Muscolo

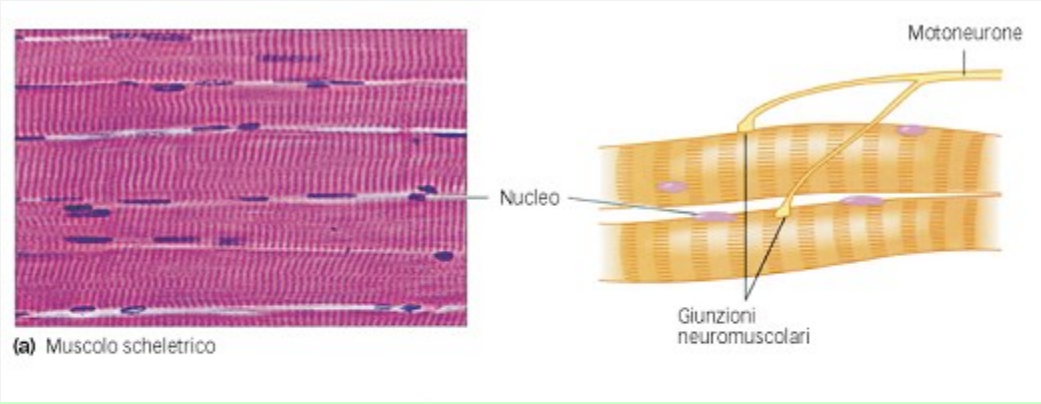
Muscolo scheletrico

Muscolo liscio

Muscolo cardiaco

Tipi di muscoli

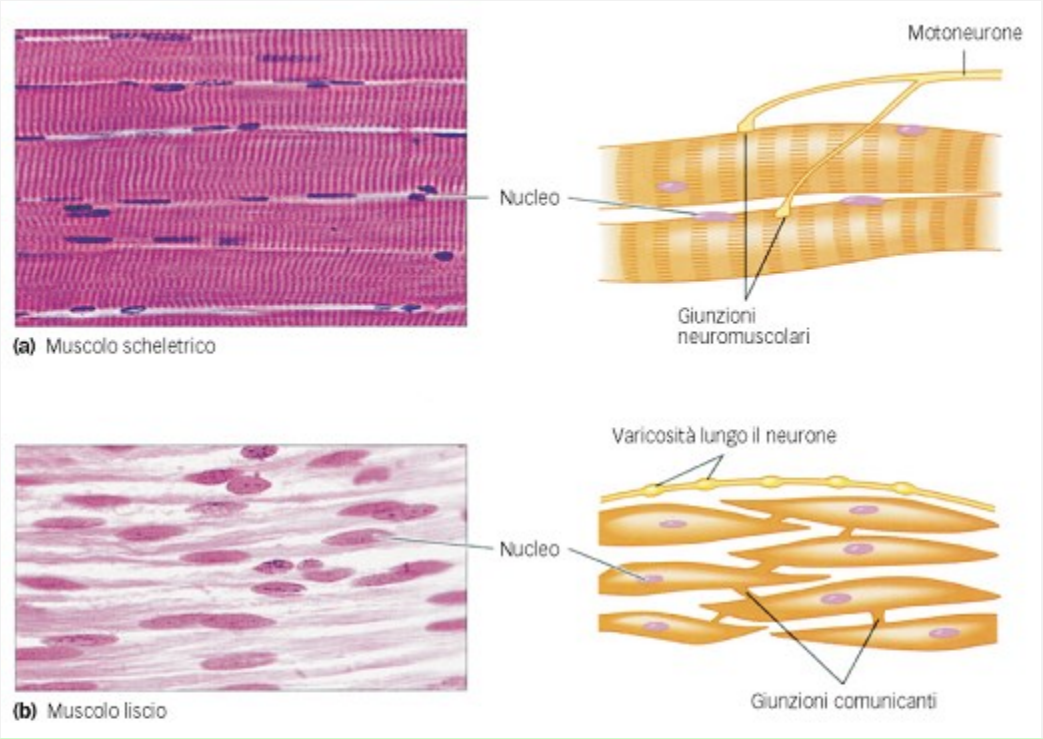
- Muscolo scheletrico



Tipi di muscoli

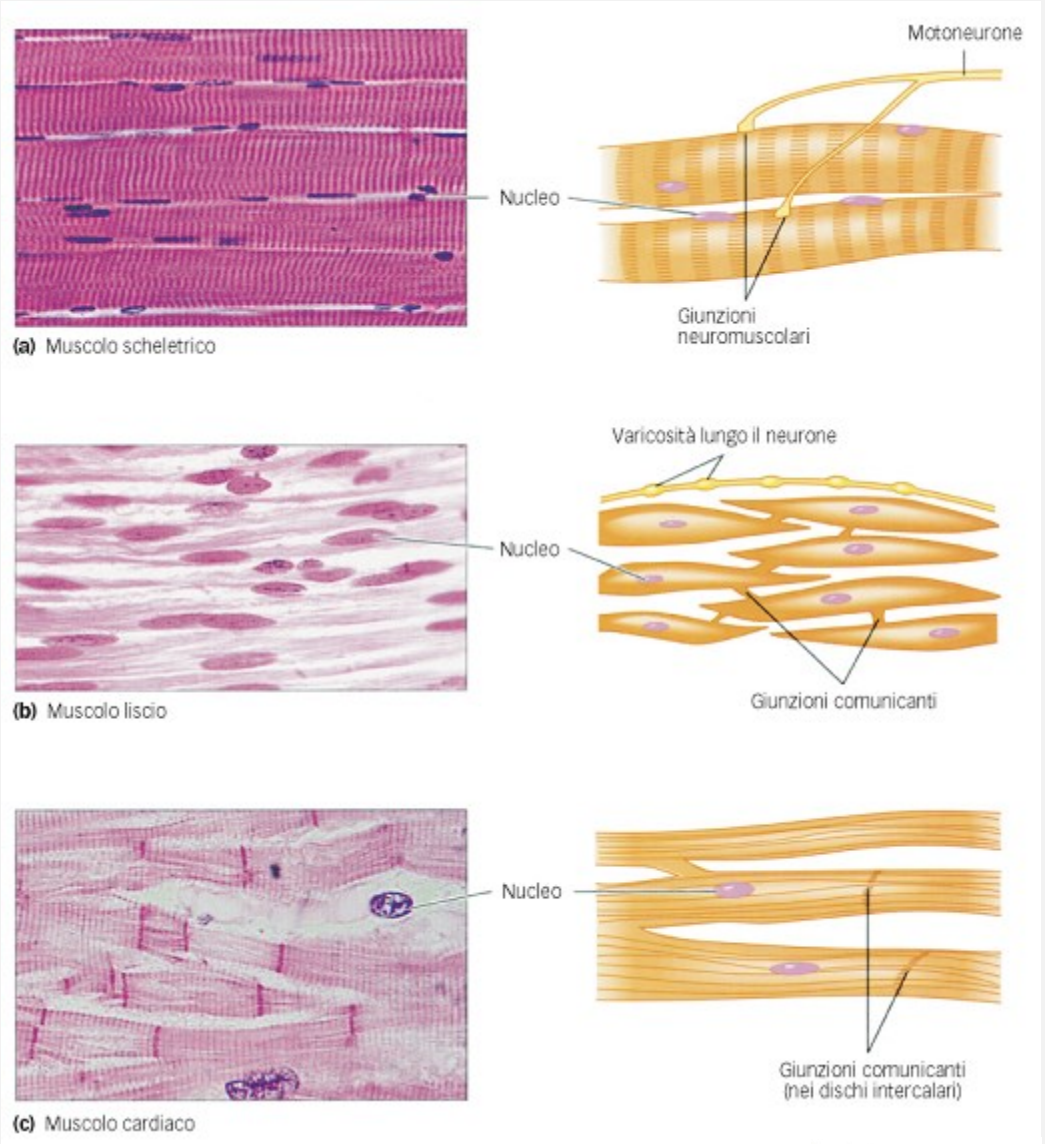
- Muscolo scheletrico

- Muscolo liscio



Tipi di muscoli

- Muscolo scheletrico
- Muscolo liscio
- Muscolo cardiaco



Germann - Stanfield
Fisiologia Umana
EdiSES

Muscolo scheletrico

Struttura della cellula muscolare scheletrica.

Accorciamento del sarcomero.

Miofilamenti; interazioni actina-miosina.

Eccitazione del muscolo; accoppiamento eccitazione-contrazione.

Tetano muscolare.

Organizzazione del muscolo scheletrico

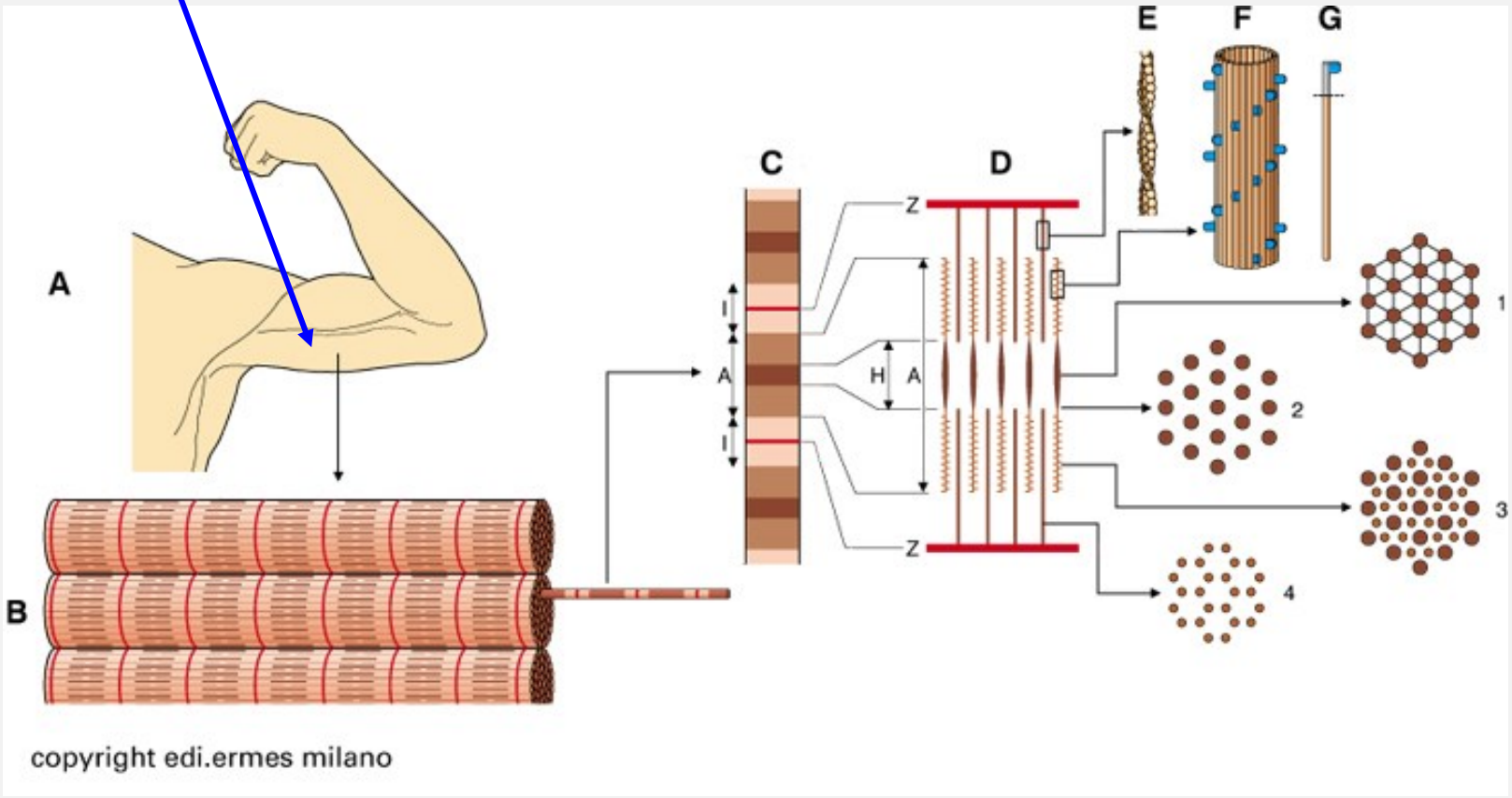
I muscoli scheletrici sono costituiti da numerosi fasci muscolari a loro volta composti da numerose fibre del diametro compreso tra 10 e 80 μm.

Ciascuna fibra è composta da varie subunità:

- Sarcolemma: membrana cellulare della fibra muscolare.
- Miofibrille: Unità funzionale del muscolo composta da miofilamenti.
- Sarcoplasma: matrice fluida in cui sono immerse le miofibrille.
- Sarcomero: la porzione di miofibrilla compresa tra due dischi Z.
- Miofilamento: filamento proteico che provvede alla contrazione muscolare (actina e miosina).

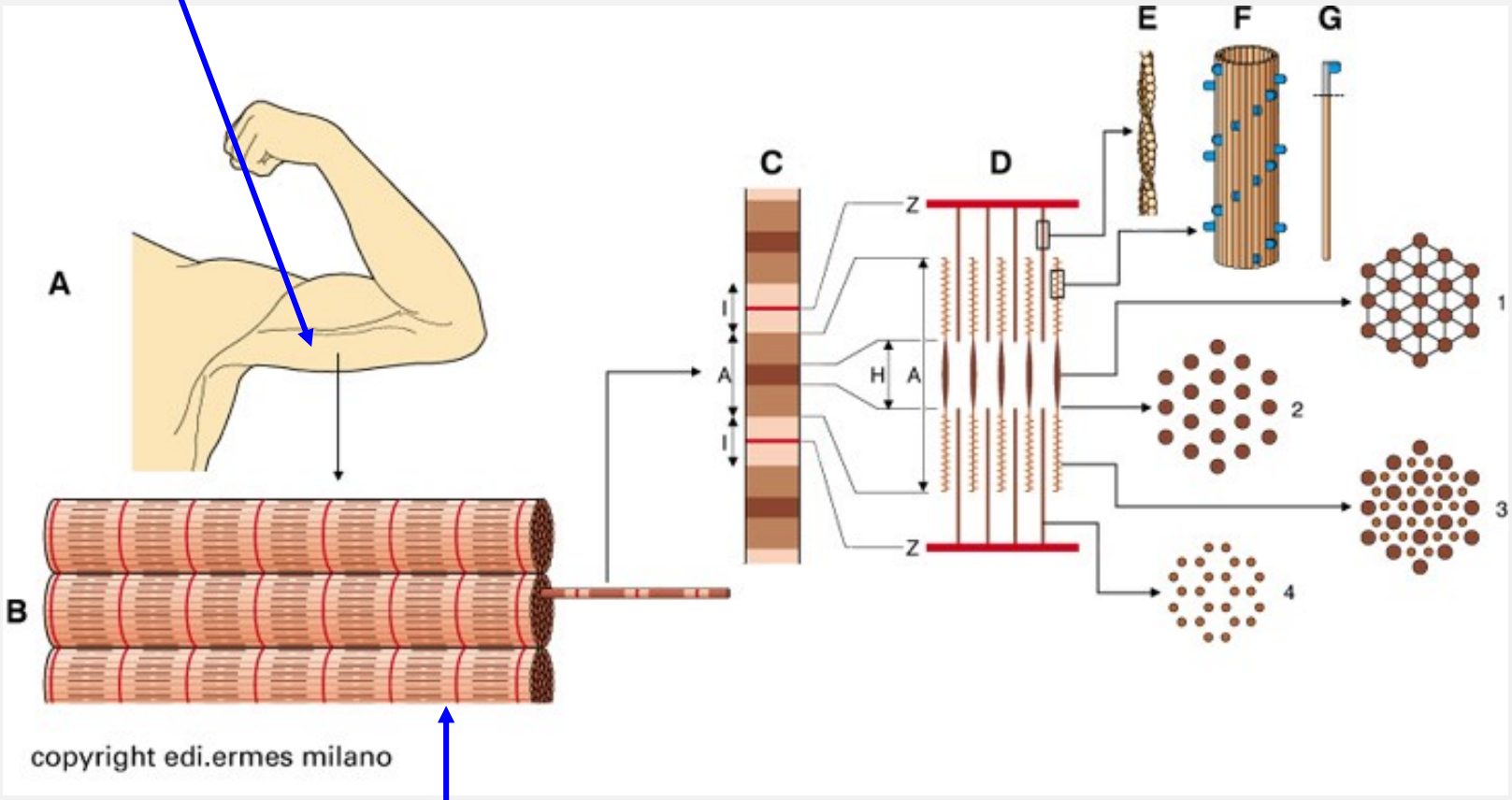
Organizzazione del muscolo scheletrico

A. Muscolo tricipite



Organizzazione del muscolo scheletrico

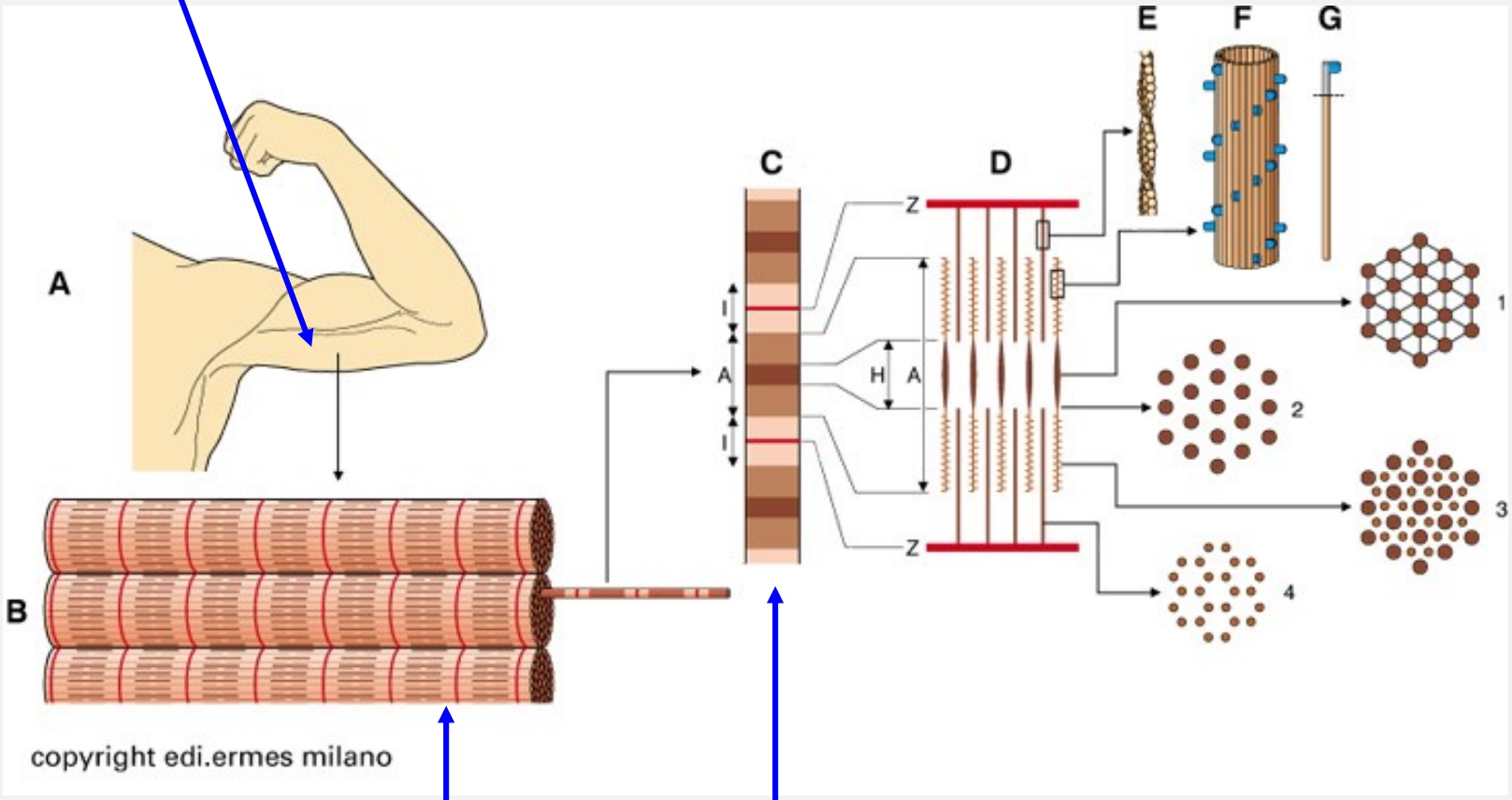
A. Muscolo tricipite



B. Fibre muscolari striate

Organizzazione del muscolo scheletrico

A. Muscolo tricipite

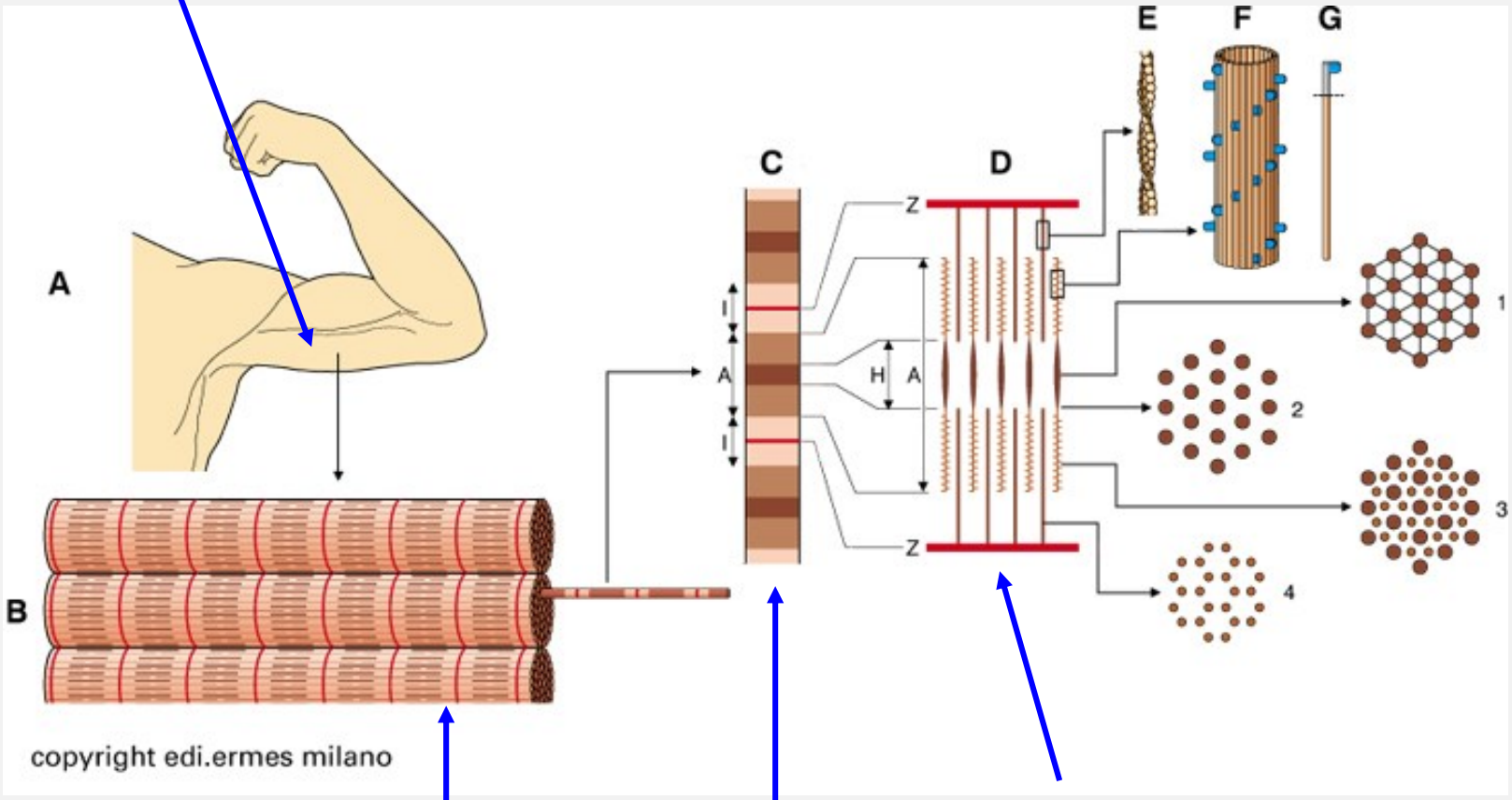


B. Fibre muscolari striate

C. Miofibrilla

Organizzazione del muscolo scheletrico

A. Muscolo tricipite



B. Fibre muscolari striate

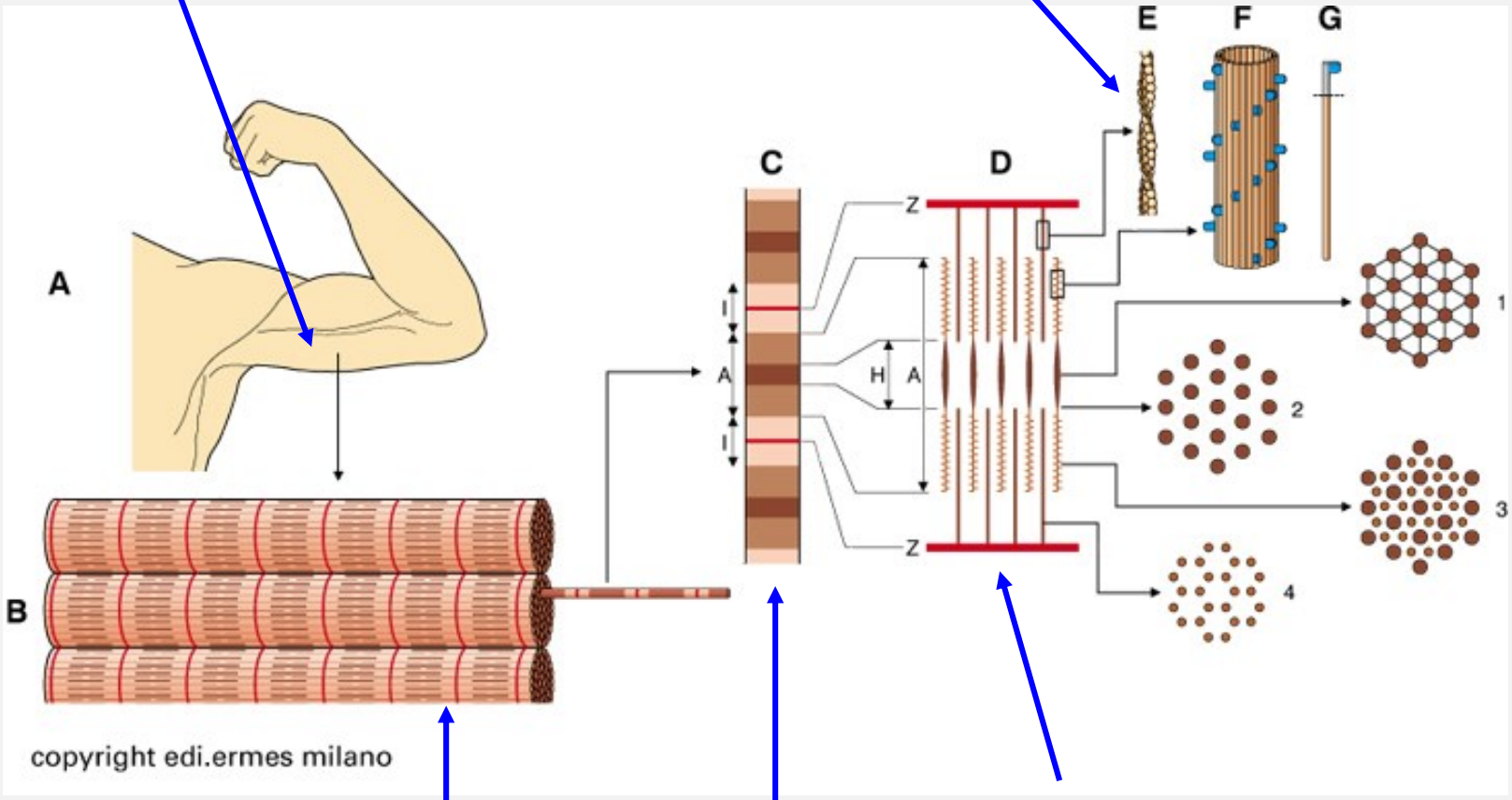
C. Miofibrilla

D. Struttura del sarcomero

Organizzazione del muscolo scheletrico

E. Filamento sottile che mostra la struttura della molecola di actina

A. Muscolo tricipite



B. Fibre muscolari striate

C. Miofibrilla

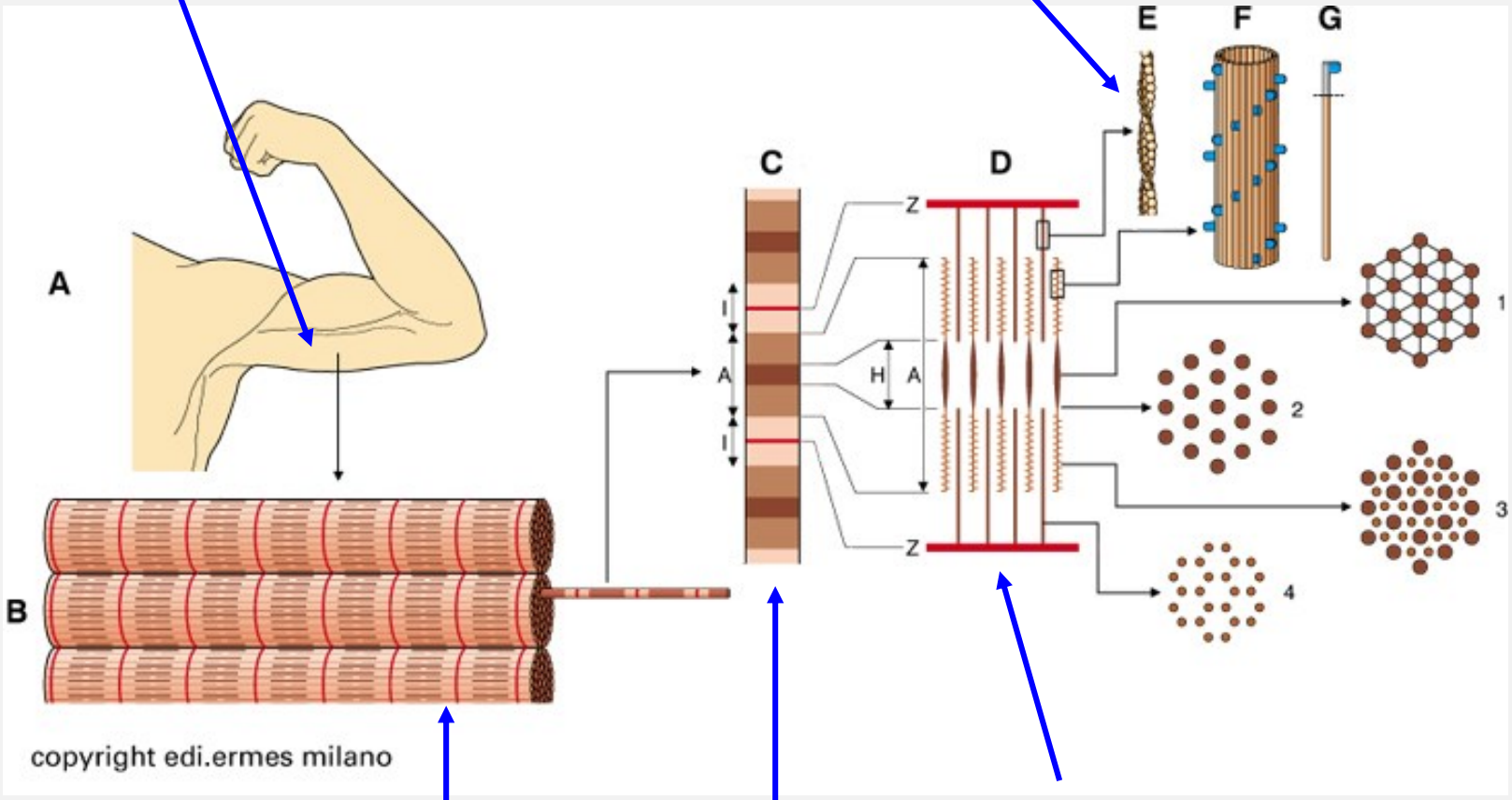
D. Struttura del sarcomero

Organizzazione del muscolo scheletrico

E. Filamento sottile che mostra la struttura della molecola di actina

F. Struttura del filamento spesso

A. Muscolo tricipite

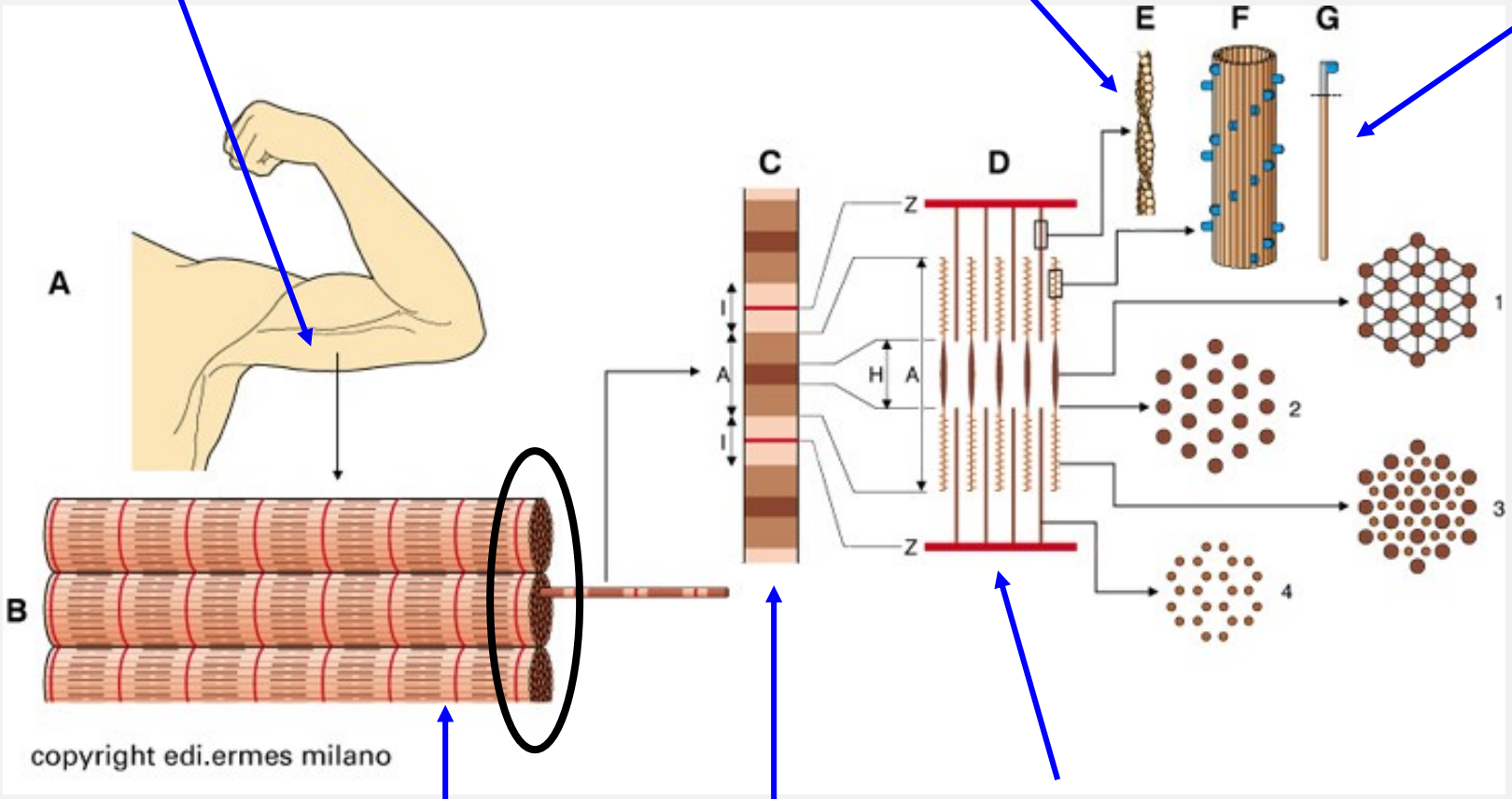


B. Fibre muscolari striate

C. Miofibrilla

D. Struttura del sarcomero

Organizzazione del muscolo scheletrico



A. Muscolo tricipite

B. Fibre muscolari striate

C. Miofibrilla

D. Struttura del sarcomero

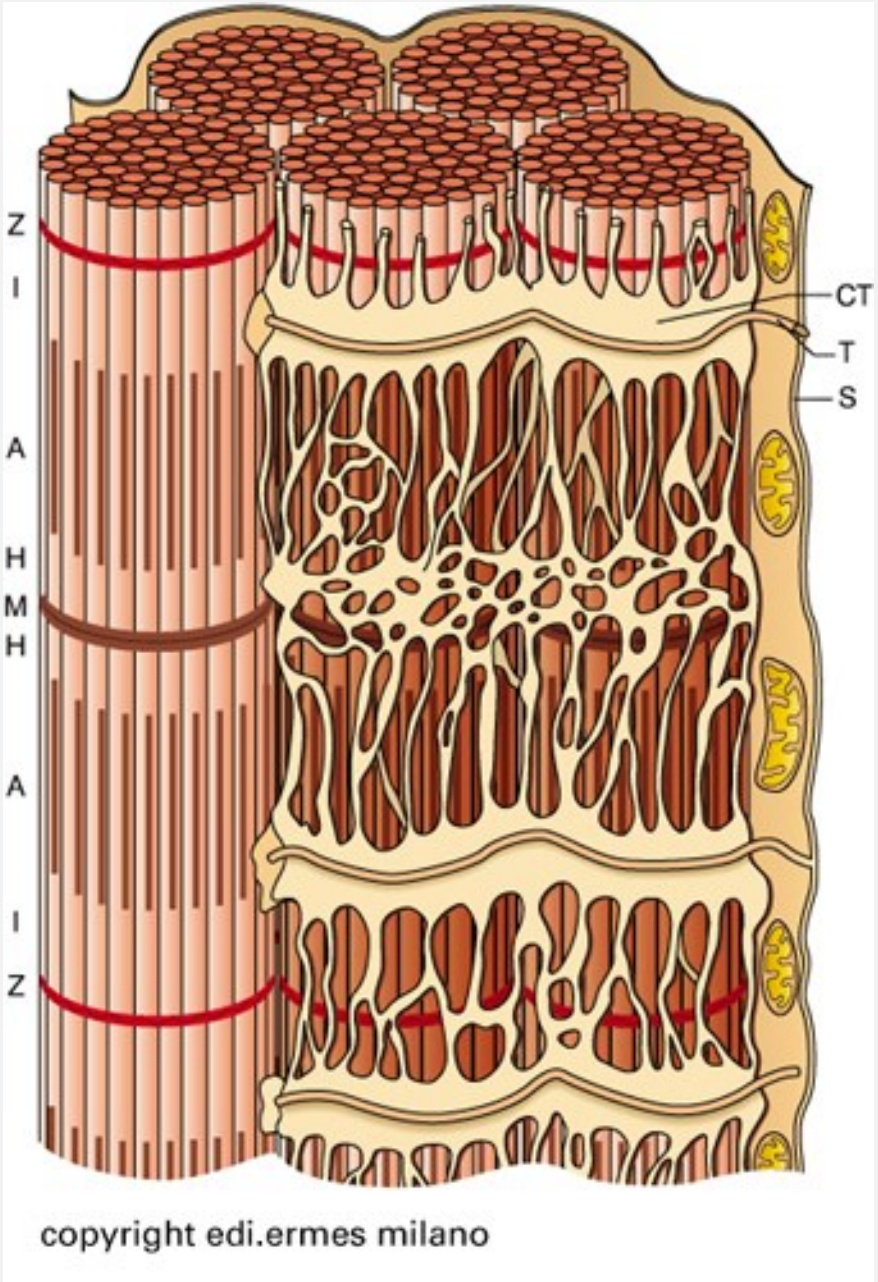
E. Filamento sottile che mostra la struttura della molecola di actina

F. Struttura del filamento spesso

G. Molecola di miosina

Struttura della fibra muscolare scheletrica

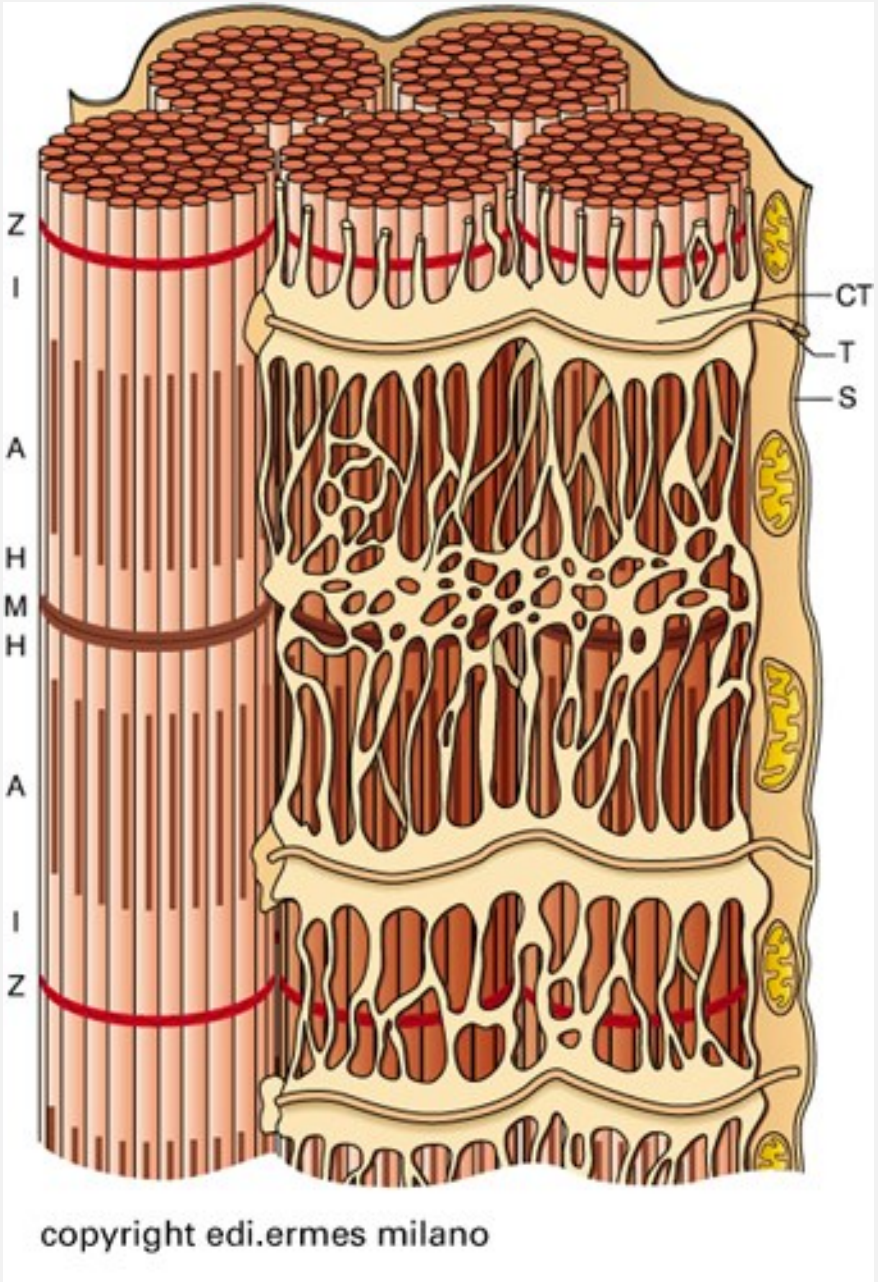
Disco Z: Struttura posizionata a ciascuna estremità del sarcomero che serve come ancoraggio per un'estremità dei filamenti sottili.



Struttura della fibra muscolare scheletrica

Disco Z: Struttura posizionata a ciascuna estremità del sarcomero che serve come ancoraggio per un'estremità dei filamenti sottili.

Banda I: Regione del muscolo in cui sono presenti solo i filamenti sottili.

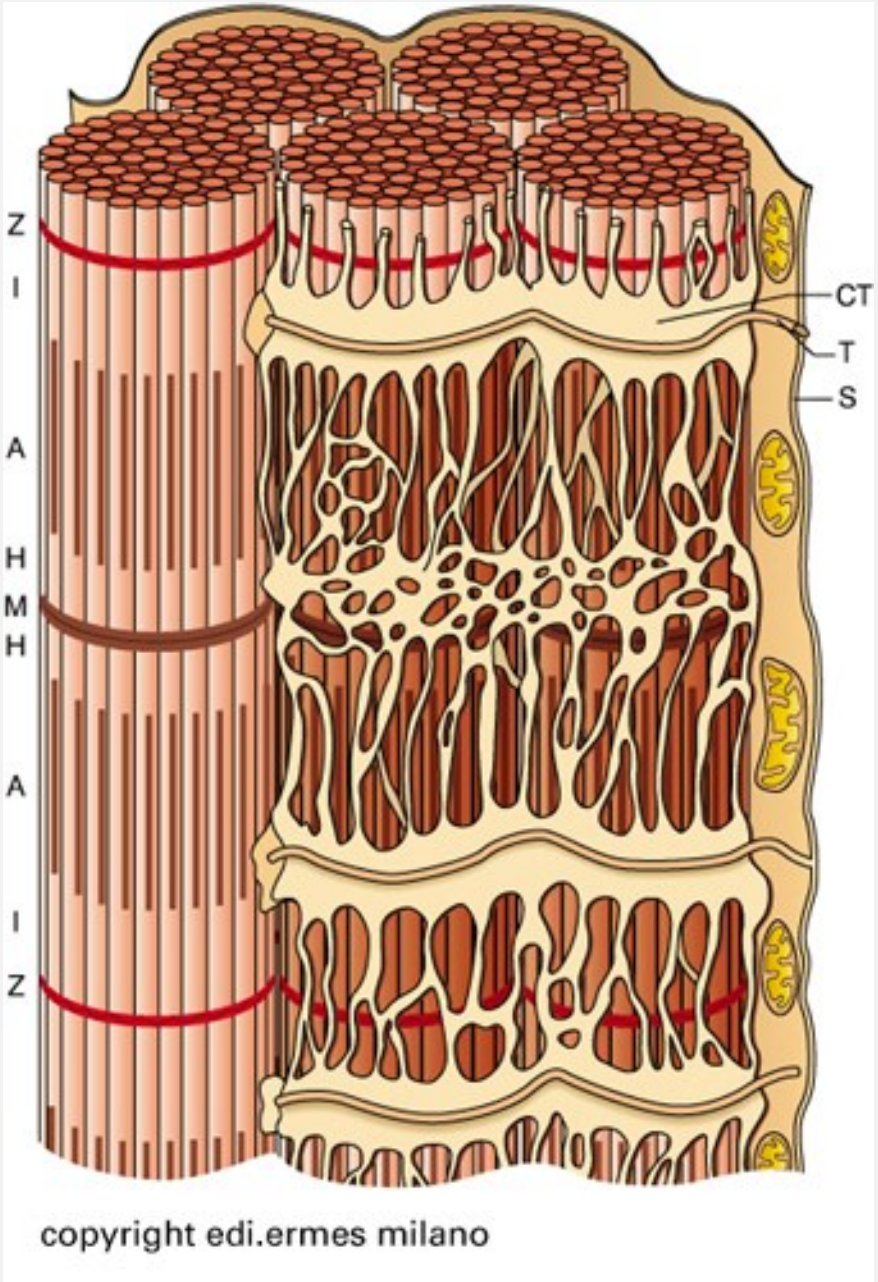


Struttura della fibra muscolare scheletrica

Disco Z: Struttura posizionata a ciascuna estremità del sarcomero che serve come ancoraggio per un'estremità dei filamenti sottili.

Banda I: Regione del muscolo in cui sono presenti solo i filamenti sottili.

Banda A: Banda trasversale costituita da filamenti spessi localizzata nella parte centrale del sarcomero.



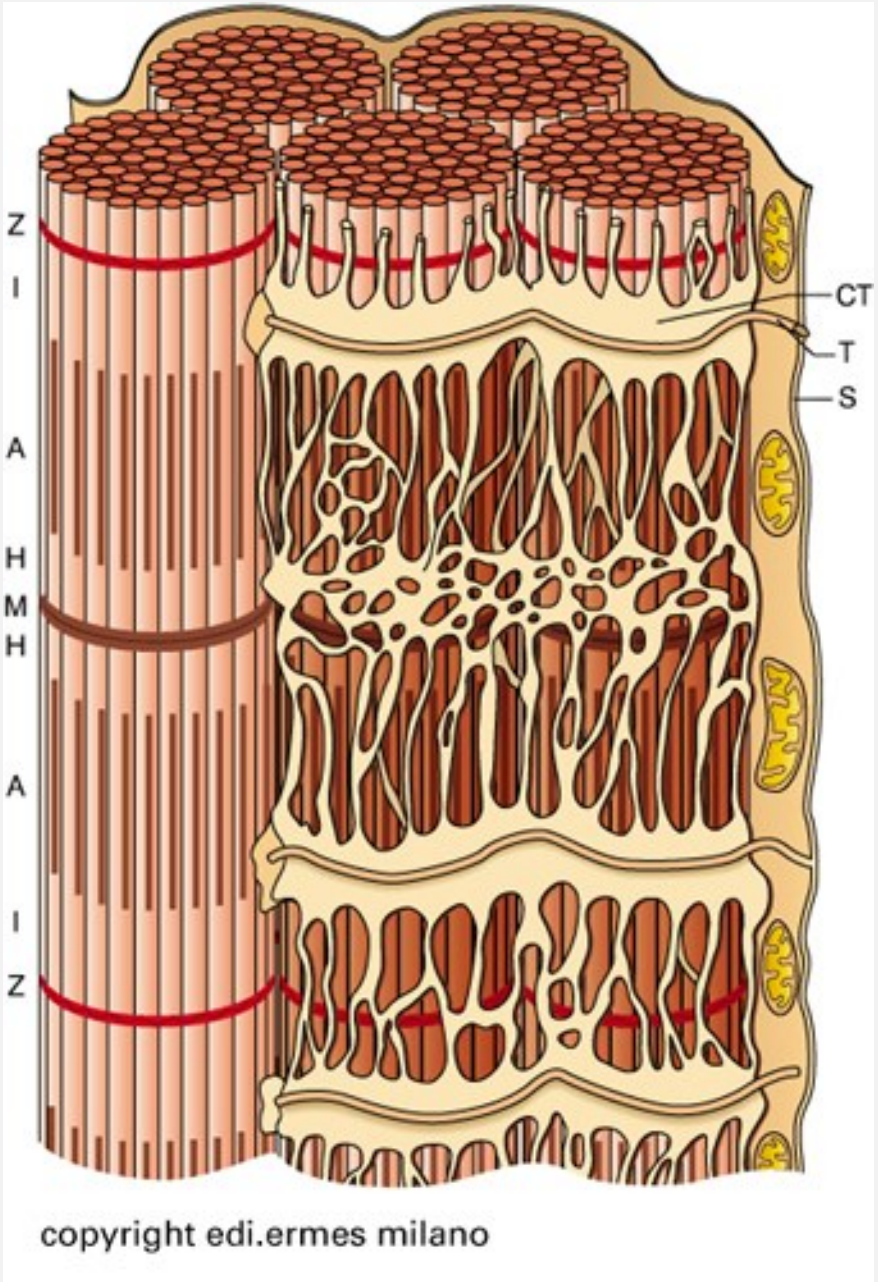
Struttura della fibra muscolare scheletrica

Disco Z: Struttura posizionata a ciascuna estremità del sarcomero che serve come ancoraggio per un'estremità dei filamenti sottili.

Banda I: Regione del muscolo in cui sono presenti solo i filamenti sottili.

Banda A: Banda trasversale costituita da filamenti spessi localizzata nella parte centrale del sarcomero.

Zona H: Banda chiara in cui si trovano filamenti spessi in cui si trova la linea M.



Struttura della fibra muscolare scheletrica

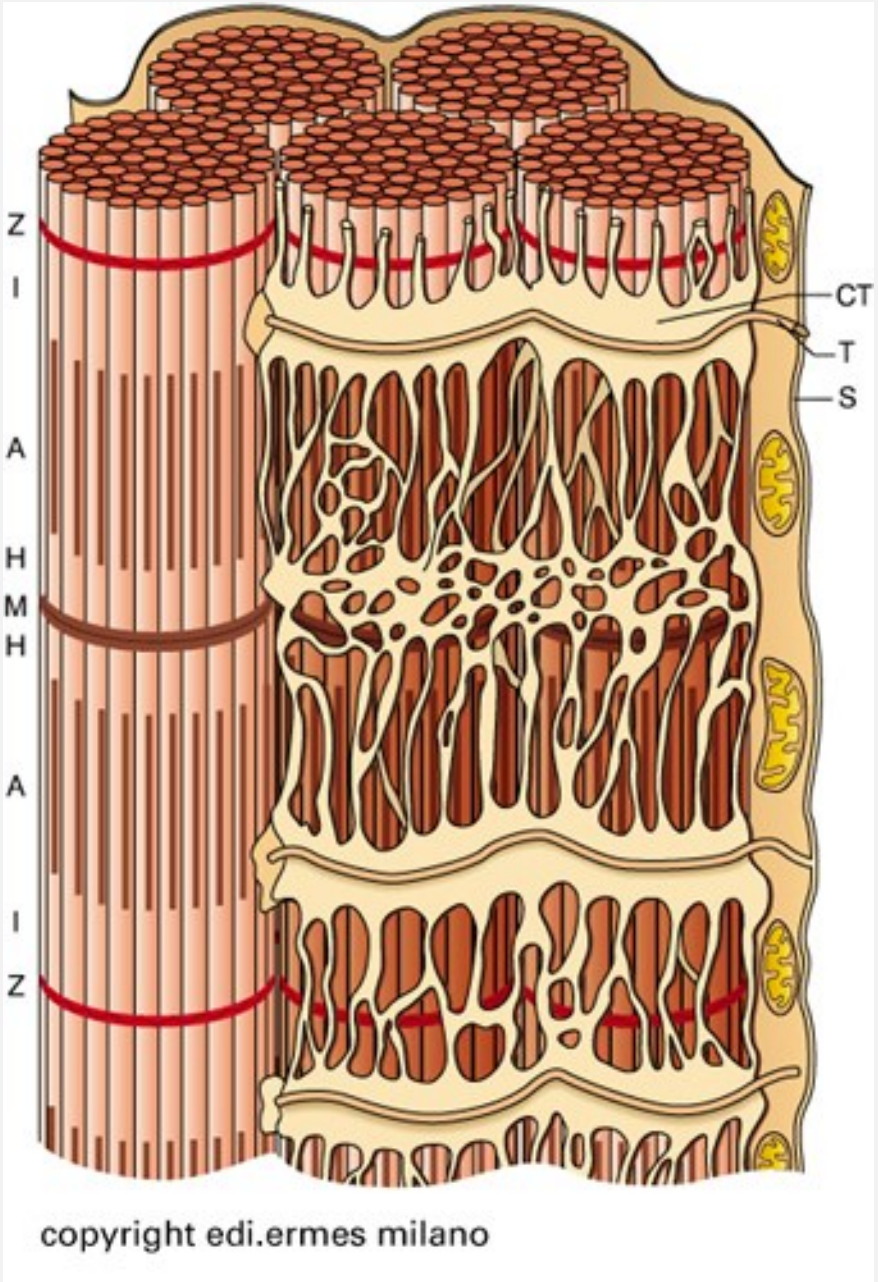
Disco Z: Struttura posizionata a ciascuna estremità del sarcomero che serve come ancoraggio per un'estremità dei filamenti sottili.

Banda I: Regione del muscolo in cui sono presenti solo i filamenti sottili.

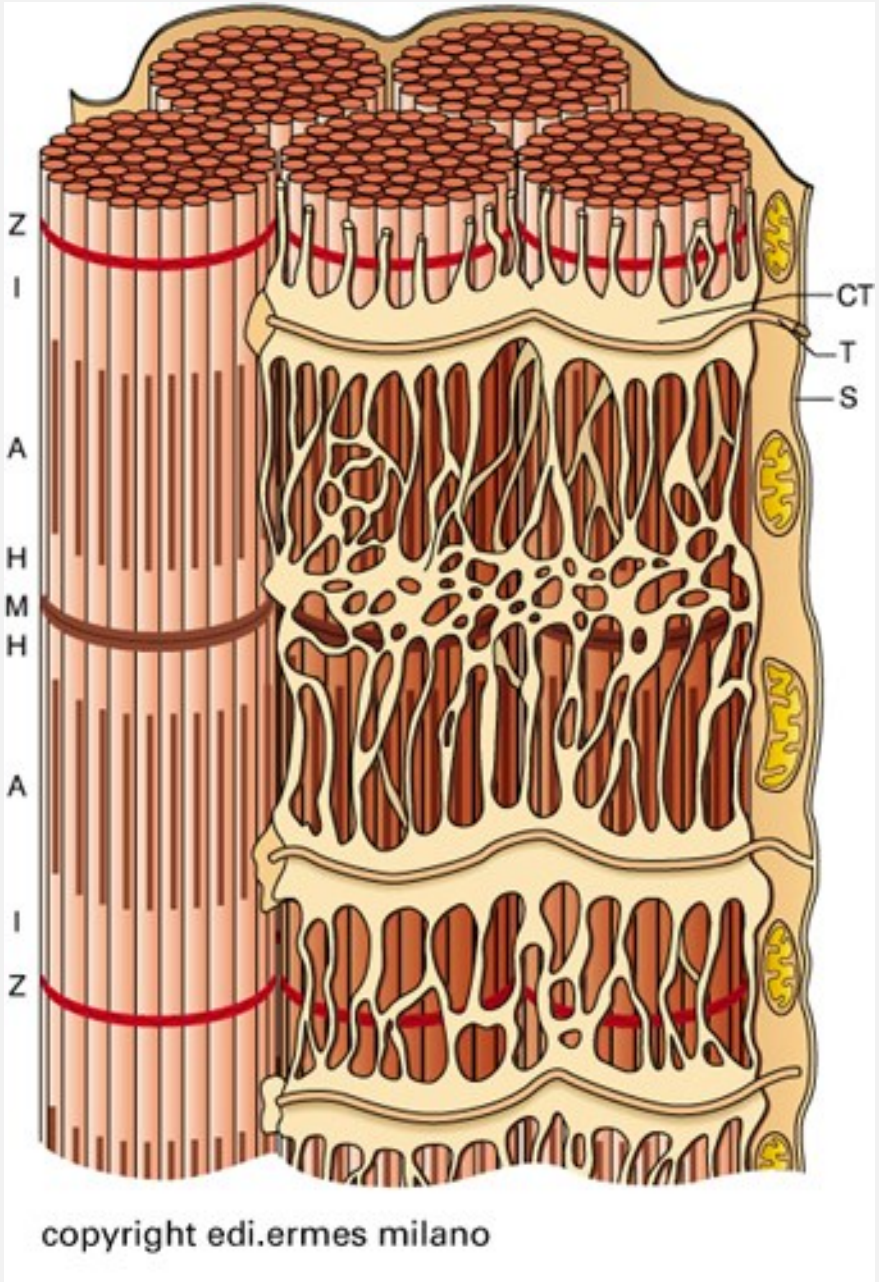
Banda A: Banda trasversale costituita da filamenti spessi localizzata nella parte centrale del sarcomero.

Zona H: Banda chiara in cui si trovano filamenti spessi in cui si trova la linea M.

Linea M: Struttura che mantiene affiancati i filamenti spessi.

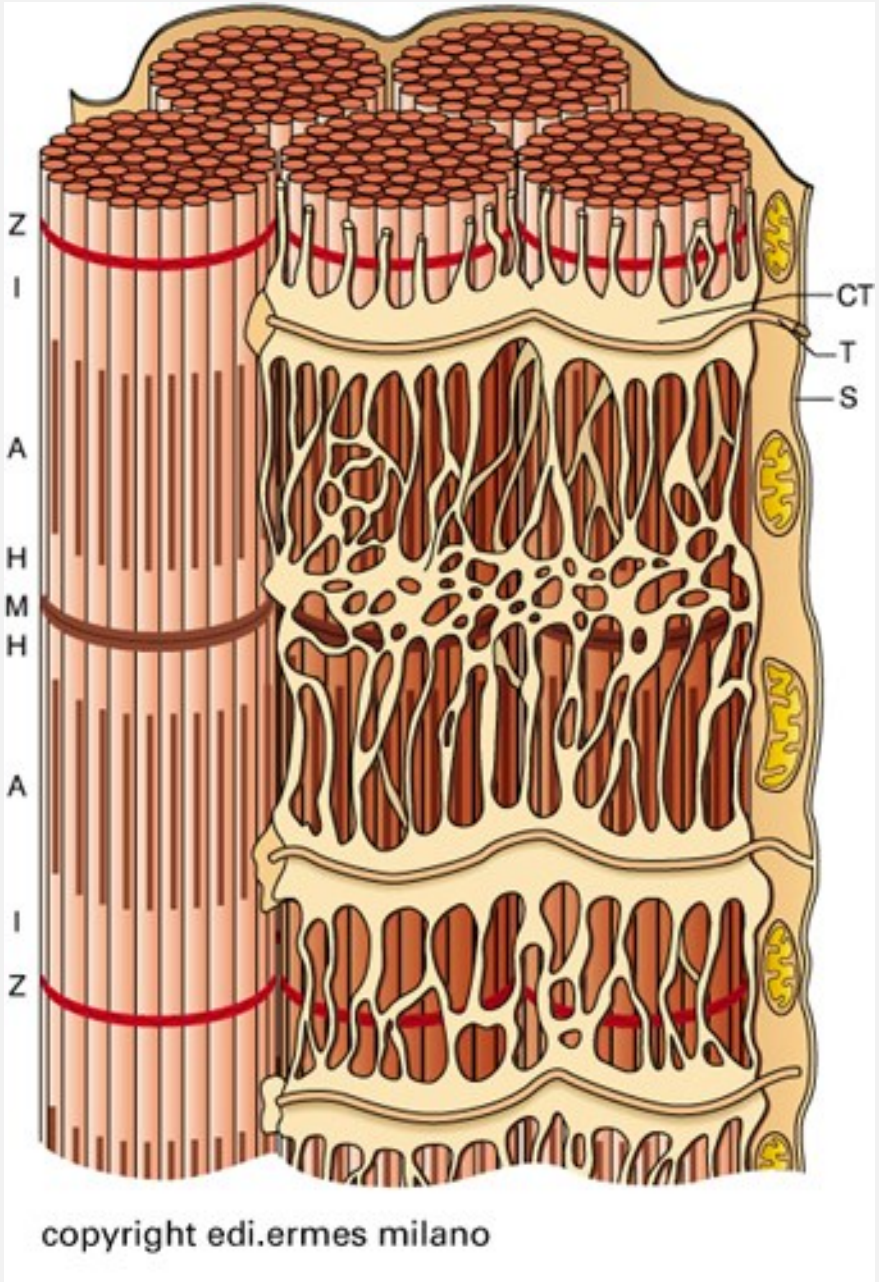


Struttura della fibra muscolare scheletrica



Reticolo sarcoplasmatico: deposito di ioni Ca^{2+}, riveste il sarcomero.

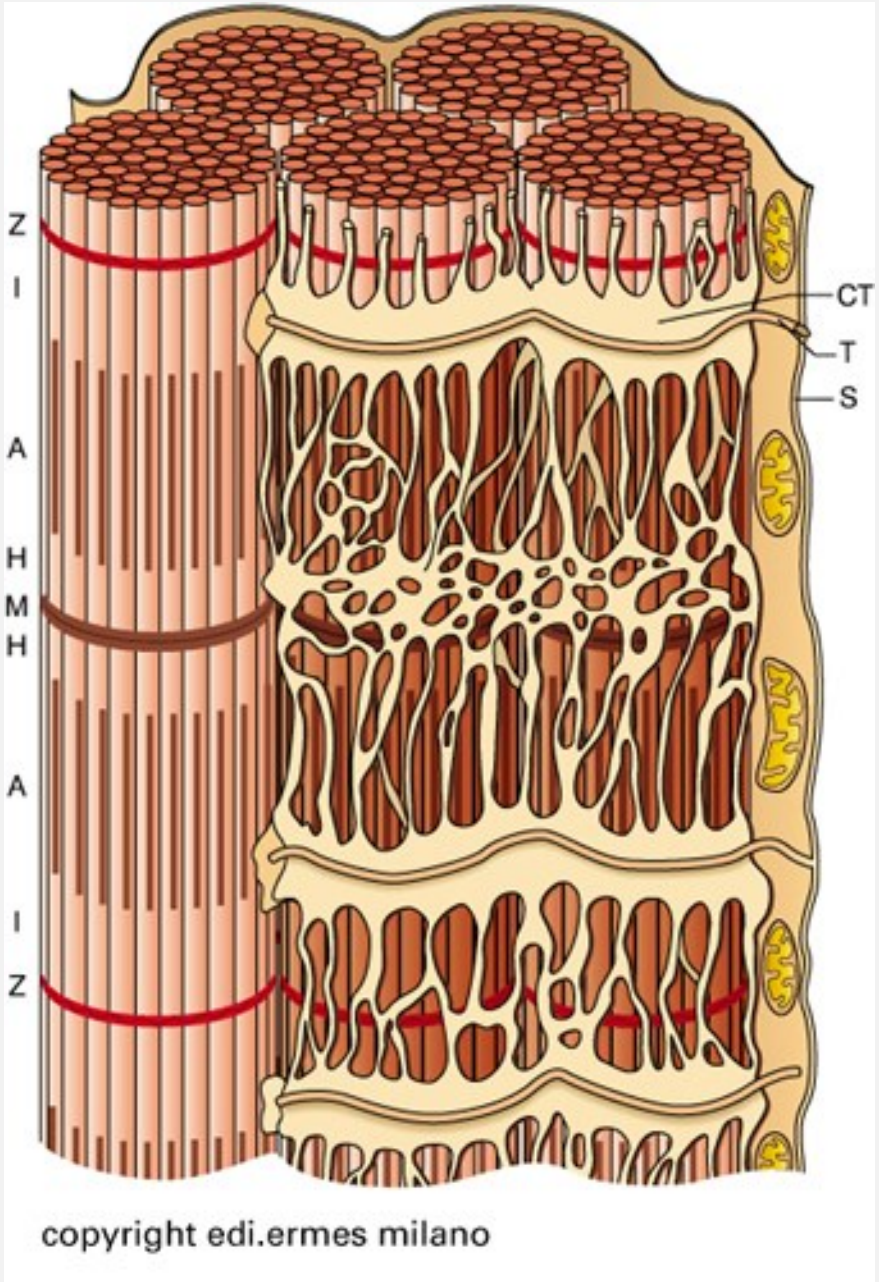
Struttura della fibra muscolare scheletrica



Reticolo sarcoplasmatico: deposito di ioni Ca^{2+}, riveste il sarcomero.

Cisterna terminale: porzione terminale del reticolo sarcoplasmatico.

Struttura della fibra muscolare scheletrica

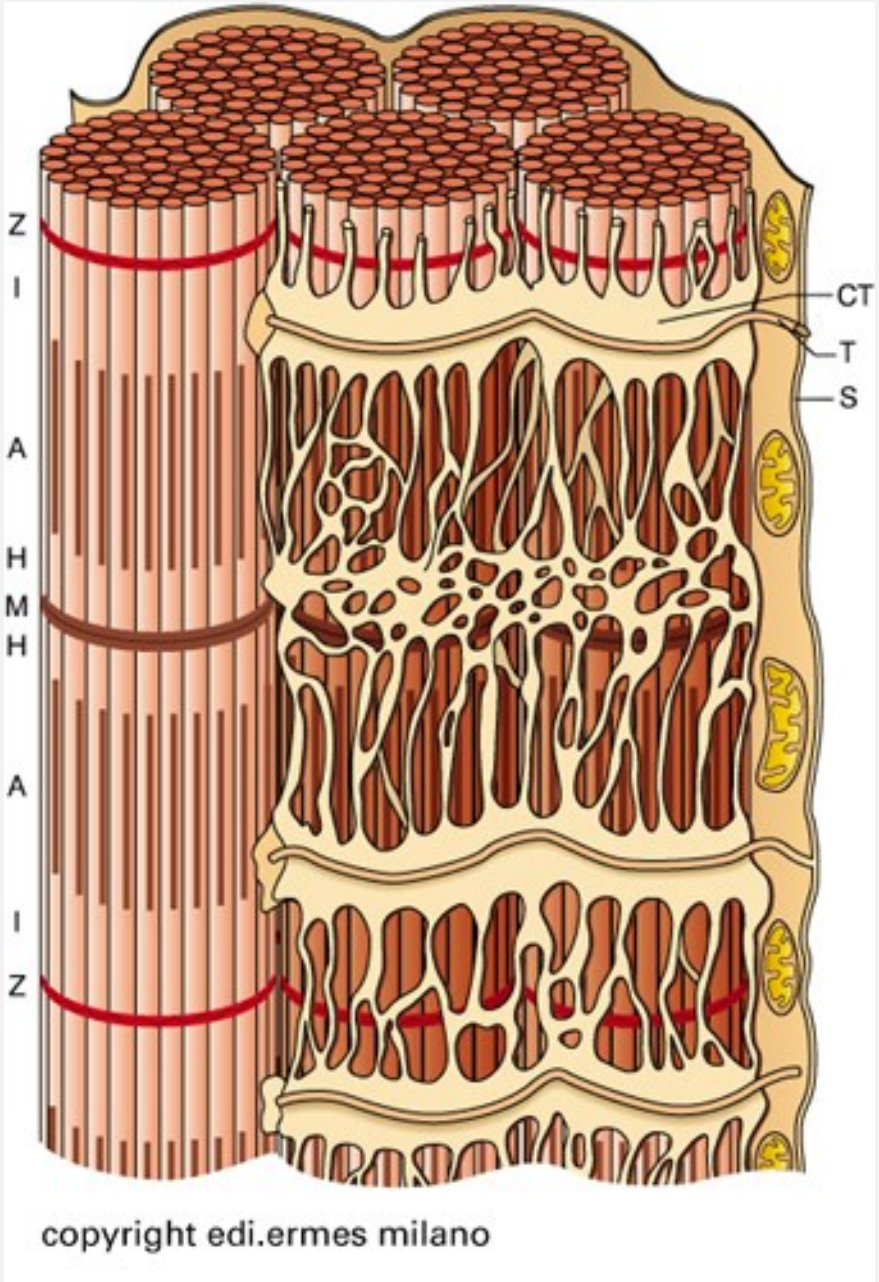


Reticolo sarcoplasmatico: deposito di ioni Ca^{2+}, riveste il sarcomero.

Cisterna terminale: porzione terminale del reticolo sarcoplasmatico.

Tubulo trasverso: conduce il potenziale d'azione all'interno della cellula.

Struttura della fibra muscolare scheletrica



Reticolo sarcoplasmatico: deposito di ioni Ca^{2+}, riveste il sarcomero.

Cisterna terminale: porzione terminale del reticolo sarcoplasmatico.

Tubulo trasverso: conduce il potenziale d'azione all'interno della cellula.

Sarcolemma: membrana cellulare della fibra.

Proteine muscolari

Le proteine muscolari concorrono alla struttura del sarcomero.

- Proteine contrattili

  Actina e Miosina

- Proteine regolatrici

  Tropomiosina e Troponina

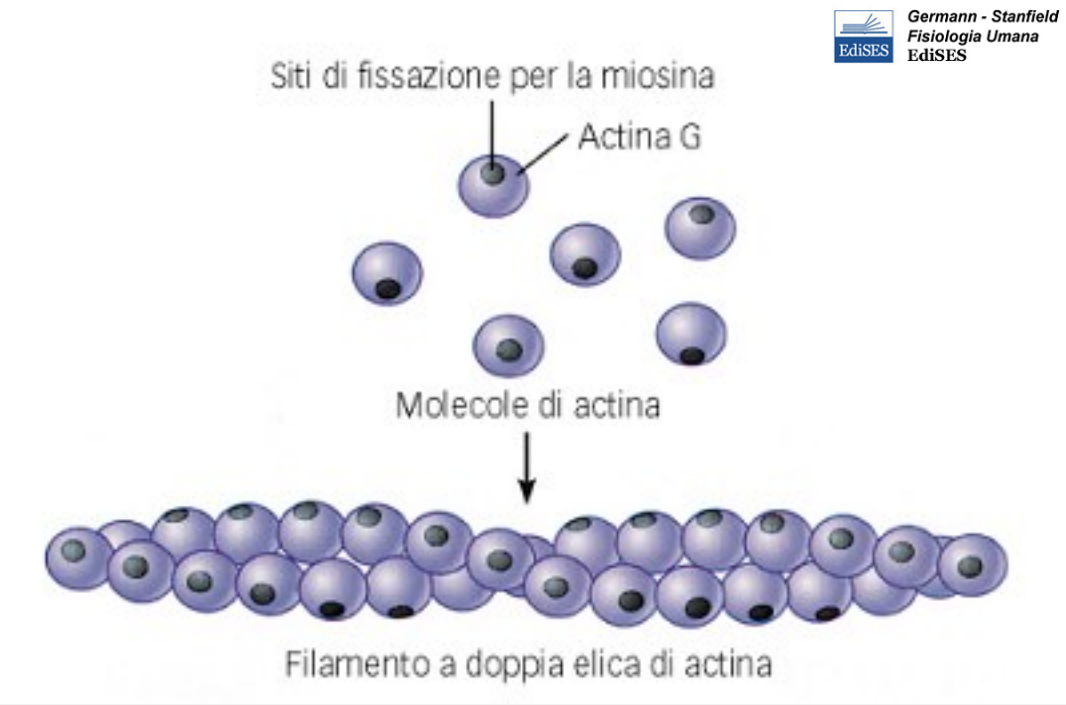
- Proteine strutturali

  Tinina e Nebulina

Proteine contrattili: actina

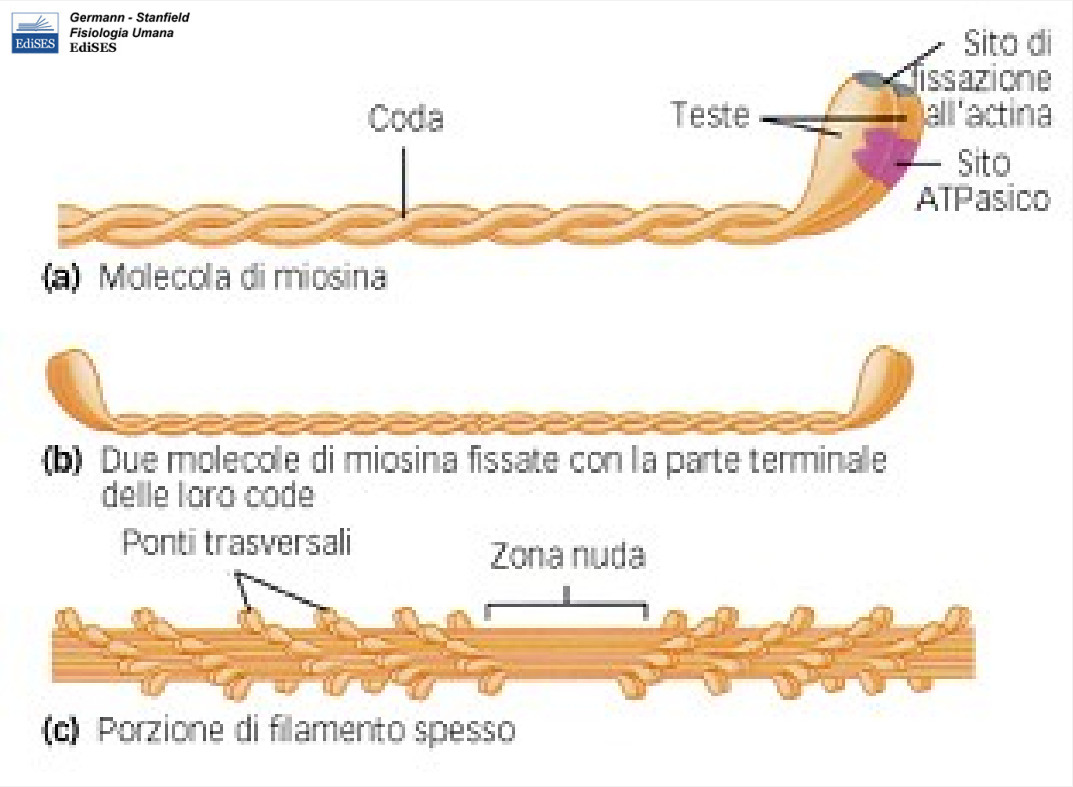
E' una proteina globulare (actina G) che nel muscolo costituisce una struttura a doppia elica filamentosa (actina F). E' la struttura di base dei filamenti sottili.

Ogni molecola di actina G ha un sito che rende possibile l'aggancio con le teste di miosina.



Proteine contrattili: miosina

Le aggregazioni di miosina stanno alla base dei filamenti spessi. Ha due code strutturate a elica. Ai capi di ciascuna catena è presente una struttura globulare, quindi ogni molecola di miosina ha due teste che hanno due funzioni diverse. Un sito è dotato di attività ATPasica mentre l'altro si lega all'actina durante la contrazione muscolare.



Proteine regolatrici: tropomiosina e troponina

La tropomiosina è una proteina a forma di bastoncino; si trova nei filamenti sottili posizionata lungo la scanalatura formata dalle due catene a elica dell'actina F. In condizioni di muscolo rilasciato la tropomiosina ha il compito di impedire l'interazione tra actina e miosina. Affinché avvenga la contrazione, la tropomiosina si deve spostare nelle scanalature del filamento sottile.

La troponina è una proteina formata da tre subunità:

La troponina C lega il calcio, la troponina I lega l'actina e la troponina T lega la tropomiosina.

Proteine strutturali

Costituiscono il citoscheletro della fibra muscolare. Sono tinina e nebulina.

La tinina unisce a ponte gli elementi trasversali della linea M con le linee Z.

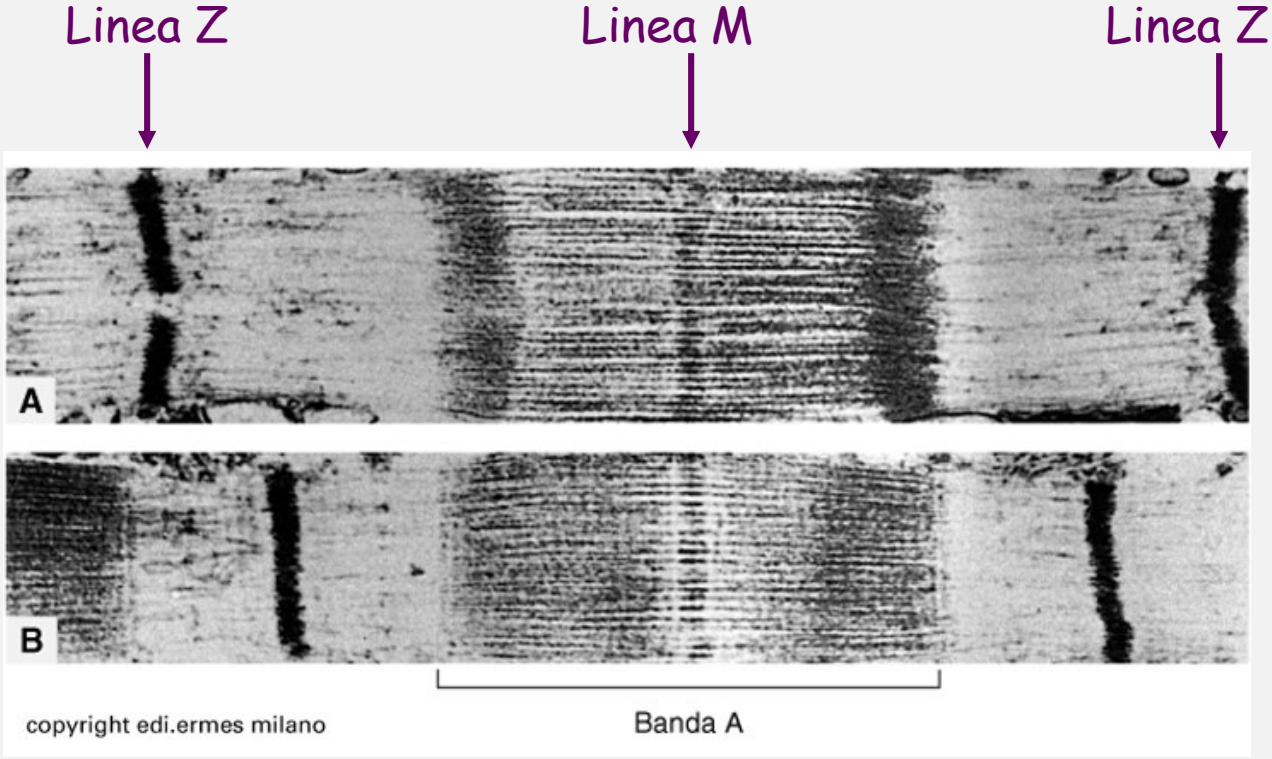
La nebulina è associata a ciascun filamento sottile e agisce nel regolare la lunghezza del filamento.

Contrazione muscolare

Durante la contrazione muscolare le due linee Z si avvicinano e il sarcomero si accorcia. L'accorciamento di un sarcomero si somma a quello di tutti gli altri sarcomeri disposti in serie, per cui l'accorciamento del muscolo risulta essere maggiore dell'accorciamento di un singolo sarcomero. L'accorciamento del muscolo è possibile grazie al fatto che i filamenti scorrono gli uni sugli altri.

Contrazione muscolare

Durante la contrazione muscolare le due linee Z si avvicinano e il sarcomero si accorcia. L'accorciamento di un sarcomero si somma a quello di tutti gli altri sarcomeri disposti in serie, per cui l'accorciamento del muscolo risulta essere maggiore dell'accorciamento di un singolo sarcomero. L'accorciamento del muscolo è possibile grazie al fatto che i filamenti scorrono gli uni sugli altri.



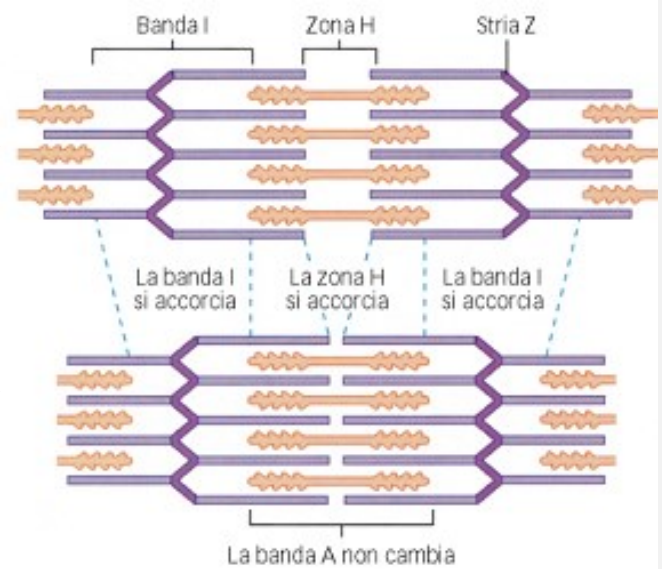
Allungamento muscolare

Muscolo a riposo

Scorrimento dei filamenti

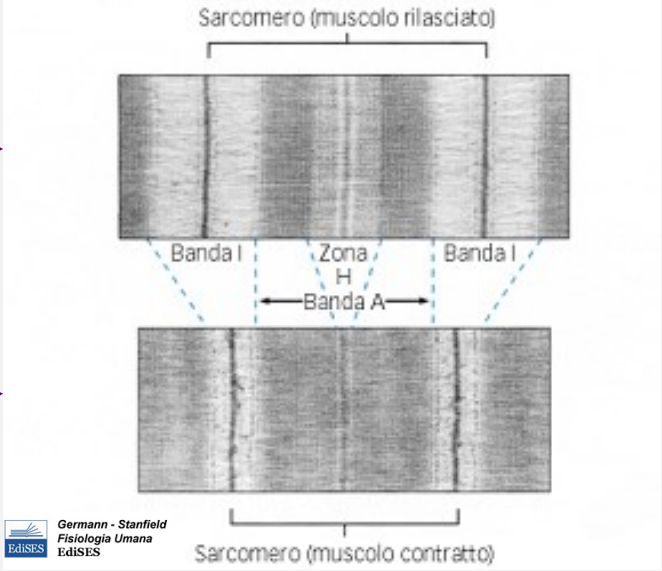
Muscolo a riposo →

Muscolo contratto →

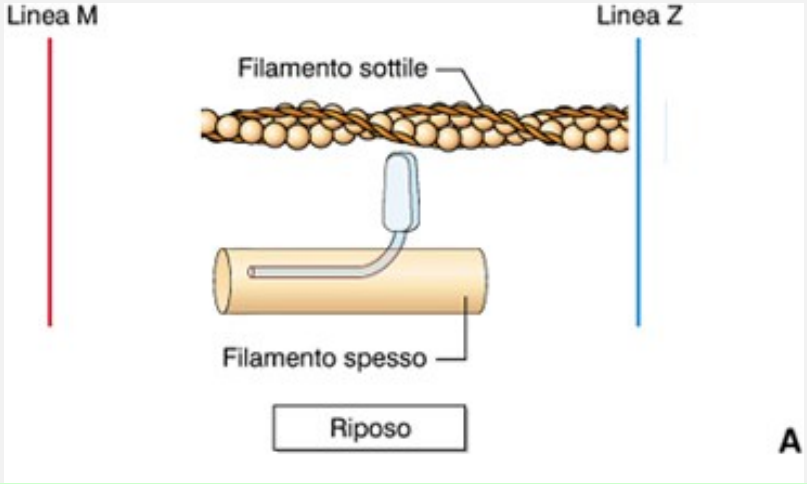


Muscolo a riposo →

Muscolo contratto →

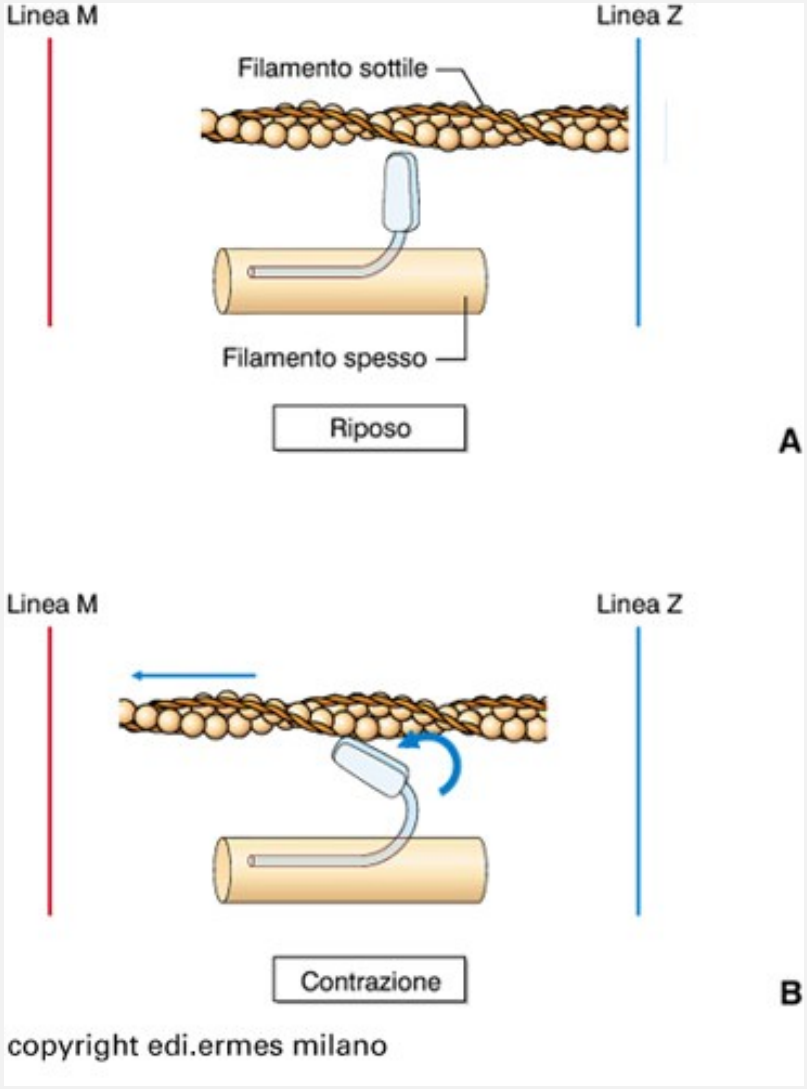


Meccanismo molecolare della contrazione



A. La testa della miosina si trova in prossimità del filamento spesso ma non interagisce con l'actina.

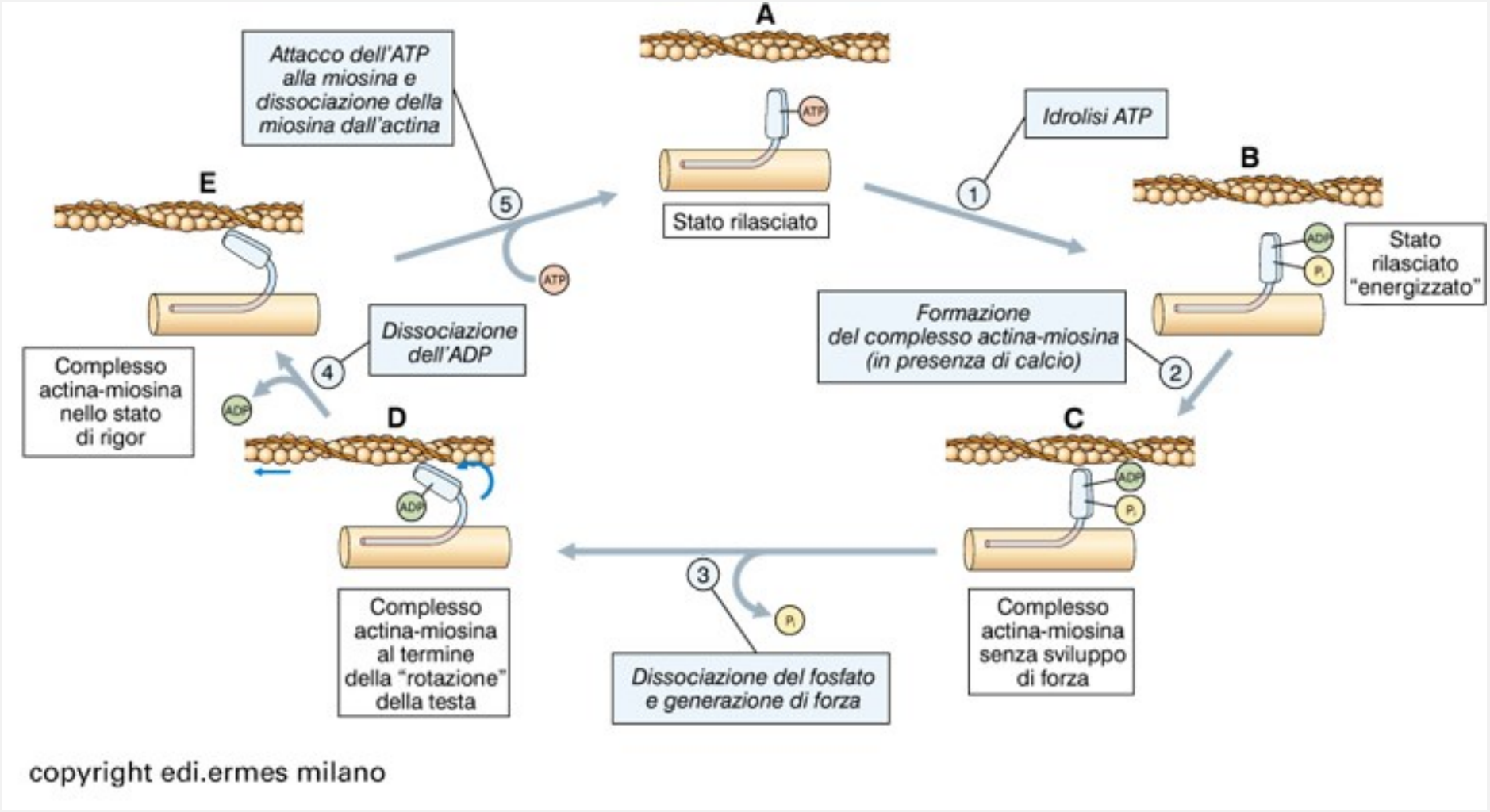
Meccanismo molecolare della contrazione



A. La testa della miosina si trova in prossimità del filamento spesso ma non interagisce con l'actina.

B. Durante la contrazione la testa della miosina si lega all'actina e "ruota" spingendo il filamento sottile verso la linea M accorciando il sarcomero.

Meccanismo della contrazione

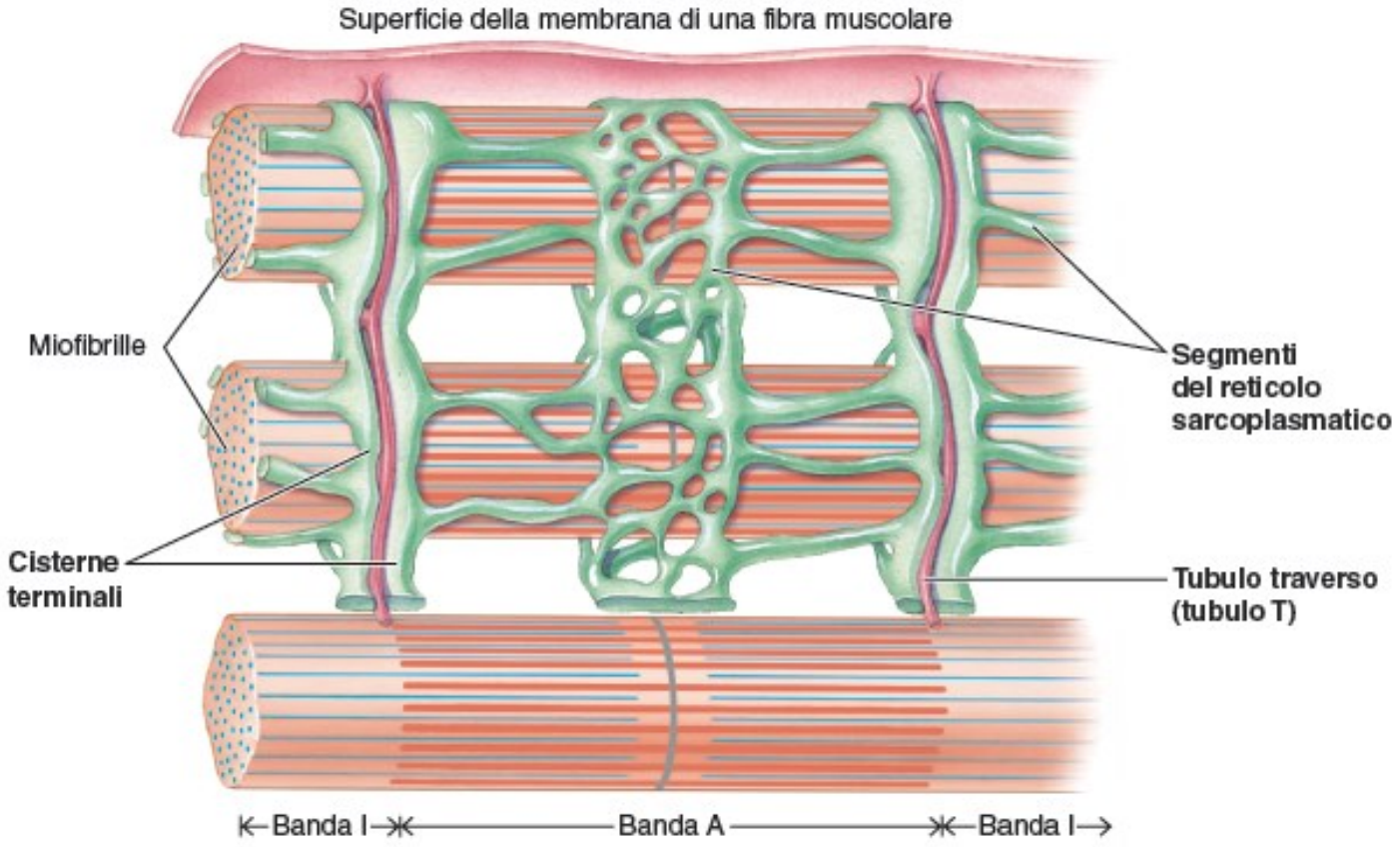


copyright edi.ermes milano

Accoppiamento eccitazione-contrazione

L'accoppiamento eccitazione-contrazione è quell'insieme di eventi che vanno dal potenziale d'azione allo sviluppo di forza e/o accorciamento.

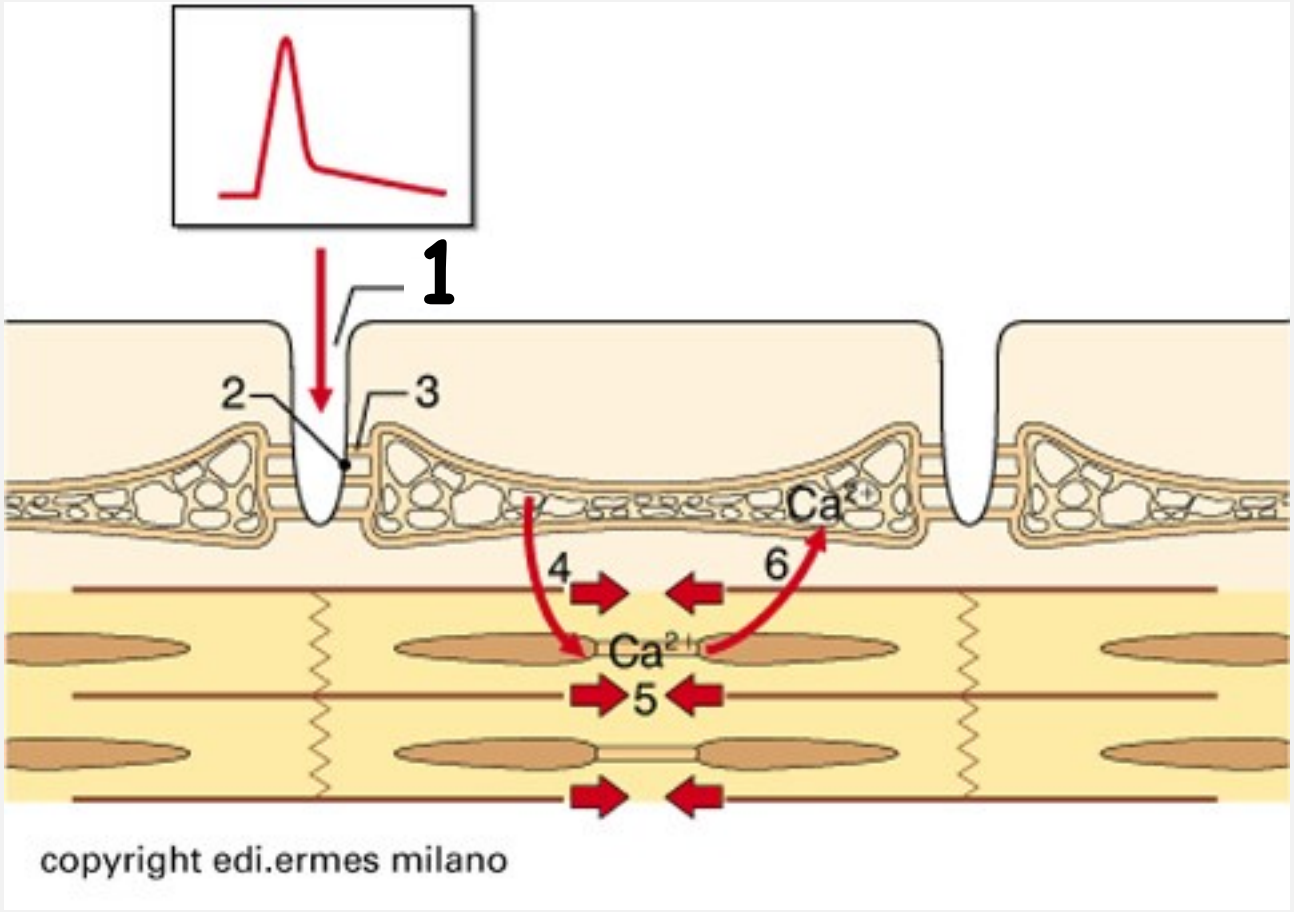
1. Potenziale d'azione lungo la membrana della fibra muscolare
2. Attivazione dei recettori della diidropirina nei tubuli T e della rianodina nella membrana del reticolo sarcoplasmatico
3. Liberazione di Ca^{2+}
4. Legame di Ca^{2+} con la troponina C
5. Spostamento della tropomiosina verso l'interno del filamento
6. Liberazione dei siti di legame dell'actina per la miosina
7. Attacco actina-miosina
8. Contrazione



● **FIGURA 8-9 Relazione tra i tubuli trasversi (tubuli T) ed il reticolo sarcoplasmatico con le miofibrille.** I tubuli T sono estensioni membranose e perpendicolari della superficie della membrana che si addentrano in profondità nella fibra muscolare a livello delle giunzioni tra le bande A e I delle miofibrille. Il reticolo sarcoplasmatico è una sottile rete membranosa che corre longitudinalmente e che circonda ogni miofibrilla, con segmenti separati che circondano ogni banda A e ogni banda I. Le estremità di ogni segmento si espandono a formare le cisterne terminali che si trovano vicine ai tubuli T adiacenti.

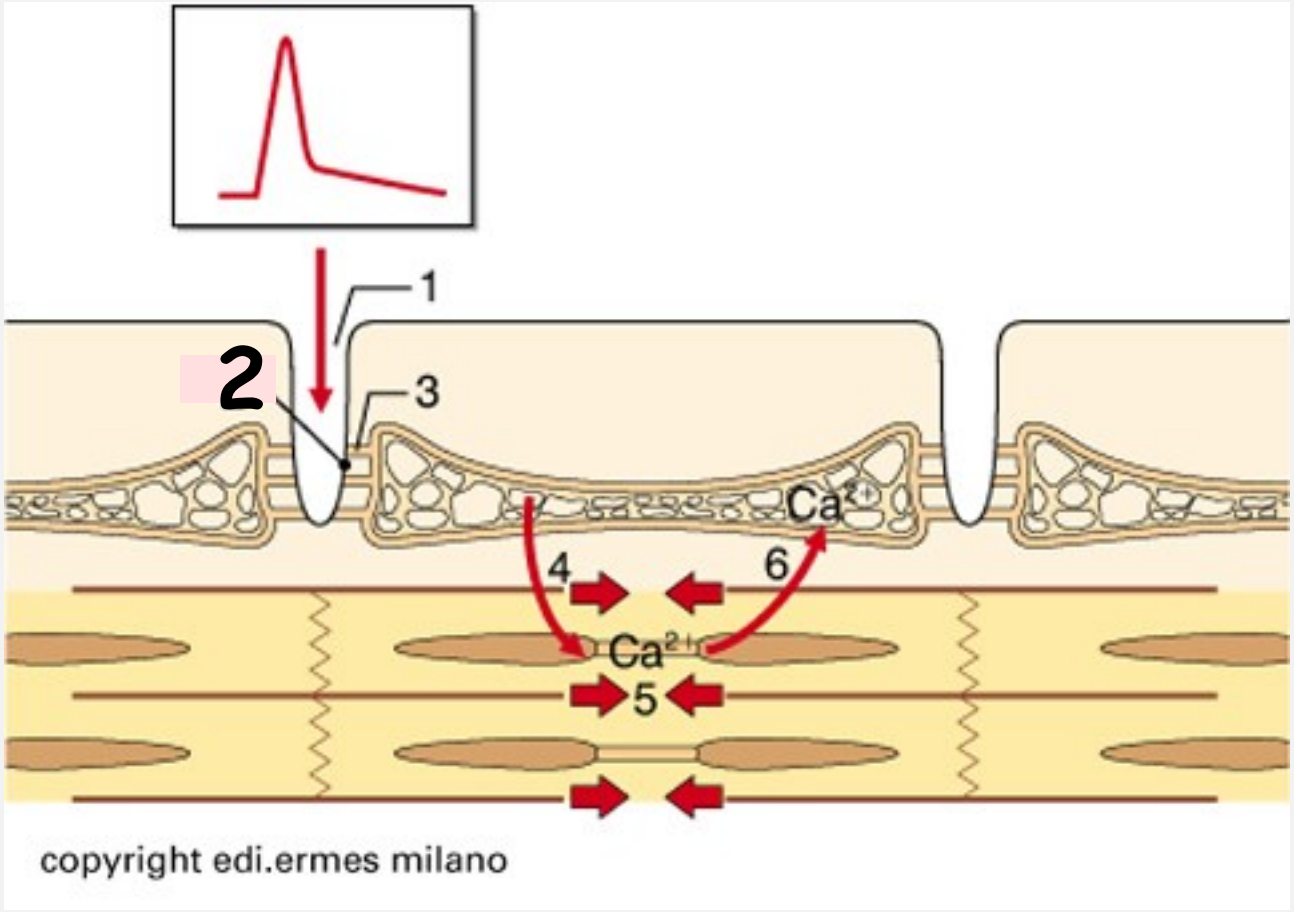
copyright: Piccin Padova; Fondamenti di Fisiologia Umana

Accoppiamento eccitazione-contrazione



1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T

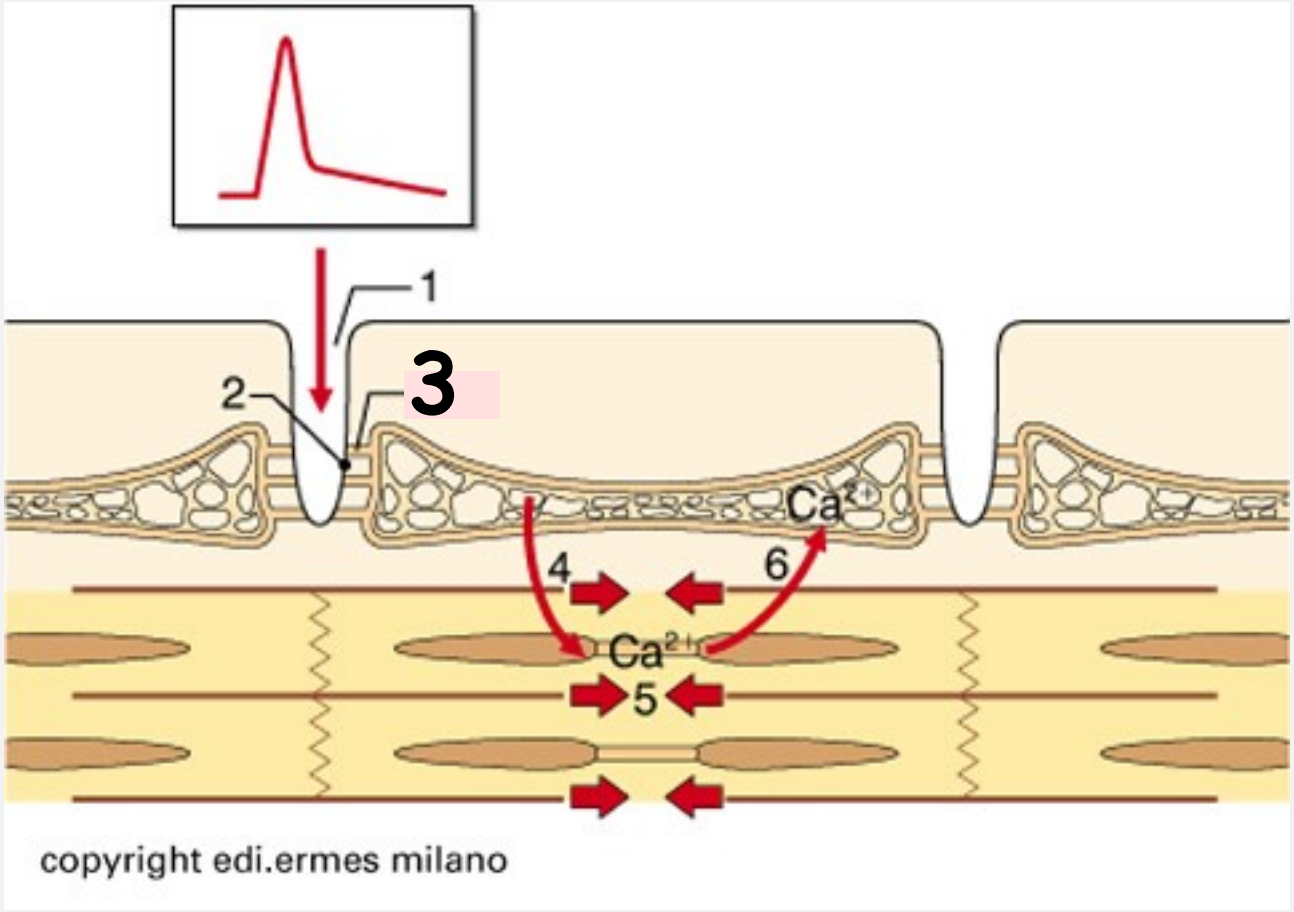
Accoppiamento eccitazione-contrazione



1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T

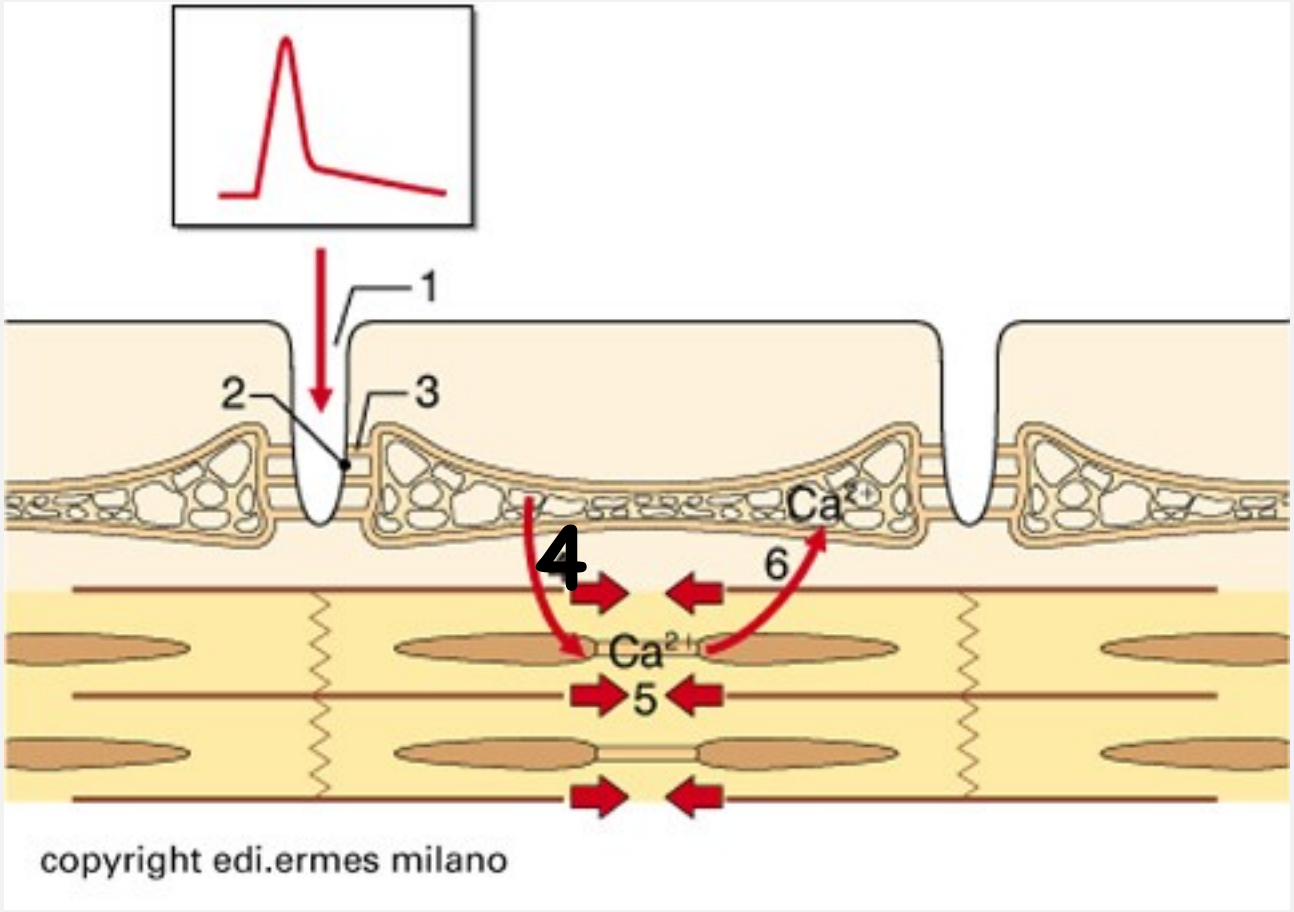
2. Attivando i recettori della diidropirina

Accoppiamento eccitazione-contrazione



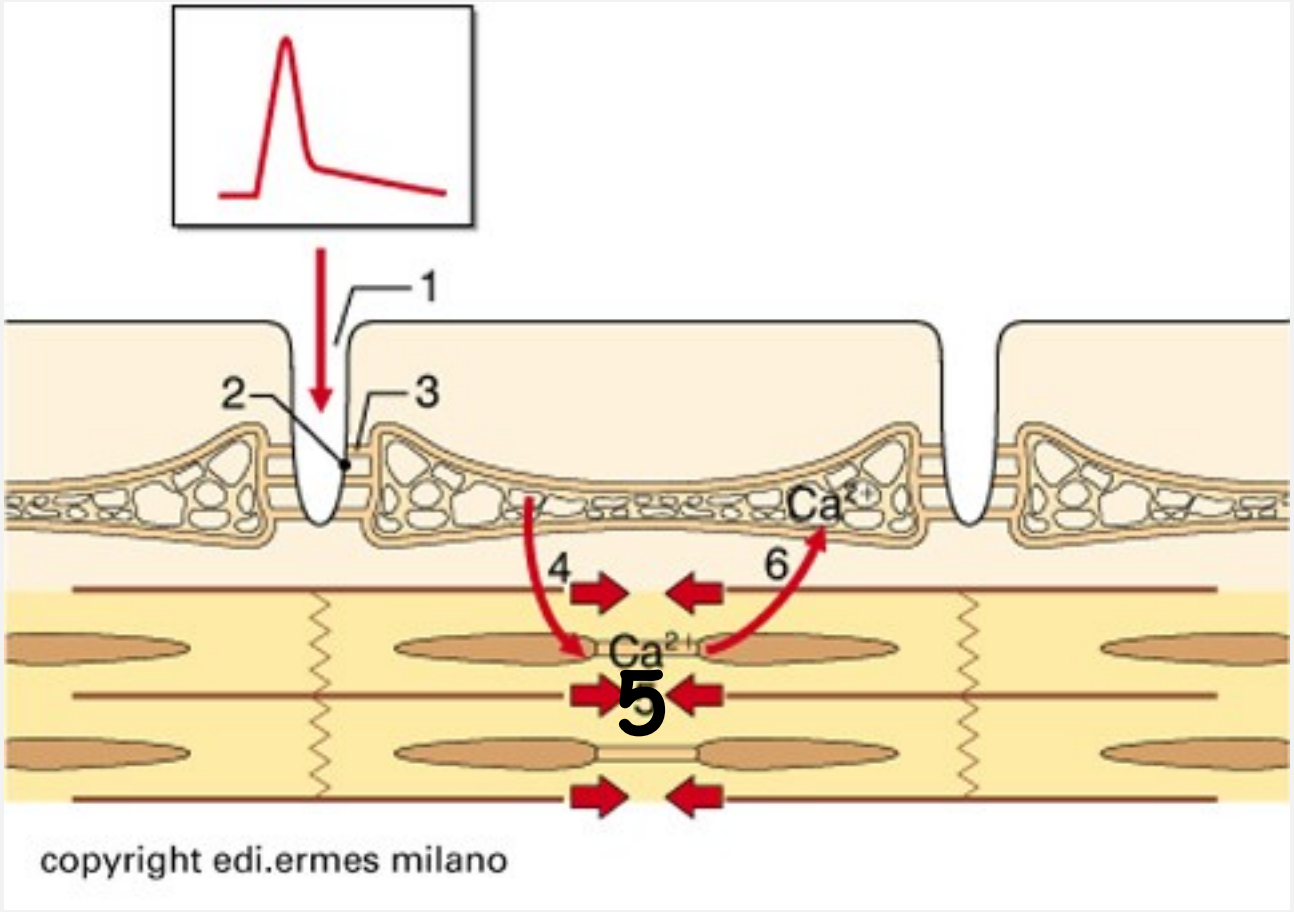
1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T
2. Attivando i recettori della diidropirina
3. e della rianodina

Accoppiamento eccitazione-contrazione



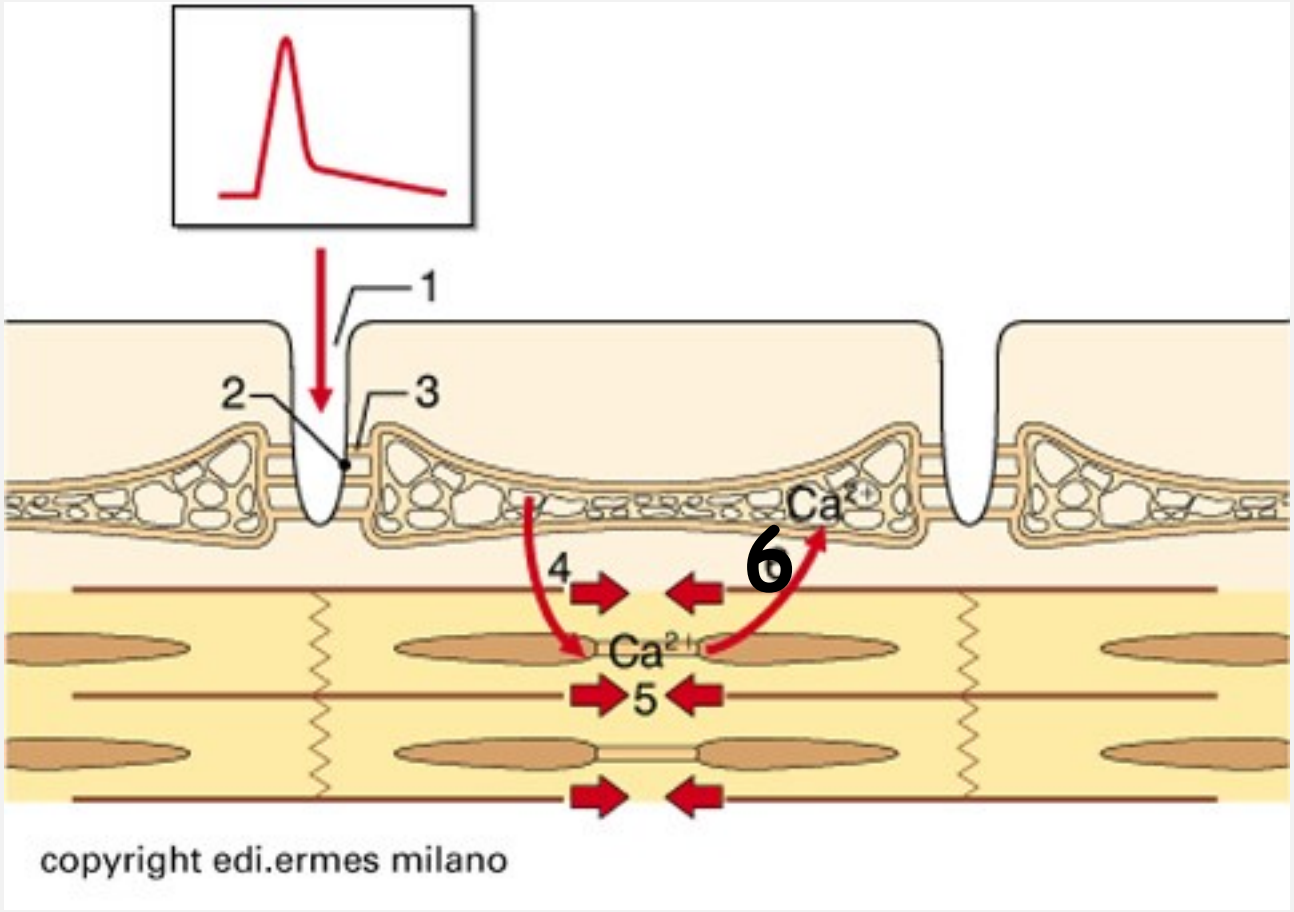
1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T
2. Attivando i recettori della diidropirina
3. e della rianodina
4. Liberazione di Ca^{2+}

Accoppiamento eccitazione-contrazione



1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T
2. Attivando i recettori della diidropirina
3. e della rianodina
4. Liberazione di Ca^{2+}
5. Legame di Ca^{2+} con la troponina C che attiva la contrazione

Accoppiamento eccitazione-contrazione

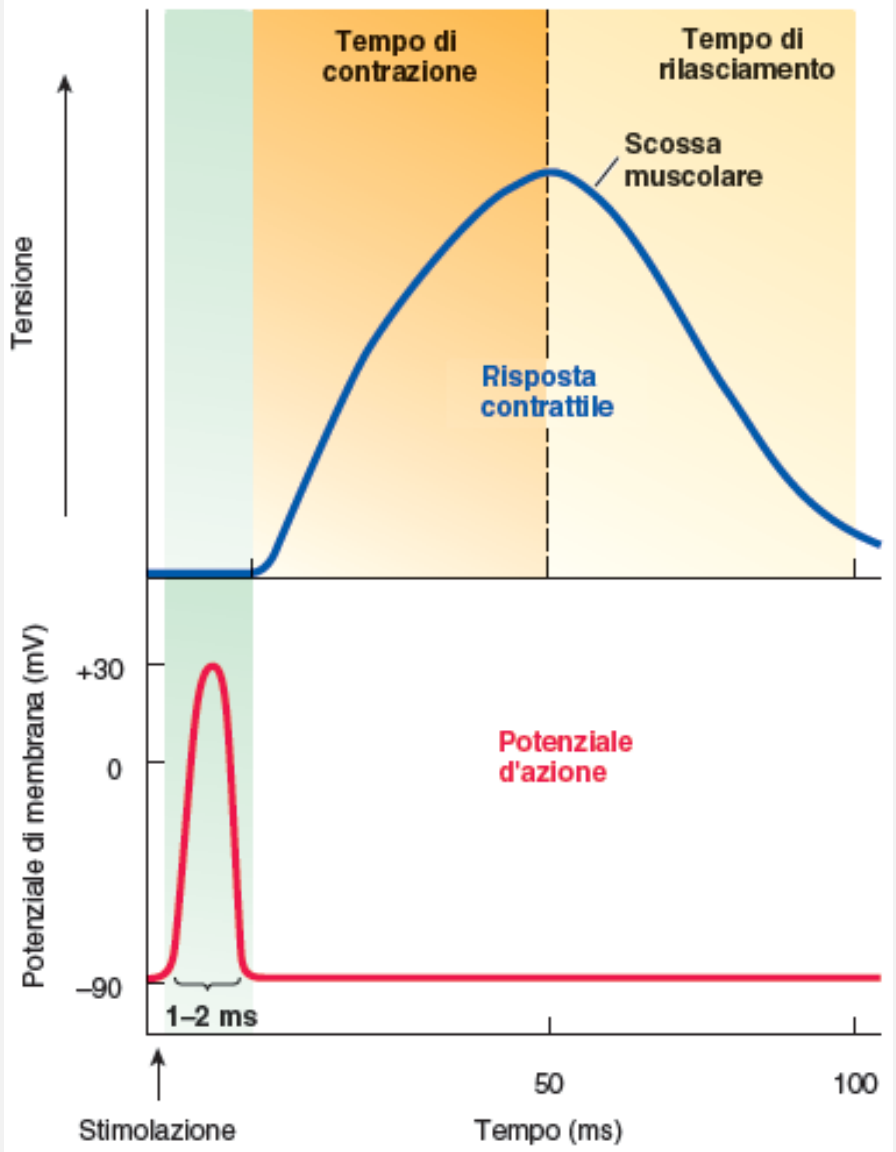


1. Il potenziale d'azione entra nel tubulo T
2. Attivando i recettori della diidropirina
3. e della rianodina
4. Liberazione di Ca^{2+}
5. Legame di Ca^{2+} con la troponina C che attiva la contrazione
6. Ca^{2+} viene ricatturato dalla pompa del Ca^{2+} e riportato nel reticolo sarcoplasmatico

Rilasciamento

La durata e l'intensità della contrazione sono determinate dal controllo nervoso. Nella fase di rilasciamento il muscolo lentamente ritorna alla lunghezza normale. Per far ciò è necessario che:

1. Non si generino più potenziali d'azione lungo la membrana della fibra muscolare
2. Ca^{2+} venga ricatturato dal reticolo sarcoplasmatico
3. Diminuzione della concentrazione di Ca^{2+} nel citoplasma
4. Distacco del Ca^{2+} dalla troponina C
5. Spostamento della tropomiosina verso l'esterno del filamento
6. Copertura dei siti di legame dell'actina per la miosina
7. Mancata formazione dei legami actina-miosina
8. Rilasciamento



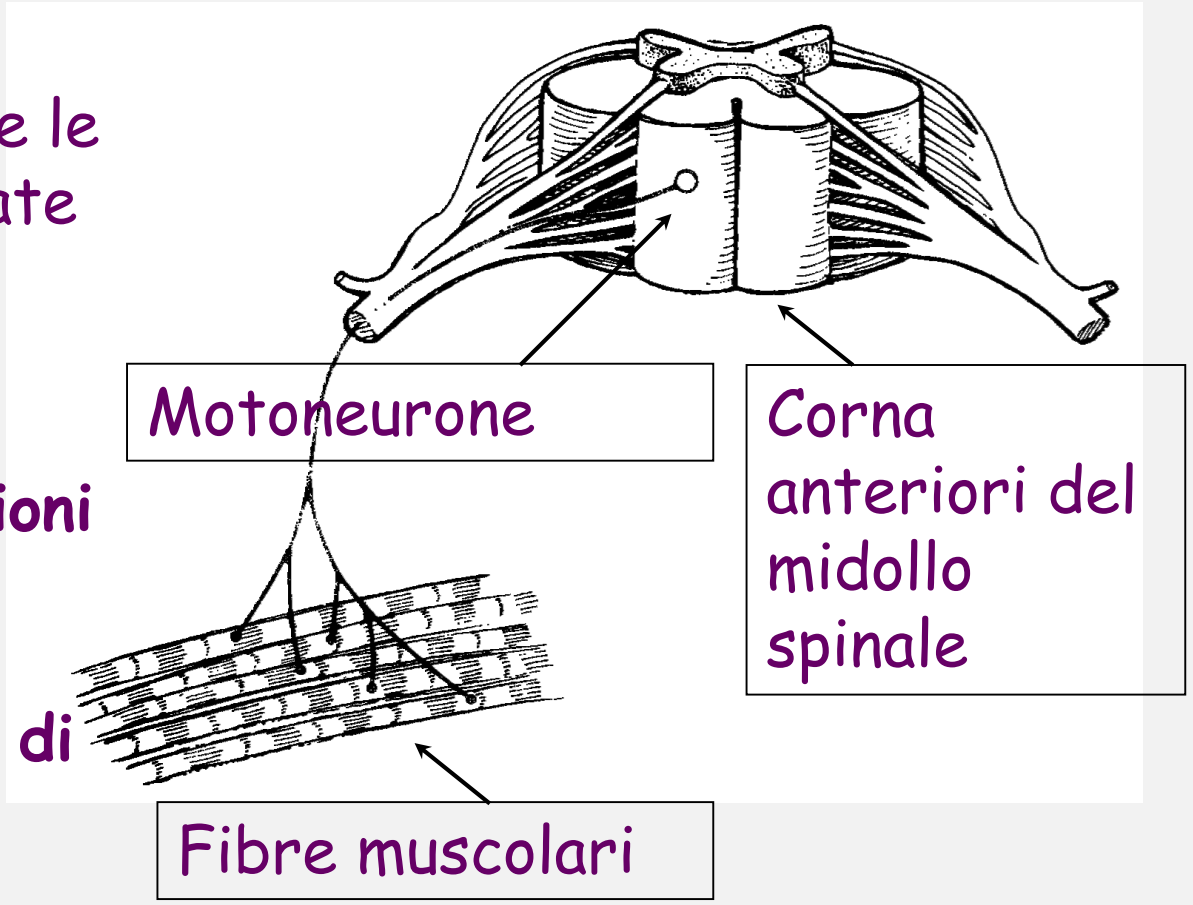
● **FIGURA 8-12 Relazione tra un potenziale d'azione e la scossa muscolare risultante.** La durata del potenziale d'azione non è disegnata in scala ma è esasperata. Si noti che il potenziale a riposo di una fibra muscolare scheletrica è –90 millivolt (mV), rispetto a quello di un neurone che è di –70 mV.

copyright: Piccin Padova; Fondamenti di Fisiologia Umana

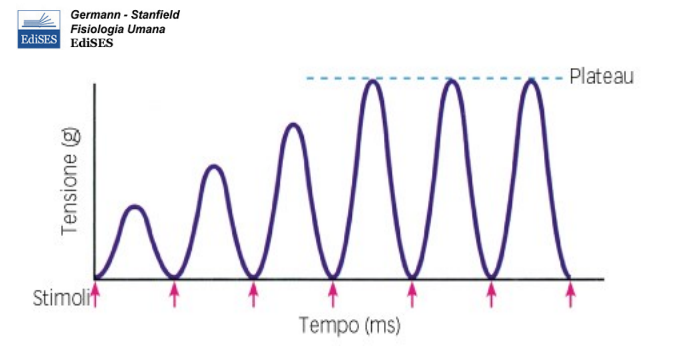
Unità neuromotoria

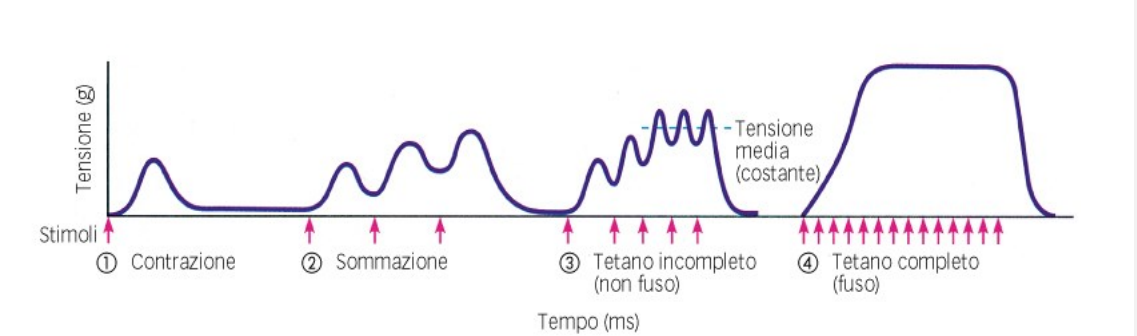
Una unità neuromotoria è formata da un motoneurone e da tutte le fibre muscolari innervate dalle sue terminazioni

Le unità motorie differiscono in **dimensioni** (poche o molte fibre innervate da un motoneurone) e in **tipo di fibre** (veloci , lente, intermedie)



Effetto della frequenza di stimolazione: tetano





Tetano: un muscolo sottoposto ad una stimolazione frequente e ripetitiva sviluppa una tensione massima che è progressivamente superiore a quella sviluppata con lo stimolo superiore finché non si raggiunge un plateau.

Tetano incompleto: Plateau costituito da singole scosse (o picchi) ancora distinguibili.

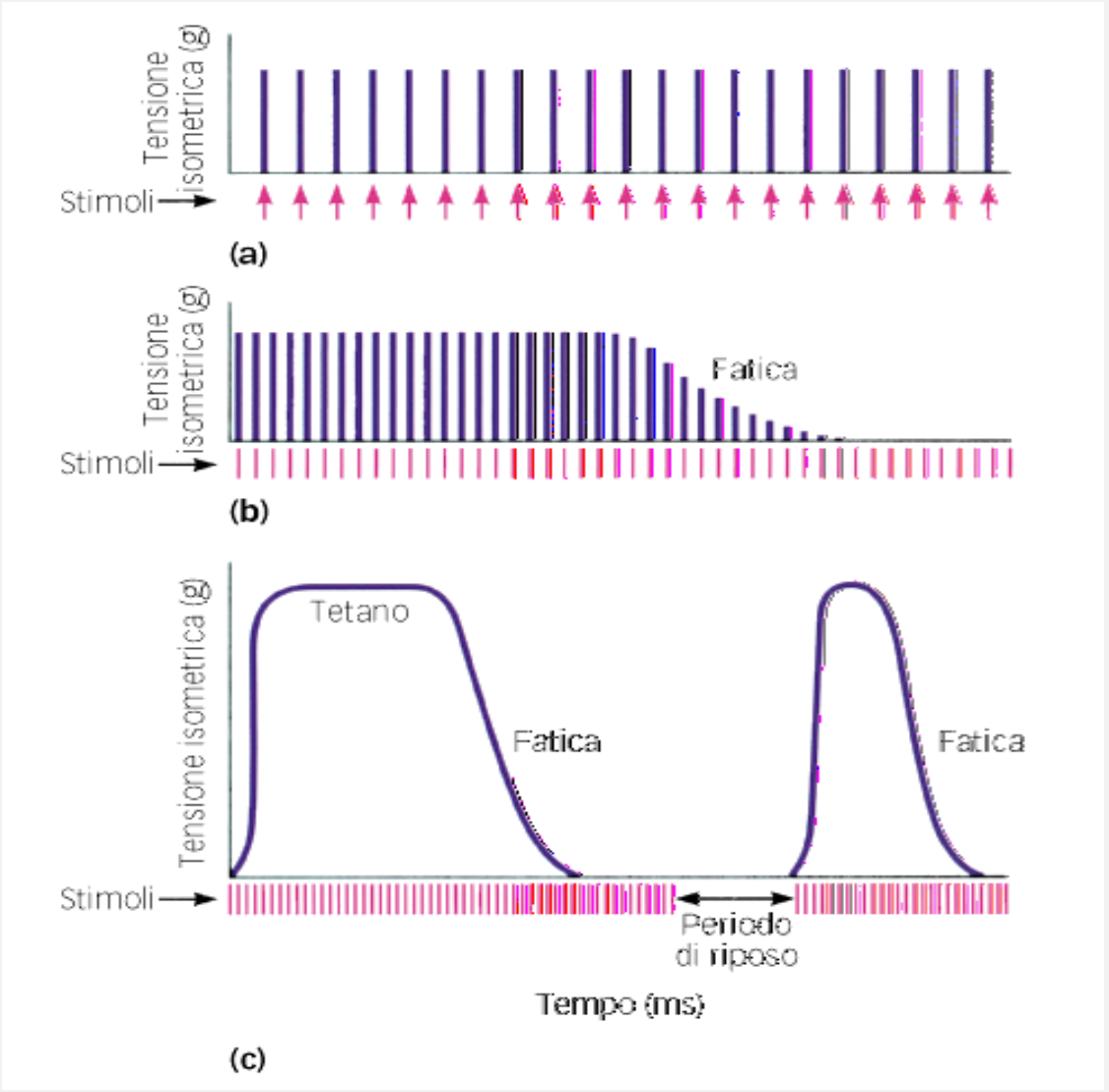
Tetano completo: Nella fase di plateau le singole scosse non sono più distinguibili.

Fatica

Frequenza non affaticante

Frequenza affaticante ma non tetanizzante

Frequenza affaticante e tetanizzante

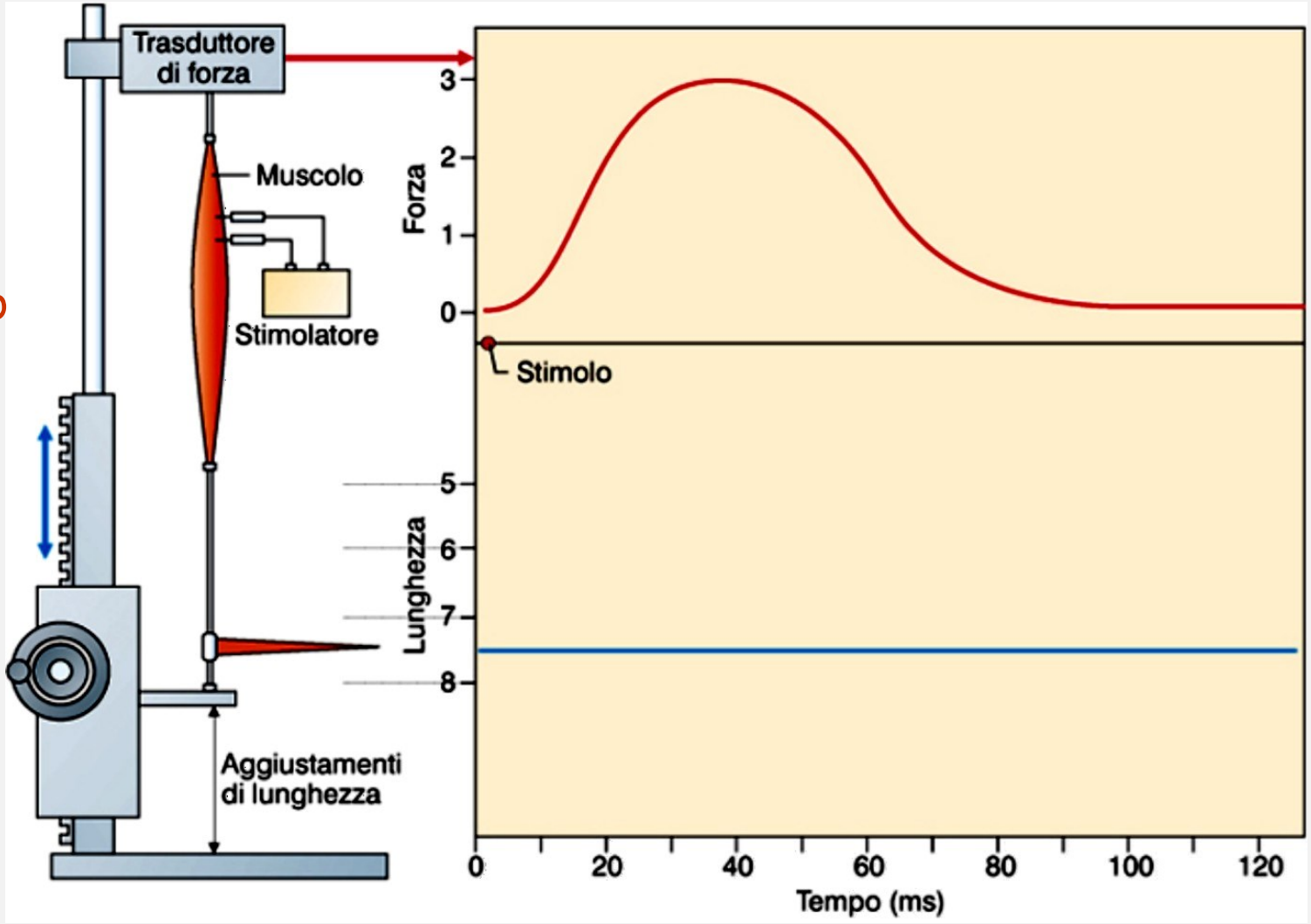


Tipi di contrazione

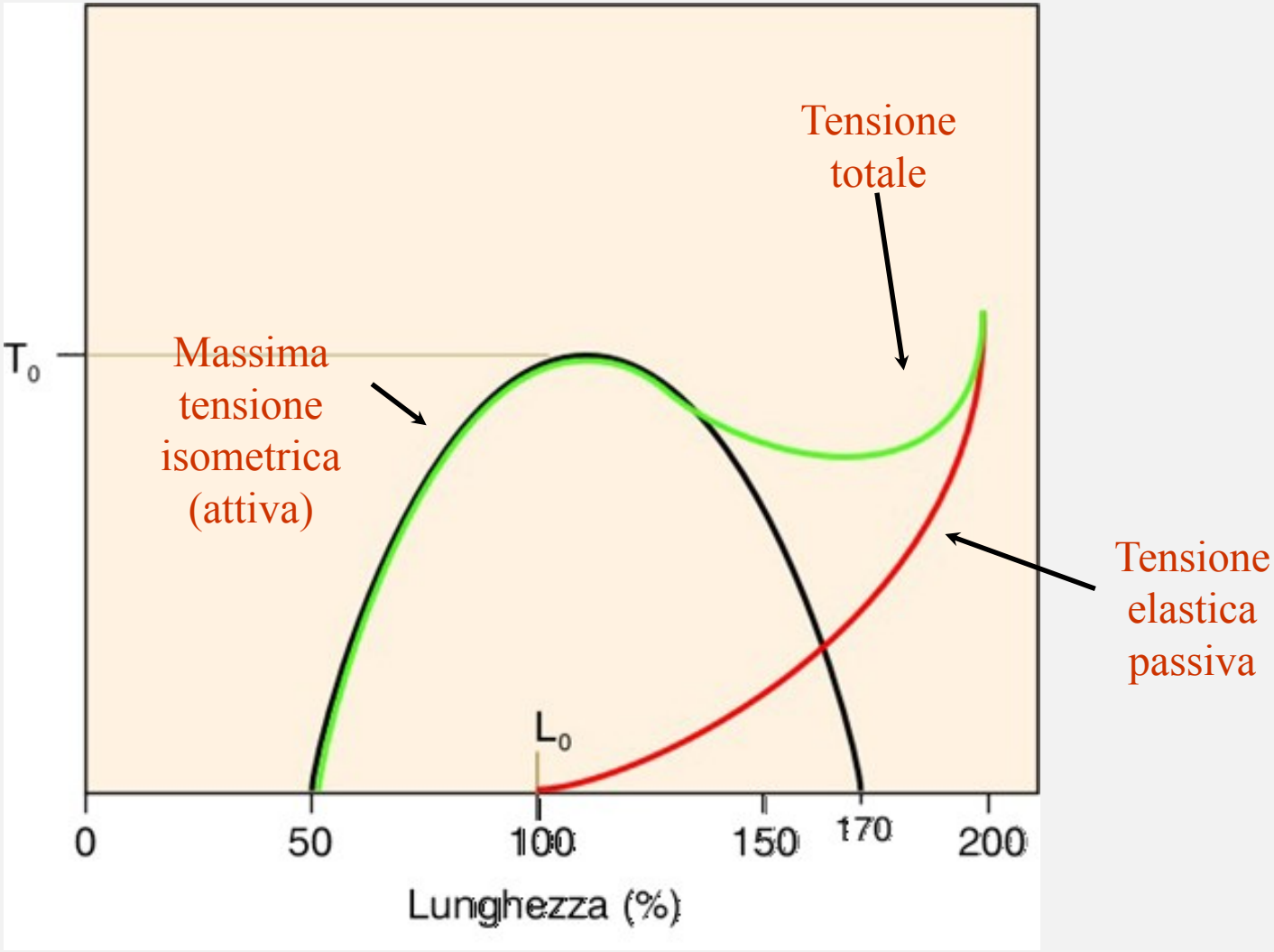
Isometrica		Lunghezza costante Massima forza
Isotonica		Lunghezza variabile Forza costante
	Concentrica	Accorciamento Forza attiva
	Eccentrica	Allungamento Forza resistiva
Isocinetica		Velocità costante Carico variabile

Scossa muscolare semplice isometrica

Miografo isometrico



Curva tensione - lunghezza

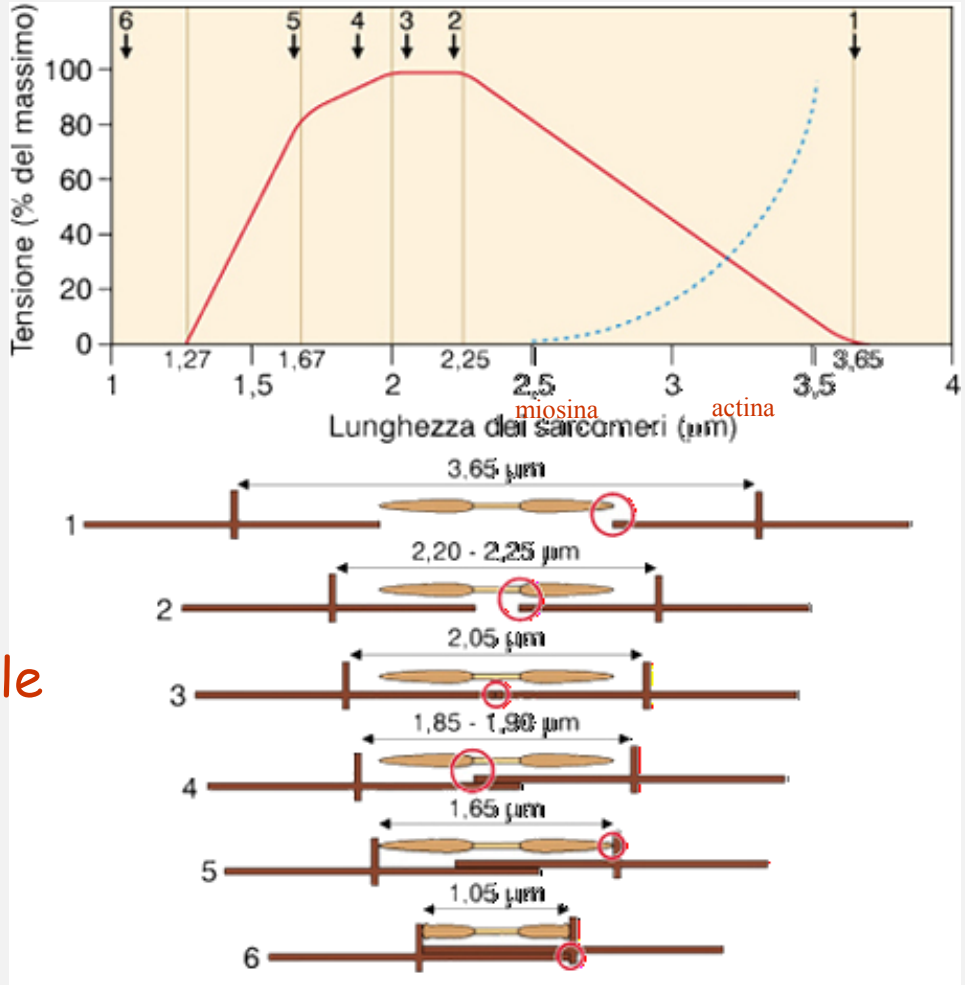


Spiegazione della curva tensione-lunghezza

1. Nessuna sovraposizione

2-3. Sovraposizione ottimale

4-6. Doppia sovraposizione



Curva velocità - carico

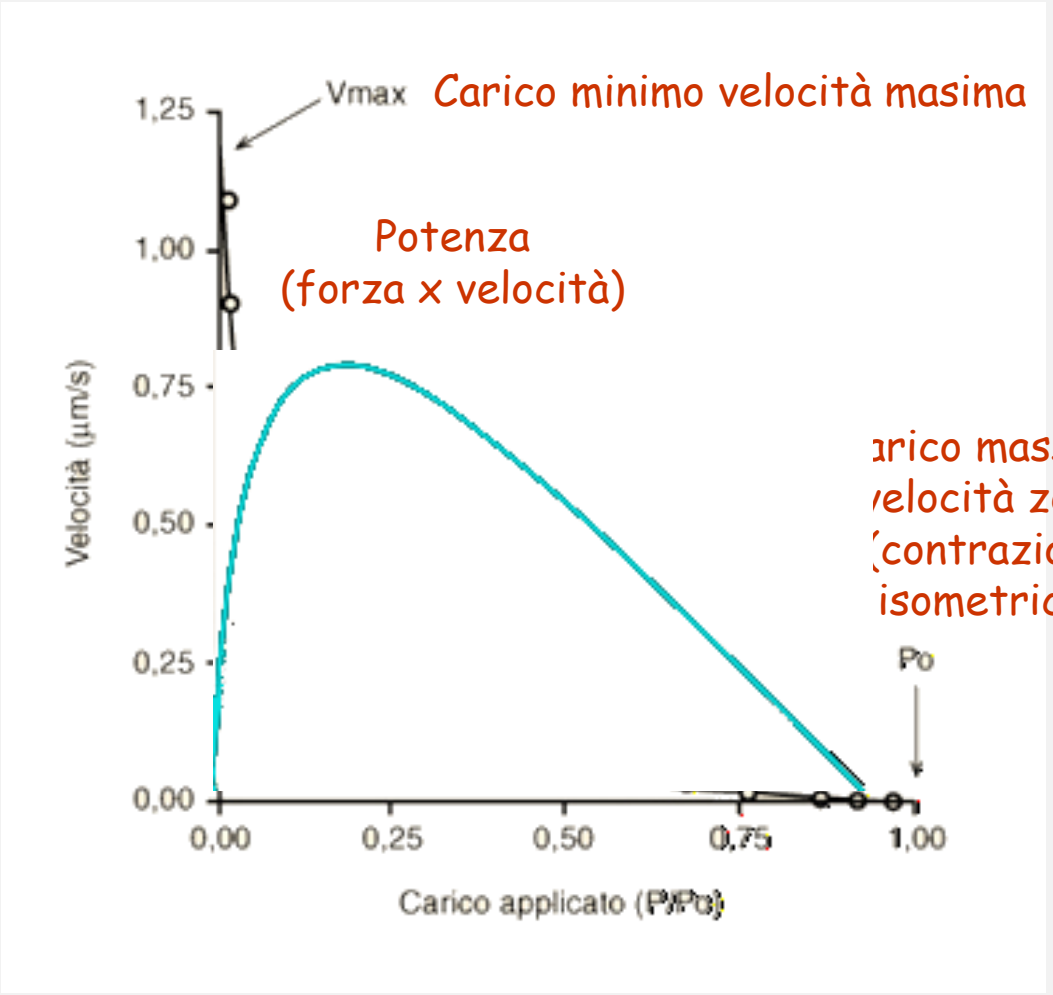


Tabella 8-1 Caratteristiche delle Fibre Muscolari Scheletriche

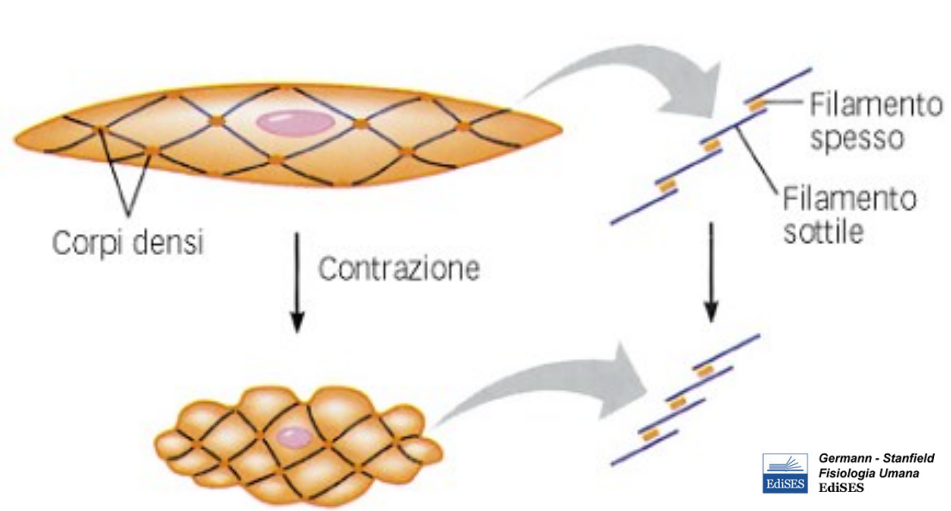
Caratteristiche	TIPO DI FIBRA		
	Ossidative lente (Tipo I)	Ossidative rapide (Tipo IIa)	Glicolitiche rapide (Tipo IIx)
Attività ATPasica miosinica	Bassa	Alta	Alta
Velocità della contrazione	Lenta	Rapida	Rapida
Resistenza alla fatica	Alta	Intermedia	Bassa
Capacità della fosforilazione ossidativa	Alta	Alta	Bassa
Enzimi per la glicolisi anaerobica	Poco presenti	Mediamente presenti	Molto presenti
Mitocondri	Molti	Molti	Pochi
Capillari	Molti	Molti	Pochi
Contenuto di mioglobina	Alto	Alto	Basso
Colore della fibra	Rosso	Rosso	Bianco
Contenuto di glicogeno	Basso	Intermedio	Alto

Muscolo liscio

Muscolo liscio e tipi di muscoli lisci

La muscolatura liscia si trova negli organi viscerali e nelle strutture non sottoposte al controllo volontario. E' regolata dai neuroni del s.n.a.

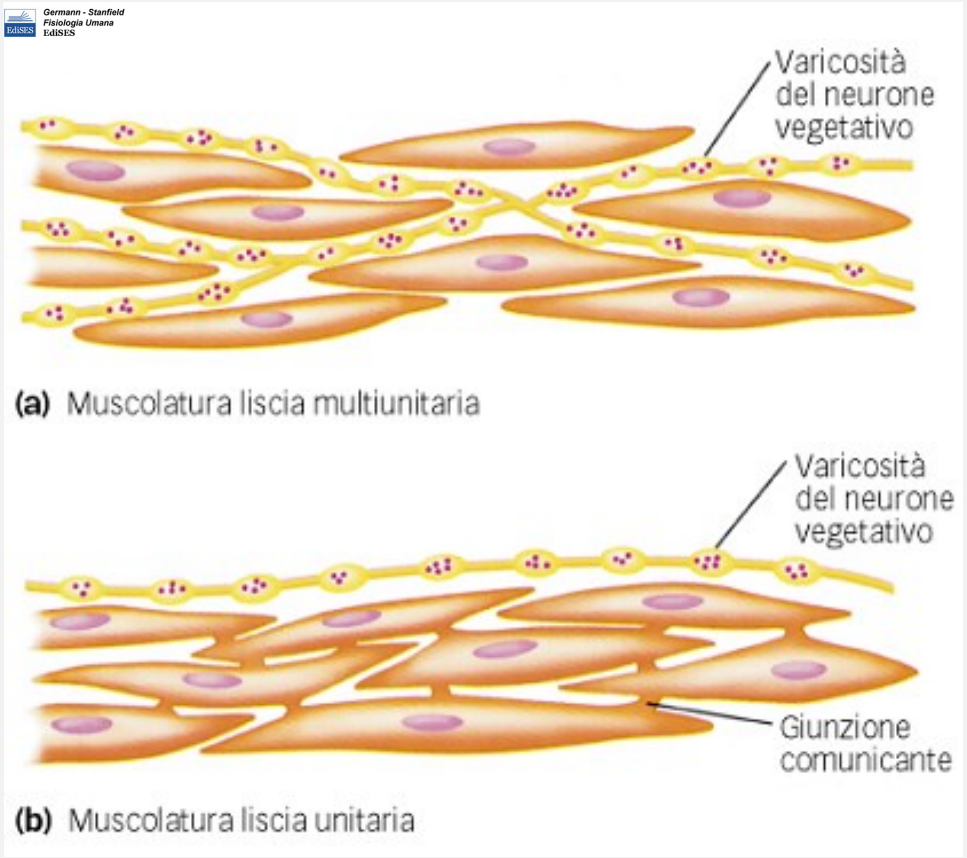
Come il muscolo scheletrico il muscolo liscio è costituito da filamenti spessi e sottili e genera forza attraverso il sistema dei ponti trasversi. I filamenti non sono organizzati in sarcomeri e tendono a decorrere in varie direzioni, quindi le contrazioni avvengono lungo diversi assi. I *corpi densi*, punti di inserzione tra filamenti e citoscheletro, servono a trasmettere la forza contrattile all'esterno della cellula.



muscolo liscio

I muscoli lisci si possono dividere in due tipi principali sulla base delle caratteristiche delle giunzioni comunicanti e dell'innervazione:

Muscolatura liscia multiunitaria. Le cellule non sono collegate mediante le giunzioni comunicanti ma sono separate le une dalle altre e sono riccamente innervate (vie aeree e grosse arterie).



Muscolatura liscia unitaria. Le cellule sono collegate mediante giunzioni comunicanti molto sviluppate e i segnali elettrici che si originano in poche cellule vengono propagati a tutte le altre (tratto gastrointestinale e utero).

Eccitazione e contrazione nei muscoli lisci

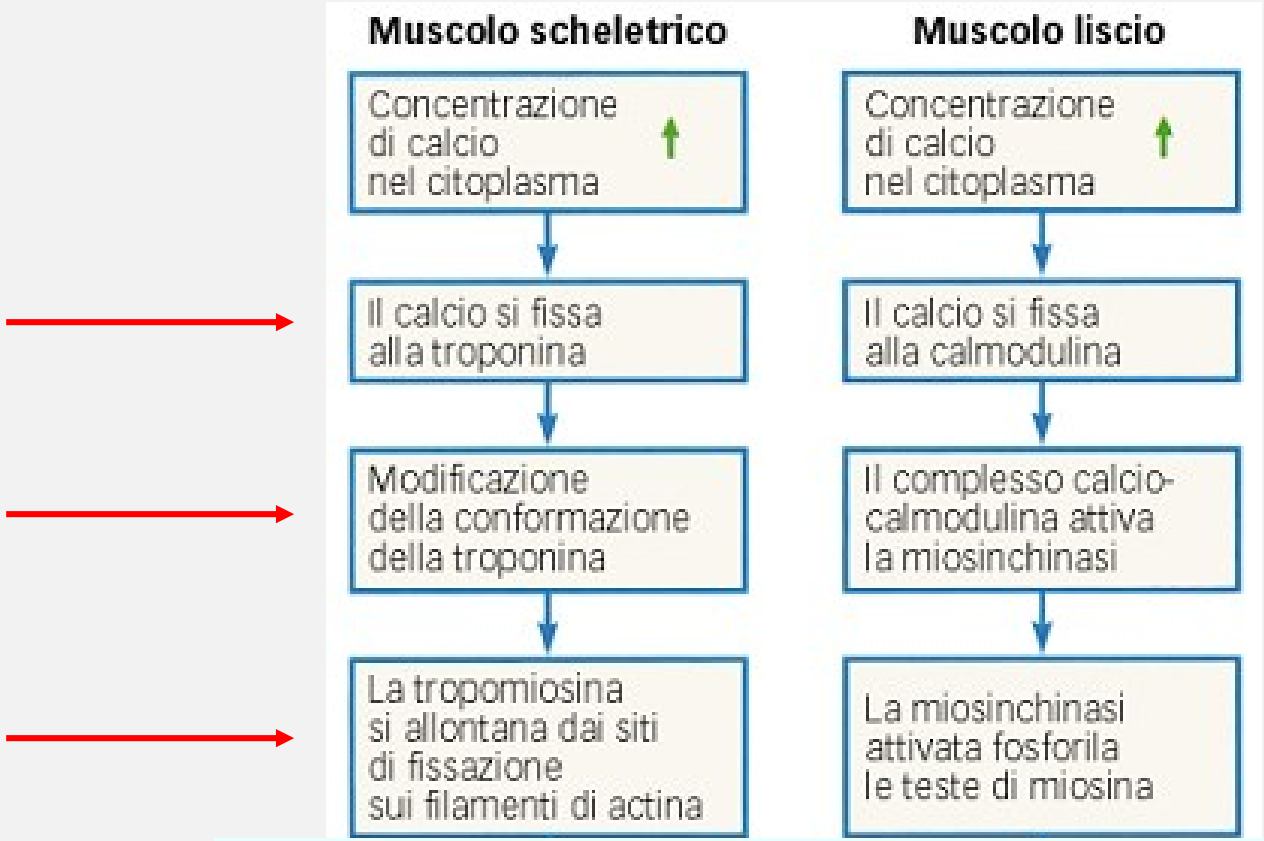
Le contrazioni sono regolate da Ca^{2+} intracellulare e iniziano quando Ca^{2+} si lega alla calmodulina che tramite una serie di reazioni enzimatiche inizia l'attività dei ponti trasversi. Il ciclo dei ponti trasversi prosegue come nel muscolo scheletrico, ma nel muscolo liscio il bersaglio del Ca^{2+} sono i filamenti di miosina mentre nel muscolo scheletrico sono quelli di actina.

Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi

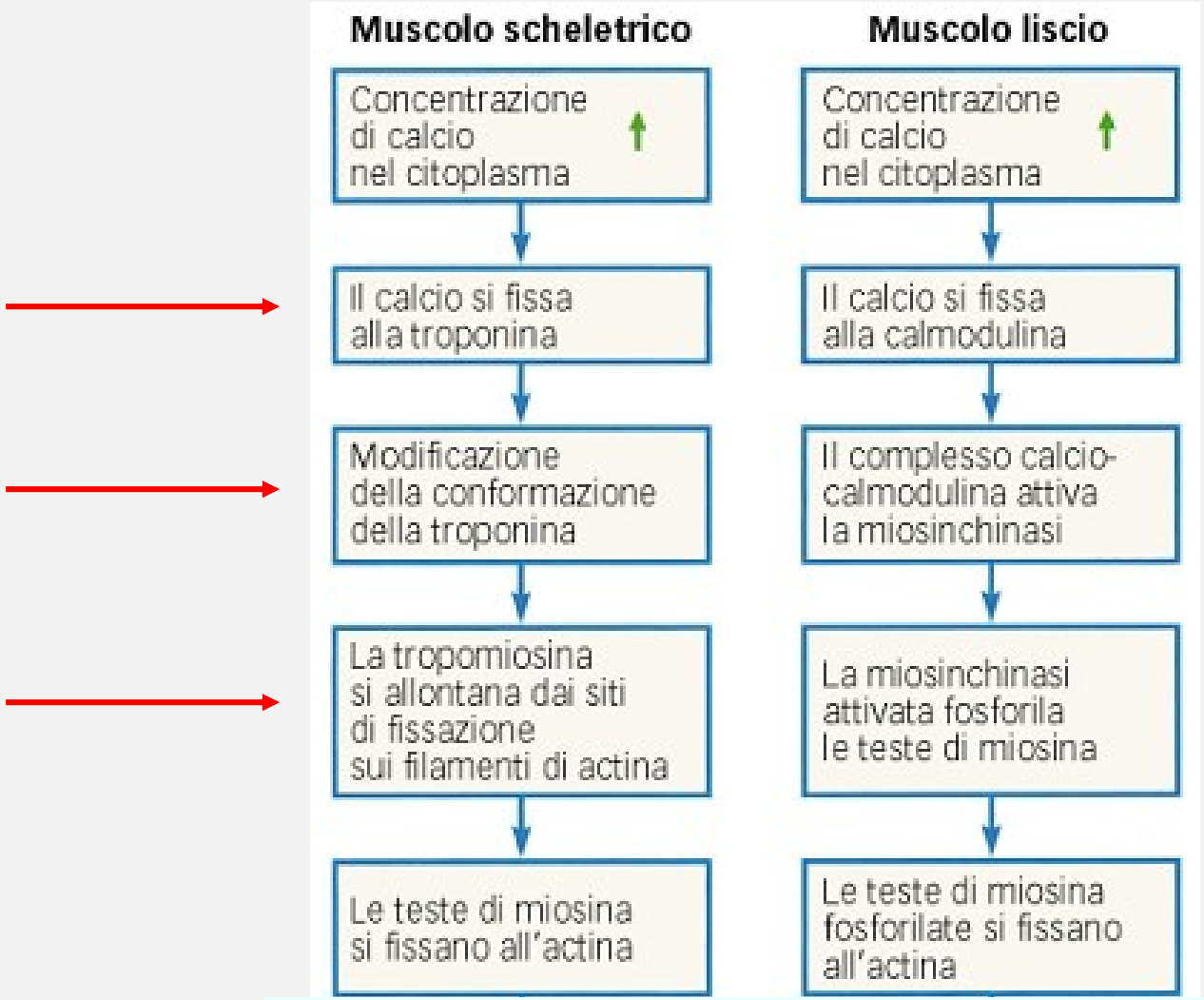
Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi

Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi

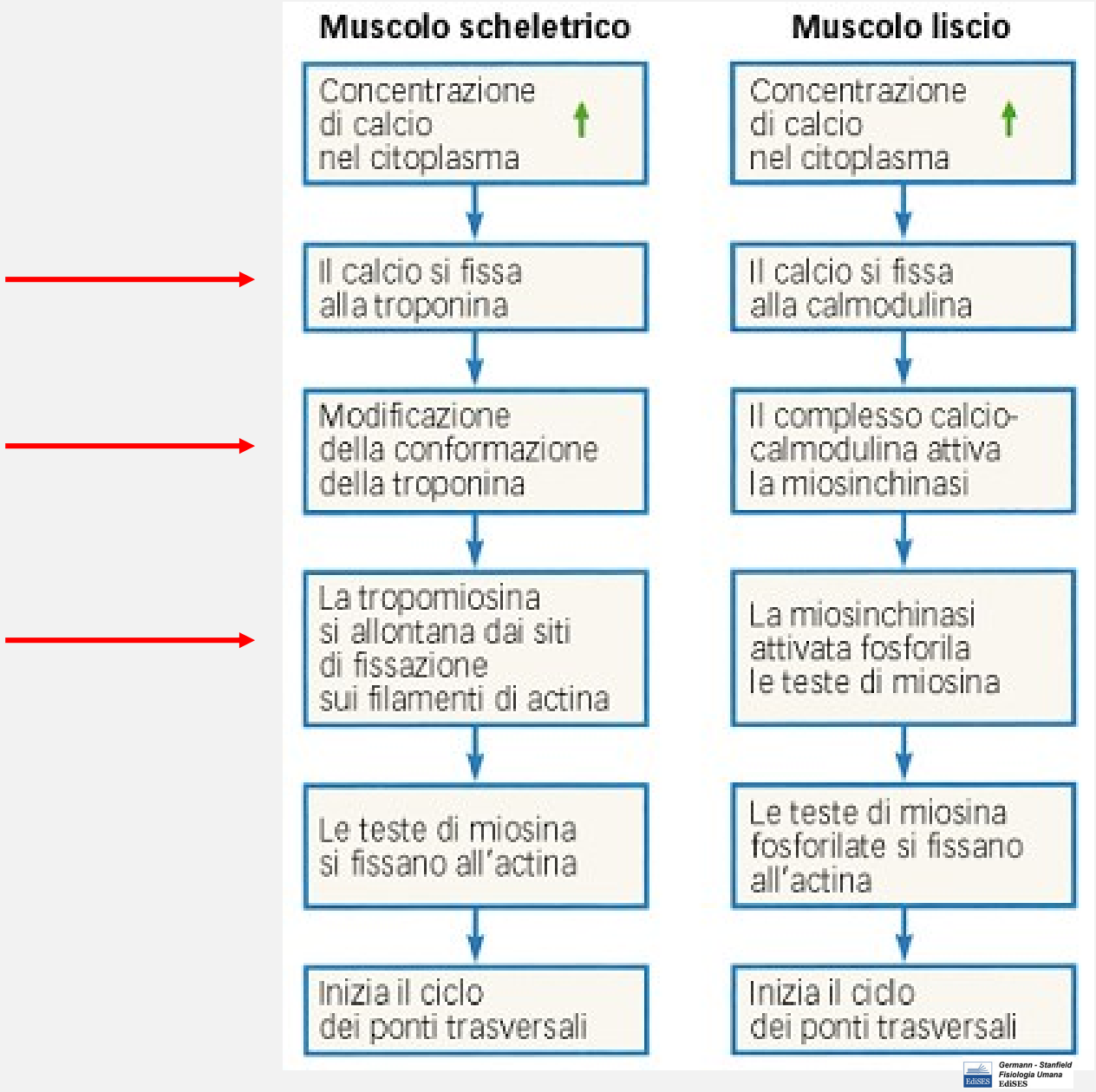
Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi



Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi



Confronto degli eventi per l'attivazione dei ponti trasversi



Regolazione della contrazione nel muscolo liscio

La contrazione del muscolo liscio è controllata dai neuroni del s.n.a. e può essere di tipo inibitorio o eccitatorio a seconda che sia controllata dal sistema simpatico o parasimpatico.

Le cellule del muscolo liscio non ricevono lo stimolo da un singolo neurone; infatti il neurotrasmettitore è rilasciato da "varicosità" localizzate sull'assone e distribuito anche a distanza. Ricevono quindi un "segnale di massa" e cellule contigue tendono a rilasciarsi o contrarsi assieme.

I potenziali d'azione inviati alle cellule del muscolo liscio possono indurre potenziali graduati generando una forza contrattile che può aumentare o diminuire in modo graduale. Inoltre in alcune cellule i potenziali d'azione non generano scosse ma un aumento di tensione.