

MUSCOLO SCHELETRICO

I muscoli scheletrici sono gli organi che, tenendo insieme e muovendo i segmenti del corpo, permettono il movimento.

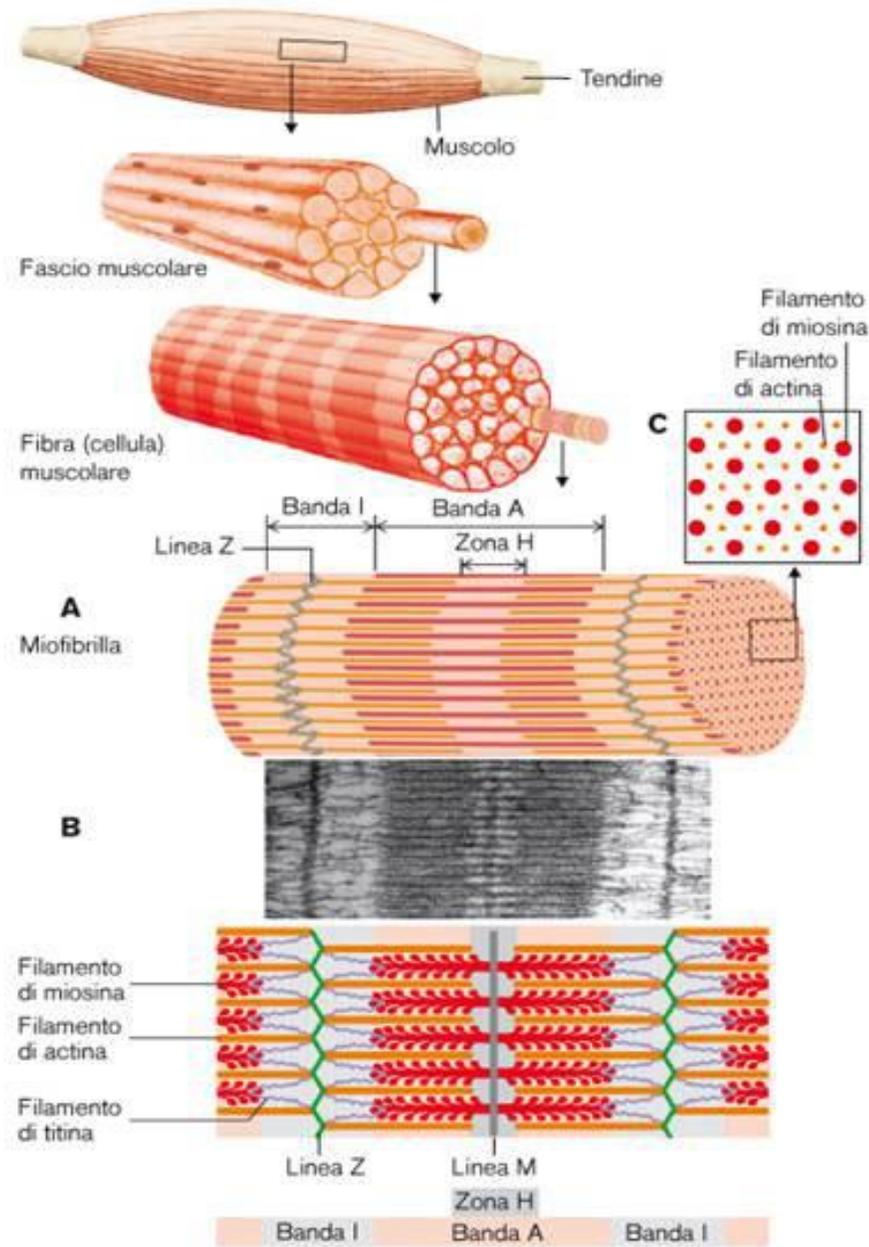
La contrazione muove i segmenti corporei in varie direzioni tra di loro e rispetto all'ambiente circostante.

La forza espressa dai muscoli consente anche di spostare e sollevare carichi esterni.

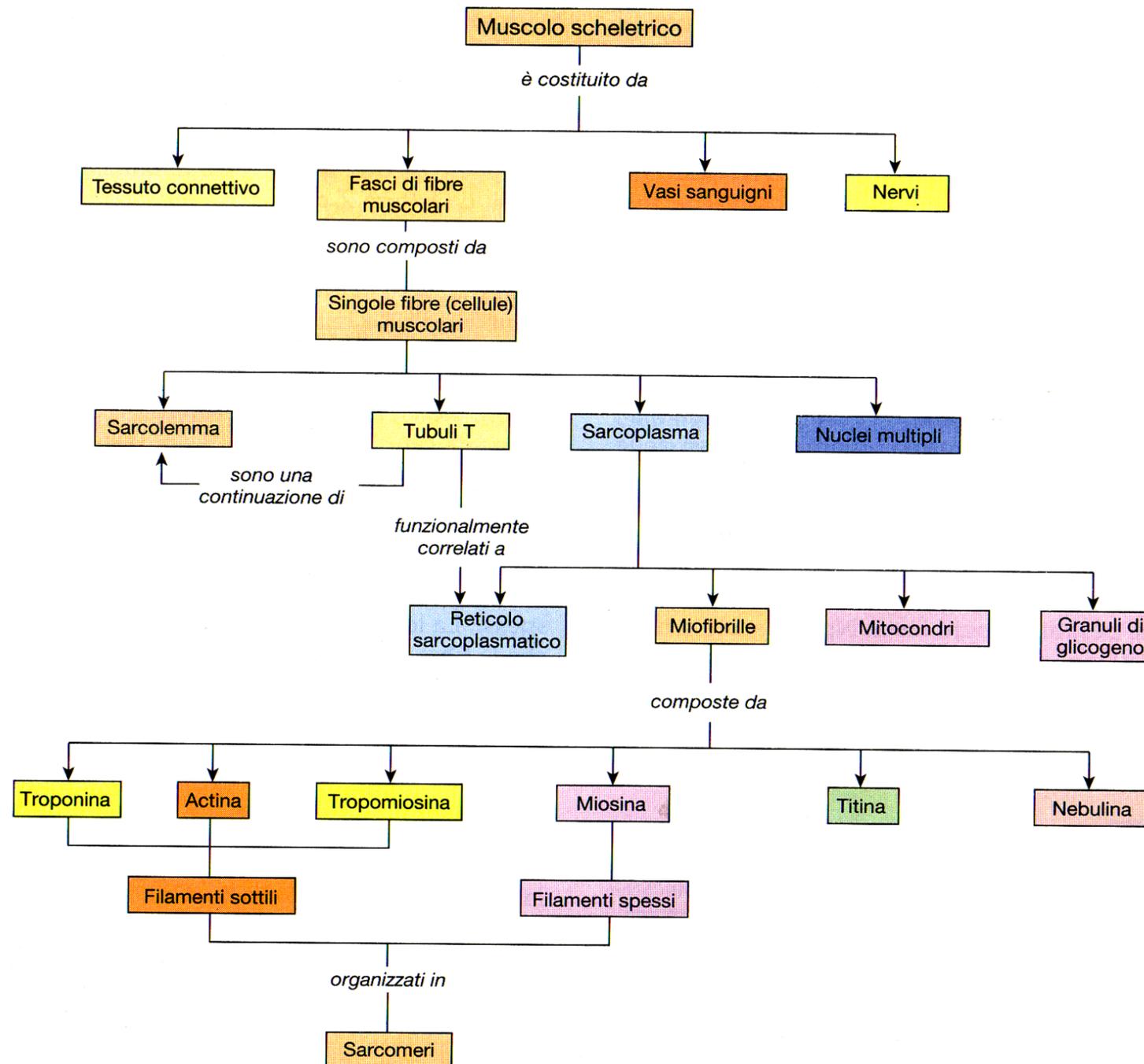
Costituenti il muscolo scheletrico

- Acqua (circa il 75%)
- Proteine (circa il 20%), tra cui la miosina e l'actina
- Glicidi (0,5-1,5%). Il più importante è il glicogeno
- Grasi neutri, colesterolo e fosfolipidi
- Sali minerali (circa il 5%)
- Enzimi
- Sostanze azotate (es.: creatina e urea) e sostanze non azotate (es.: acido lattico)
- Pigmenti (es.: la mioglobina)

Organizzazione interna della fibra muscolare



La fibra muscolare, cellula multinucleata, è delimitata da una membrana denominata **sarcolemma**, rivestita da uno strato di collagene, l'**endomisio**. Gruppi di cellule sono raccolti in fascicoli, circondati da un altro strato di connettivo il **perimisio** che a sua volta viene denominato **epimisio** quando avvolge l'intero muscolo. All'interno della fibra muscolare è presente l'unità contrattile, detta **sarcomero**

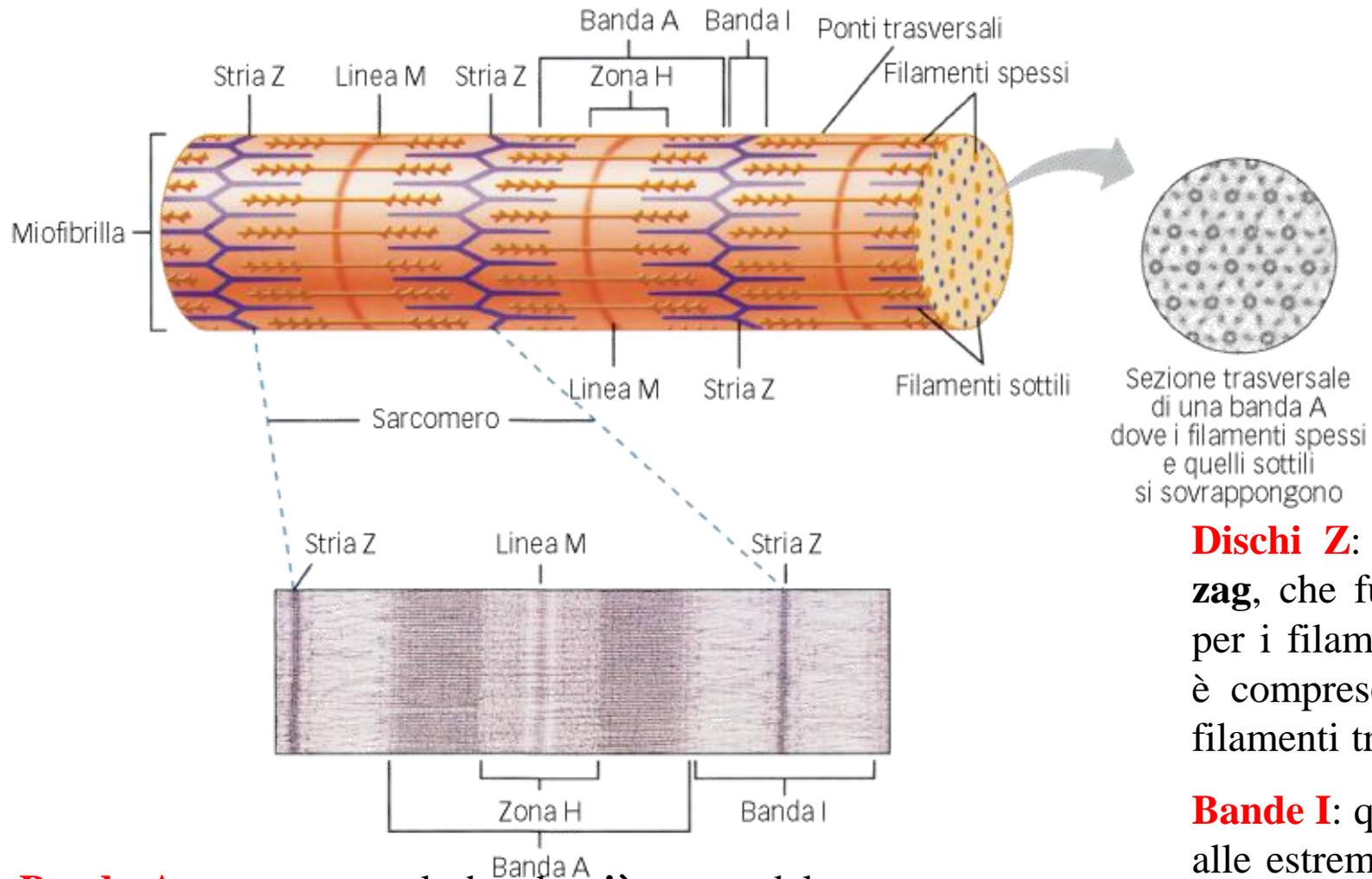


Actina – Miosina: proteine contrattili

Troponina – Tropomiosina: proteine regolatorie

Titina – Nebulina: proteine accessorie giganti

Sarcomero: unità contrattile della cellula muscolare

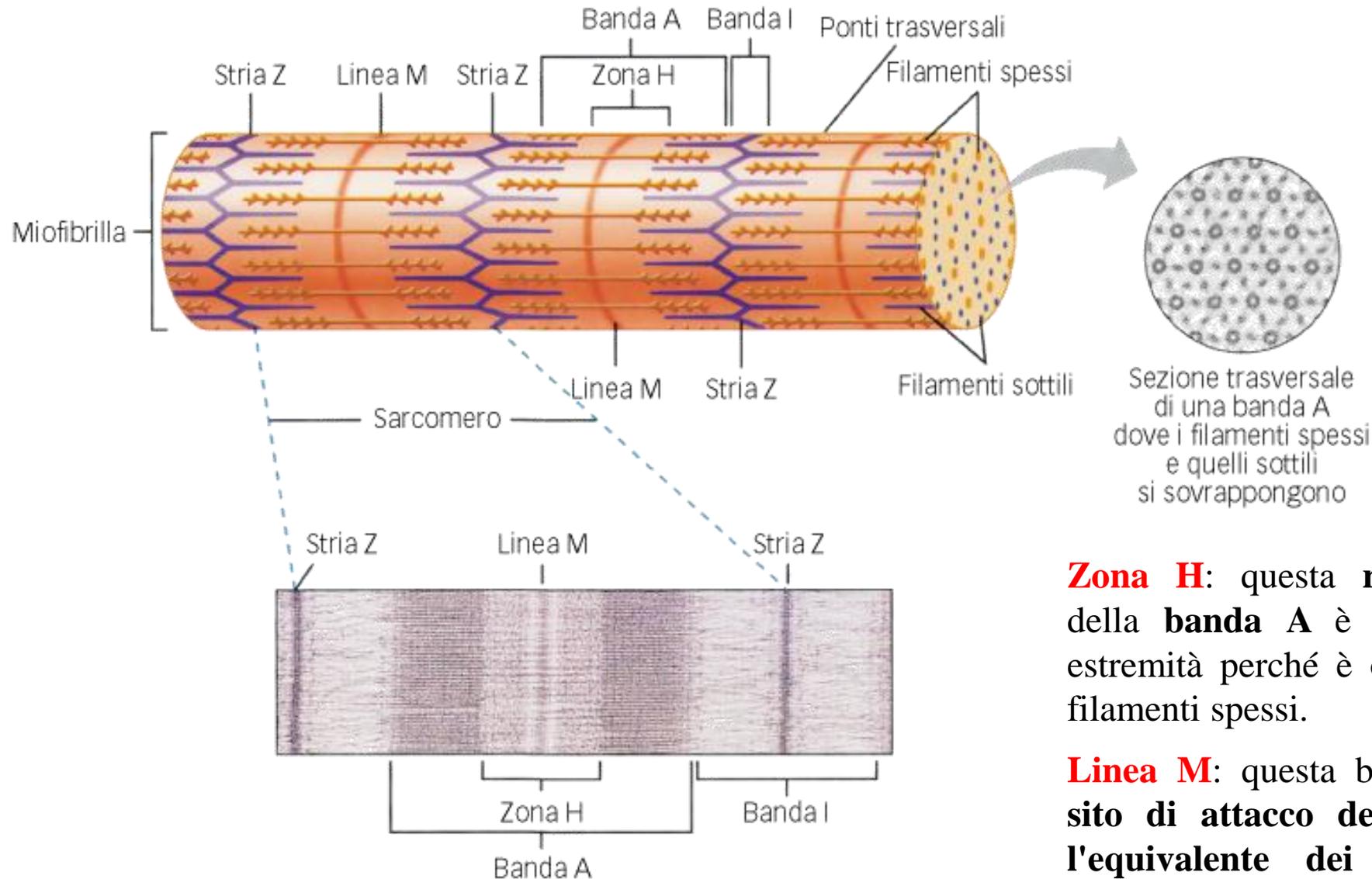


Sezione trasversale di una banda A dove i filamenti spessi e quelli sottili si sovrappongono

Bande A: queste sono le bande **più scure** del sarcomero e coprono l'intera lunghezza di un **filamento spesso**. Alle estremità esterne della banda A, il **filamento spesso e quello sottile si sovrappongono**, mentre il **centro** della banda A è occupato solo da **filamenti spessi**.

Dischi Z: strutture proteiche a **zig zag**, che fungono da sito di attacco per i filamenti sottili. Un sarcomero è compreso tra due dischi Z e dai filamenti tra essi compresi.

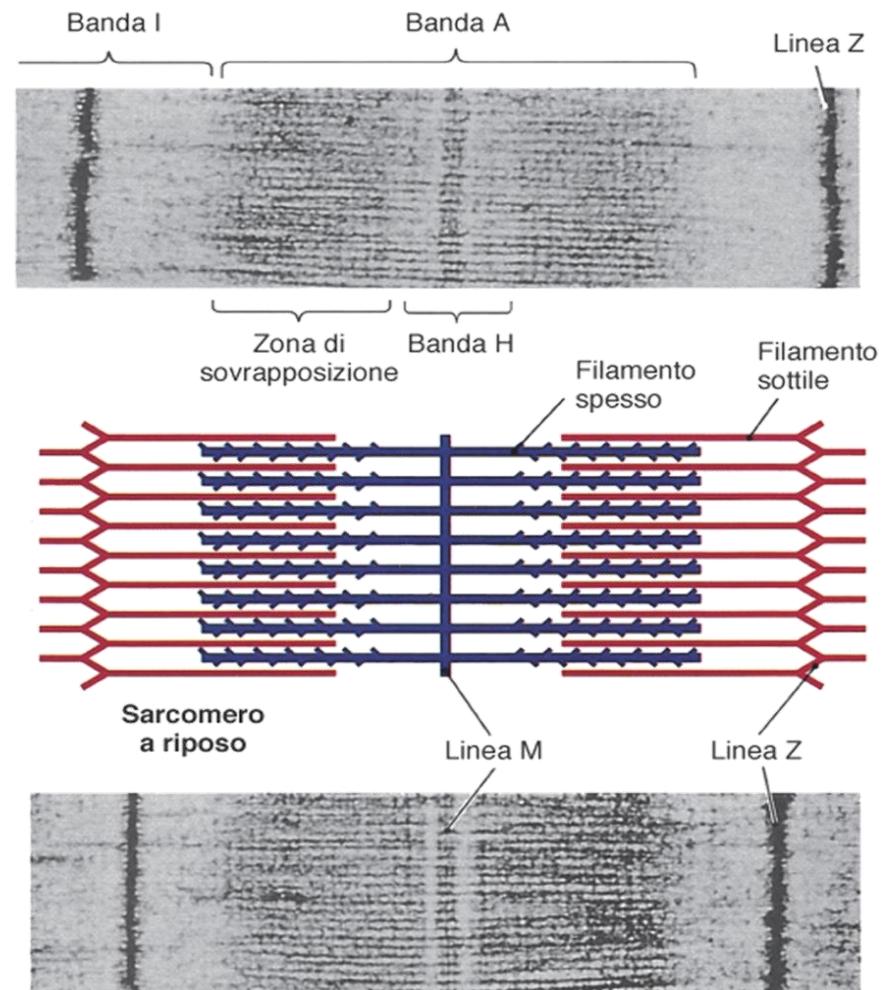
Bande I: queste sono le bande di colore **chiaro** alle estremità del sarcomero, e sono composte solo da **filamenti sottili**. Un disco Z attraversa a metà una banda I, quindi le **due** metà della banda I appartengono a due sarcomeri adiacenti.



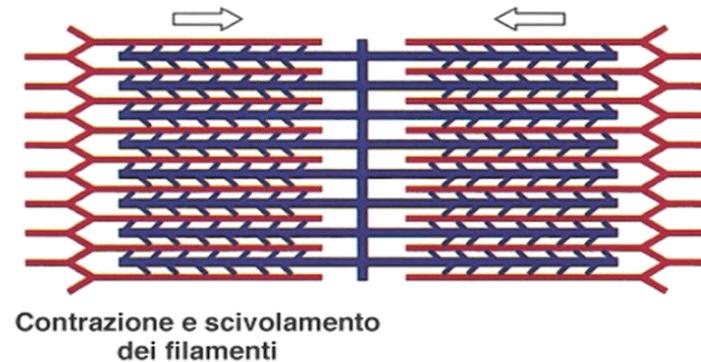
Zona H: questa **regione centrale** della **banda A** è più chiara della estremità perché è occupata solo da filamenti spessi.

Linea M: questa banda rappresenta il **sito di attacco dei filamenti spessi**, **l'equivalente dei dischi Z** per i filamenti sottili. Una banda A è divisa in due parti uguali da una linea M.

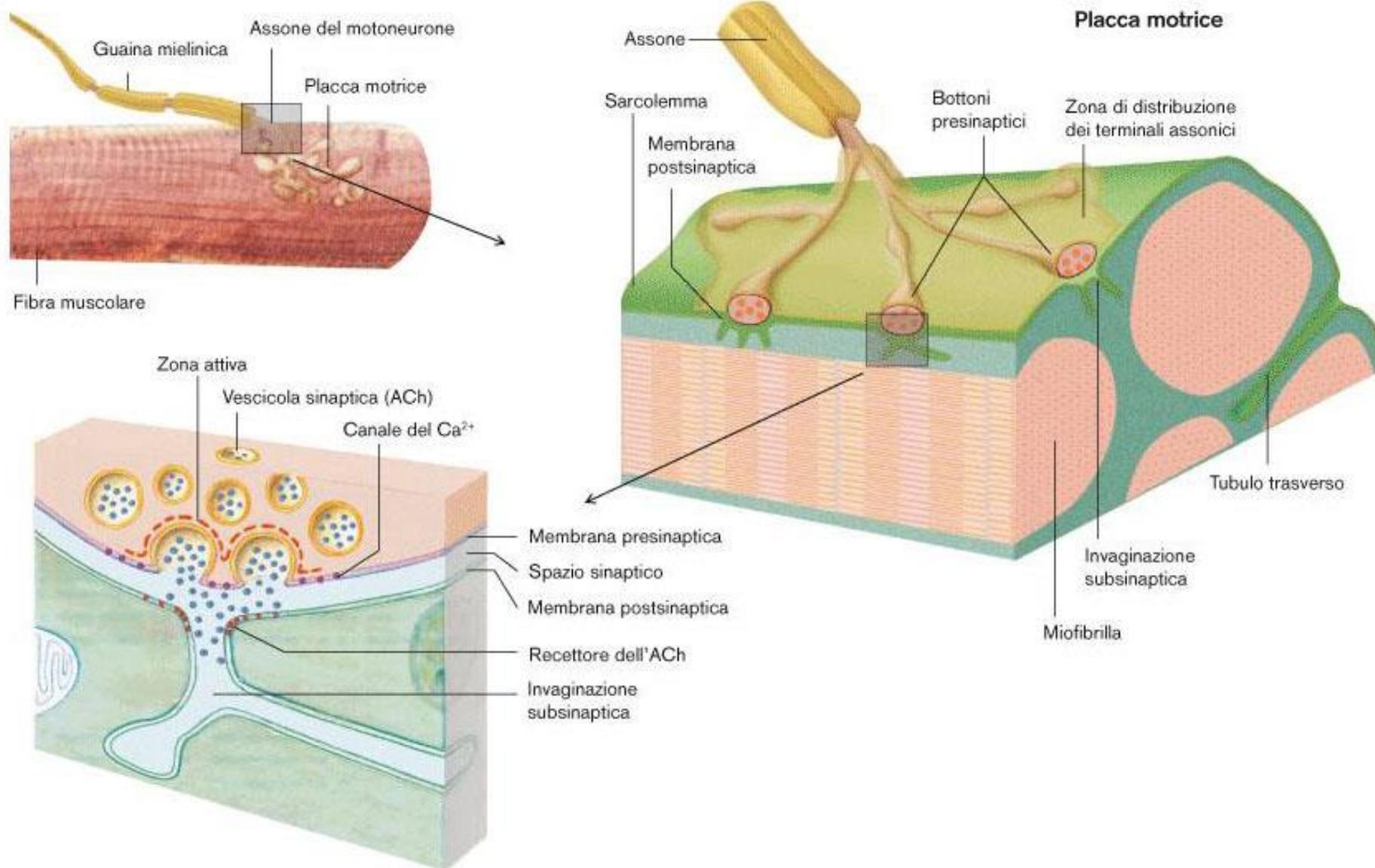
Variazione di aspetto del sarcomero durante la contrazione



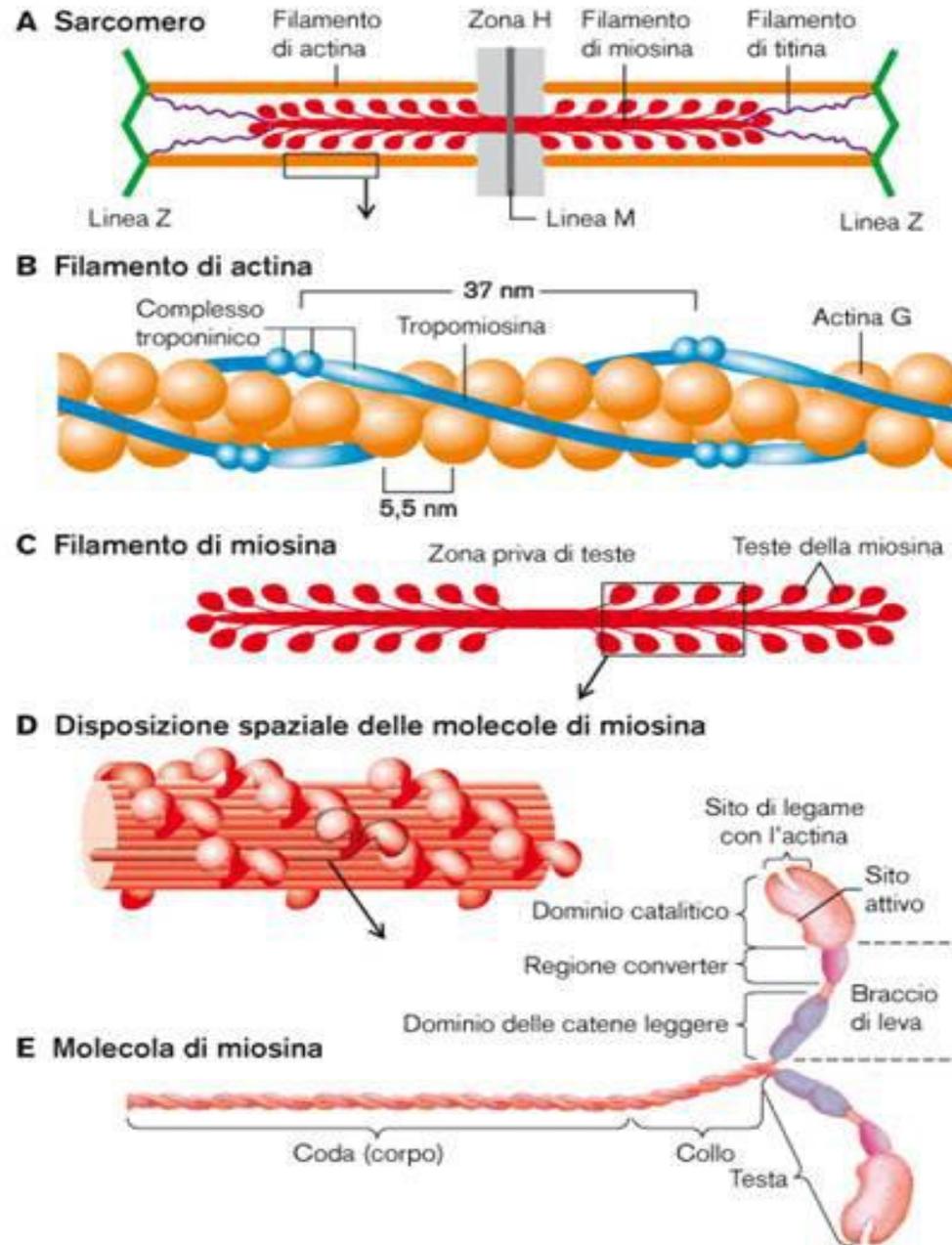
Sovrapposizione dei filamenti spessi e sottili



Placca Motrice-Giunzione neuromuscolare

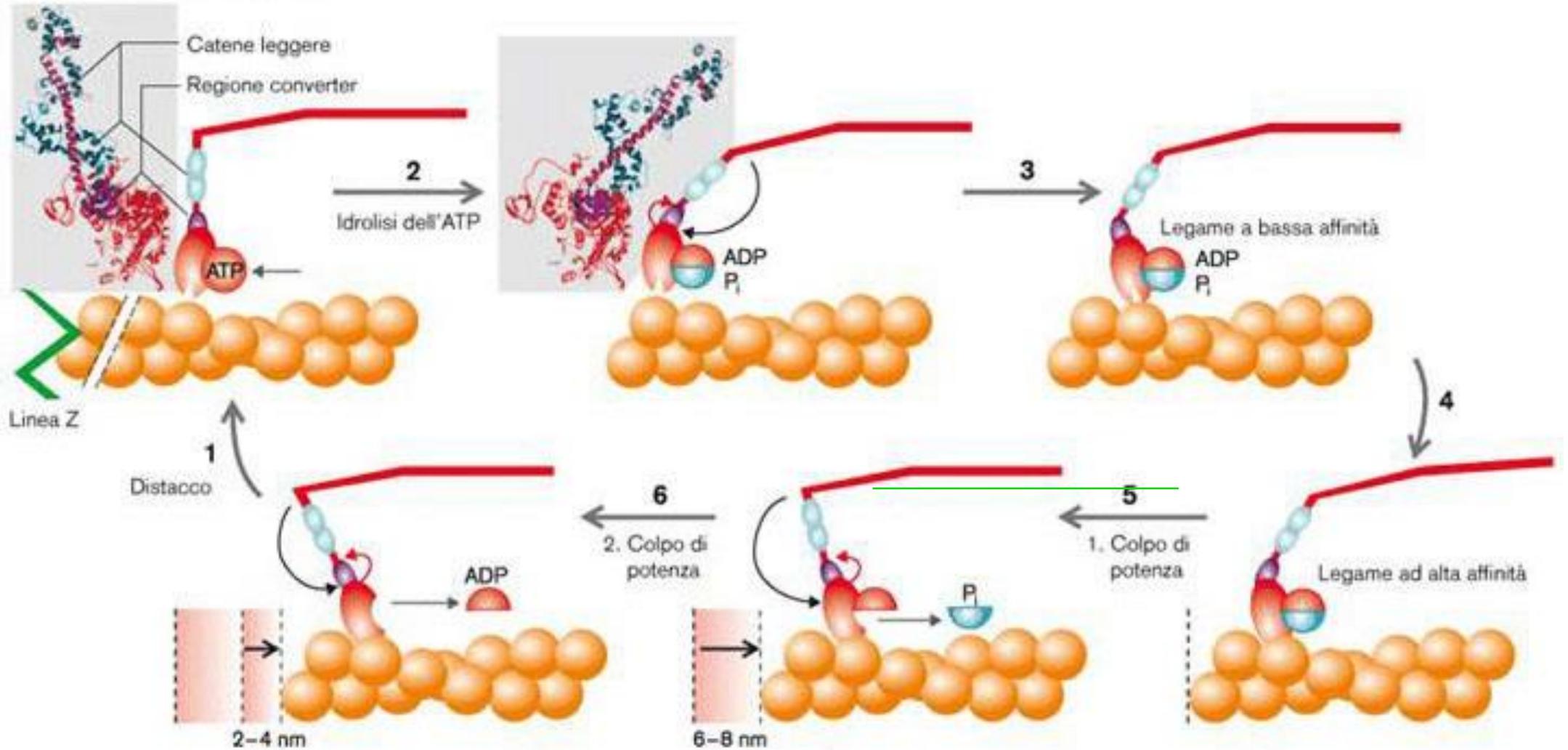


Actina e miosina

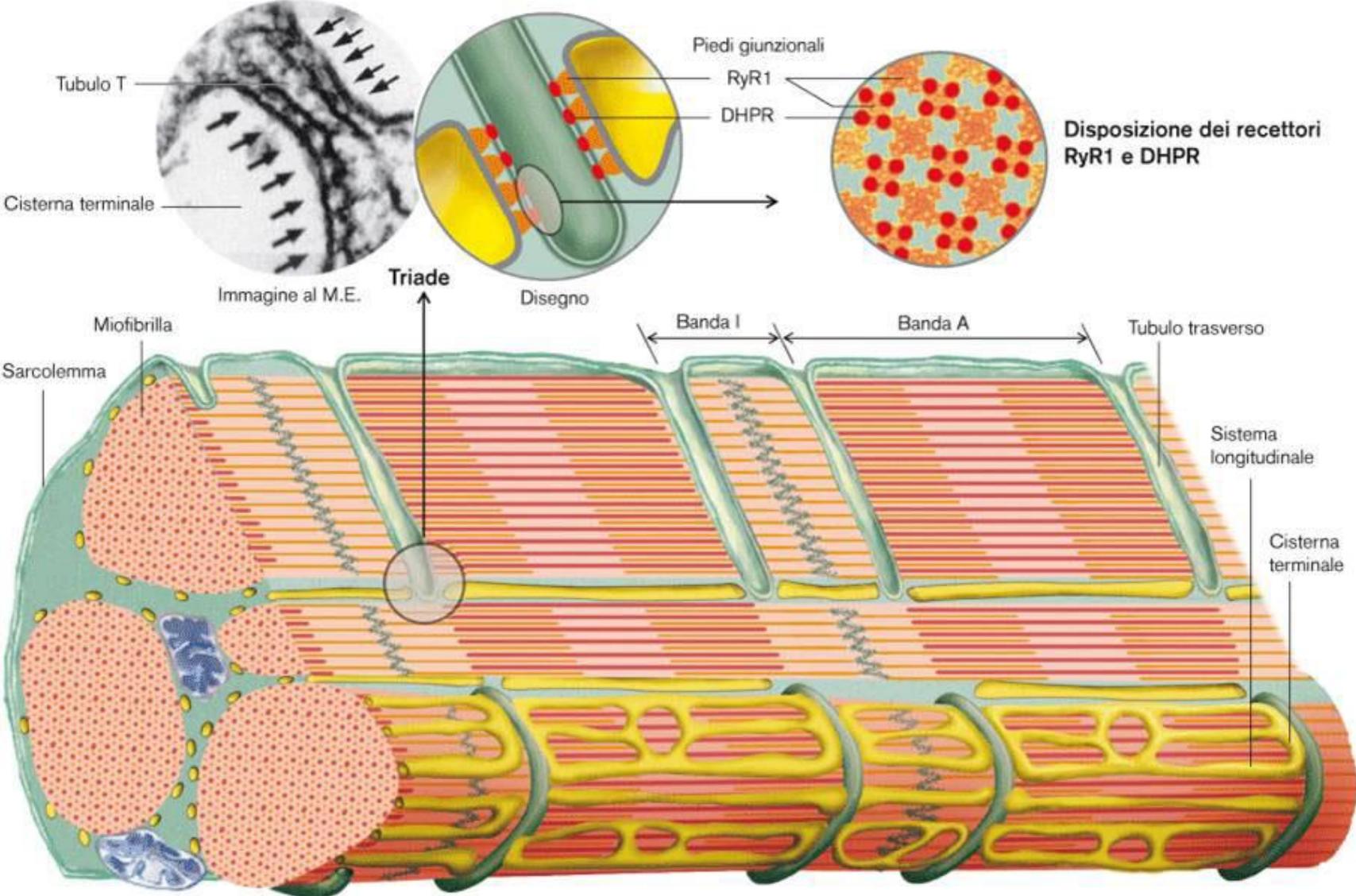


Scorrimento dei filamenti

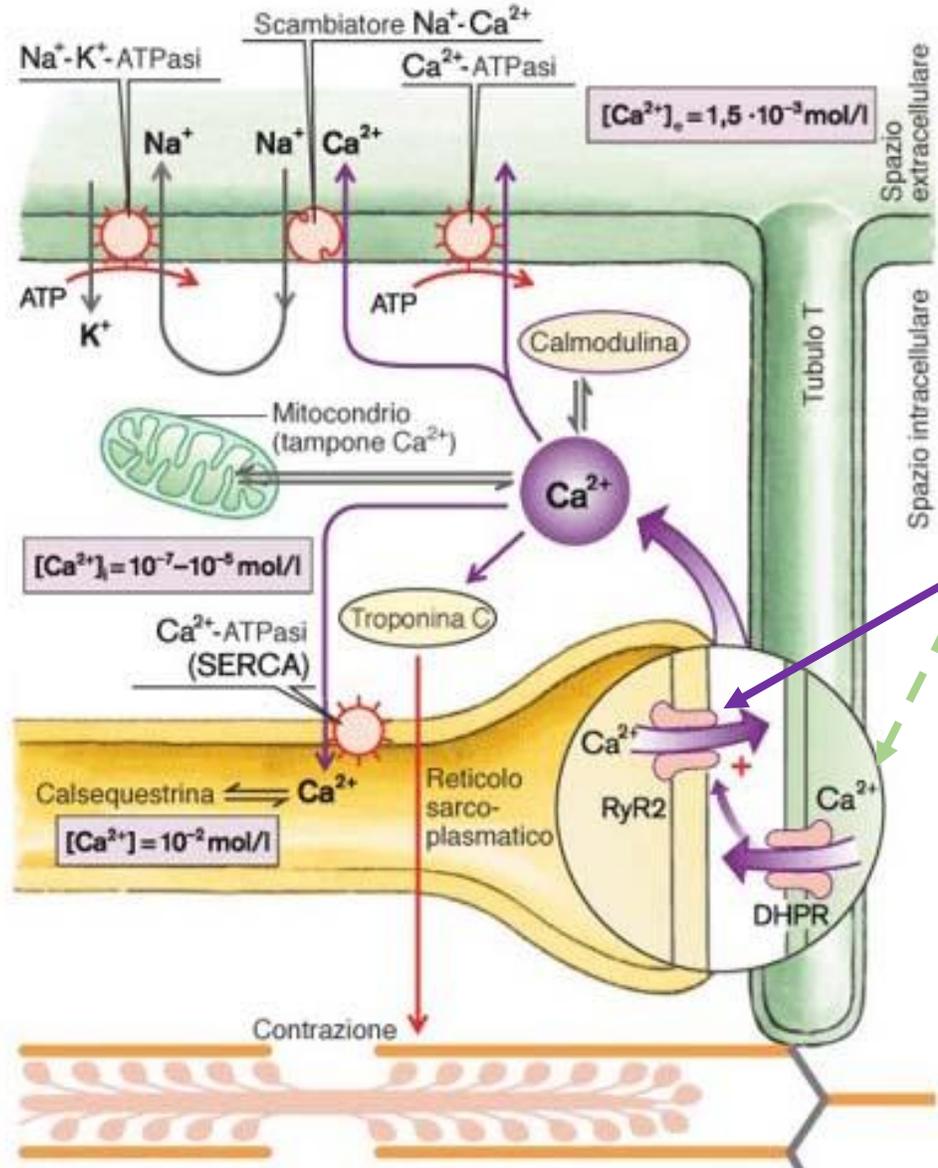
A Ciclo dei ponti trasversali



Accoppiamento eccitazione-contrazione



Accoppiamento eccitazione-contrazione

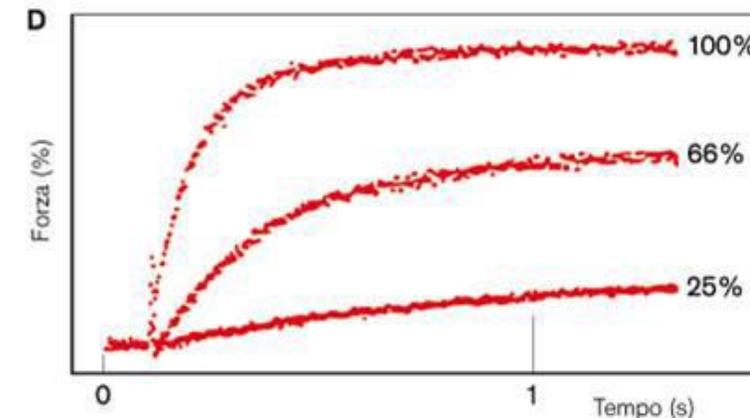
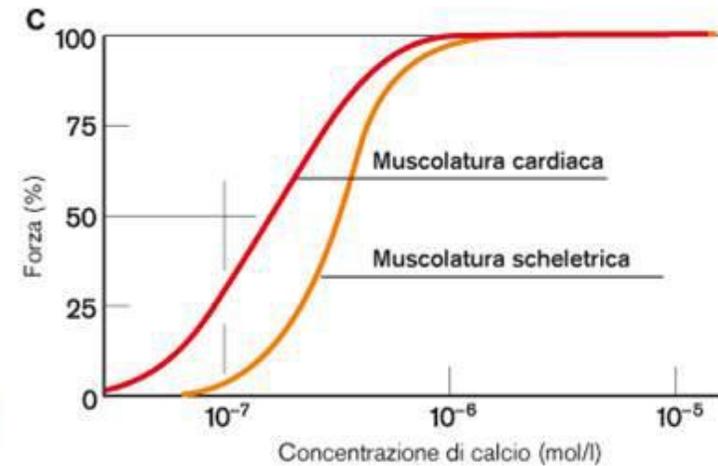
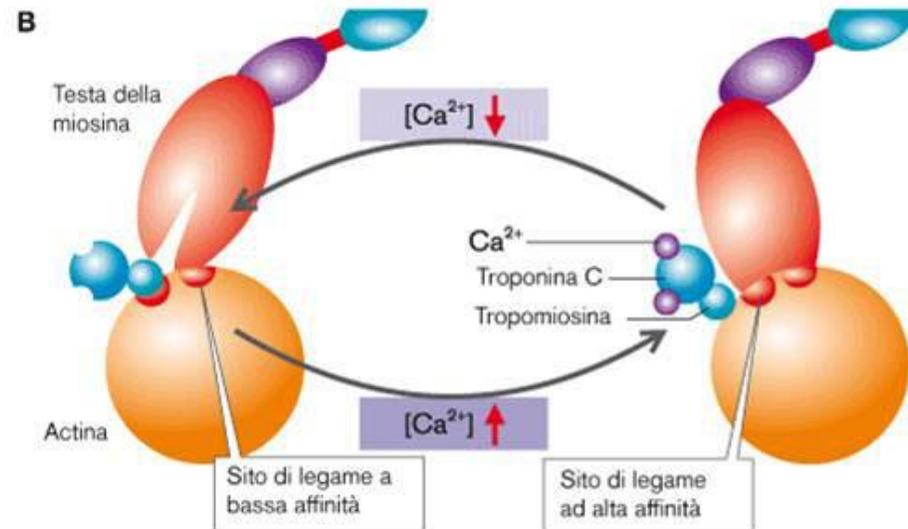
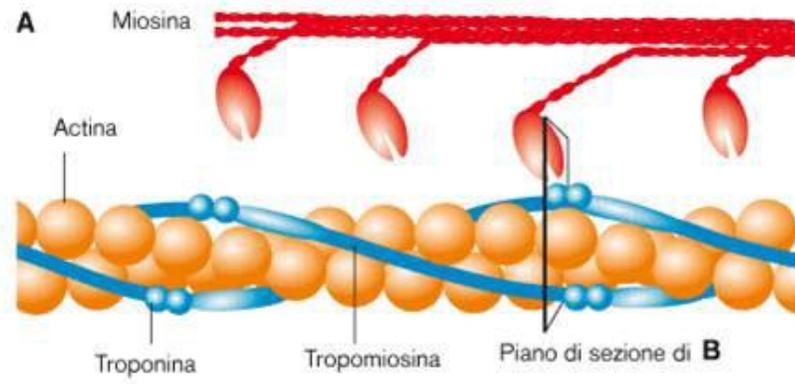


ContraZIONE
Ca-dipendente (2 fasi)

- 1.-fase di plateau: canali L recettore diidropiridina;
- 2.-attivazione canali reticolo, recettore per la rianodina; rilascio di Ca Ca-dipendente

Rilasciamento

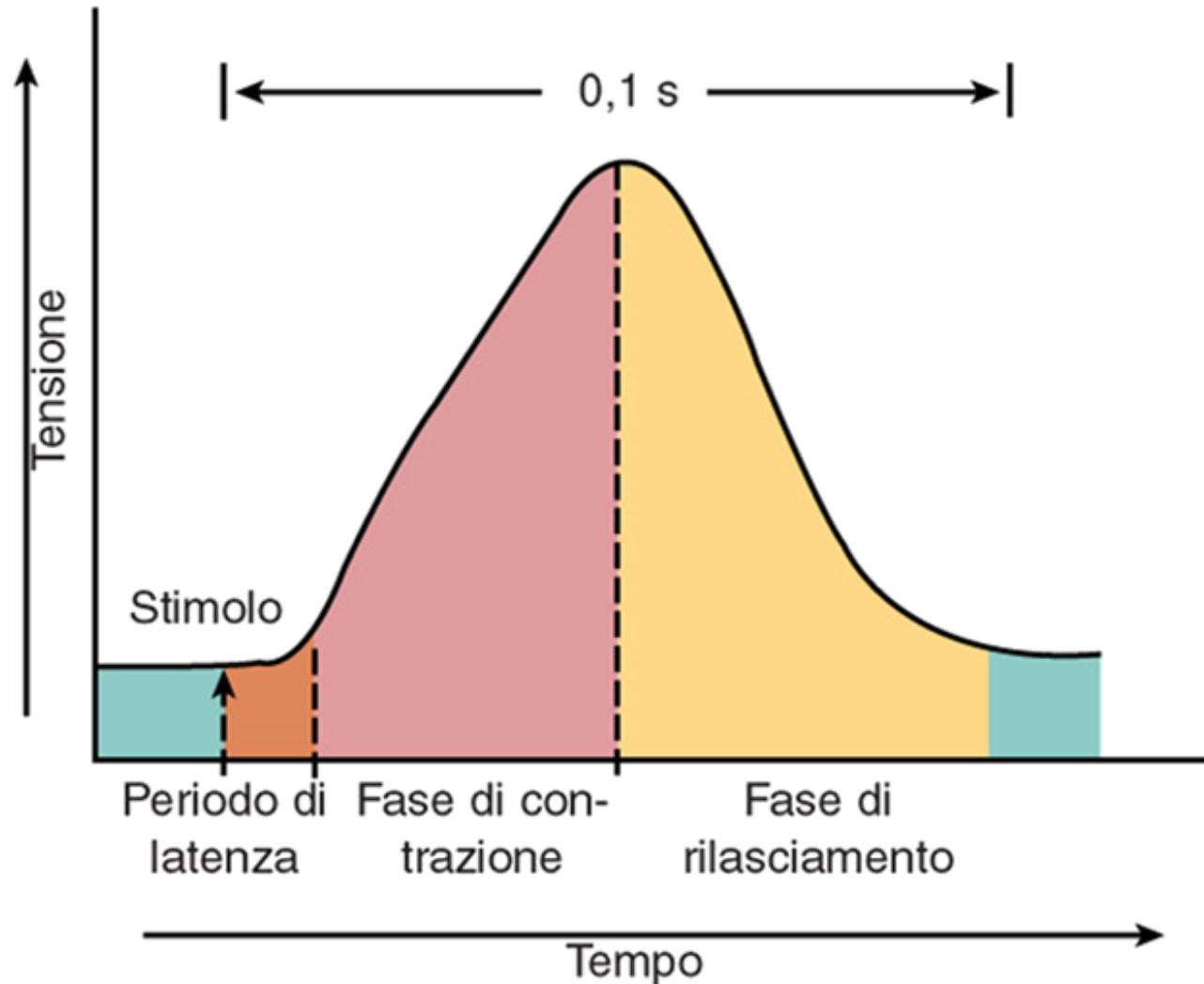
- ricaptazione del Ca: trasporto attivo SERCA (sarcoplasmic reticulum calcium-transporting ATP-ase), modulata dalla fosforilazione del **fosfolambano**;
- trasporto attivo di Ca fuori dalla cellula;
- *scambiatore Ca-Na (azione catcolammine)*



Il Ca^{2+} viene rilasciato dal RS nel sarcoplasma, dove si lega alle molecole di **troponina** nei filamenti sottili. **La tropomiosina** si sposta scoprendo i siti attivi dell'actina.

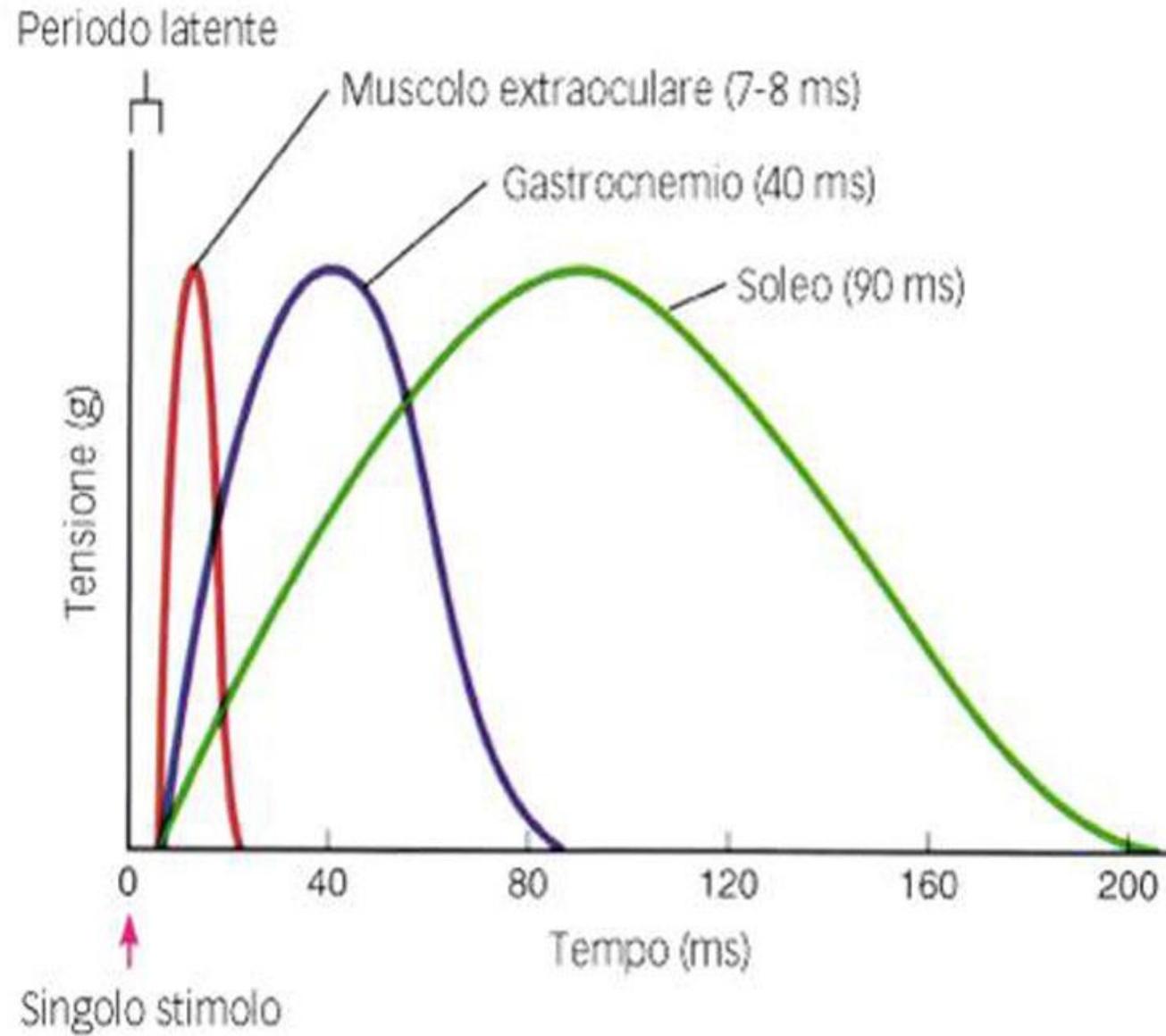
I ponti trasversali della miosina legata a molecole altamente energetiche si legano all'actina e usano la loro energia per tirare i filamenti sottili verso il centro del sarcomero.

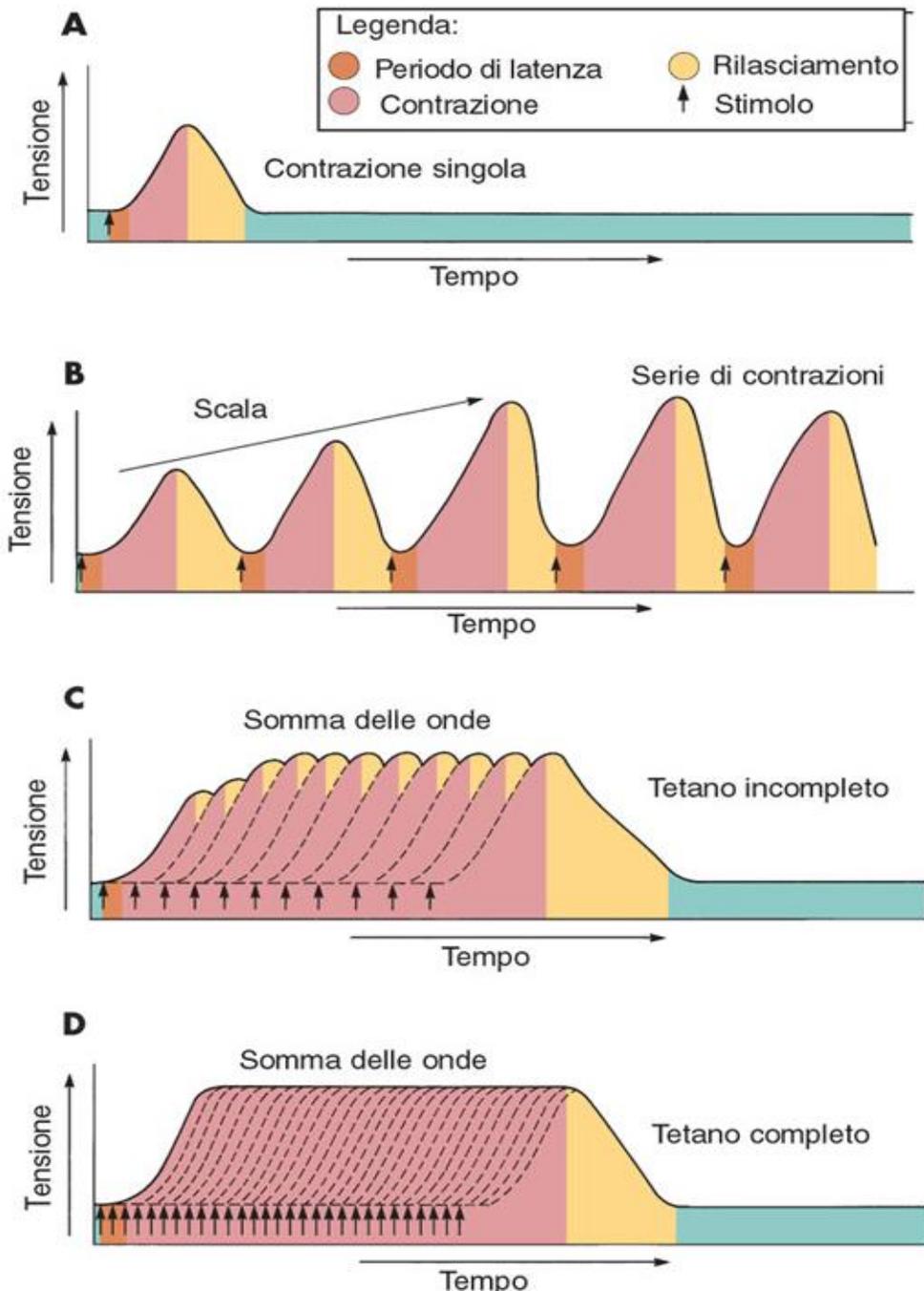
Le fasi di una scossa singola



Il muscolo non si contrae nello stesso istante in cui viene applicato lo stimolo, ma dopo un frazione di secondo.

Successivamente il muscolo aumenta la sua tensione (o si accorcia) fino ad un massimo, per poi tornare alla condizione di riposo.

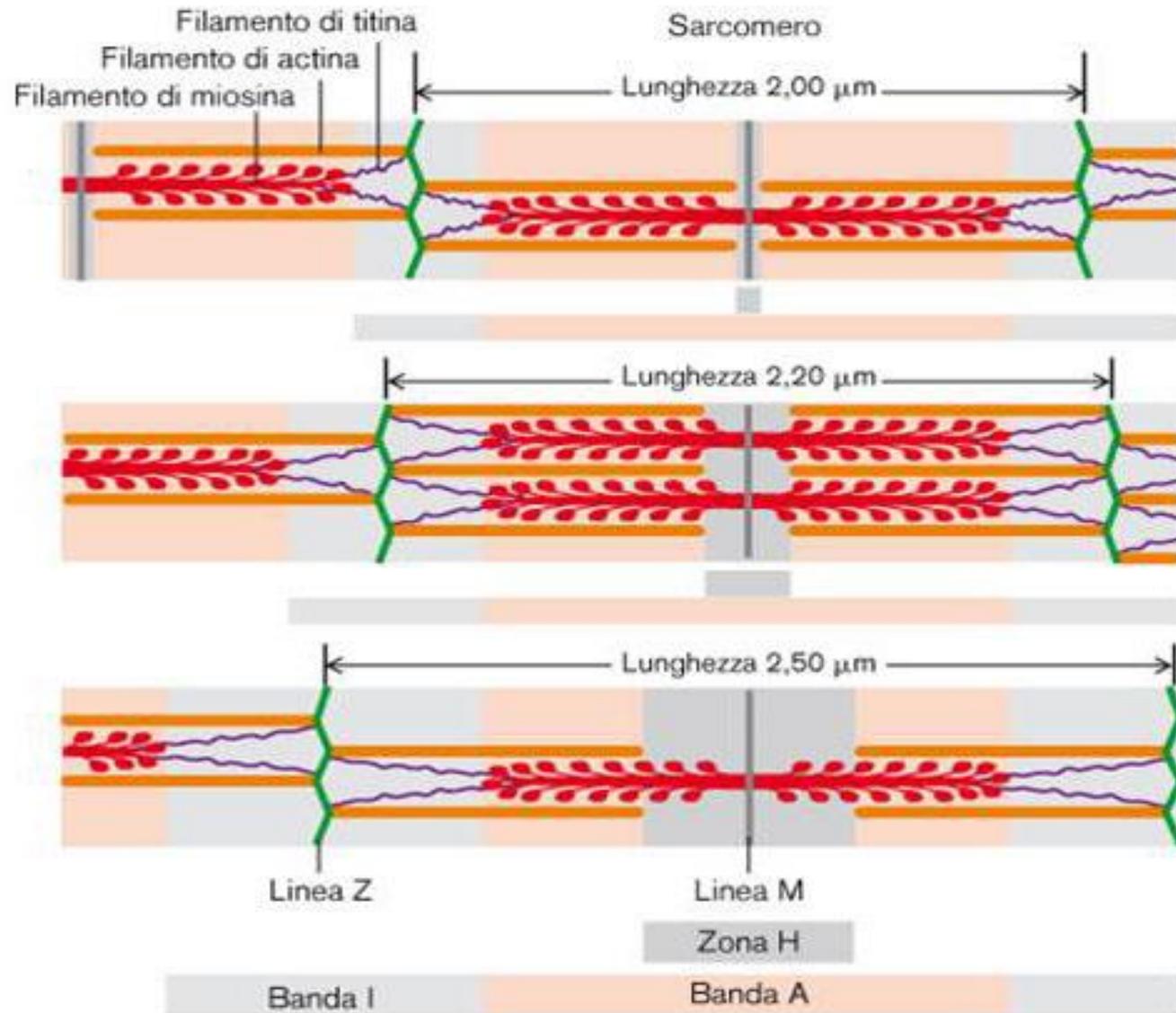


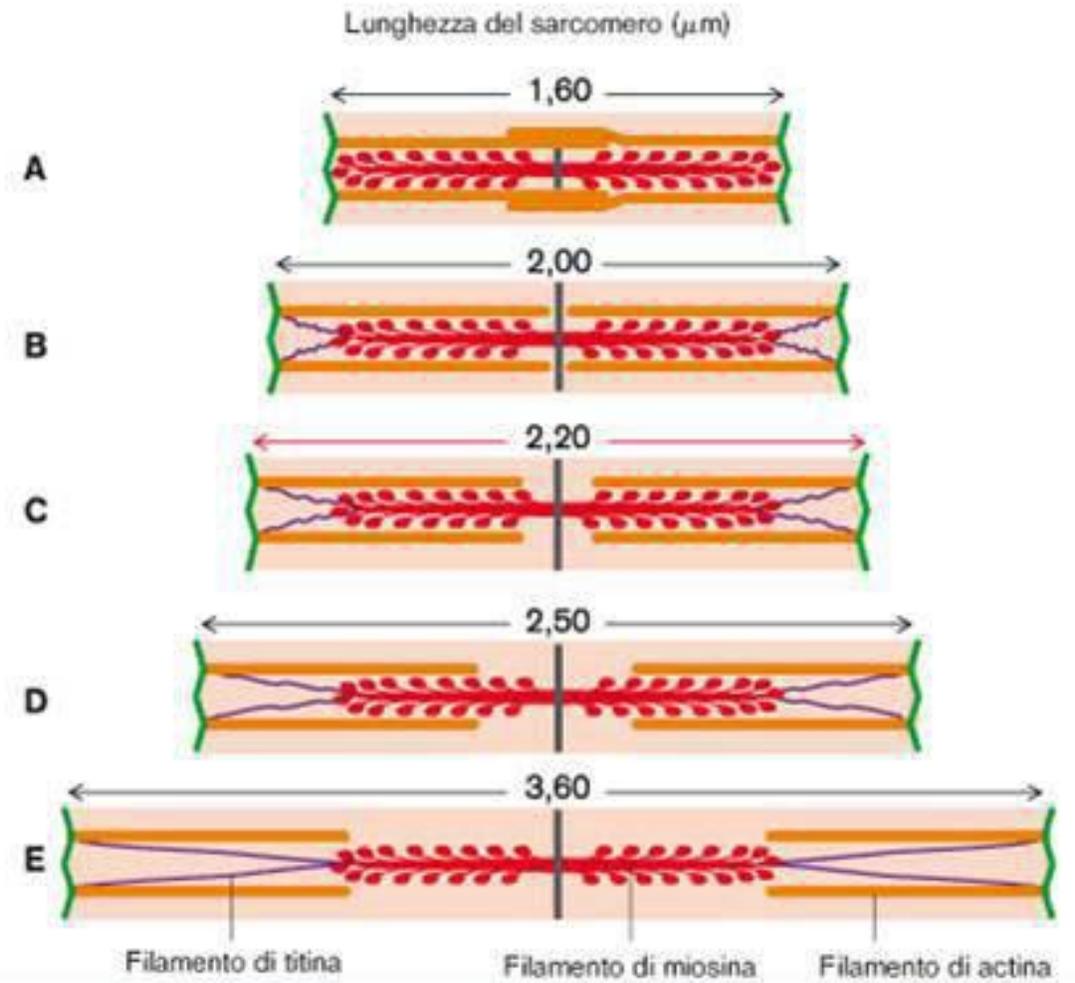
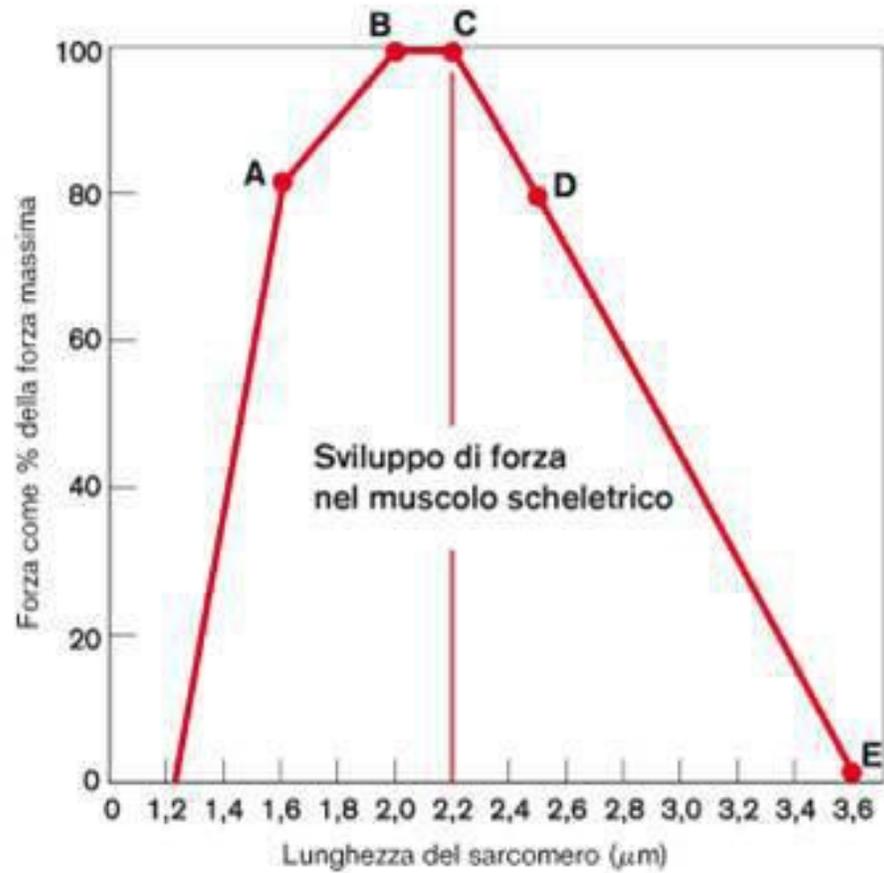


Durante una serie di contrazioni si assiste ad un graduale aumento della forza di contrazione

TETANO INCOMPLETO: risposta meccanica a stimolazioni ripetute con intervalli più brevi del ciclo del Ca^{2+} : rilasciamento incompleto e maggiore sviluppo di forza (o accorciamento)

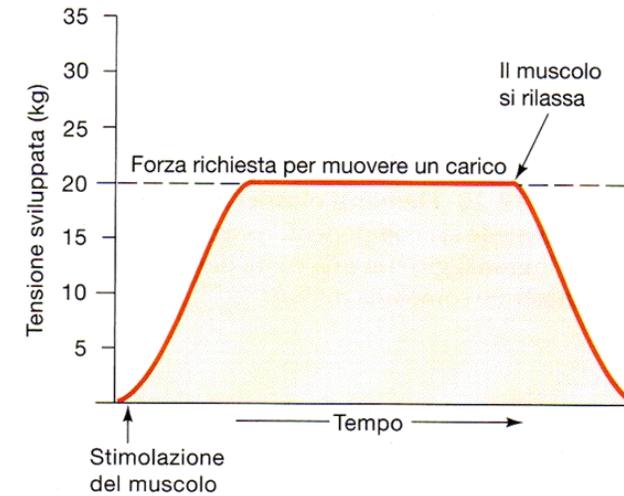
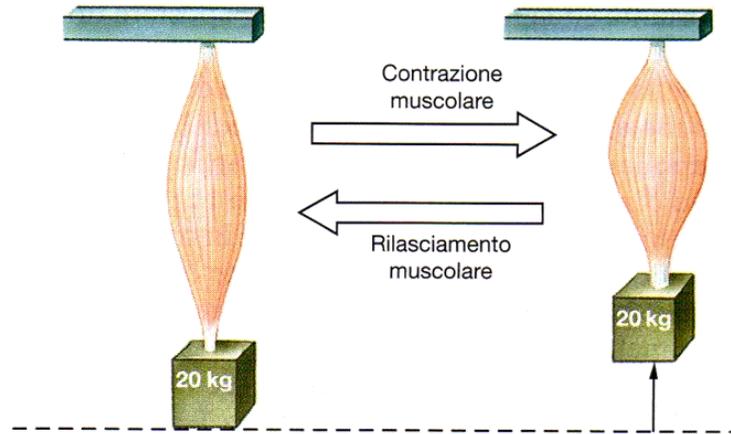
TETANO COMPLETO: risposta meccanica alla stimolazione ad alta frequenza (20-60 Hz). Non avviene rilasciamento e lo sviluppo di forza (o l'accorciamento) è massimo



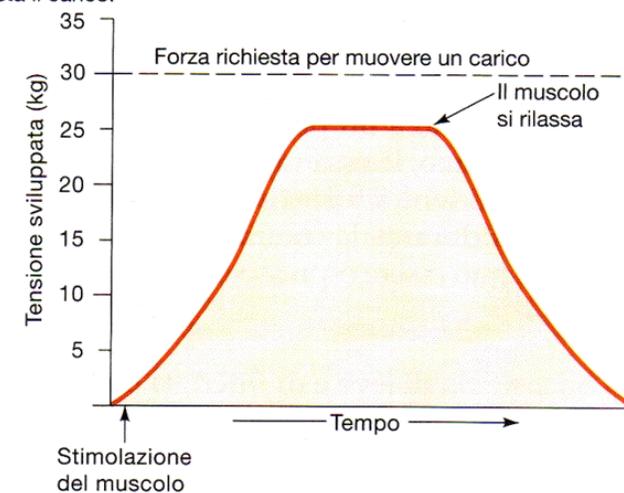
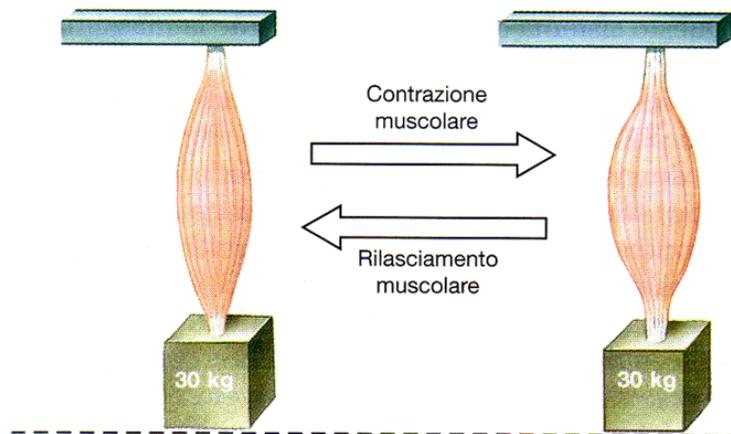


Tipi di Contrazione muscolare isometrica e isotonica

(a) **Contrazione isotonica:** il muscolo si contrae, si accorcia e genera una forza sufficiente a spostare il carico.

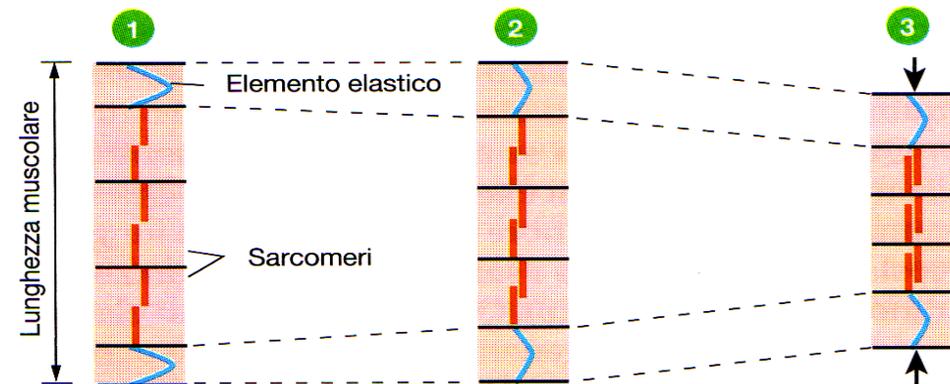
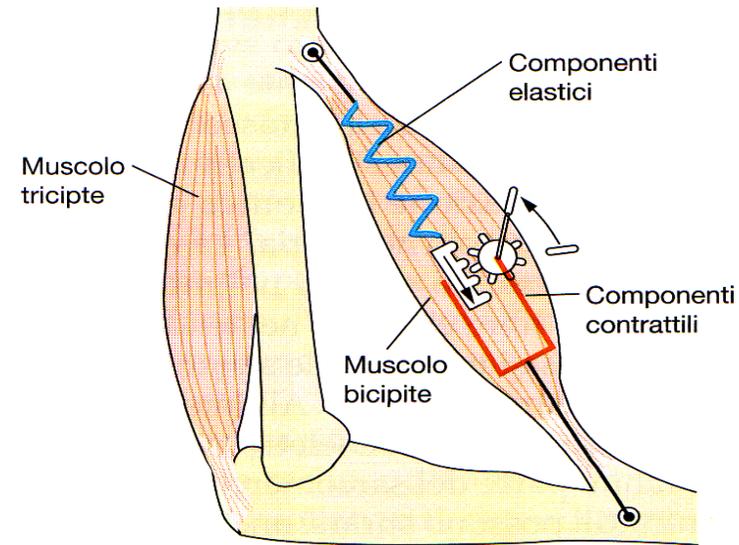


(b) **Contrazione isometrica:** il muscolo si contrae ma non si accorcia. La forza generata non sposta il carico.



Elementi elastici in serie nel muscolo:

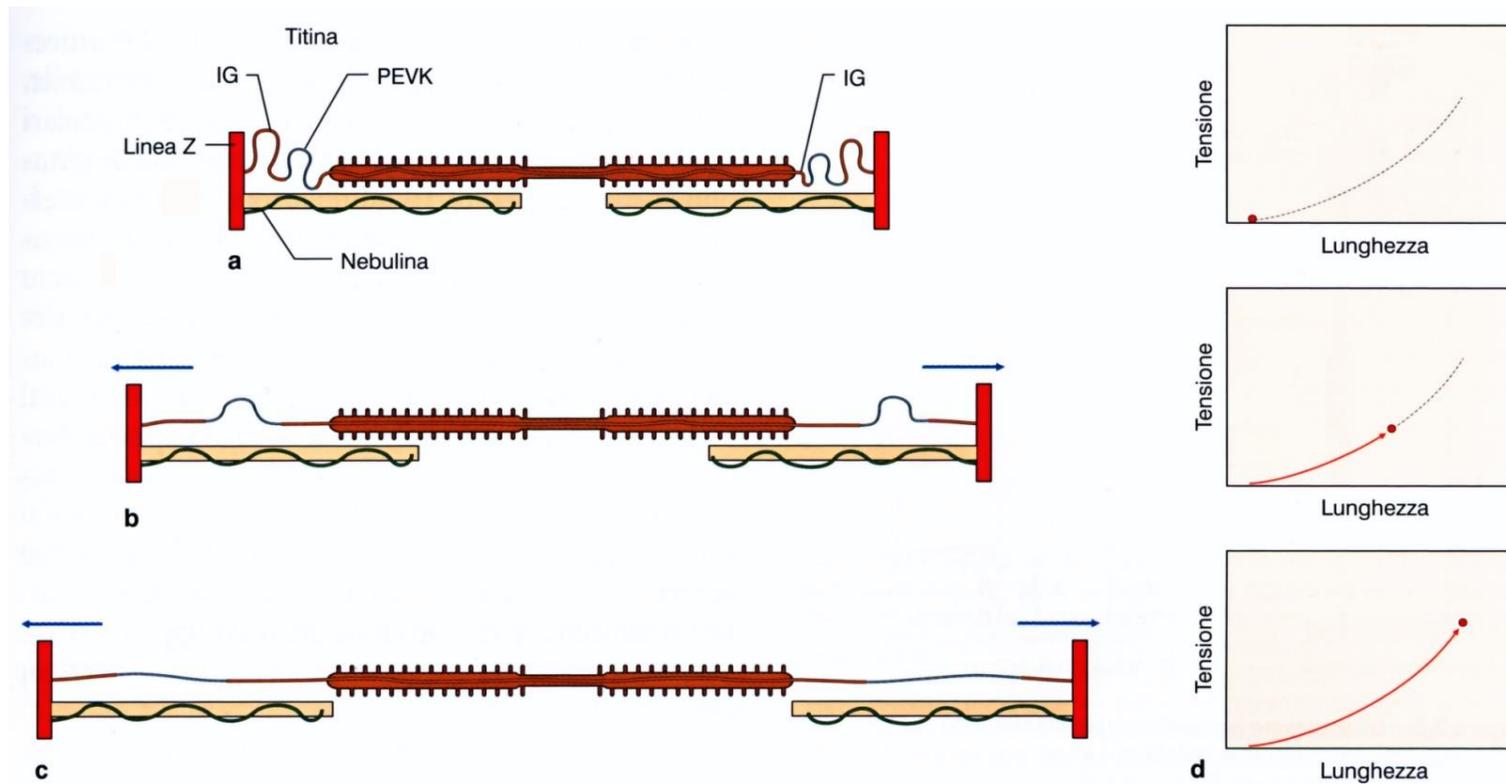
Responsabili della contrazione isometrica, senza variazione della lunghezza del muscolo.



1 Muscolo a riposo

2 Contrazione isometrica: il muscolo non si accorcia. I sarcomeri si accorciano, generando forza, mentre gli elementi elastici si allungano, consentendo alla lunghezza del muscolo di rimanere costante.

3 Contrazione isotonica: i sarcomeri si accorciano ulteriormente. Poiché gli elementi elastici sono già stirati, l'intero muscolo si accorcia.



Disposizione e ruolo del filamento di **titina** durante le variazioni di lunghezza del sarcomero. a, Schema semplificato di un sarcomero. b, L'allungamento provoca inizialmente la distensione dei domini IG e una distensione parziale del dominio unico PEVK con sviluppo di una piccola tensione passiva. c, L'ulteriore allungamento provoca la distensione completa di PEVK con sviluppo di una notevole forza passiva. d, Curva tensione-lunghezza della titina. All'aumentare della distensione aumenta la forza in maniera quasi esponenziale.

La contrazione, anche di intensità massima, non vede mai impegnate tutte le fibre muscolari presenti in un muscolo.

Ogni fibra muscolare è programmata per reagire solo ad una determinata intensità di stimolo (soglia di stimolo).

Se lo stimolo è più basso del limite di soglia la fibra muscolare non reagisce. Solo con uno stimolo uguale o superiore al limite di soglia la fibra si contrae (legge del tutto o nulla).

Per ogni fibra muscolare, l'intensità e la rapidità della contrazione sono sempre le stesse, indipendentemente dall'entità dello stimolo.



UNITA' MOTORIA

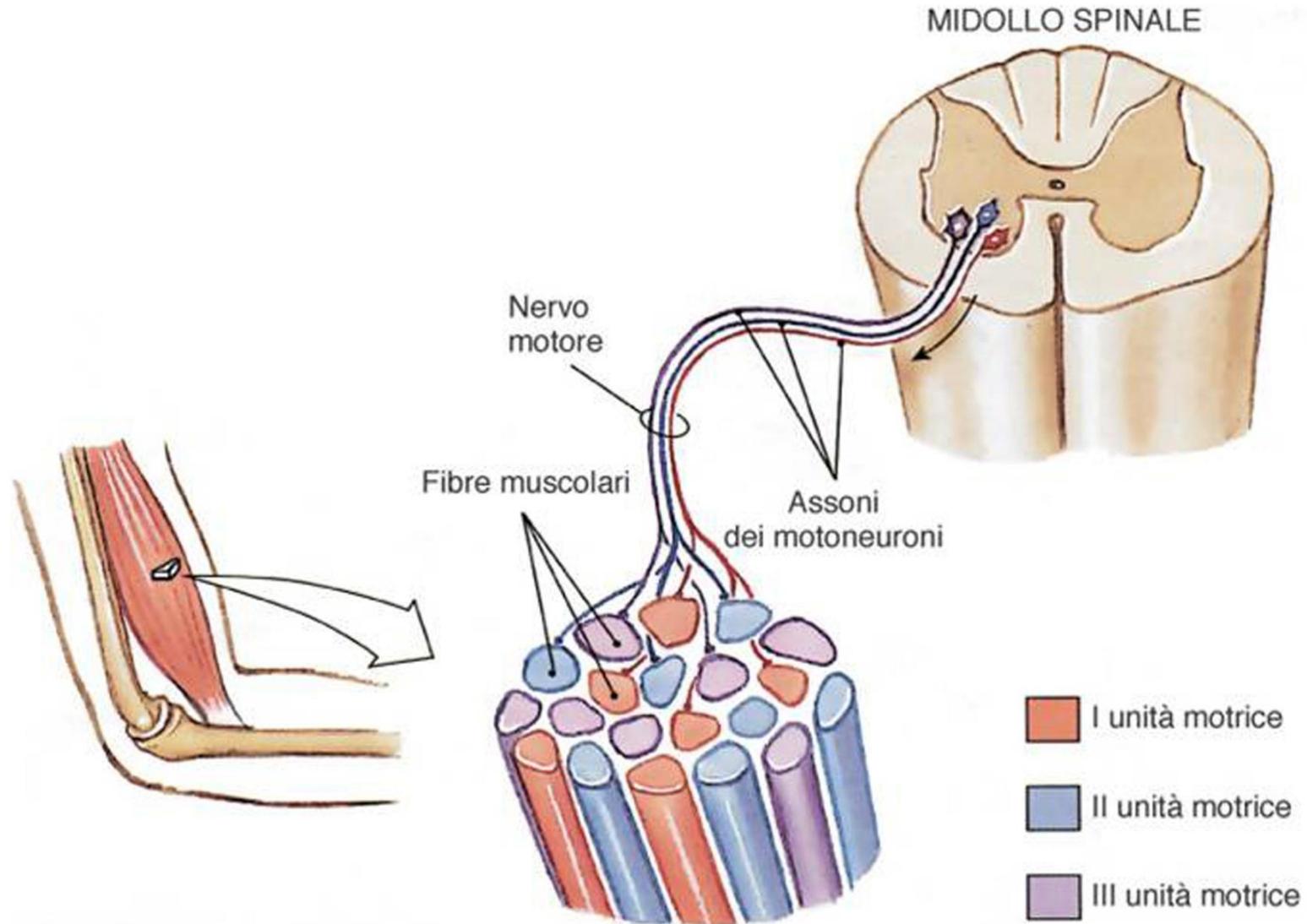
-E' la più piccola unità funzionale
-E' costituita da:
a) motoneurone
b) assone del motoneurone
c) fibre muscolari da esso innervate

Unità piccole (1 motoneurone poche fibrocellule muscolari: attività fini)
Unità grandi (1 motoneurone 500-1000 fibrocellule muscolari attività grossolane)

Le **UNITA' MOTORIE DEL MUSCOLO** sono fondamentalmente di due tipi:

-Unità motorie **lente**: dette anche **fibre rosse**.

-Unità motorie **rapide**: o fibre **bianche**.



Unità Lente

Innervano fibre muscolari lente (o rosse):

- motoneuroni che scaricano a bassa frequenza, a bassa velocità di conduzione
- mioglobina in elevate quantità
- riccamente vascolarizzate
- molti mitocondri
- fosforilazione ossidativa
- attività deboli, prolungate, forze deboli
- resistenti alla fatica

Queste fibre sono coinvolte soprattutto nelle attività di resistenza di tipo aerobico.

Unità Rapide

Innervano fibre muscolari rapide (bianche):

- motoneuroni che scaricano ad alta frequenza, ad elevata velocità di conduzione
- mioglobina in scarsa quantità
- poco vascolarizzate
- pochi mitocondri
- glicolisi anaerobica
- attività intensa, di breve durata, forza notevole
- instaurarsi rapido della fatica

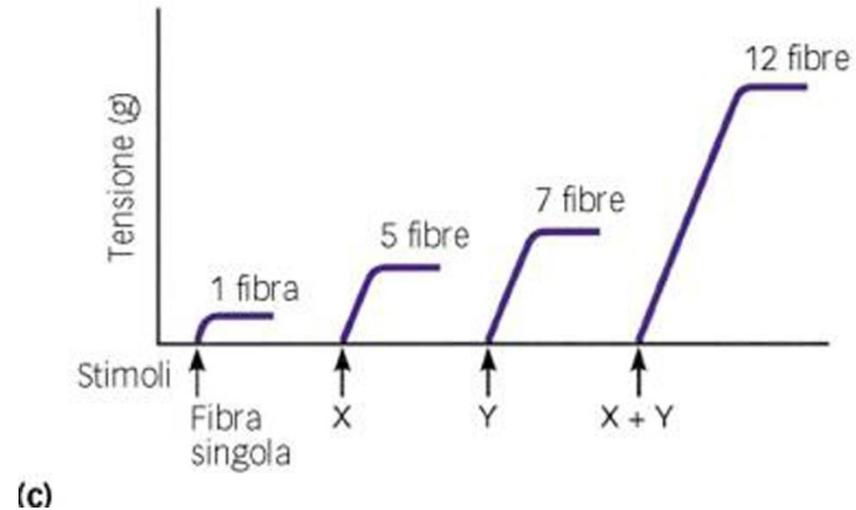
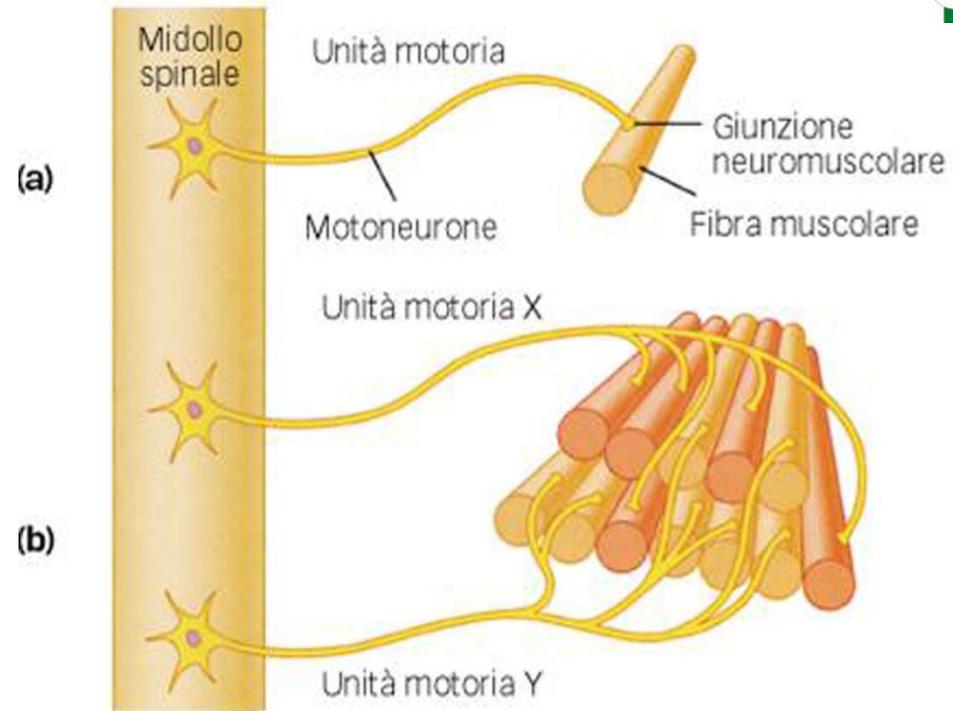
L'attivazione delle fibre rapide è utilizzata nelle attività che richiedono velocità e potenza, ma anche quelle che richiedono un'alternanza di soste e scatti, come nei giochi di squadra.

Unità intermedie

Hanno caratteristiche intermedie tra le due. Sono più resistenti alla fatica rispetto alle fibre rapide, e possono generare una forza più intensa e in modo più rapido delle fibre lente.

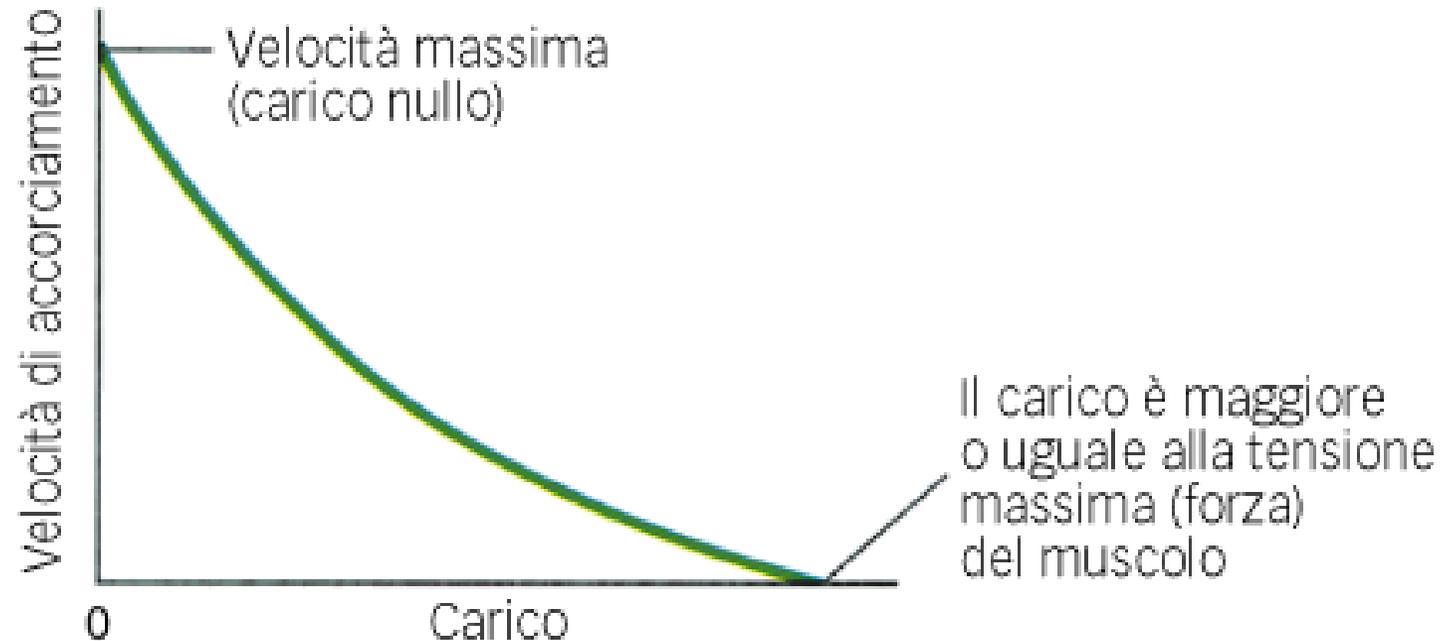
Predominano nei muscoli posturali e sono occasionalmente reclutate per produrre contrazioni rapide e potenti.

Il principio della dimensione. (a) Tre unità motorie di differenti dimensioni (X, Y e Z) che vengono stimulate da un neurone eccitatorio W del SNC. (b) Quando la frequenza dei potenziali d'azione del neurone W aumenta, le unità motorie si attivano procedendo dalla più piccola (X) alla più grande (Z).



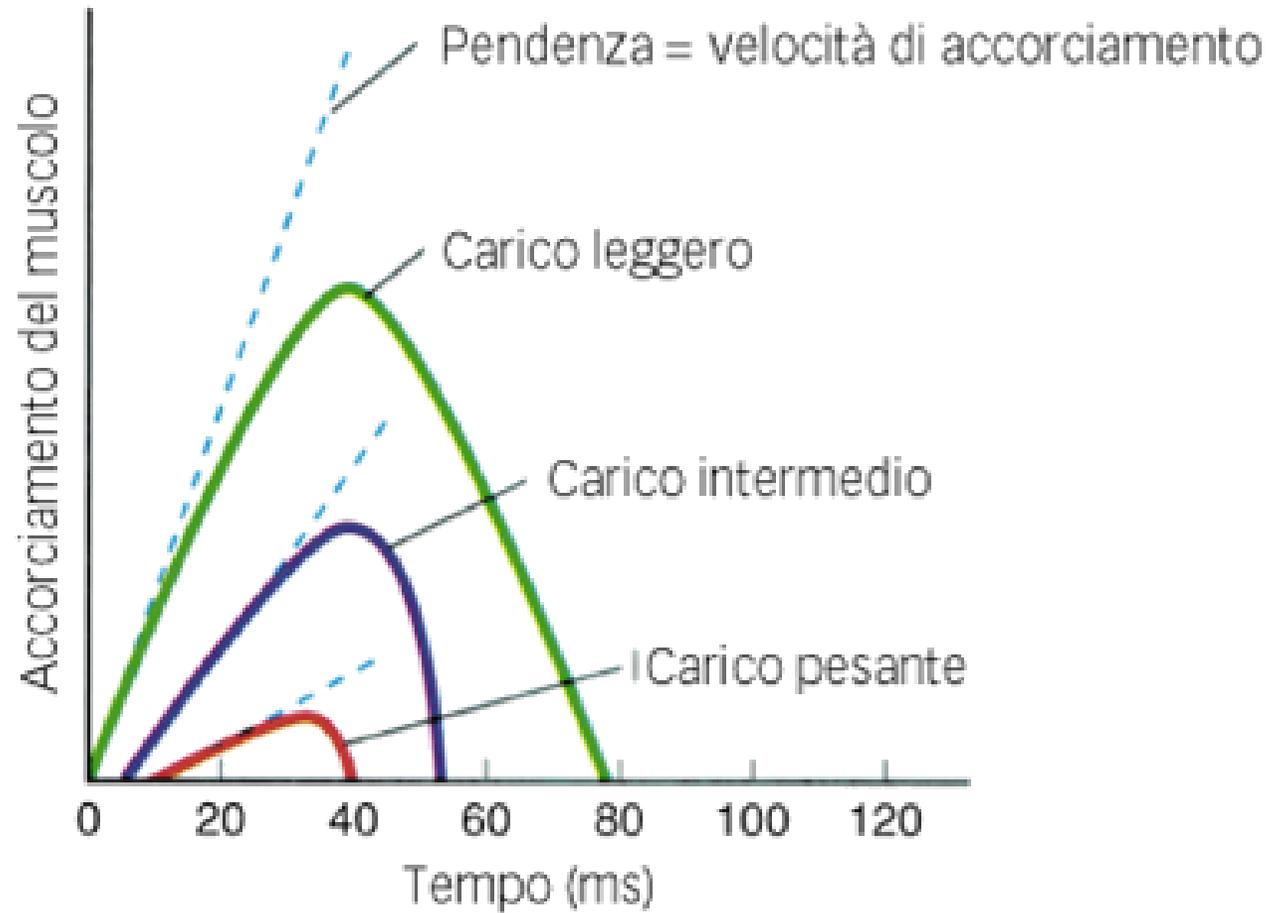


Curva velocità-carico



La contrazione è più veloce quando il carico sul muscolo è pari a zero.

Quando il carico sul muscolo è pari alla capacità del muscolo di generare forza, quest'ultimo non è più in grado di spostare il carico e la velocità scende a zero. Il muscolo può ancora contrarsi, ma la contrazione diventa isometrica.



Effetto del carico sull'accorciamento del muscolo

Accorciamento di un muscolo che si contrae isotonicamente quando è sottoposto a 3 diversi carichi