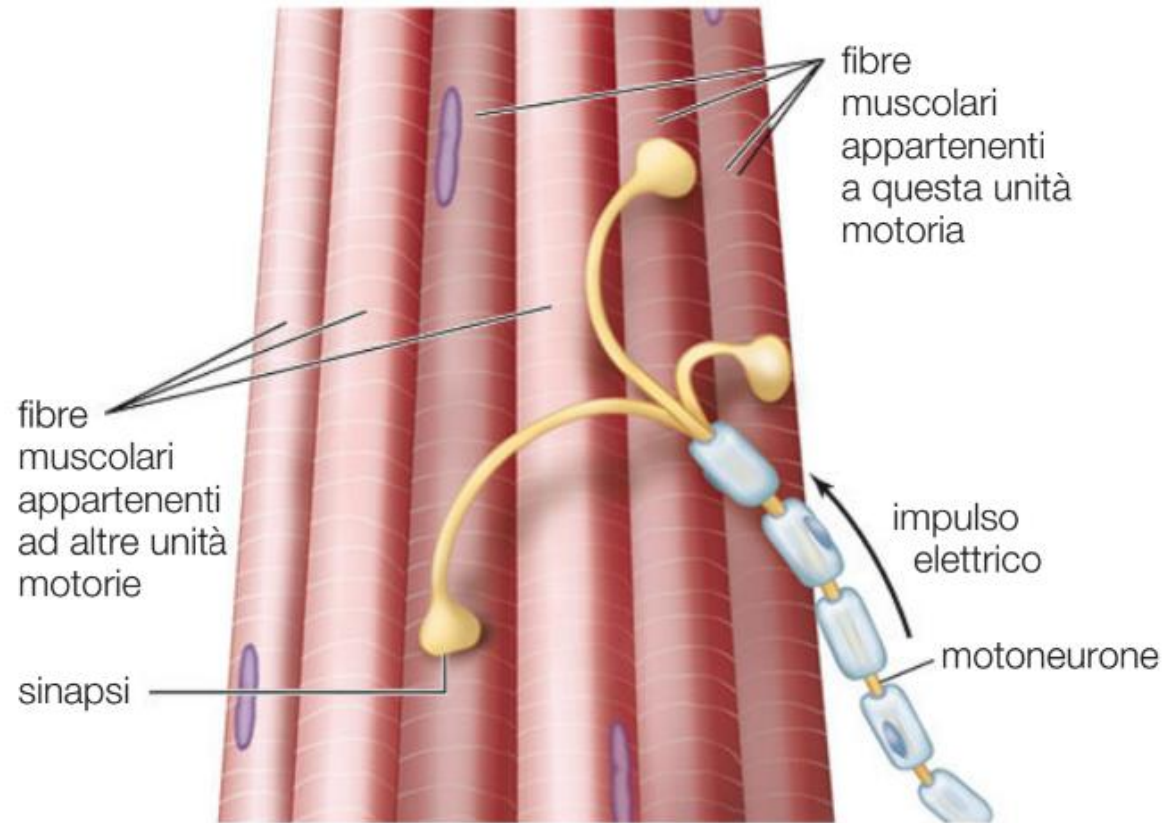
TETANO E BOTULISMO

- Il **tetano** è una malattia infettiva acuta non contagiosa causata dal batterio *Clostridium tetani*, un batterio in grado di produrre una tossina (tossina tetanica) capace di generare una fortissima contrazione muscolare, senza possibilità di rilassamento. Il risultato è la **paralisi spastica** dovuta alla mancanza di inibizione motoria, con contrazione contemporanea dei muscoli antagonisti ed agonisti, evento drammatico che, oltre a poter aver un esito mortale in caso di interessamento dei muscoli respiratori, è responsabile delle manifestazioni cliniche
- Il **botulismo** è una malattia causata da un'intossicazione alimentare, provocata dall'ingestione di alimenti nei quali è presente la tossina (tossina botulinica) del batterio *Clostridium botulinum*. Questa tossina impedisce il rilascio di acetilcolina in corrispondenza delle sinapsi colinergiche periferiche, provocando una **paralisi flaccida** dei muscoli che quindi non sono in grado di contrarsi. L'ingestione di alte dosi di tossina botulinica può portare alla morte mentre, in bassissime dosi, è usata in chirurgia estetica

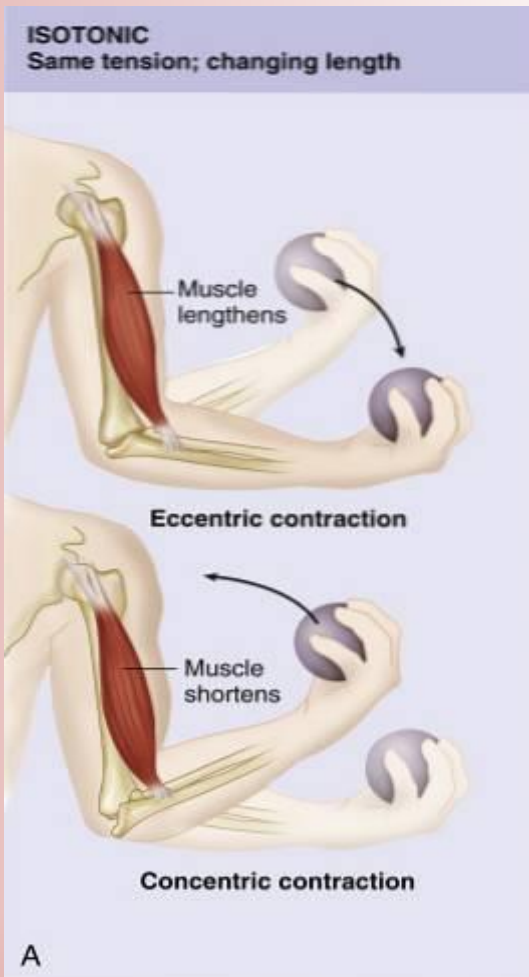
LA FORZA DELLA CONTRAZIONE MUSCOLARE

- **Spasmo o contrazione localizzata:** successione rapida di contrazioni e rilassamenti prodotta dalla stimolazione elettrica esterna di una fibra muscolare (attività improvvisa e involontaria)
- In genere i movimenti sono coordinati e precisi grazie a dei meccanismi di regolazione
- Il primo meccanismo è correlato alla disponibilità di ioni calcio nel citoplasma delle fibre muscolari
- Il secondo è correlato alla contrazione delle unità motorie
- **Unità motoria:** struttura composta da un motoneurone e da tutte le fibre muscolari che esso innerva
- Il numero di fibre per unità motoria è inversamente proporzionale alla precisione di controllo
- Più unità motorie si attivano, più forte è la contrazione

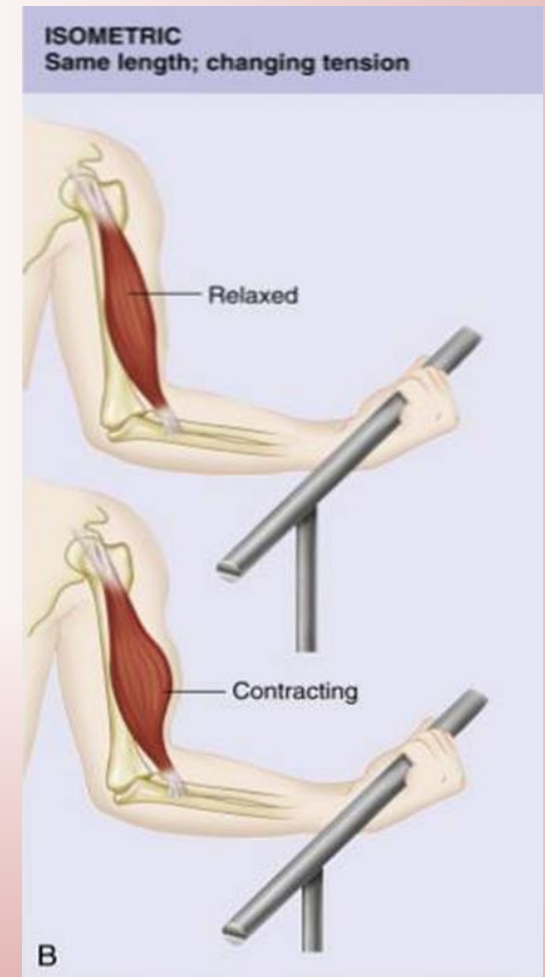
LA FORZA DELLA CONTRAZIONE MUSCOLARE



CONTRAZIONE ISOTONICA E ISOMETRICA



- Le contrazioni muscolari si dividono in:
 - **contrazione isotonica:** la tensione (forza) prodotta rimane costante, mentre la lunghezza del muscolo diminuisce
 - **contrazione isometrica:** la lunghezza del muscolo rimane costante (non varia) anche all'aumentare della tensione

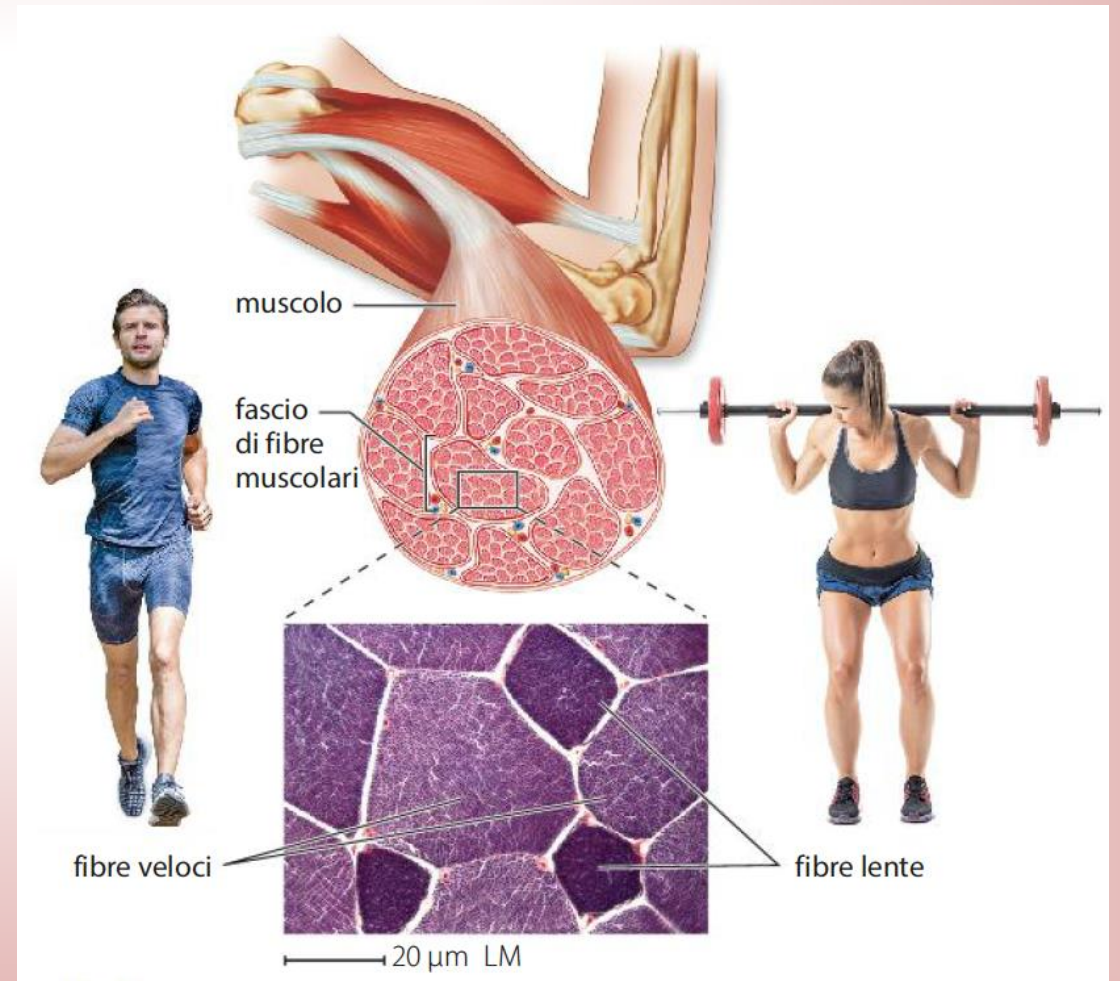


FIBRE LENTE E FIBRE VELOCI

- Ogni muscolo contiene un insieme di fibre che differiscono per velocità di contrazione, consumo di ossigeno, bisogni energetici e resistenza
- Si definiscono **fibre lente** quelle fibre muscolari scure e di piccole dimensioni che si contraggono per un periodo di tempo abbastanza lungo e che presentano un metabolismo aerobico
- Si definiscono **fibre veloci** quelle fibre muscolari chiare e di dimensioni maggiori che si contraggono per brevissimi periodi di tempo e che presentano un metabolismo anaerobico
- Le prestazioni sportive sono influenzate dal tipo di fibre che compongono un muscolo (lente o veloci)
- L'allenamento anaerobico consente di allenare la potenza muscolare, mentre quello aerobico la resistenza

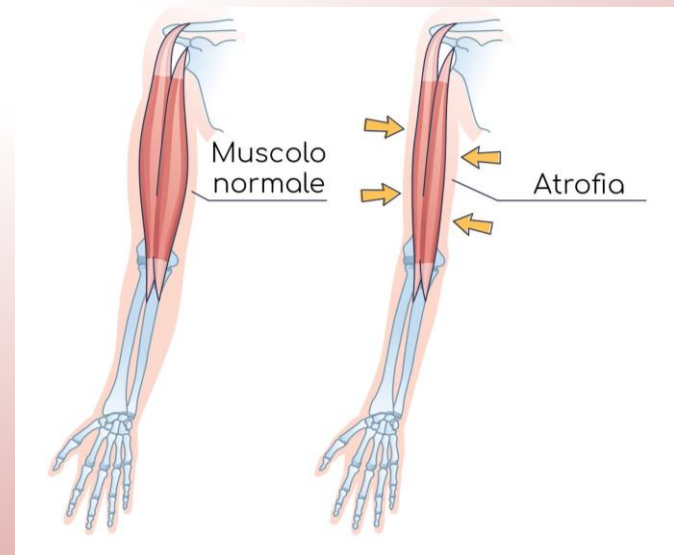
FIBRE LENTE E FIBRE VELOCI

Caratteristiche	Fibre lente	Fibre veloci
Metabolismo	Aerobico	Anaerobico
Uso dell'energia	Lento, regolare	Veloce, esplosivo
Resistenza	Alta	Bassa



ESERCIZIO FISICO E MUSCOLI

- L'**ipertrofia muscolare** è un aumento delle dimensioni delle fibre muscolari e quindi della massa muscolare. Attraverso l'esercizio fisico, il lavoro muscolare con sovraccarichi porta ad un aumento della massa muscolare mediante questo adattamento biologico
- L'**atrofia muscolare** è una condizione caratterizzata dalla riduzione di volume e degenerazione funzionale dei muscoli dovuta alla diminuzione di volume delle singole cellule che li compongono



DANNI A MUSCOLI E TENDINI

- Lo **stiramento muscolare** è un evento causato dall'eccessivo allungamento delle fibre muscolari
- Lo **strappo muscolare** è una lesione piuttosto grave che causa la rottura di alcune fibre che compongono il muscolo
- Le **lesioni tendinee** o **tendinopatie** si producono in seguito a un sovraccarico dei tendini che provoca rotture parziali o totali della struttura tendinea
- La **contrattura muscolare** è una lesione muscolare provocata dalla contrazione involontaria, dolorosa e improvvisa di uno o più muscoli, con conseguente irrigidimento del muscolo