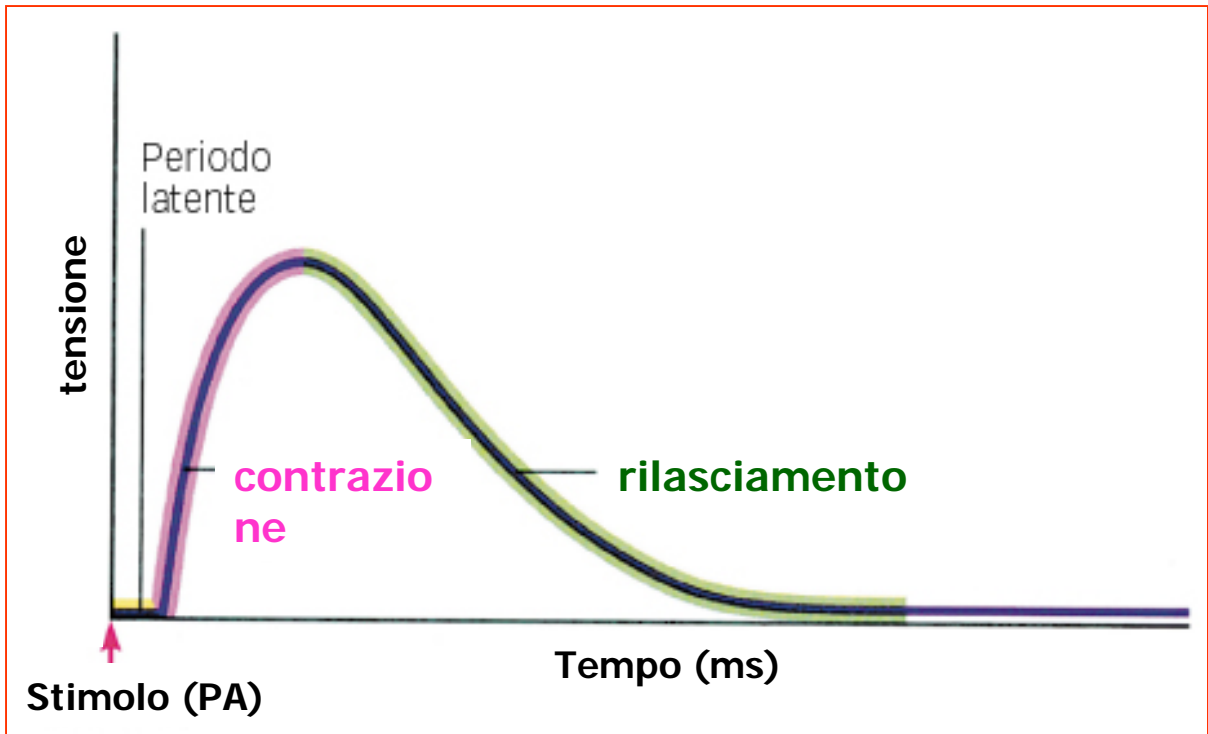
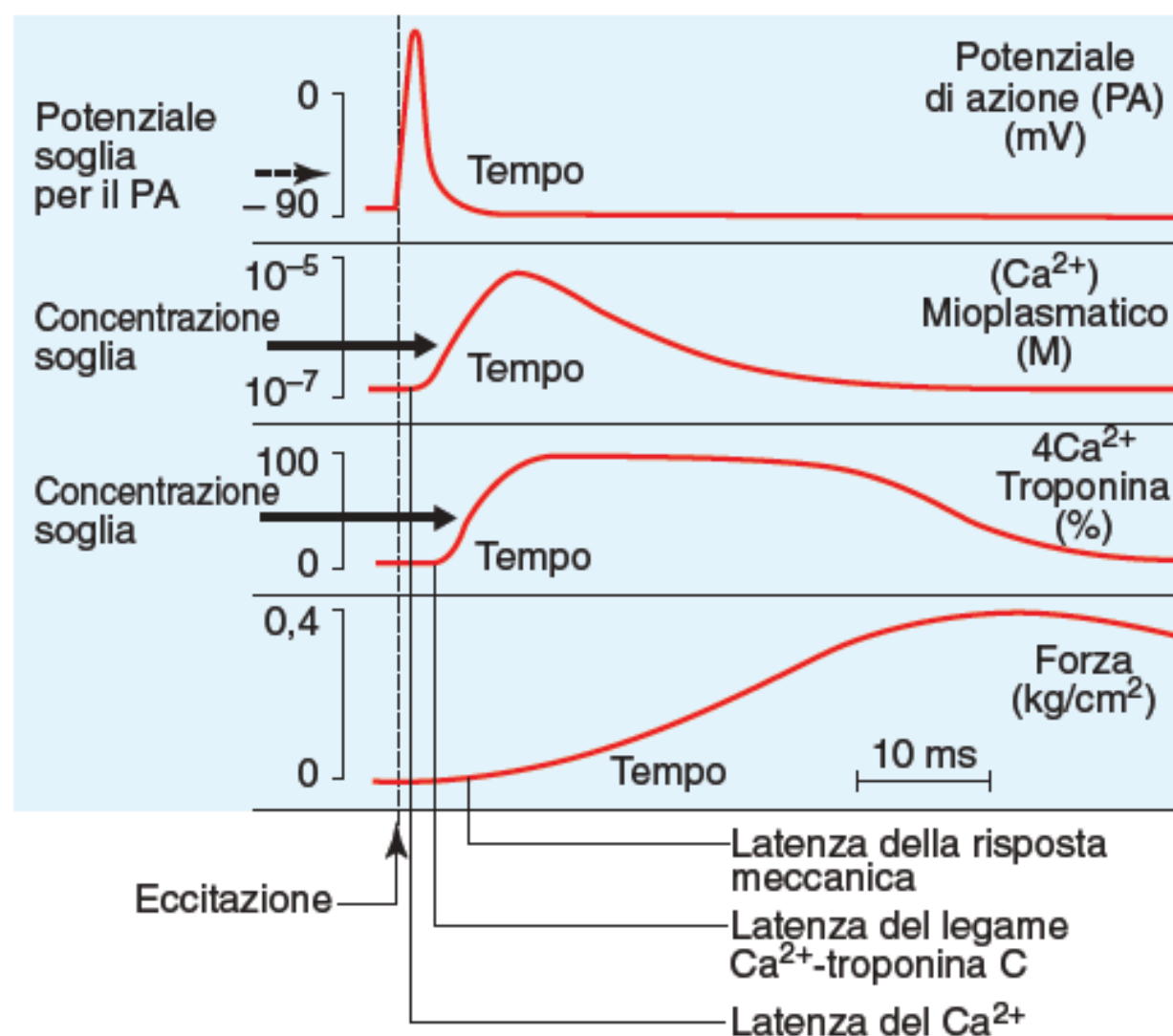
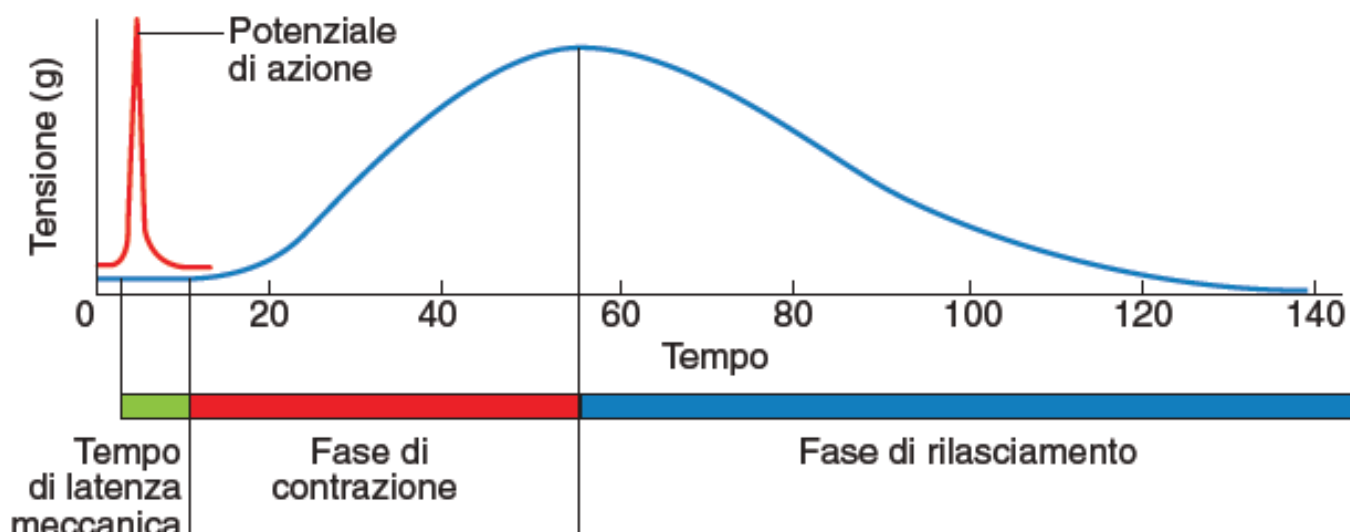


Capitolo 4.3 CONTRAZIONI MUSCOLARI E CLASSIFICAZIONE DELLE FIBRE MUSCOLARI

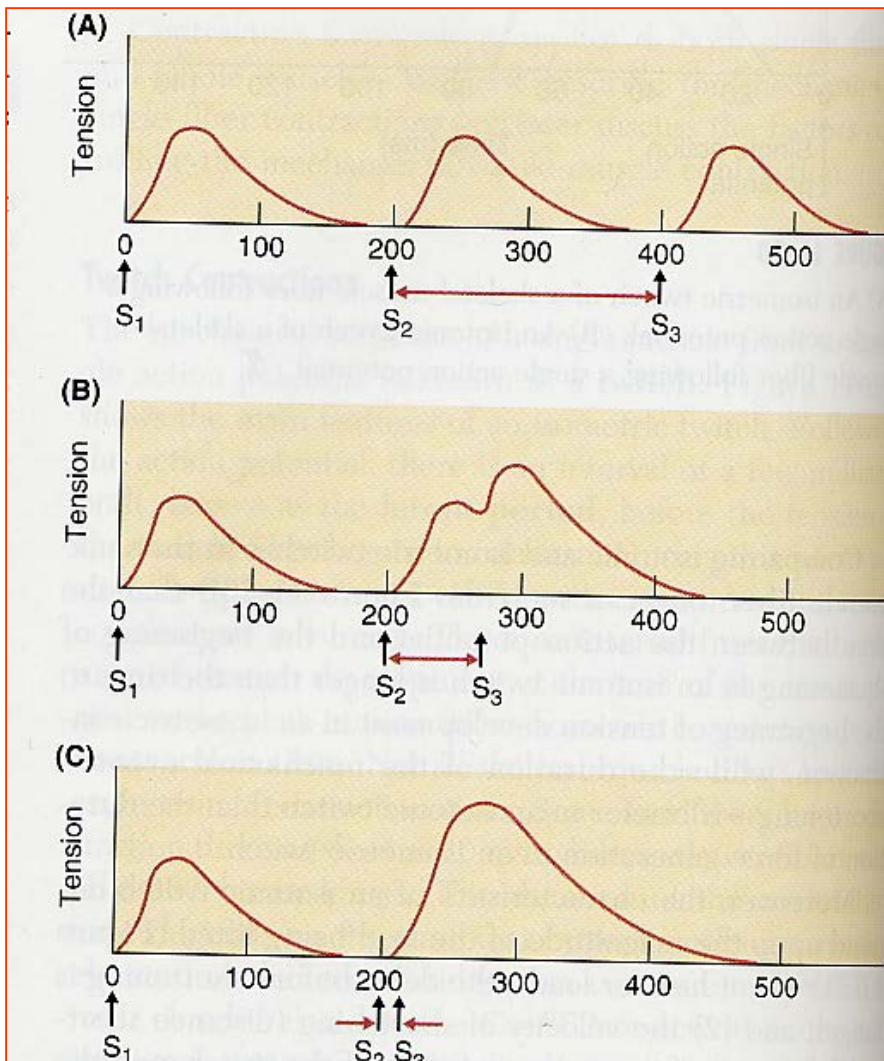
- **La scossa muscolare semplice**



- La **risposta meccanica** di una fibra muscolare ad un **singolo potenziale d'azione** è denominata **SCOSSA** muscolare.
- Insorge con un ritardo di alcuni ms (10-100, periodo di latenza).



SOMMAZIONE DI SCOSSE



La scossa si ripete con **regolarità** se l'intervallo delle stimolazioni è sufficientemente lungo tra uno stimolo e l'altro

Poiché la latenza tra l'arrivo del potenziale d'azione e l'inizio della scossa è di alcuni ms, e la scossa dura 100 ms, **cosa succede quando un secondo potenziale d'azione viene generato prima che la scossa sia terminata?**

La fibra risponde generando una scossa la cui tensione è maggiore. Si genera una sommazione di scosse.

• Tetano muscolare

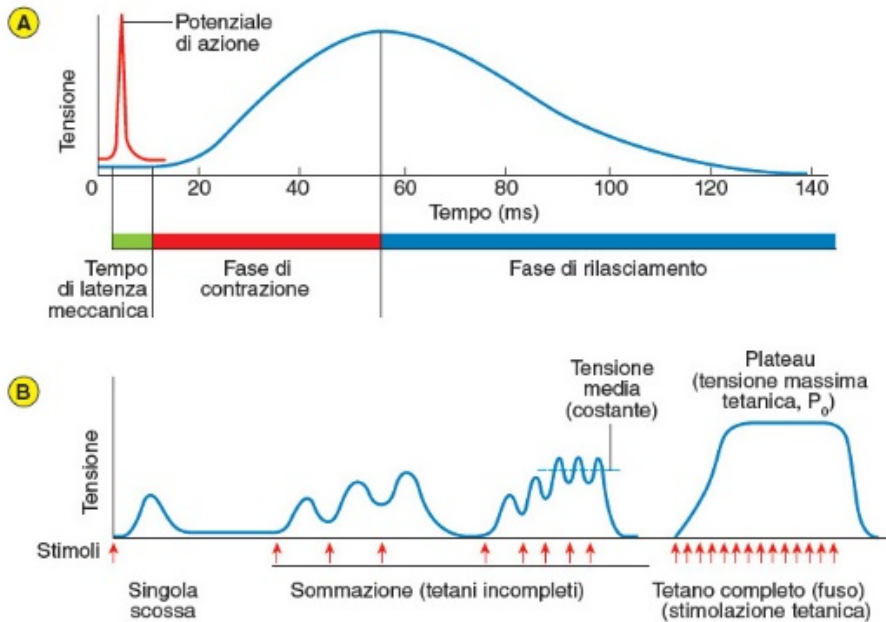


Figura 18.11 (A) Scossa semplice. (B) Singola scossa, tetani incompleti (a due frequenze di stimolazione) e tetano completo.

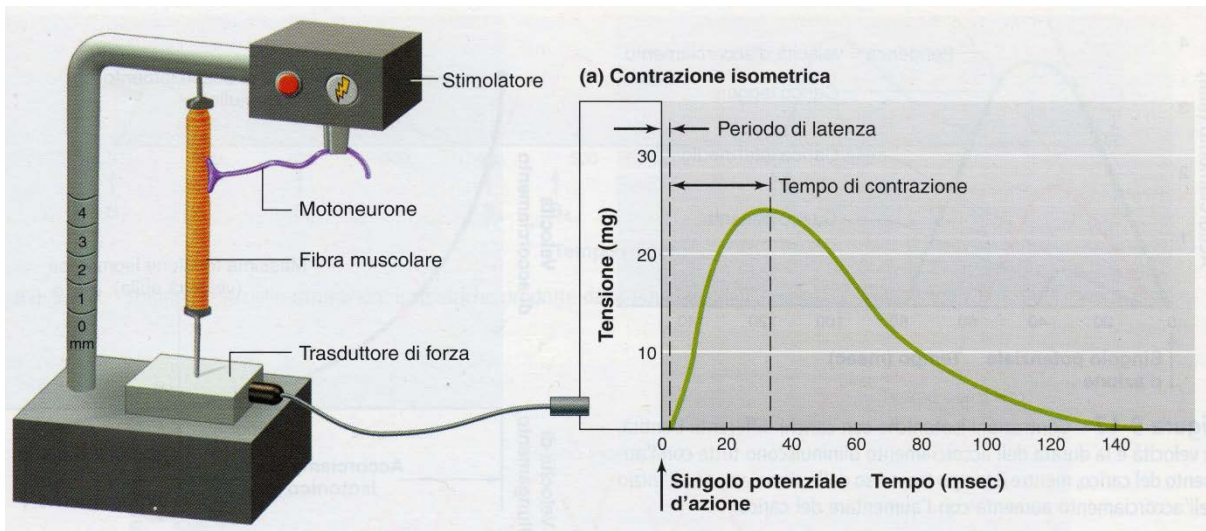
• Uno stato di contrazione prolungata, causato da ripetute stimolazioni ravvicinate nel tempo è detto contrazione tetanica, o **TETANO MUSCOLARE**

• Se la frequenza di stimolazione non è eccessiva, la tensione può oscillare e la fibra muscolare rilassarsi parzialmente tra 2 stimoli, causando un **tetano muscolare incompleto**

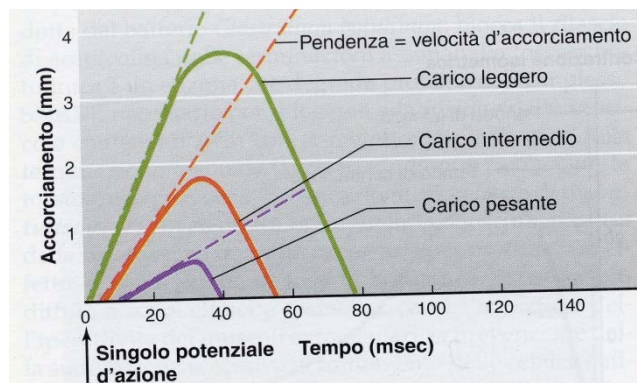
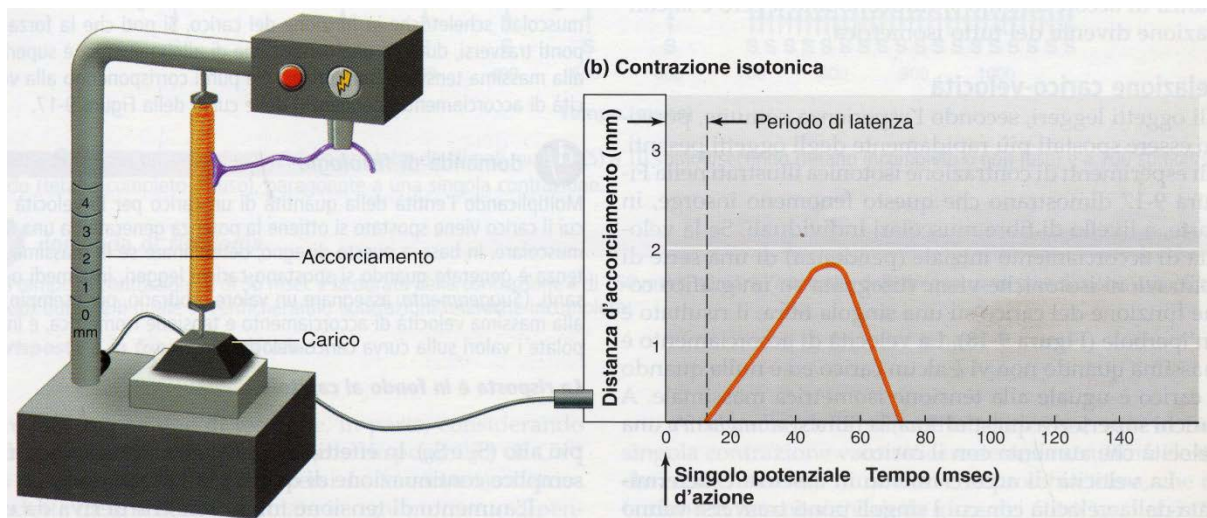
• Nel **tetano muscolare completo**, prodotto da stimolazioni a frequenza massimale, la fibra non si rilassa tra stimoli successivi

• La massima tensione tetanica è pari a 3-5 volte quella sviluppata dalla singola scossa

LA SCOSSA ISOMETRICA = a lunghezza costante

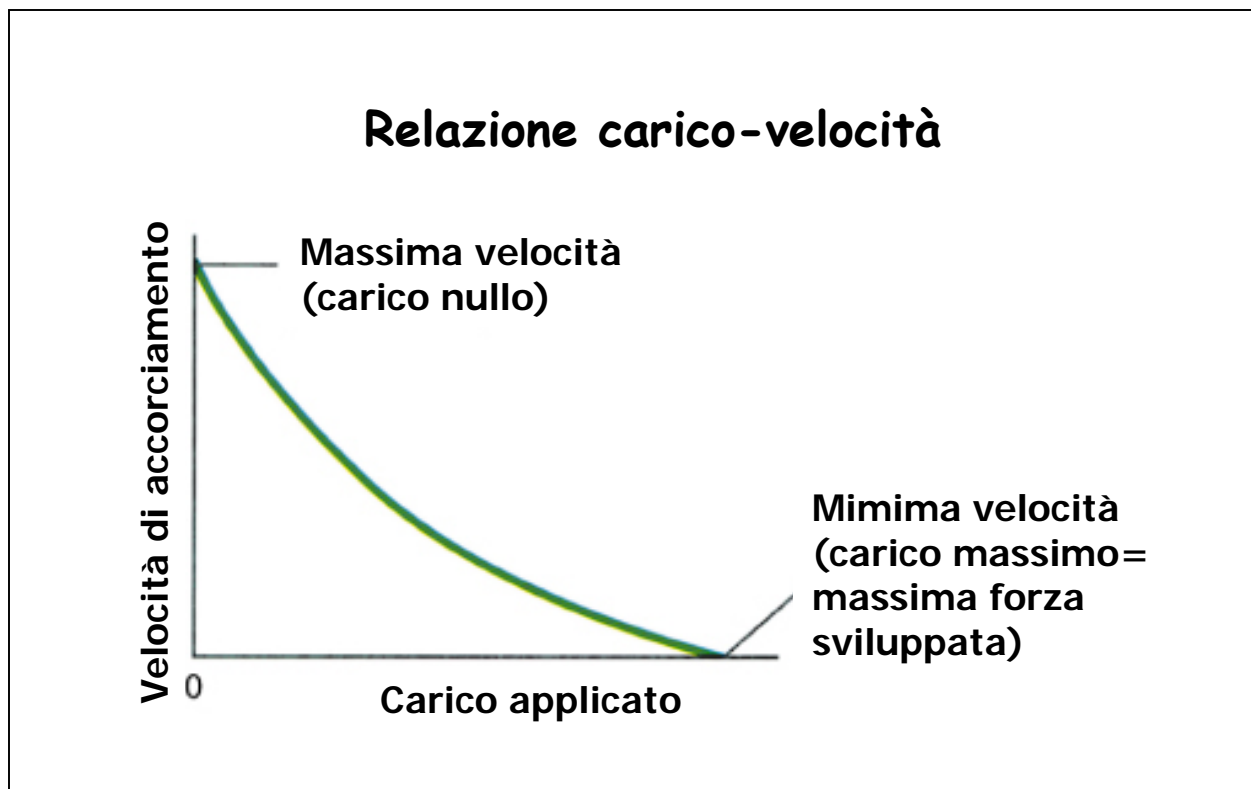


LA SCOSSA ISOTONICA = a carico costante



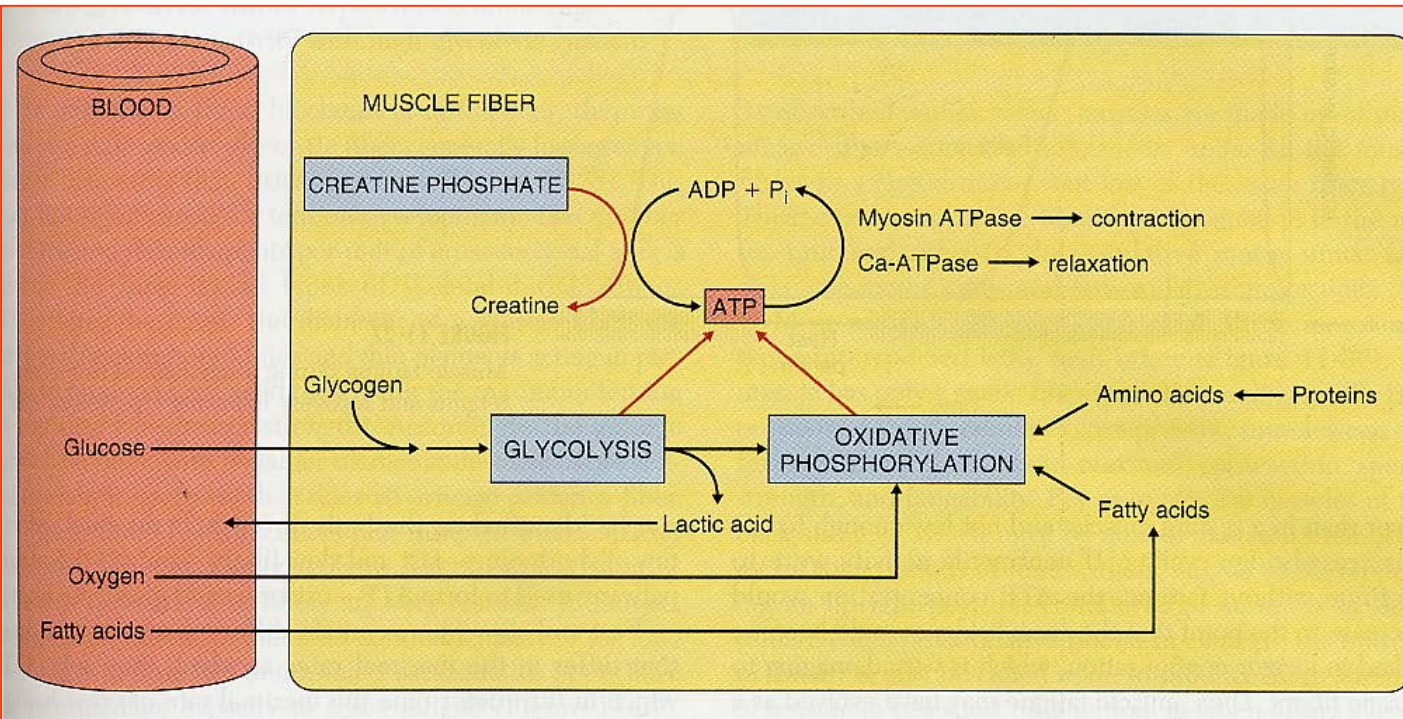
• Relazione velocità-carico

La tensione massima e la velocità di contrazione del muscolo dipendono dal carico applicato



- la **velocità di accorciamento** di un muscolo dipende dal **carico** applicato
- velocità di accorciamento è **massima** quando il carico è nullo; è **nulla** quando il carico è uguale alla tensione massima esercitata dal muscolo
- la velocità di accorciamento di un muscolo dipende anche dalla **velocità dei cicli dei ponti trasversali** e dell'**attività ATP-asi** della miosina, esistono diversi tipi di miosina con diversa velocità di idrolisi dell'ATP (miosina lenta, veloce o rapida)

• Metabolismo energetico: produzione e consumo di ATP

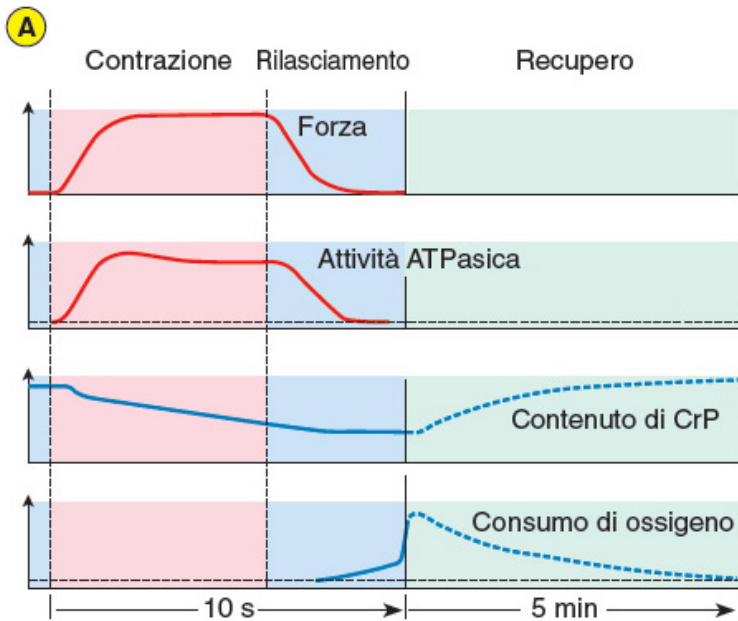


Creatina chinasi

1. creatinfosfato + ADP \rightleftharpoons creatina + ATP
2. glicolisi (glucosio, nel citoplasma)
3. fosforilazione ossidativa (glucosio, amino acidi, grassi, O_2 , nei mitocondri)

- la **1** è una reazione rapida, limitata dalla concentrazione di **creatinfosfato** iniziale, fornisce energia negli istanti iniziali della contrazione.
- per attività muscolare di intensità moderata e prolungata, l'ATP viene fornito dalla **fosforilazione ossidativa**; processo condizionata dalla presenza di **O_2** (36 moli di ATP; lenta).
- per richieste energetiche veloci e di elevata intensità, l'ATP viene prodotto con la **glicolisi** (in assenza di **O_2**). Le scorte di glucosio provengono dal sangue o dal glicogeno prodotto nel muscolo (2 moli di ATP; veloce).

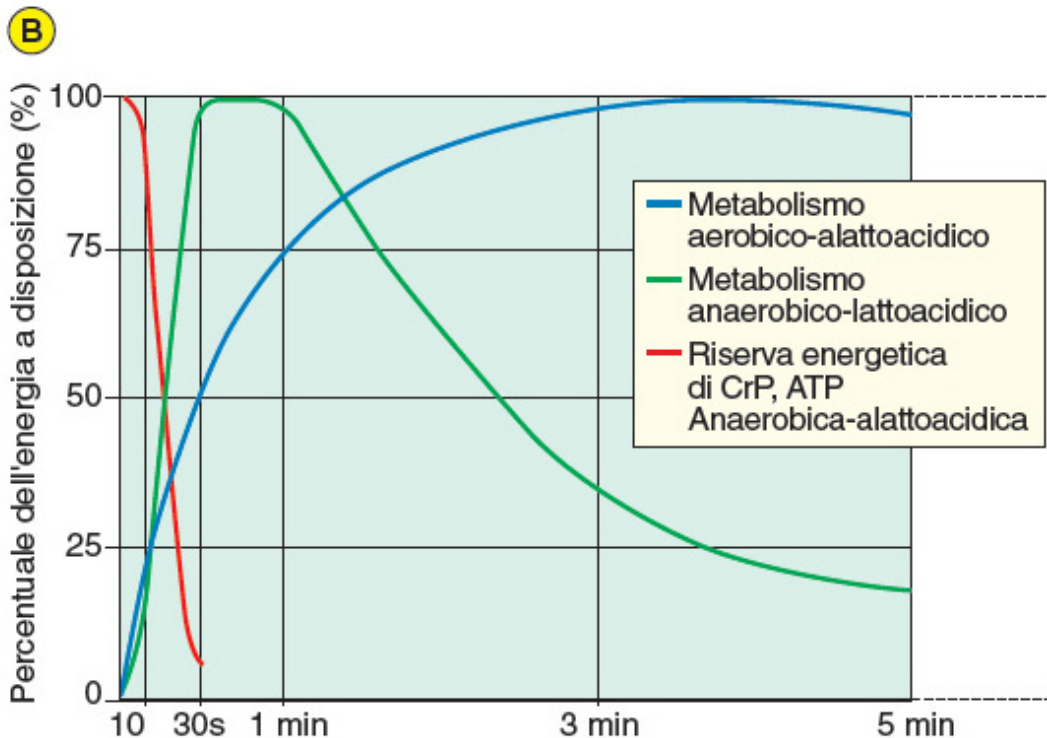
CONTRAZIONI DI BREVE DURATA



Energia fornita dalle scorte di ATP e CrP.
Il metabolismo è anaerobio.
Nella fase di riposo c'è bisogno di ossigeno (debito di O₂) per ricostituire le riserve di ATP.

Sfruttata ad esempio nella corsa di breve durata.

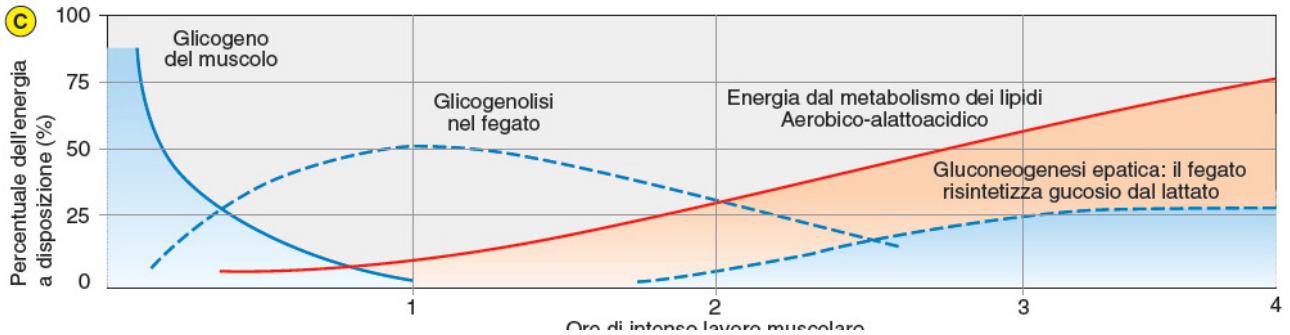
CONTRAZIONI PIU' DURATURE (5 MIN)



Glicolisi anaerobica: l'energia è fornita dal glicogeno muscolare. Si produce acido lattico.

Permette contrazioni muscolari intense di qualche minute (sollevamento pesi).

ATTIVITA' MUSCOLARI DURATURE (ORE)



Glicolisi aerobica (ciclo Krebs).

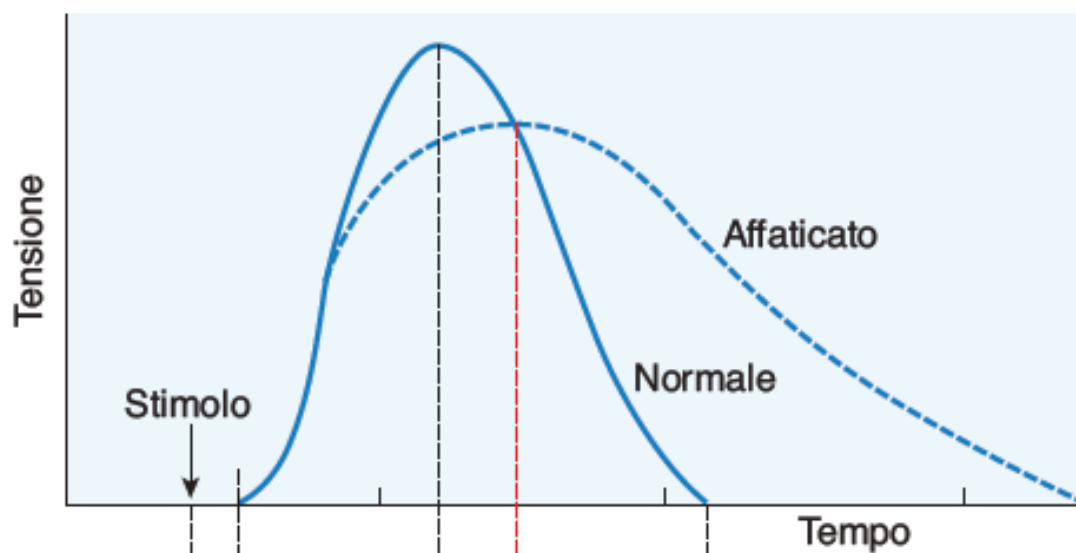
- Il glicogeno muscolare si esaurisce in un'ora.
- Glicogenolisi del glicogeno dalle cellule epatiche
- lipolisi dei lipidi di riserva
- Gluconeogenesi: sintesi di glicogeno dalle epatiche

Supporta attività prolungate come la maratona.

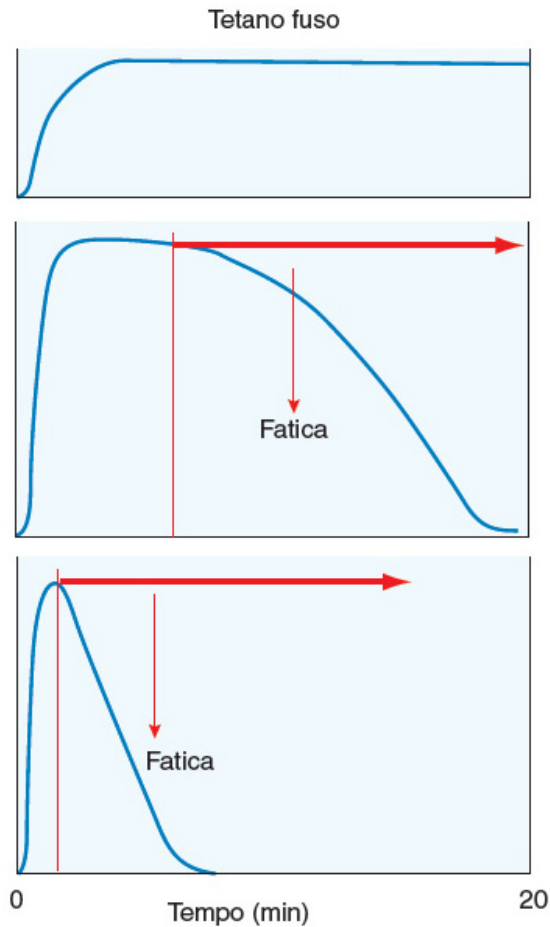
• Fatica muscolare

La fatica è associata a:

- **diminuzione di ATP** che causa un più lento rilasciamento dei ponti trasversali. Anticipa il **rigor mortis** (esaurimento di ATP)
- produzione di **acido lattico**, **deplezione di glicogeno** muscolare
- un più **lento insorgere** della **scossa semplice**. Il m. affaticato sviluppa minor tensione e si rilascia più lentamente
- La **rapidità** con cui insorge la fatica **dipende dal tipo di fibra** muscolare e può essere soppressa dopo un sufficiente periodo di riposo, variabile a seconda della lunghezza ed entità della stimolazione precedente e del tipo di fibra.



AFFATICAMENTO DI UNA FIBRA CHE SI CONTRAE IN MODO TETANICO



Tetano completo
-fibra non affaticata

Tetano incompleto
-fibra moderatamente affaticata

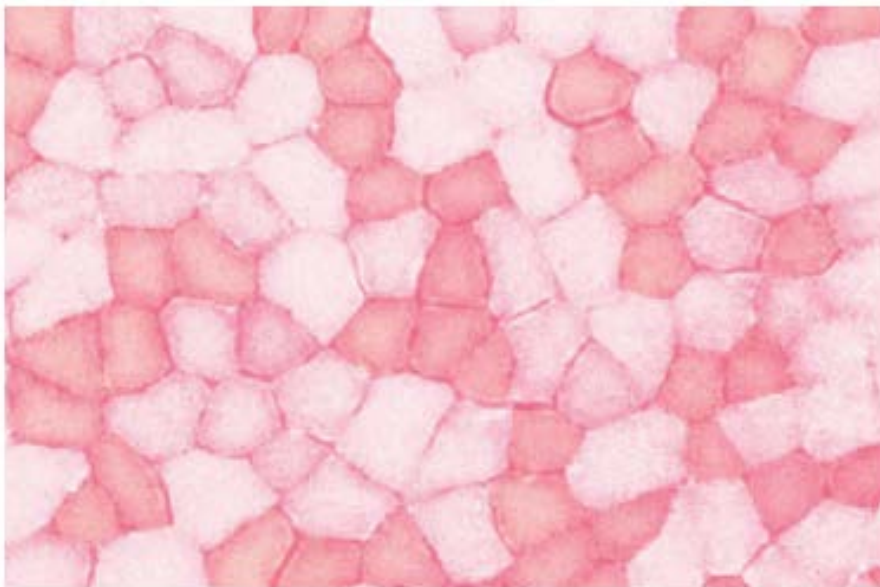
Tetano incompleto
-fibra affaticata

Tabella 18.2 Caratteristiche e proprietà dei tipi di fibre muscolari.

Caratteristiche	I S, lente Rosse Ossidative	II A Veloci, FR Rosse Ossidative	II B (IIX) Veloci, FF Bianche Glicolitiche
Tempo di contrazione	+++ (58-110 ms)	++ (30-55 ms)	+
Dimensione delle fibre	+ Piccola	++ Intermedia	+++ Grande
Superficie media	+(1800 μm^2)	++ (3000 μm^2)	+++ (5400 μm^2)
Massima tensione tetanica	+(1-13 g)	++ (4-60 g)	+++ (30-130 g)
Resistenza alla fatica	+++	++	+
Capacità glicolitica	+	++	+++
Capacità ossidativa	+++	+++	+
ATP mitocondriale	+++	++ (+ + +)	+
Mitocondri (numero)	+++	++	+
ATPasi miosinica	+	+++	+++
Contenuto di glicogeno	+++	+++	+
Contenuto di mioglobina	+++	++	+
Densità dei capillari	+++	++	+
Tubuli T, posizione	Banda I al limite della banda A	Banda I al limite della banda A	Posizione variabile, numero scarso

Tipi di fibre muscolari scheletriche

La tensione sviluppata dal muscolo dipende dal tipo di fibre reclutate durante la contrazione



Fotografia di una sezione trasversale di muscolo:

- attraverso la colorazione dei mitocondri si possono evidenziare le piccole **fibre ossidative** (scure) che contengono tanti mitocondri
- le **fibre glicolitiche** appaiono grandi e chiare

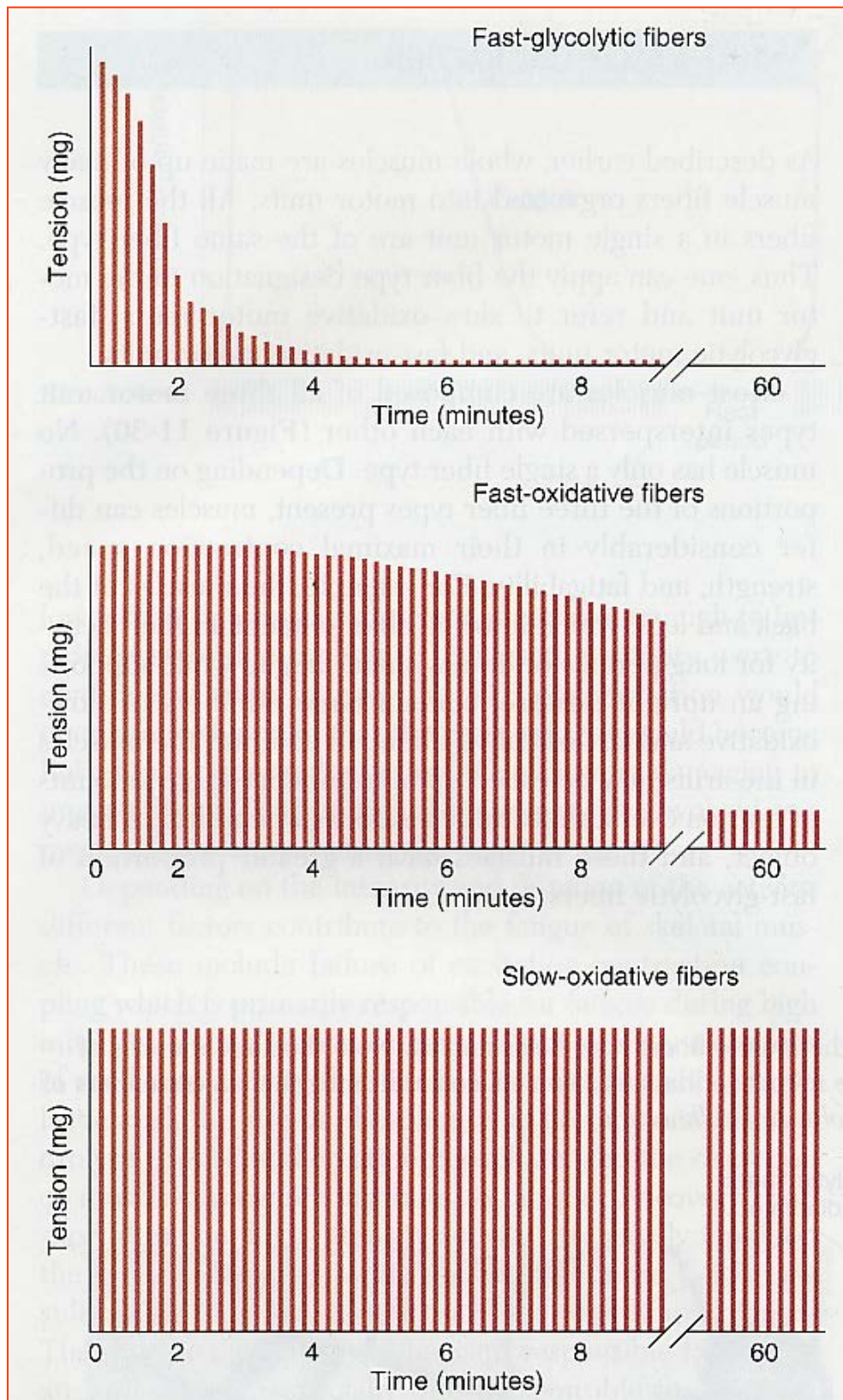
I vari tipi di fibre scheletriche si distinguono secondo caratteristiche **metaboliche e meccaniche**:

- produzione di ATP (fibre ossidative, glicolitiche)
- velocità di accorciamento (fibre lente, veloci, rapide)

▪ ***lente ossidative***: piccole, molti capillari, tanta mioglobina, rosse, ricche di mitocondri, specializzate nella fosforilazione ossidativa, affaticamento lento, ***sviluppano meno forza***. Ne esistono due tipi: a contrazione ***lenta*** e ***veloce***

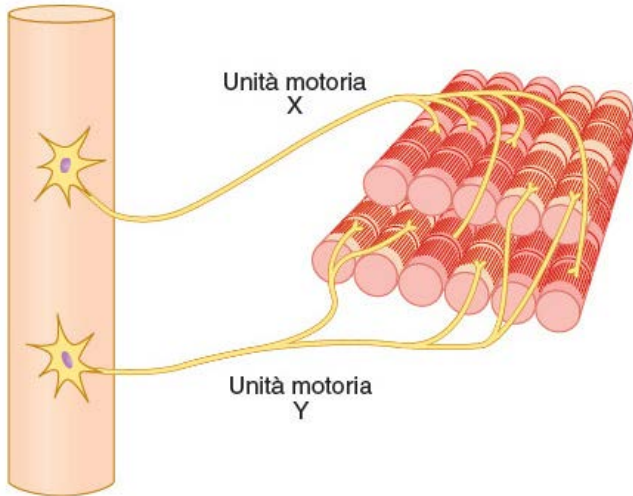
▪ ***veloci glicolitiche***: grandi, pochi capillari, alta capacità glicolitica, bianche, scorta di glicogeno, poca mioglobina, affaticamento rapido, ***sviluppano forza maggiore***. Esiste un tipo solo: a contrazione ***rapida***

AFFATICAMENTO DELLE FIBRE MUSCOLARI SCHELETRICHE



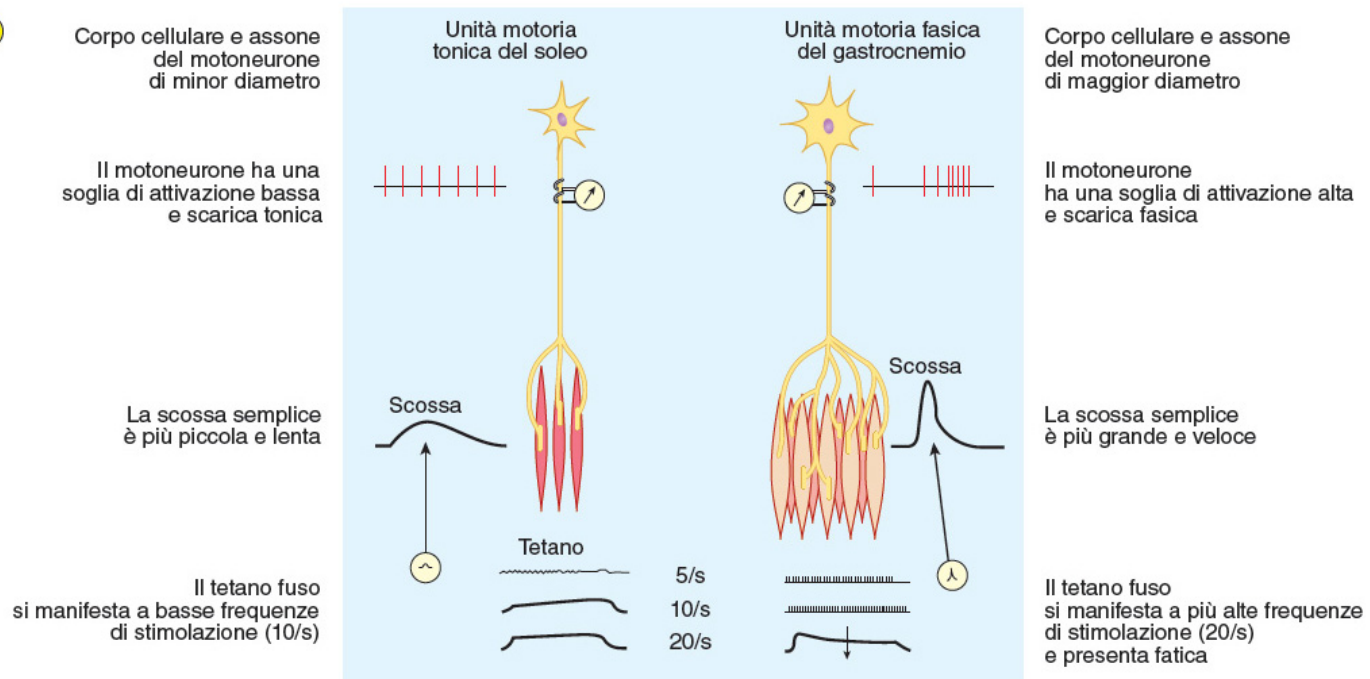
Unità motoria

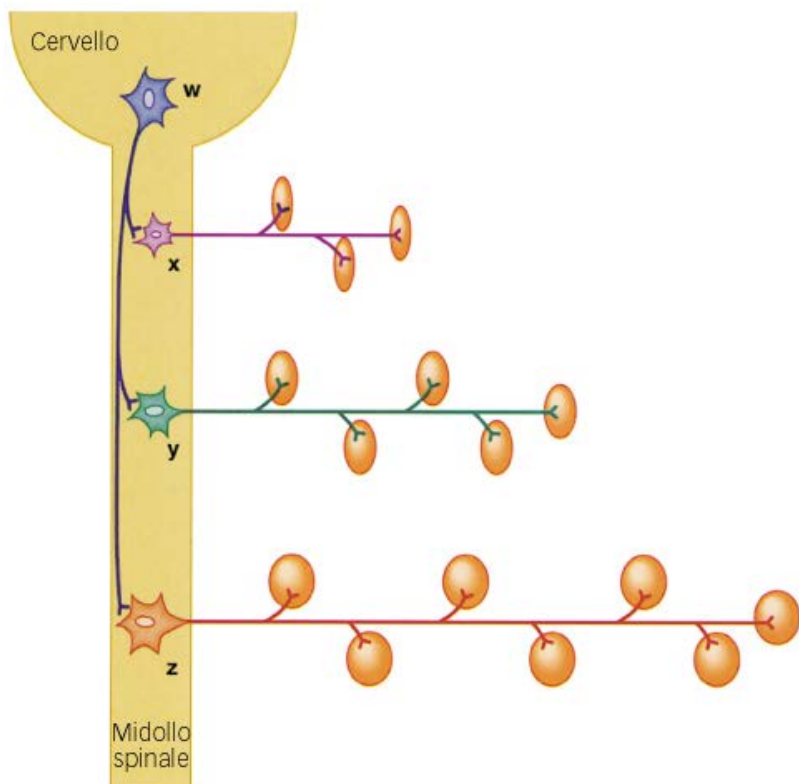
- L'unità motoria è formata dal motoneurone e dalle tutte le cellule muscolari che esso innerva



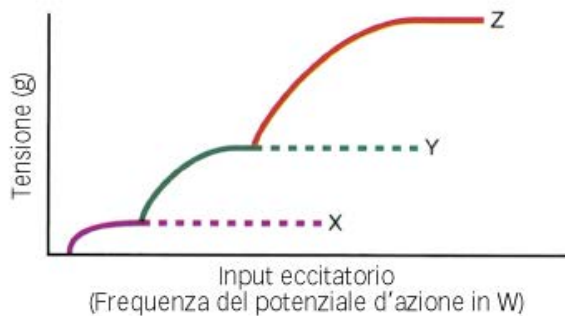
- L'unità motoria è formata da fibre muscolari omogenee
- Le fibre di una unità motoria sono miscelate con quelle di altre unità motorie, per distribuire più uniformemente sui tendini la forza esercitata dalle singole unità

- Unità motorie di diverse dimensioni (piccole e grandi)





(a)



(b)

Il reclutamento delle unità motorie fibre segue il principio della dimensione.

Nella stessa unità motoria, le dimensioni del motoneurone, il diametro del suo assone, il numero ed il tipo di fibre muscolari innervate, sono in relazione tra di loro.

I muscoli con grandi unità motorie possono incrementare più rapidamente la forza ma svolgono movimenti più grossolani.

Plasticità delle fibre muscolari: ipertrofia e ipotrofia muscolare

La plasticità delle fibre muscolari dipende dal loro grado di attivazione: più sono attivate, più sono ipertrofiche e viceversa.

Ipertrofia, ipotrofia e atrofia non dipendono dal numero di cellule muscolari ma dal numero di miofibrille contenute nelle fibre.

La plasticità muscolare è reversibile: un tessuto ipertrofico ritorna allo stato originale se l'attività diminuisce, o diventa atrofico se la sua attivazione è minore del normale.

IPOOTROFIA: si manifesta alcune settimane dopo la riduzione dell'attività muscolare (ad es dopo immobilizzazione di un arto o denervazione del muscolo).

IPERTROFIA: l'attività muscolare aumentata determina un aumento delle miofibrille e di conseguenza della massa muscolare, e un aumento della forza muscolare (dopo settimane o mesi).

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO 18-2 TETANIE E CALALOPATIE MUSCOLARI.

TETANIE (causate da tossina tetanica, da insufficienza paratiroidea o carenza di vitamina D).

CANALOPATIE (paralisi periodica iperkaliemica, miotonia congenita).