

Università degli Studi Di Milano - Laurea in Scienze Infermieristiche
Polo Didattico "Ospedale Civile Legnano" - AA 2010-2011
Corso di Fisiologia Umana

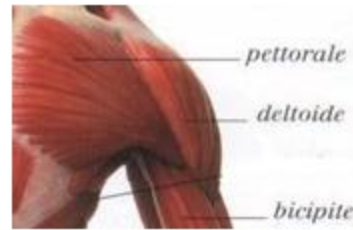
IL MUSCOLO

Dr. ALBERTO VIGNATI
Medicina Nucleare Legnano

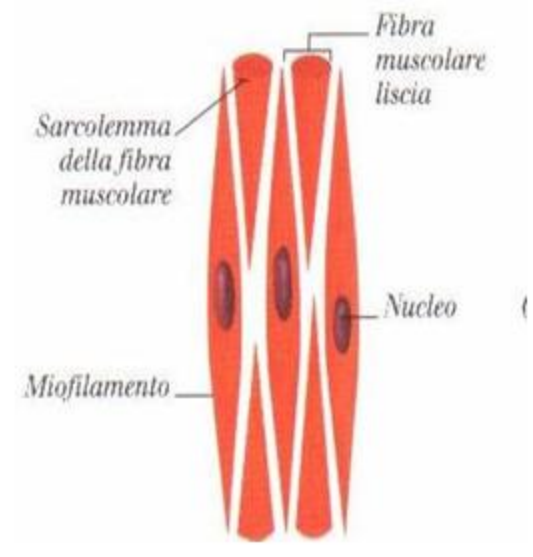
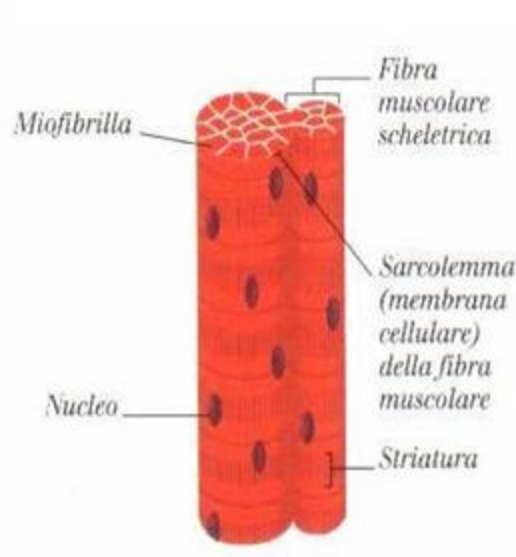
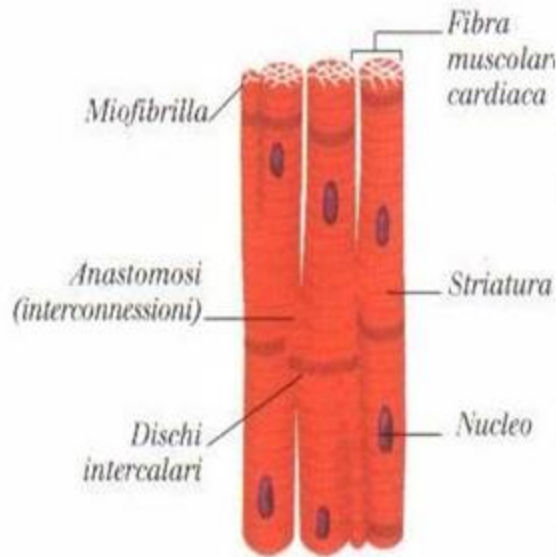
miocardio



muscolo striato



muscolo liscio



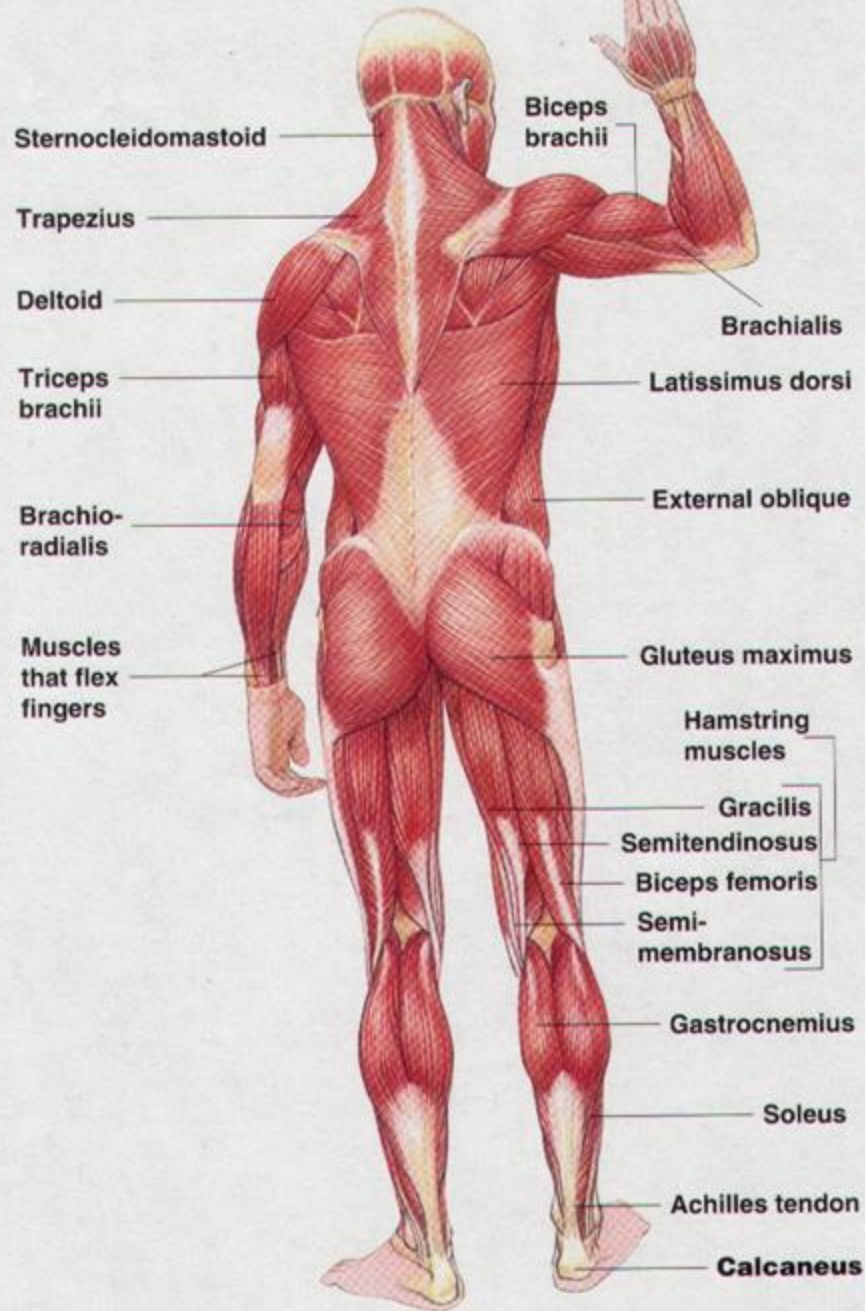
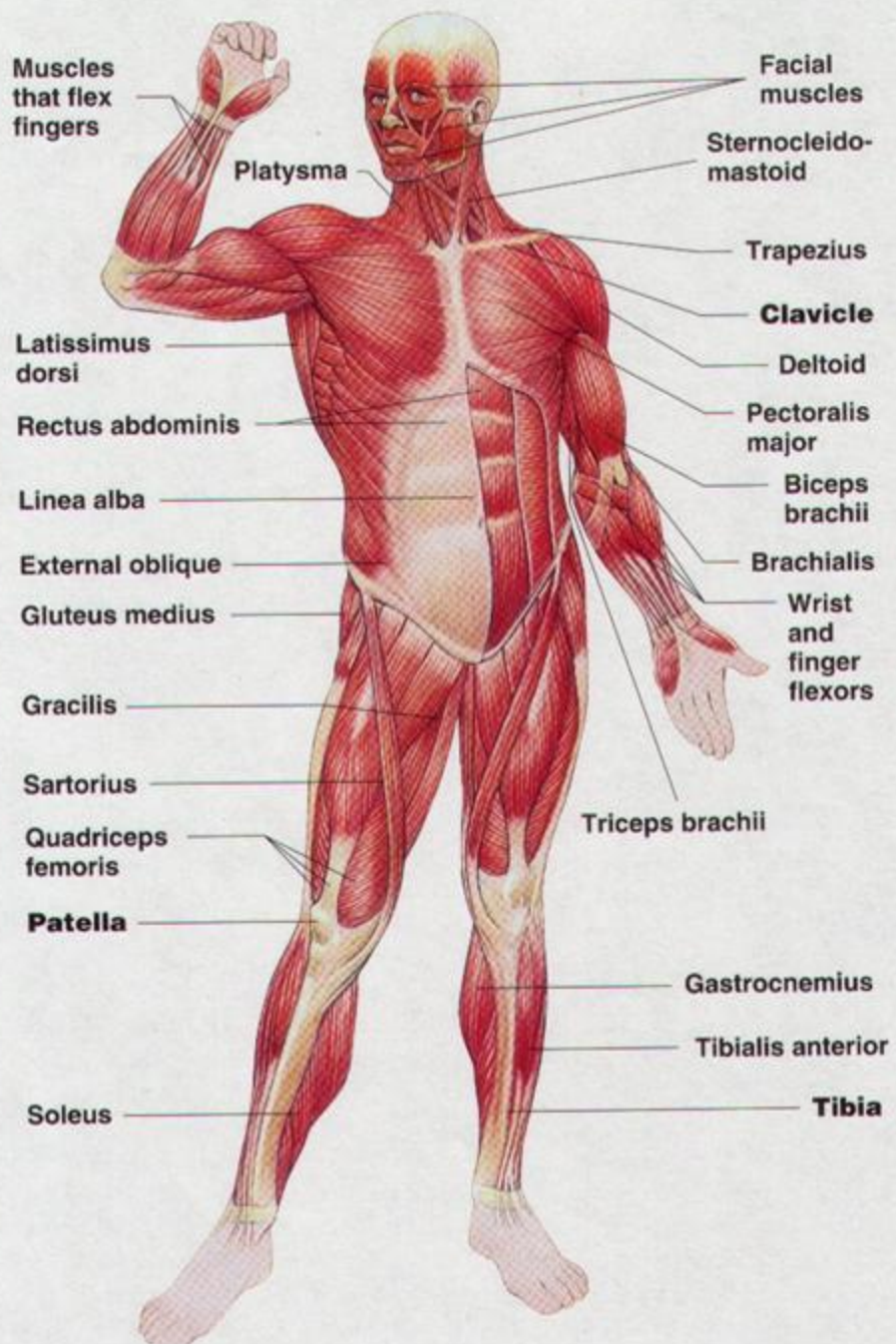
Muscoli scheletrici

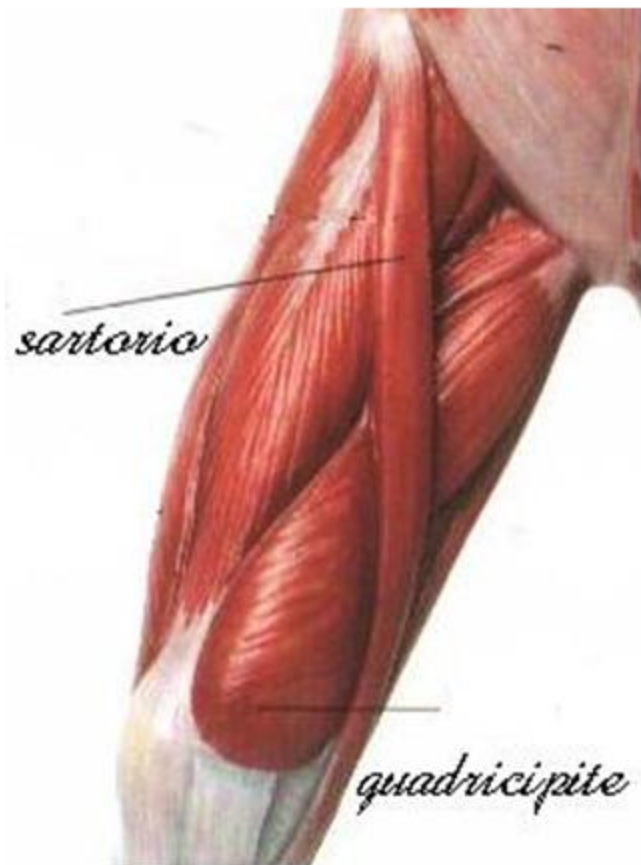
- Oltre 400 nel corpo umano
 - 40-50% del peso corporeo

- Funzioni

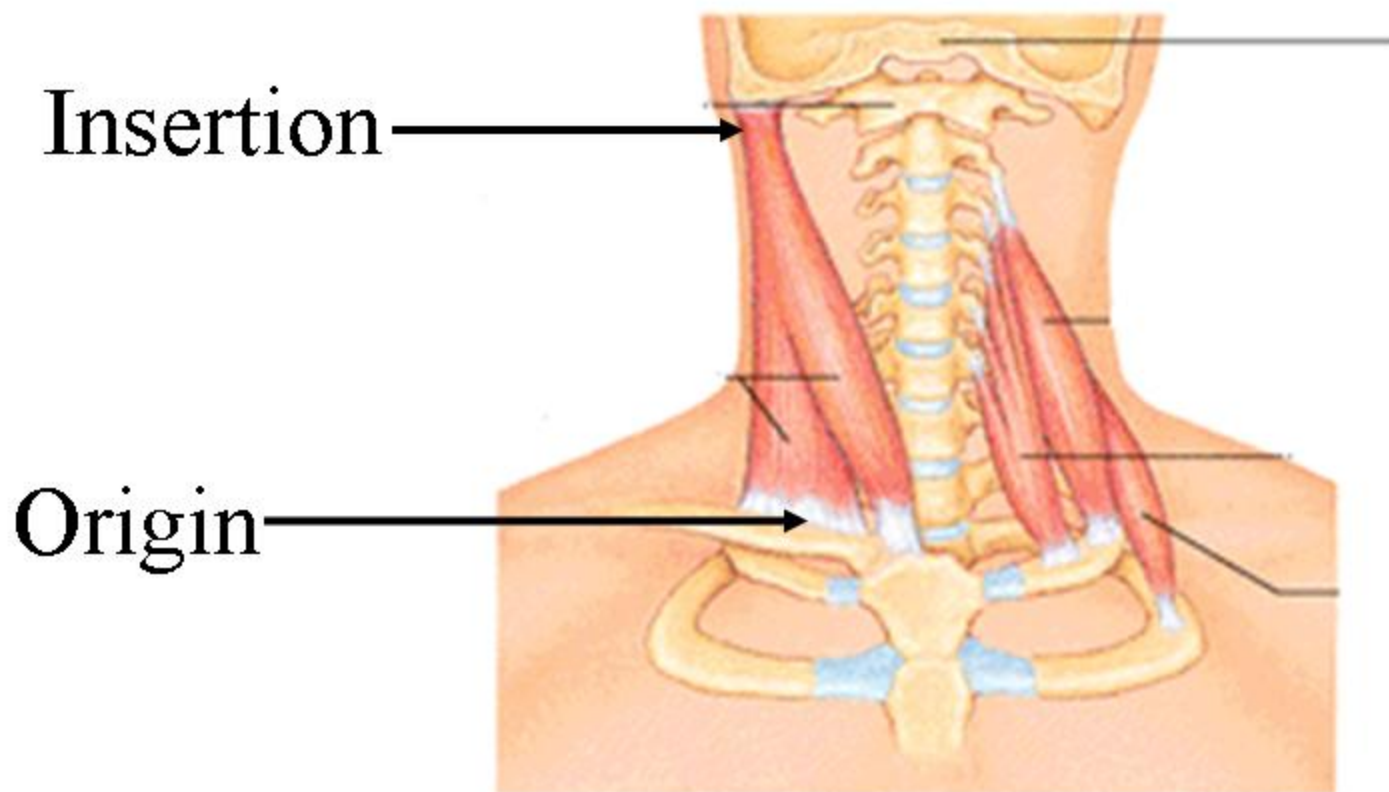
- Producono forza per locomozione e ventilazione polmonare
- Producono forza per mantenere la postura
- Producono calore







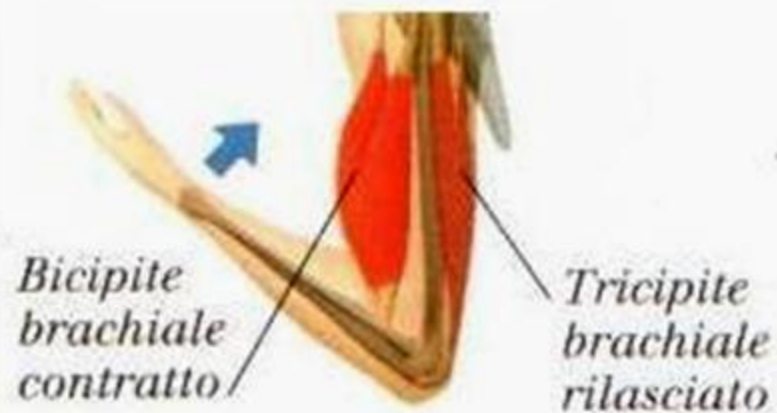
Muscle Attachments



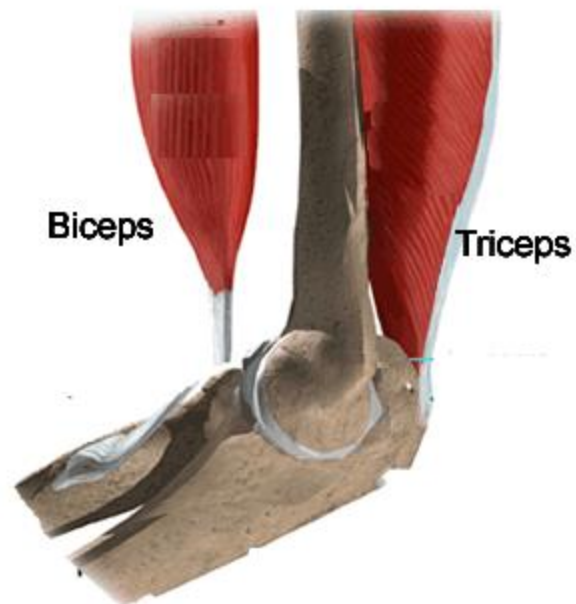
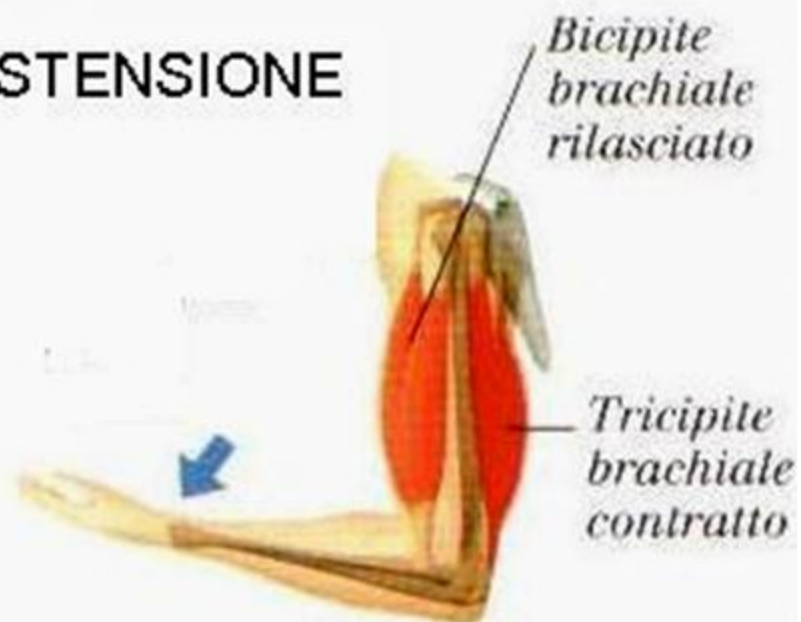
I muscoli scheletrici agiscono in associazione:

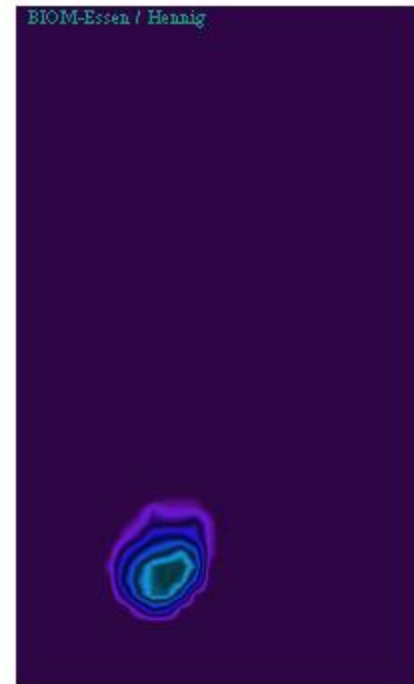
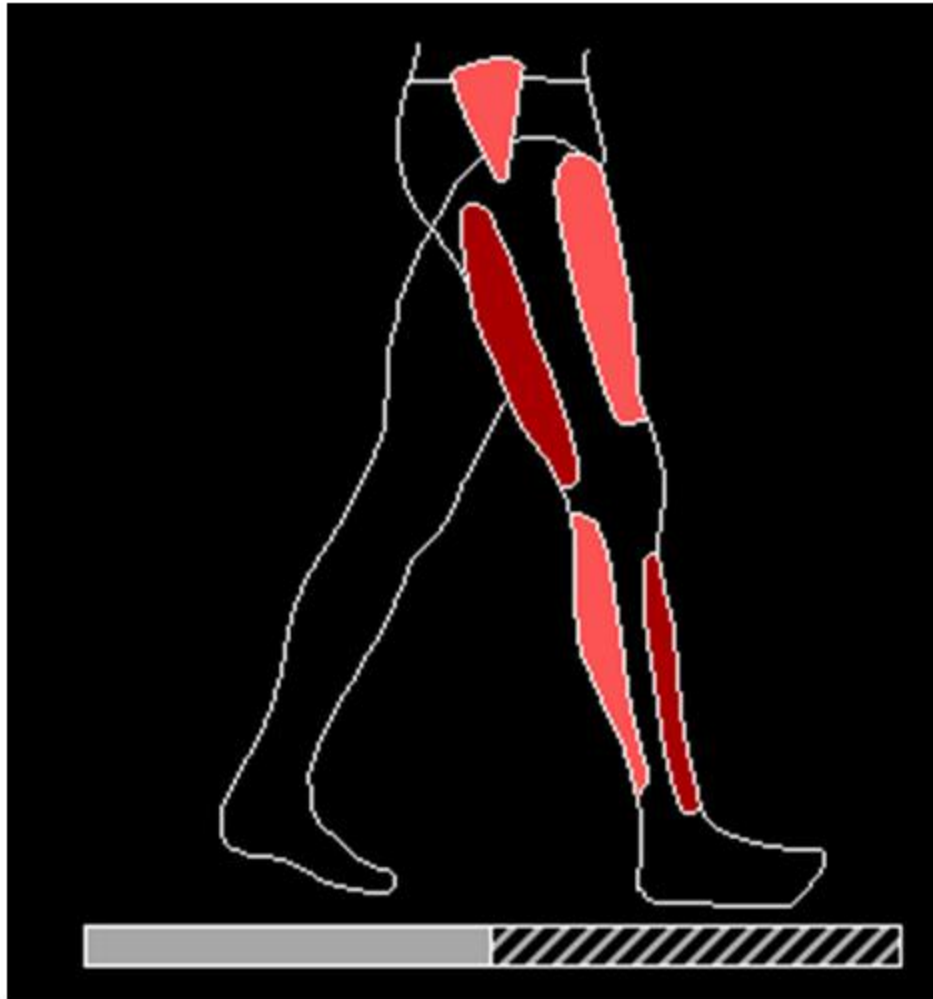
- **antagonisti** = producono movimenti opposti
- **agonisti** = producono movimento uguale o analogo
- **sinergici** = l'effetto combinato è maggiore dell'attesa
somma dei singoli effetti

FLESSIONE dell'avambraccio



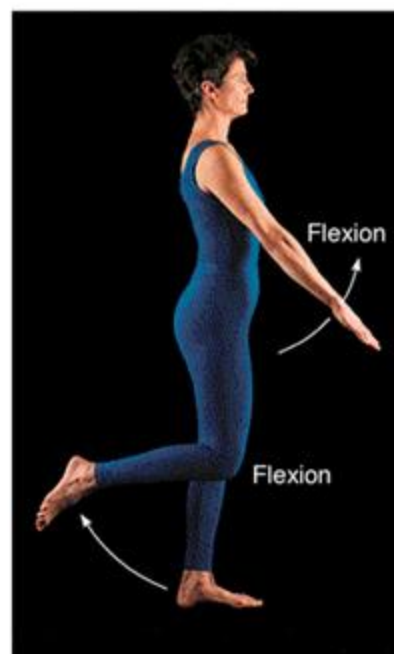
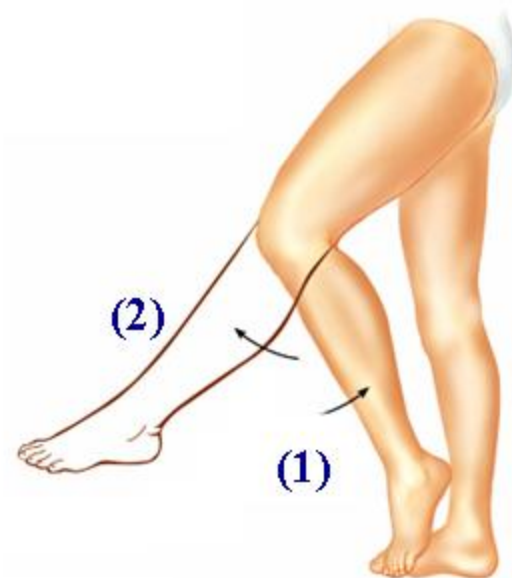
ESTENSIONE





FLESSIONE: movimento per cui un segmento tende a formare con un altro un angolo sempre più acuto (1)

ESTENSIONE: movimento per cui un segmento tende a disporsi sullo stesso piano dell'altro (2)



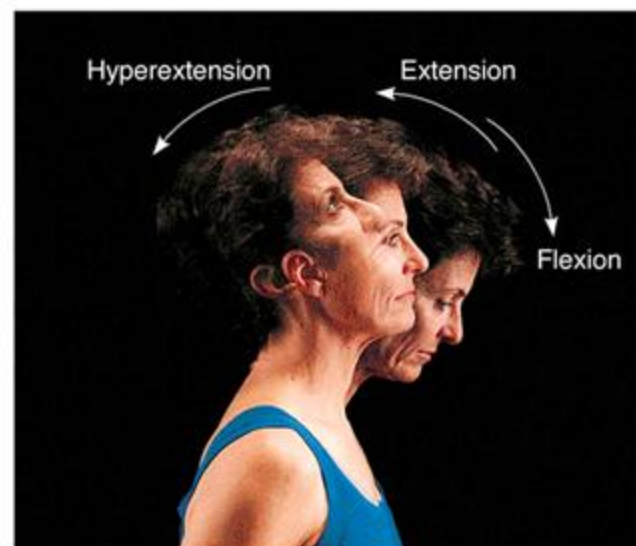
© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.



© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.



© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.



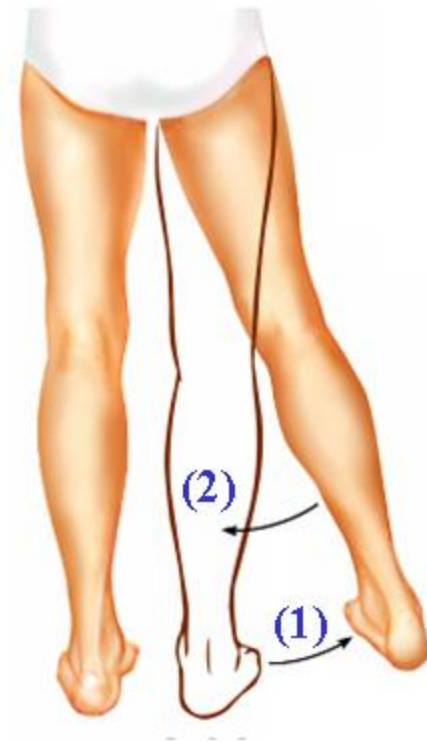
© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.

ABDUZIONE: allontanamento dal piano mediale del corpo (1)

ADDUZIONE: avvicinamento al piano mediale del corpo (2)

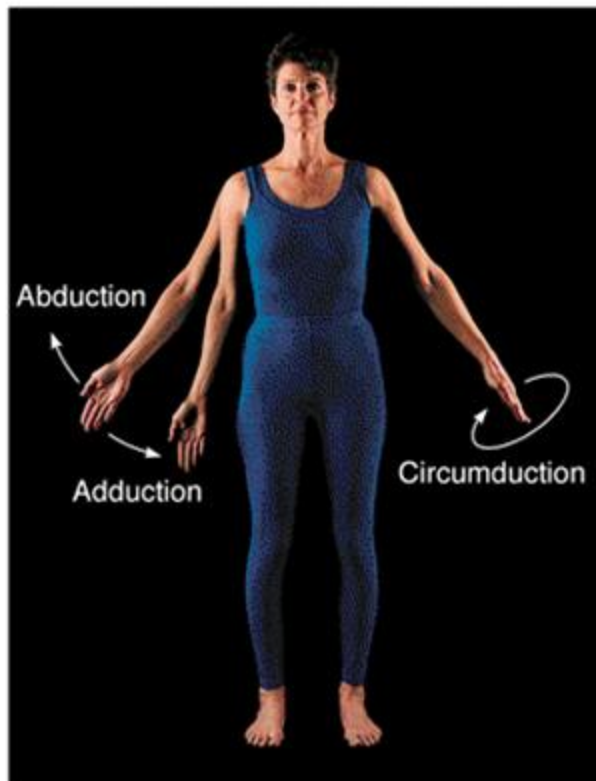
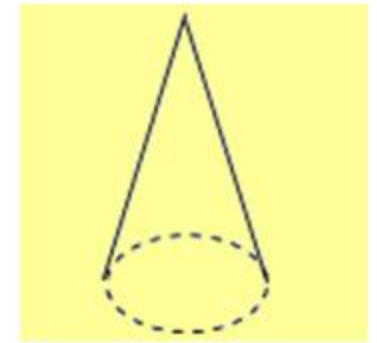
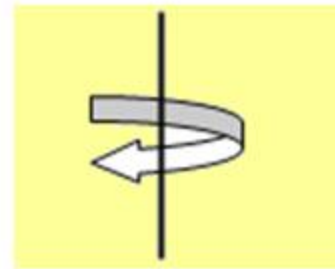


© John Wilson White/Addison Wesley Longma

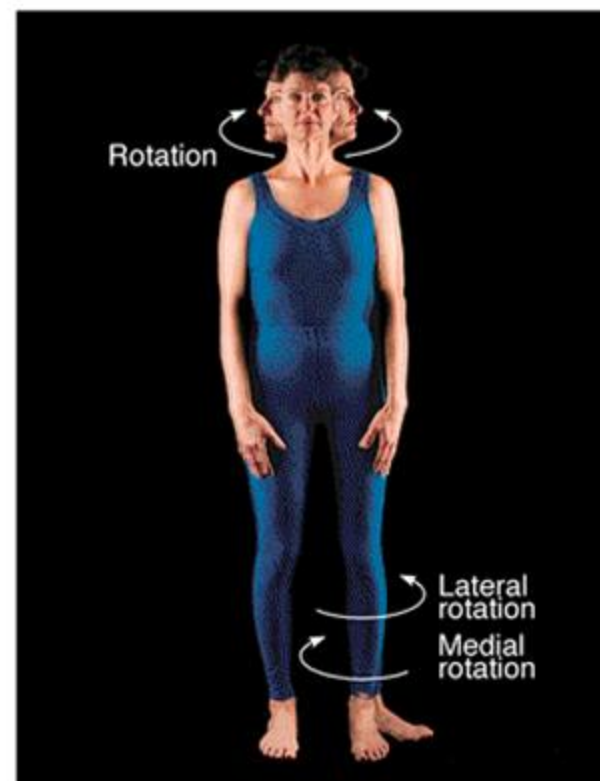


ROTAZIONE: movimento compiuto da un segmento intorno al proprio asse principale

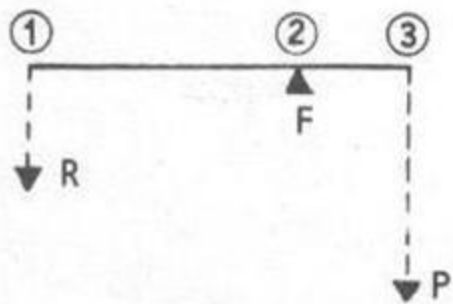
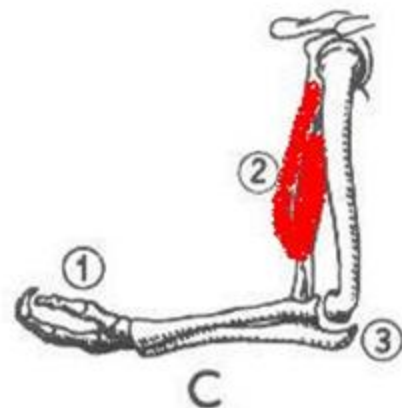
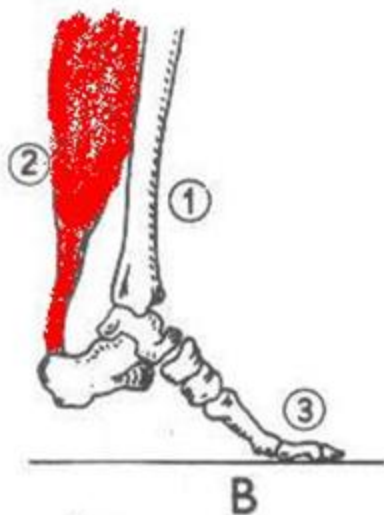
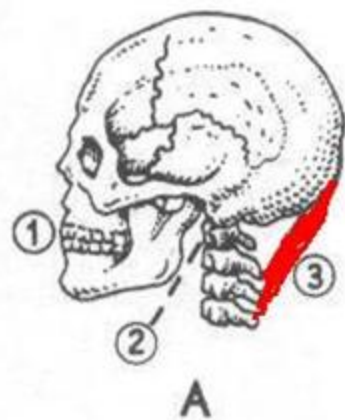
CIRCONDUZIONE: movimento per cui un segmento descrive un cono ad apice corrispondente al capo articolare



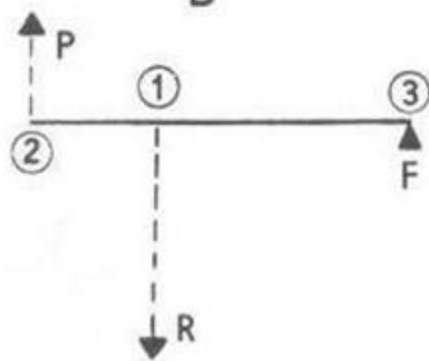
© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.



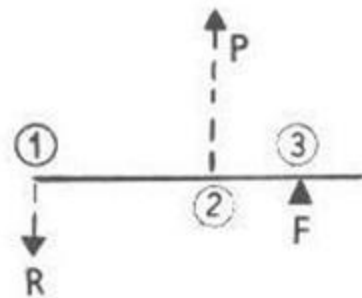
© John Wilson White/Addison Wesley Longman, Inc.



leva di 1° genere

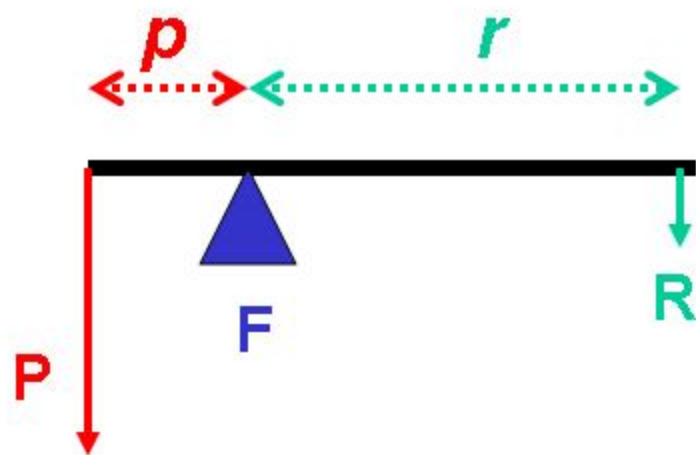


leva di 2° genere



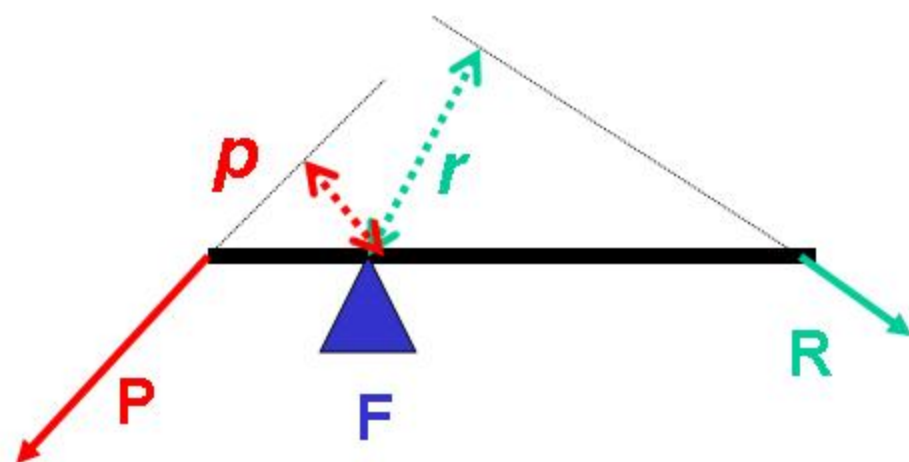
leva di 3° genere

Fig. 9.24. Le articolazioni mobili del corpo umano possono essere paragonate a delle leve. Come vedete in questa figura, tutti e tre i tipi fondamentali di leva sono presenti nel corpo umano. (R = resistenza; F = fulcro; P = potenza).

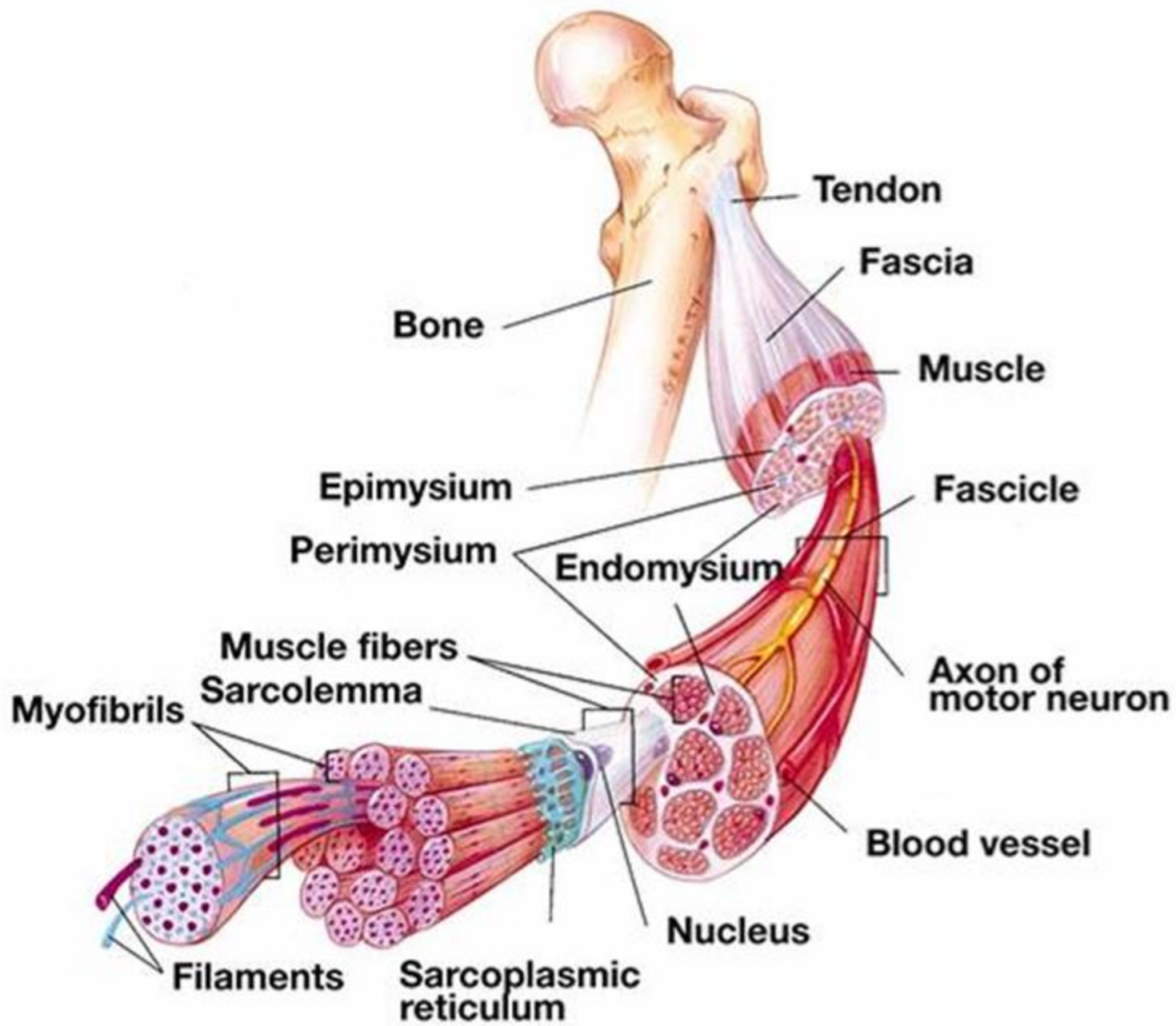


braccio (p, r) = distanza
(perpendicolare) tra
fulcro (F) e direzione
della forza (P, R)

$$P \times p = R \times r$$

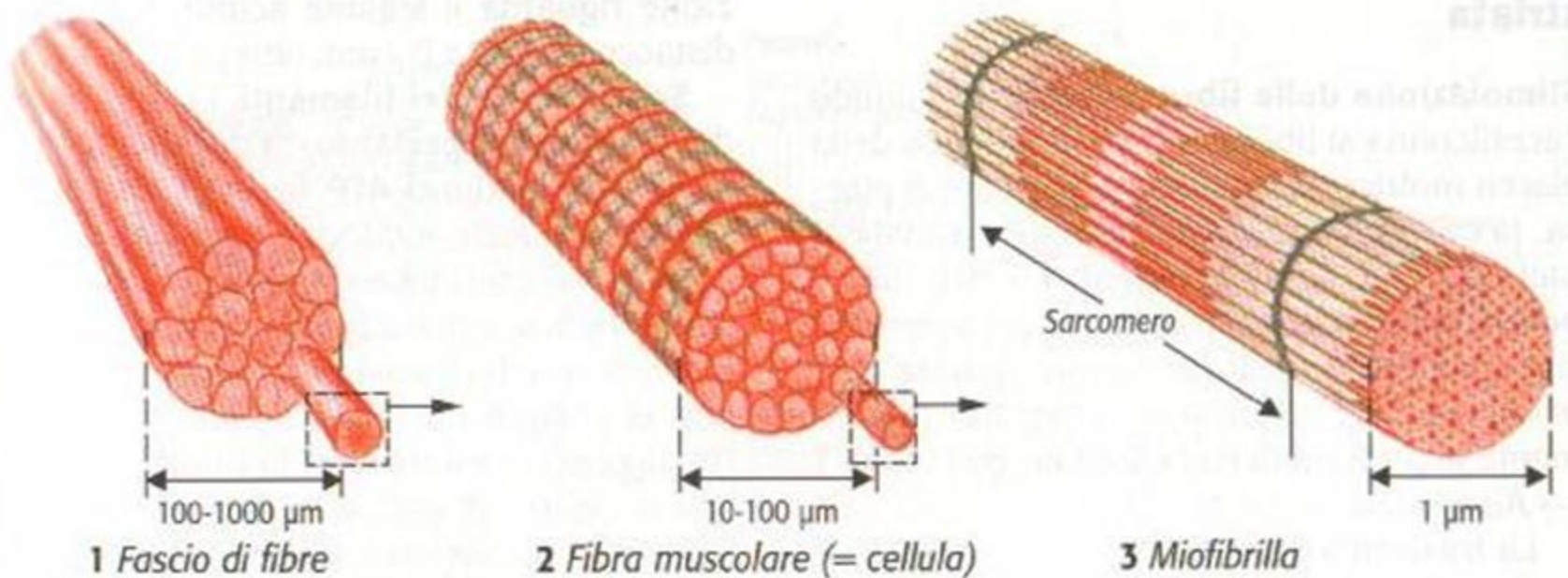


*il prodotto della
"potenza" per il suo
braccio è uguale a
quello della
"resistenza" per il suo
braccio*



MUSCOLO: avvolto dall' EPIMISIO

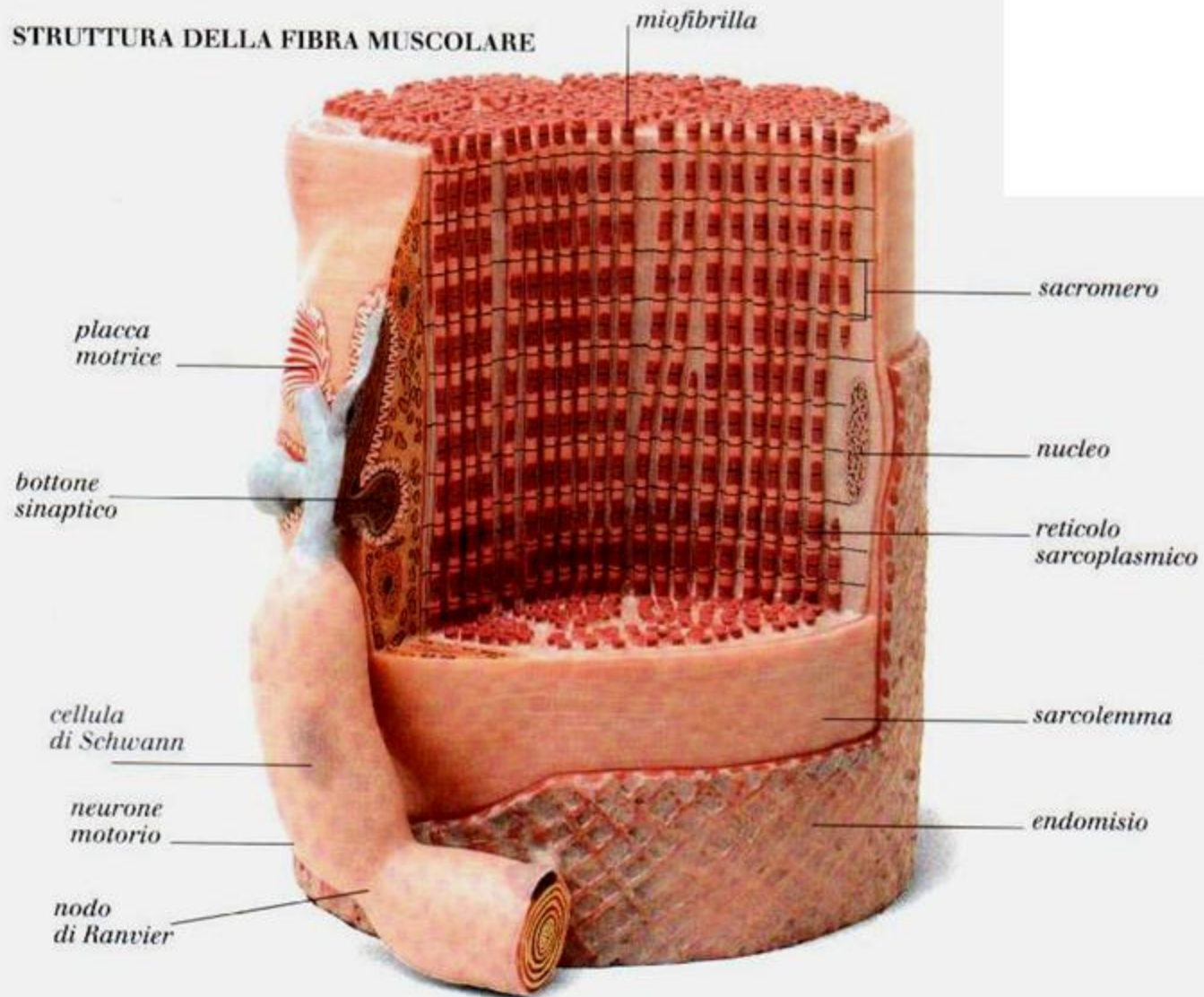
A. Organizzazione della fibra muscolare striata



FASCICOLO:
avolto dal
PERIMISIO

FIBRA:
avolta dall'
ENDOMISIO

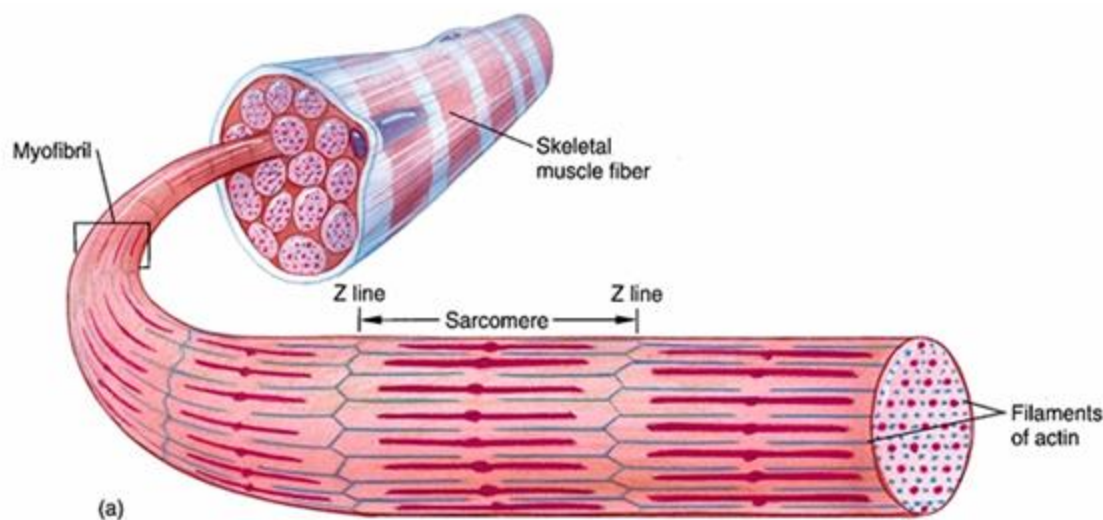
STRUTTURA DELLA FIBRA MUSCOLARE

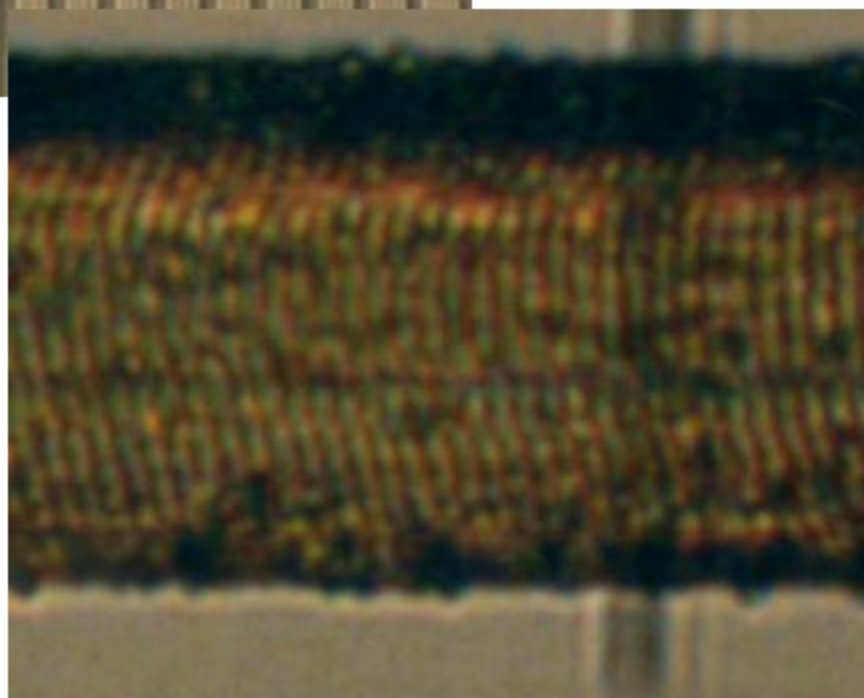
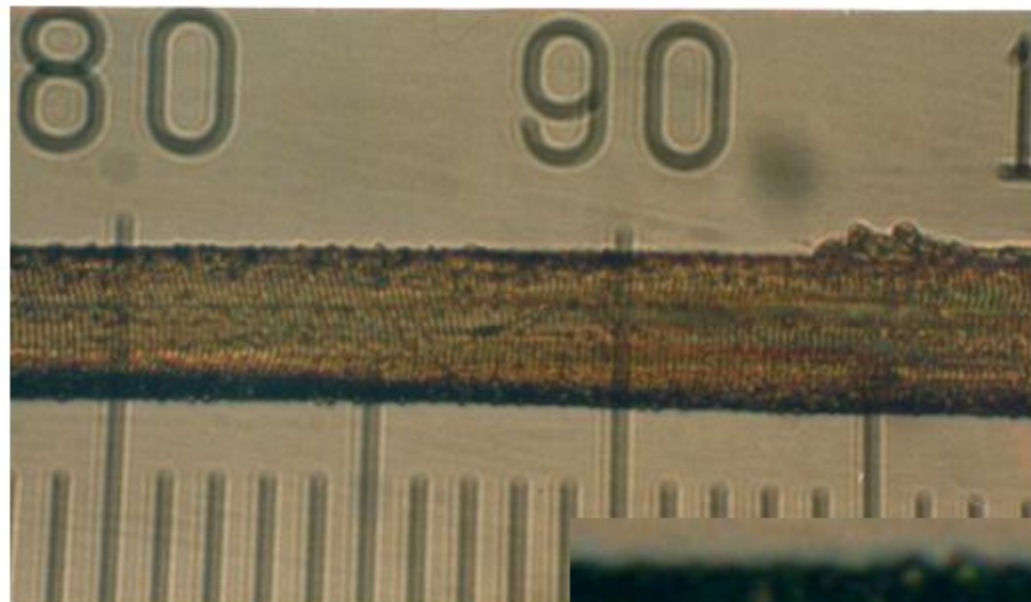


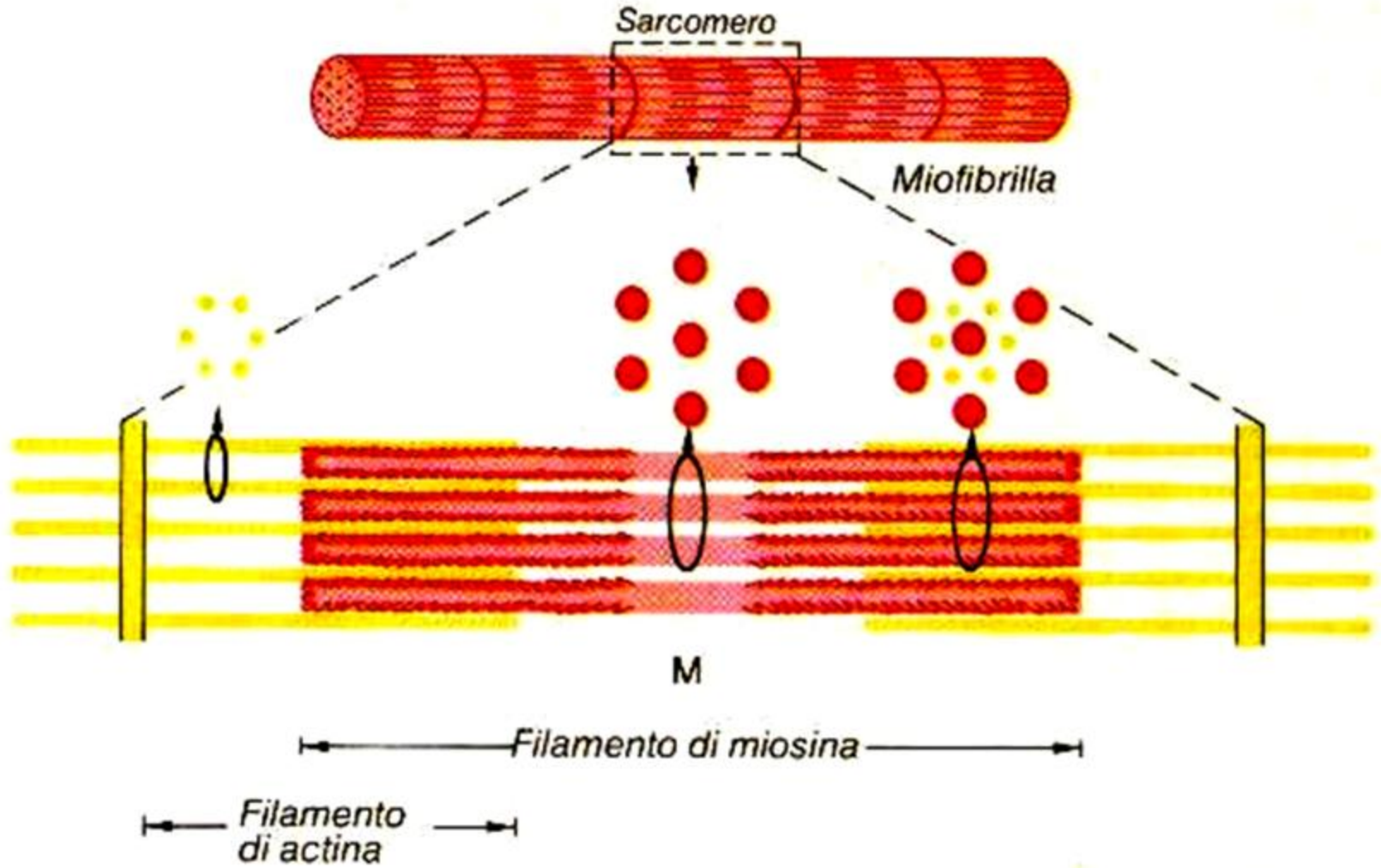
Sarcomero

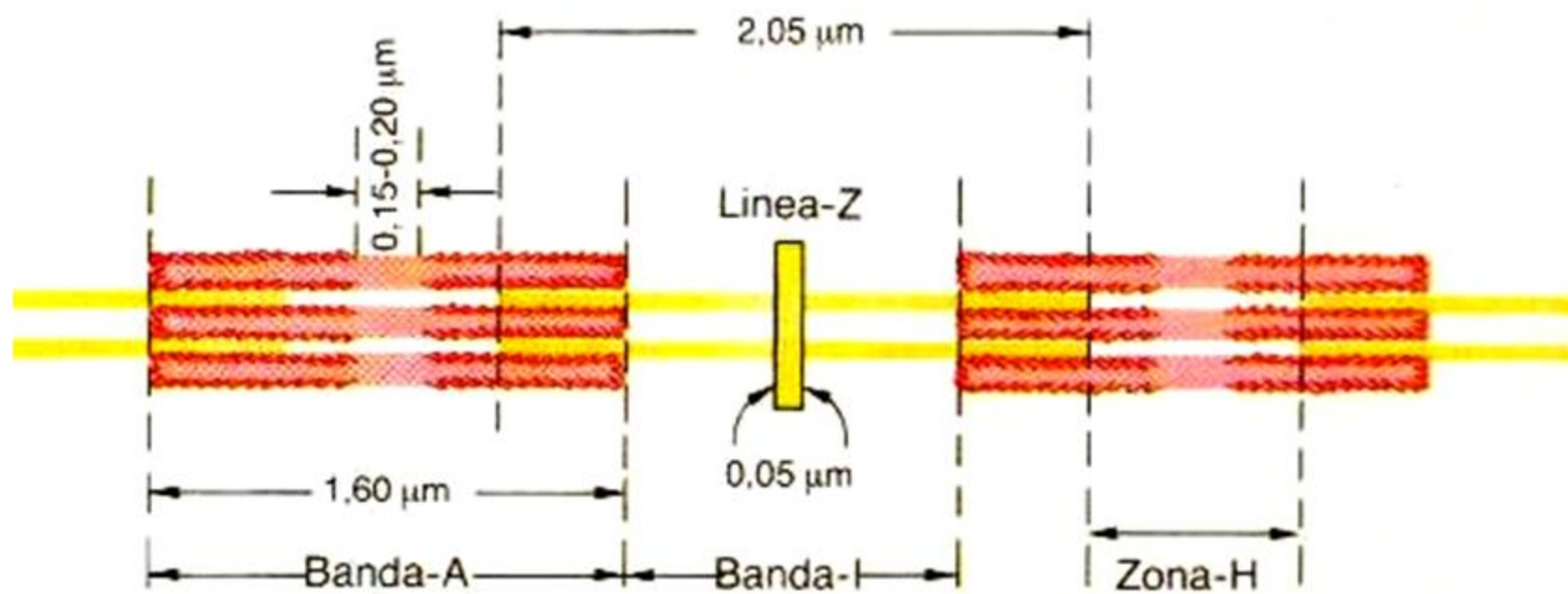
Unità funzionale della fibra muscolare (cioè di una cellula muscolare)

- Fascio di filamenti spessi e sottili alternati
- I sarcomeri sono uniti testa a testa per formare miomibrille e sono migliaia per ogni fibra
- L'alternanza dei filamenti sottili e spessi crea l'apparenza microscopica delle striature.



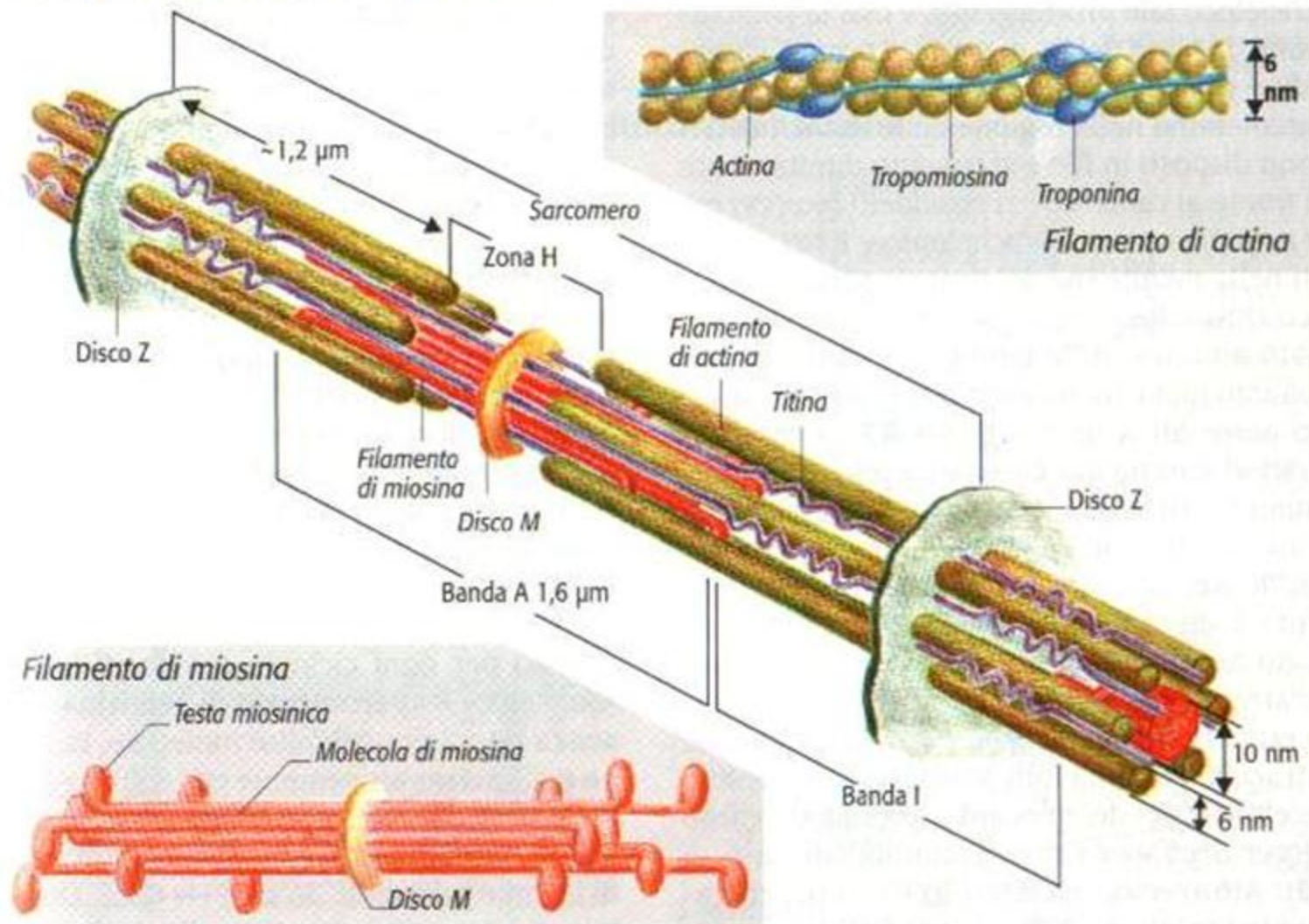




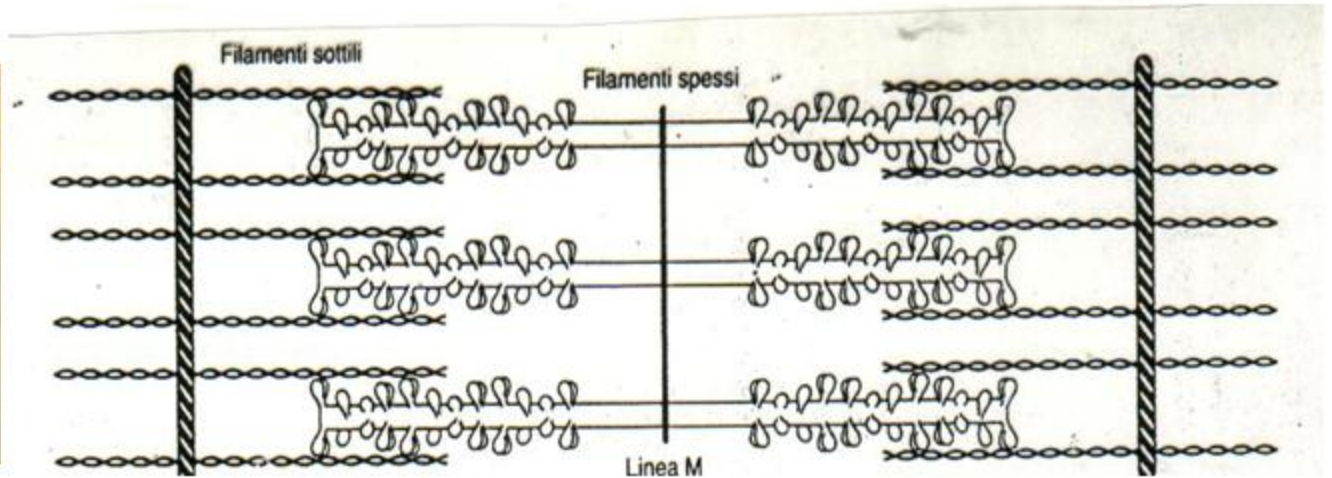
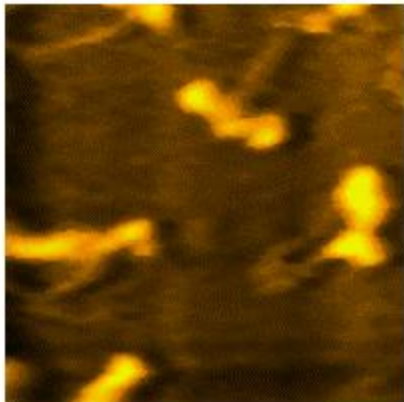
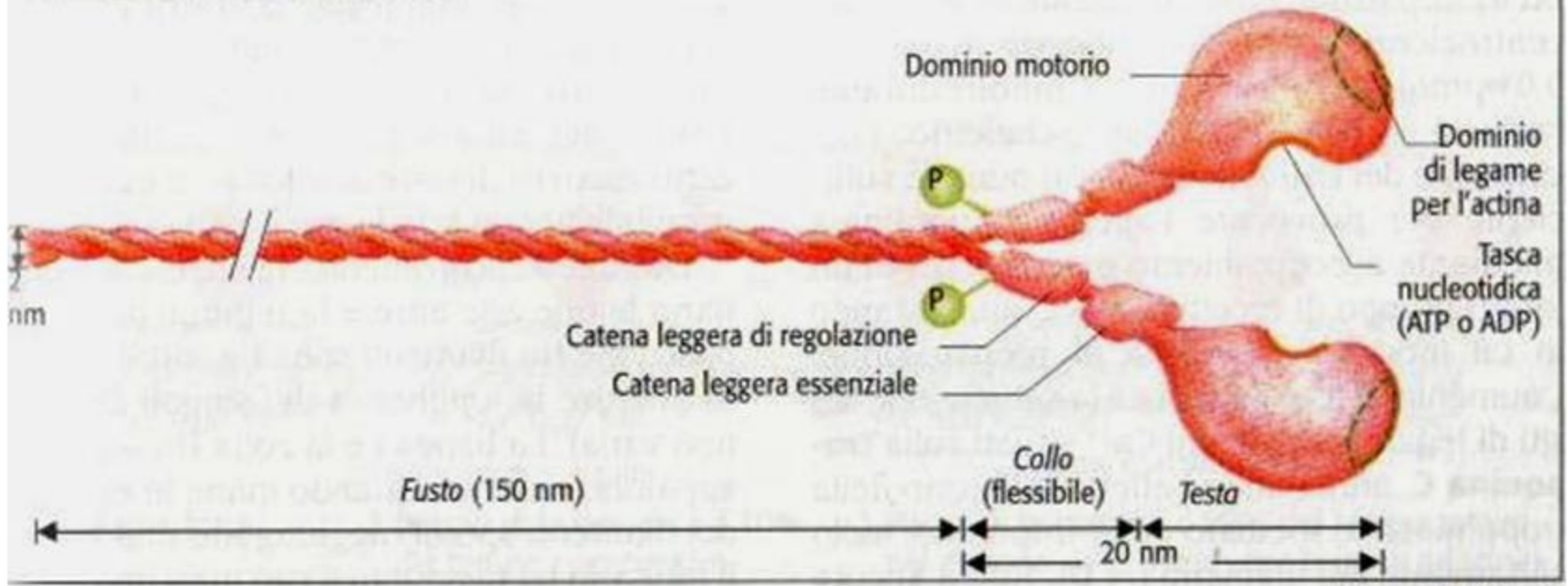


Struttura del sarcomero

B. Organizzazione del sarcomero



C. Molecola di miosina II



Caratteristiche funzionali di una fibra muscolare:

eccitabile = risponde a stimoli con variazione del potenziale di membrana

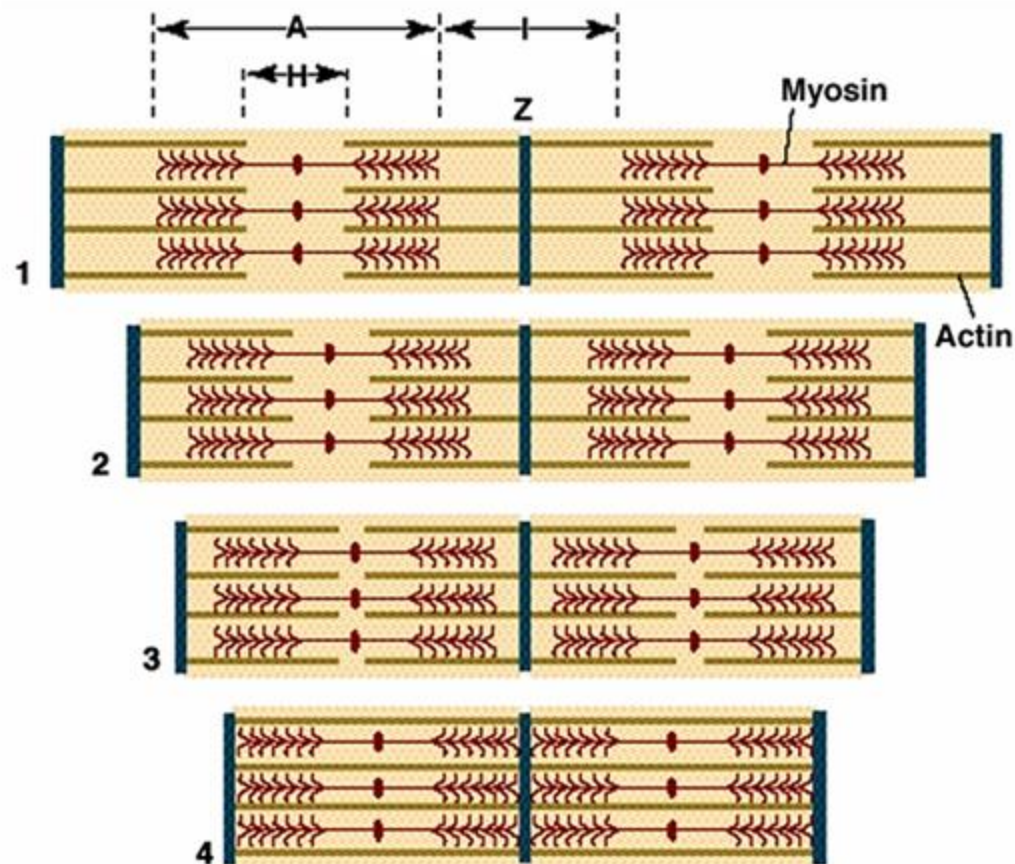
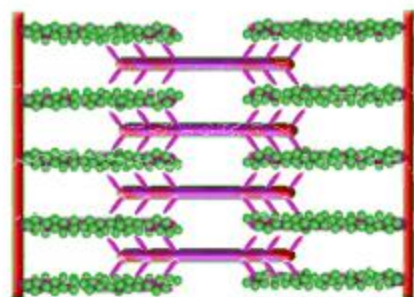
contrattile = può accorciarsi e/o opporsi ad una forza esterna (carico)

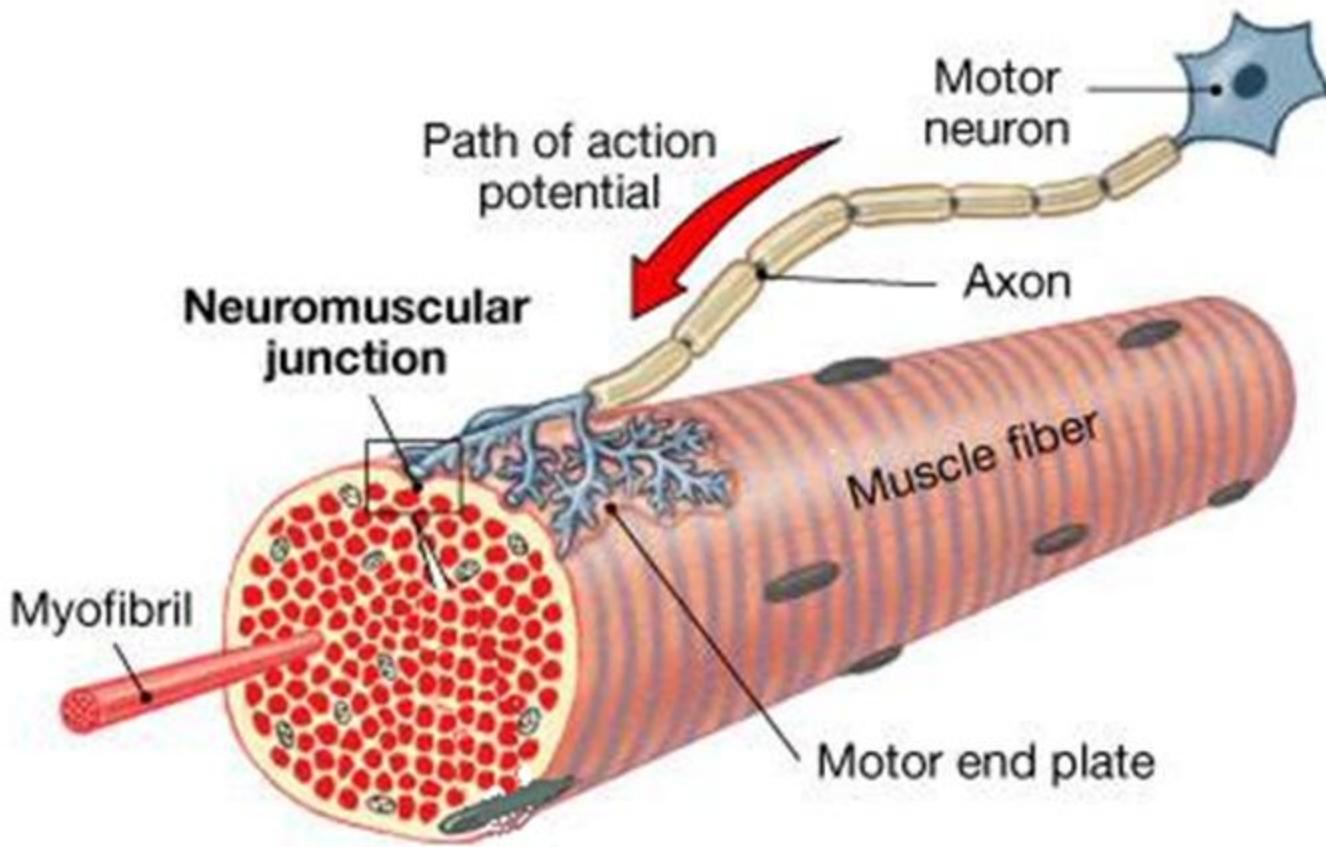
estensibile = può essere stirata (compliance)

elastica = dopo lo stiramento ritorna alla lunghezza iniziale

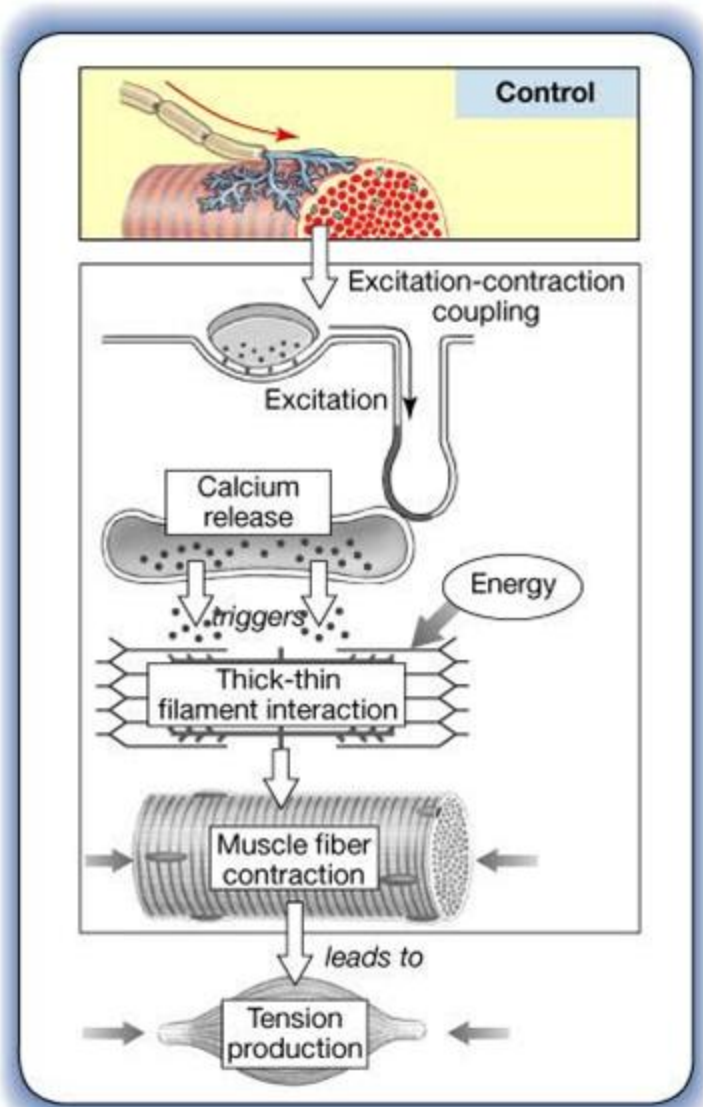
Meccanismo della contrazione muscolare: modello dei filamenti scorrevoli

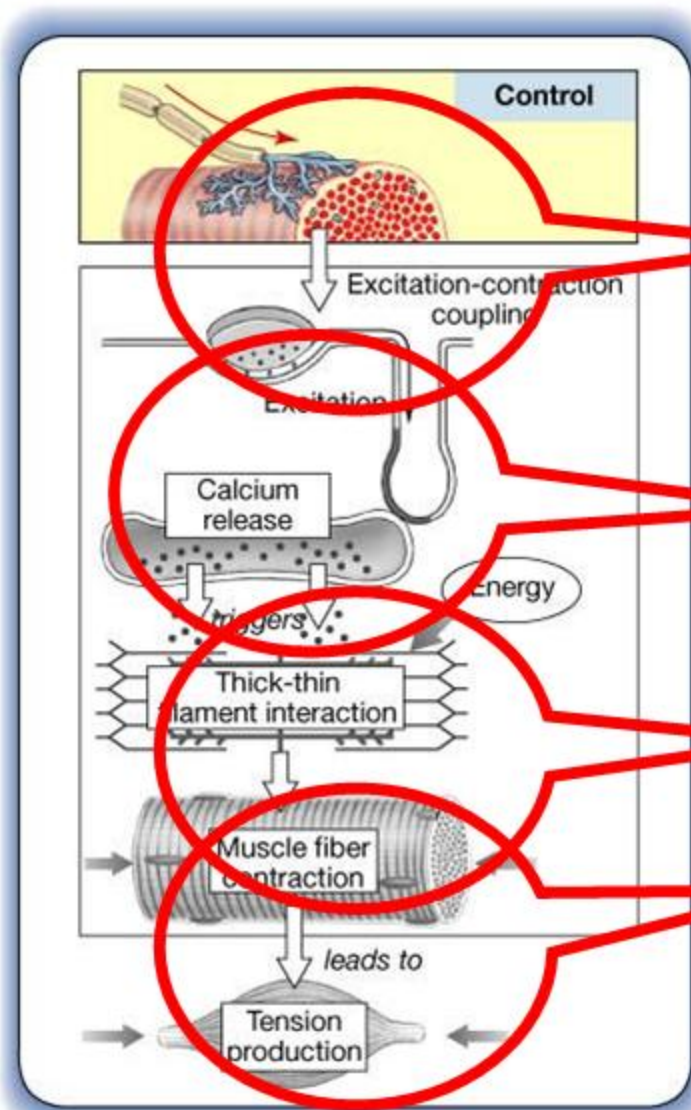
- L'accorciamento del muscolo è dovuto al movimento dei filamenti di actina su quelli di miosina
- Si riduce la distanza tra le linee Z





Unità motoria: gruppo di fibre muscolari connesse allo stesso motoneurone, quindi operanti in iseme.



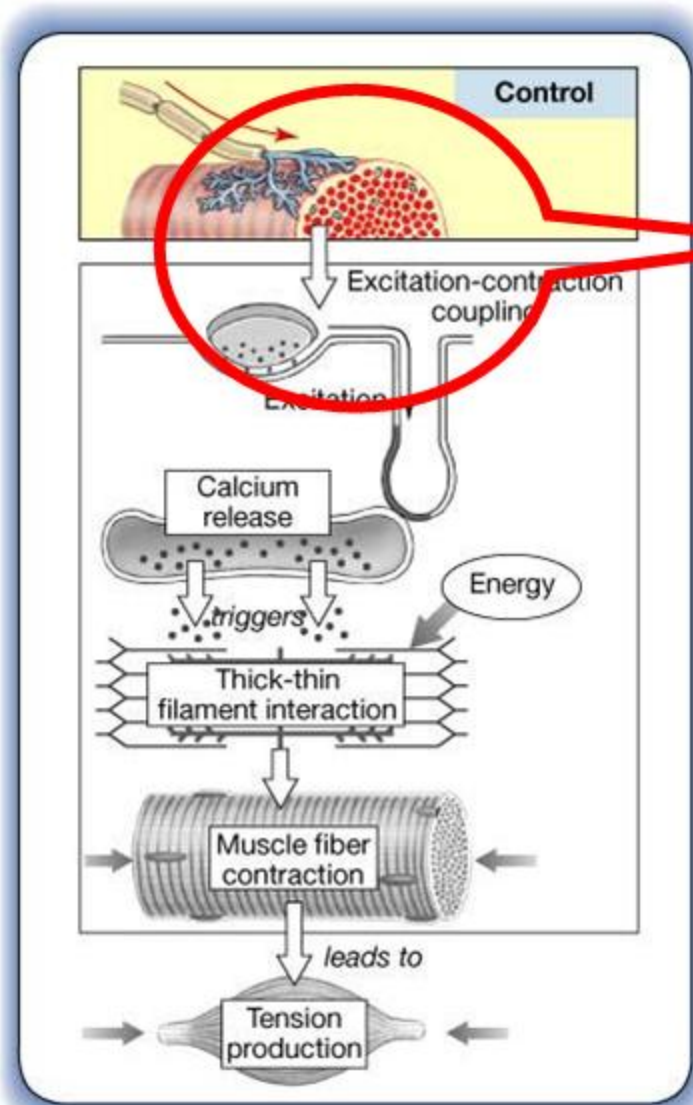


Conduzione dell'eccitazione dal motoneurone alla fibra muscolare

Accoppiamento eccitazione-contrazione

Contrazione muscolare

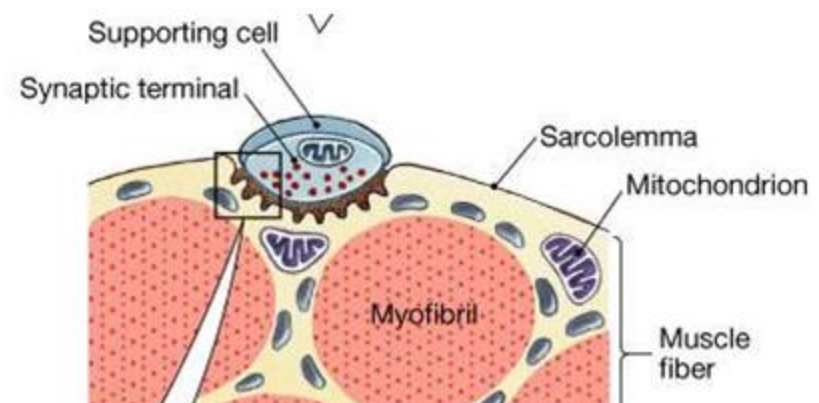
Lavoro meccanico



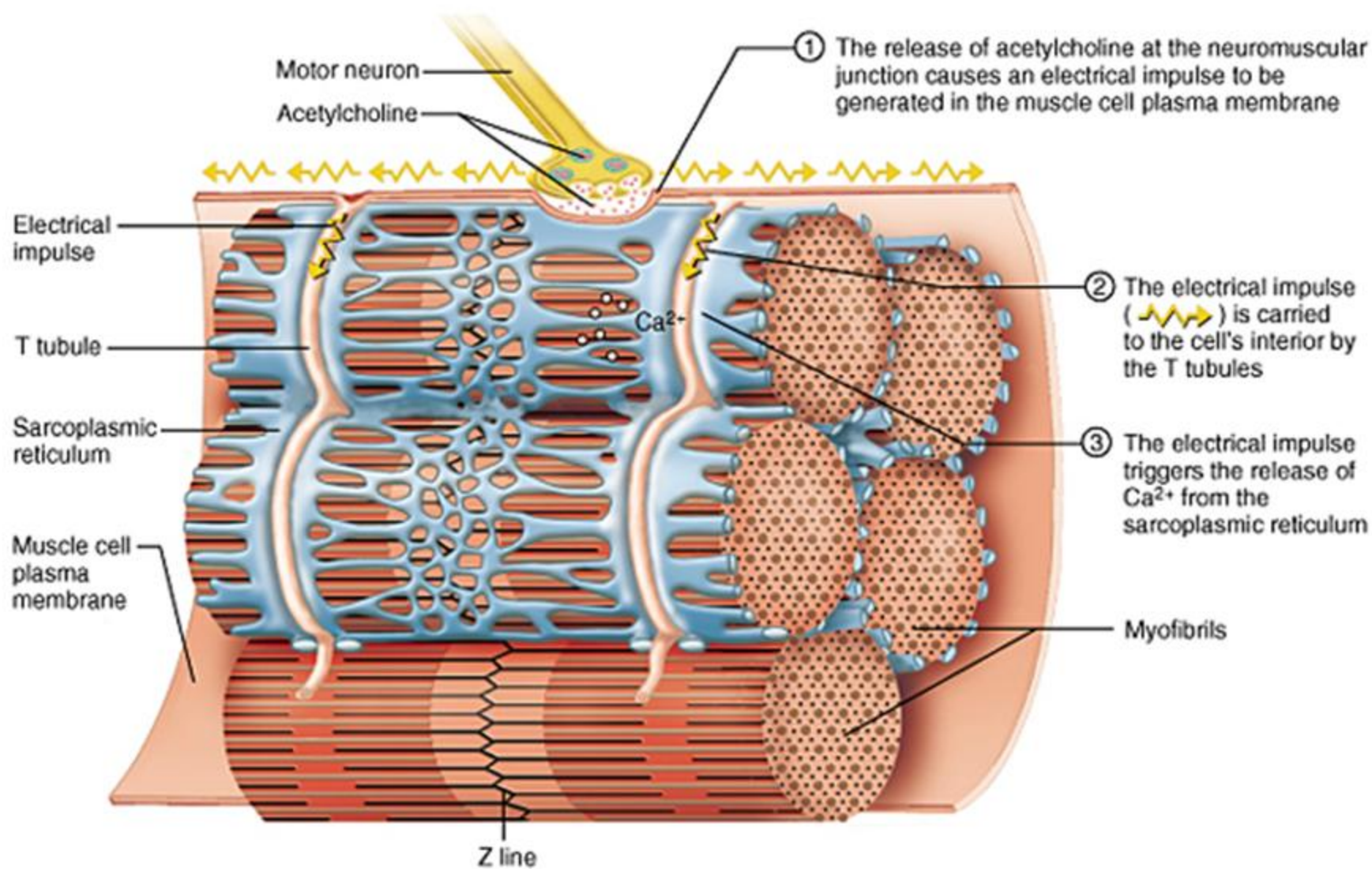
Conduzione dell'eccitazione dal motoneurone alla fibra muscolare:

Giunzione neuro-muscolare

Dal PA presinaptico al potenziale di placca motrice



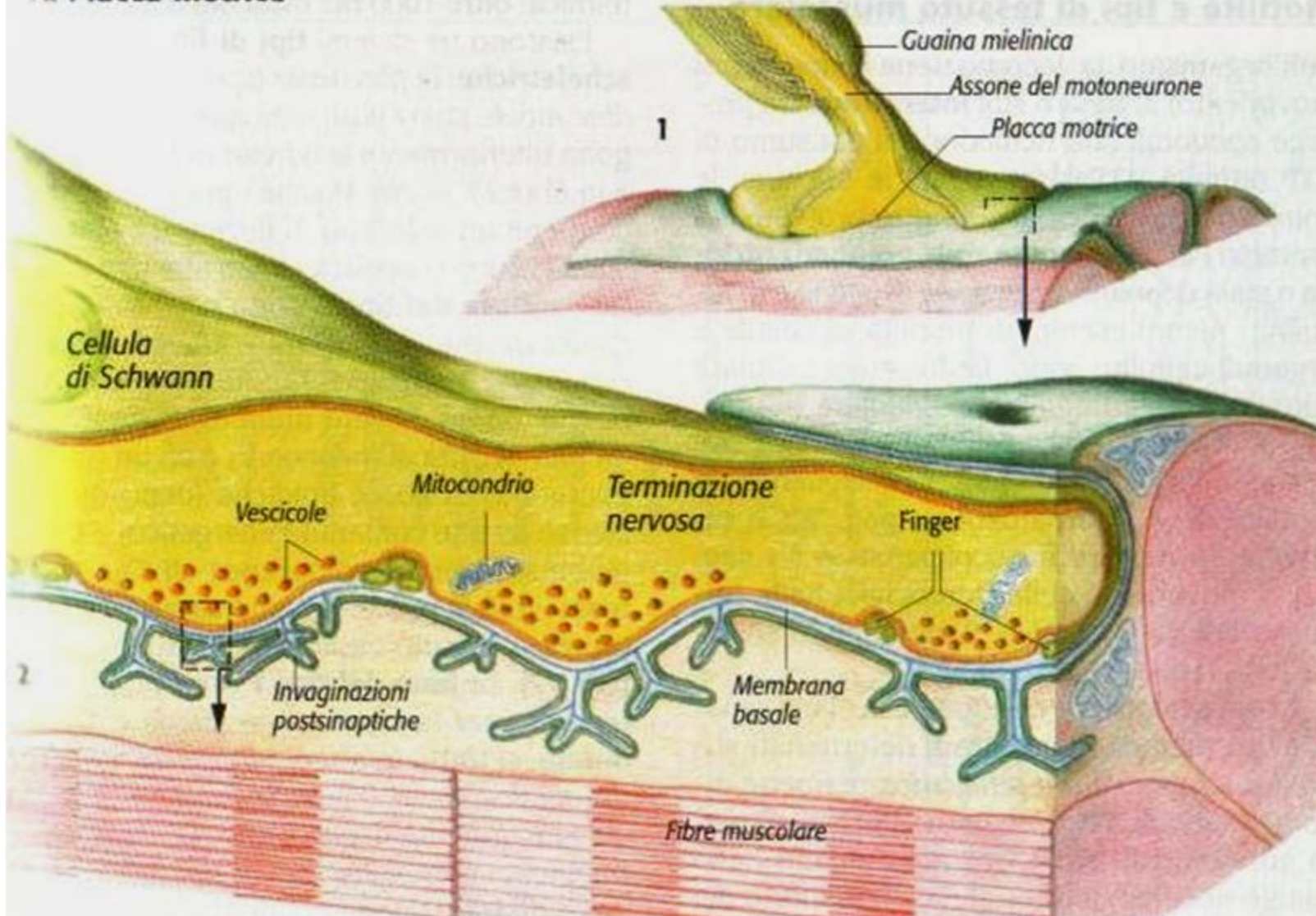
Attivazione nervosa di una singola fibra muscolare

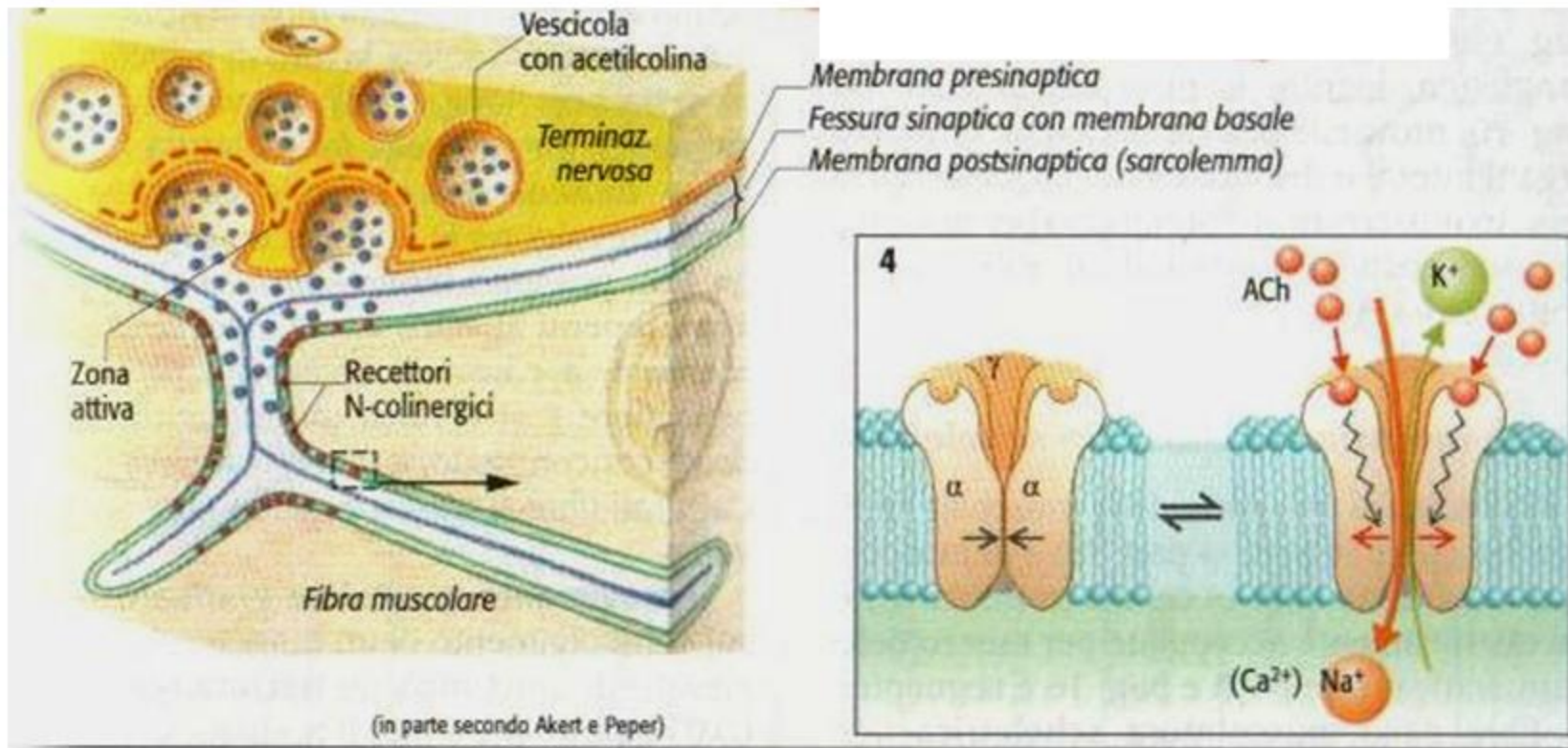


Canali ionici della giunzione neuromuscolare

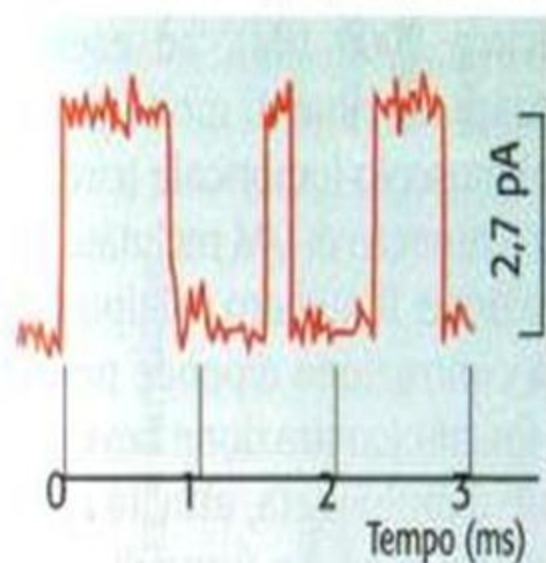
- **canali voltaggio-dipendenti per il Ca^{2+}**
 - nel terminale nervoso presinaptico
 - mediano il rilascio del neurotrasmettitore
 - simili ai canali per Na^+ da cui differiscono perchè
 - l'attivazione avviene ad un potenziale più positivo
 - attivazione e inattivazione sono più lente
- **canali cationici ligando-dipendenti (recettori nicotinici per l'acetilcolina, ACh)**
 - nella giunzione neuromuscolare (membrana post-sinaptica, placca terminale)
 - mediano la trasmissione elettrica da nervo a muscolo
 - L'attivazione di 200000 canali (ad opera di 200 vescicole di ACh) origina un potenziale di placca motrice simile ad un EPSP ma in grado da solo di produrre un potenziale di azione

A. Placca motrice

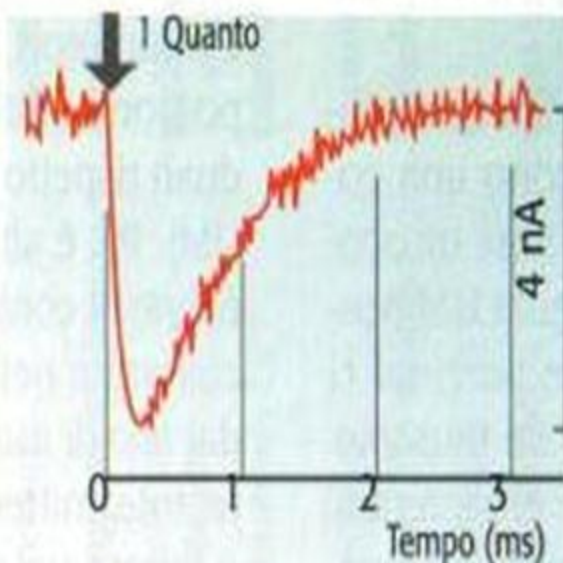




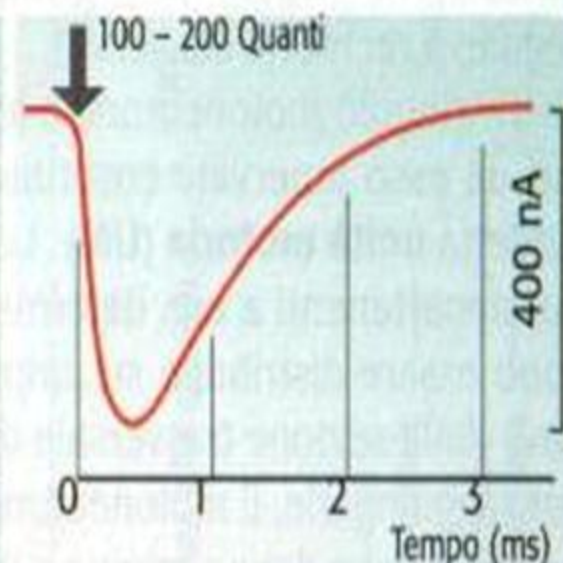
B. Correnti di placca



1 Corrente attraverso un singolo canale



2 Corrente di placca in miniatura



3 Corrente di placca indotta dal nervo

(secondo Neher e Sakmann (1), secondo Peper e collab. (2))

Proprietà della giunzione neuromuscolare

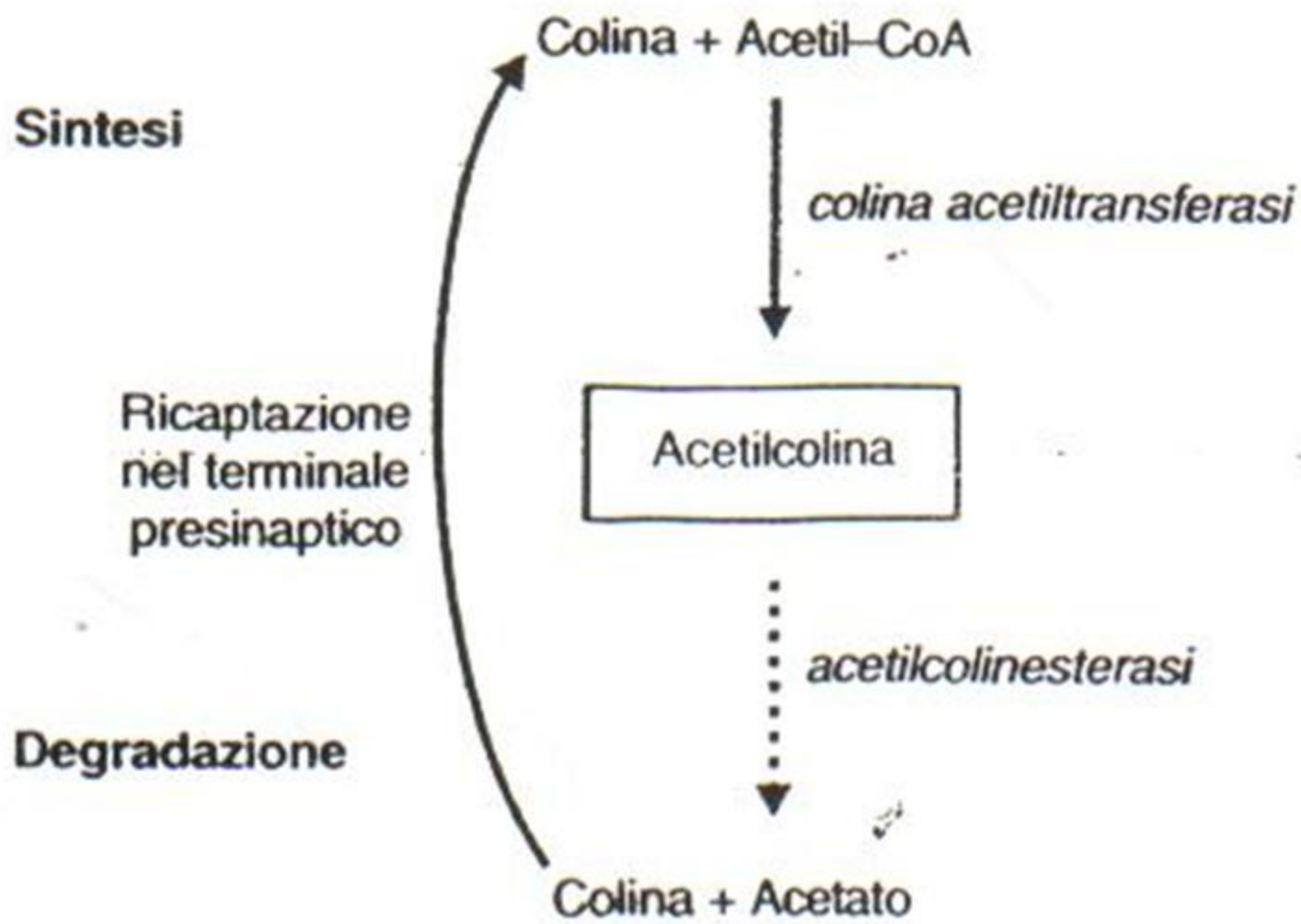
- Trasmissione “1:1” ovvero ogni potenziale d'azione presinaptico ne produce uno postsinaptico
- processo unidirezionale
- con un ritardo di 20nm/0.5-1ms
- facilmente influenzabile da farmaci e fattori esterni
- Sito di rilevanza clinica

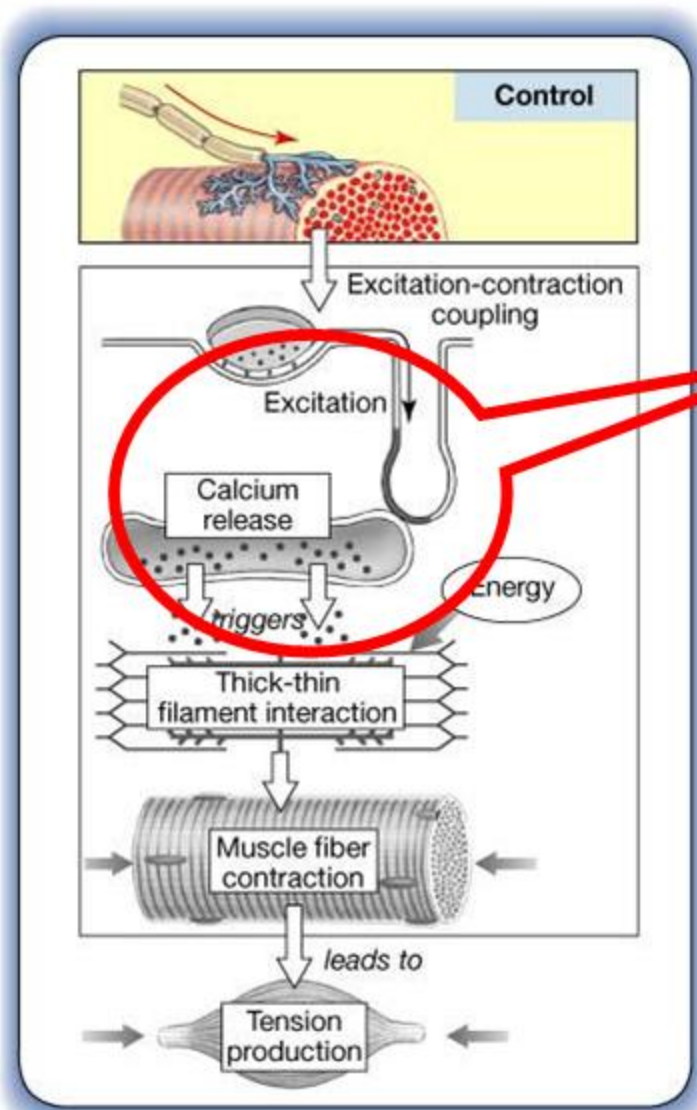
Tabella 1-3. Composti che interferiscono con la trasmissione neuromuscolare

Esempio	Azione	Effetto sulla trasmissione neuromuscolare
Tossina botulinica	Blocca la liberazione di ACh dai terminali presinaptici	Blocco totale, paralisi della muscolatura respiratoria e morte
Curaro	Compete con l'ACh per i recettori sulla placca motrice	Diminuisce l'ampiezza del potenziale di placca; a dosi massimali paralizza la muscolatura e provoca morte
Neostigmina	Inibisce la colinesterasi	Prolunga e potenzia l'azione dell'ACh sulla placca motrice
Emicolinio	Blocca la riassunzione della colina nel terminale presinaptico	Riduce le riserve di ACh nei terminali presinaptici

ACh, acetilcolina.

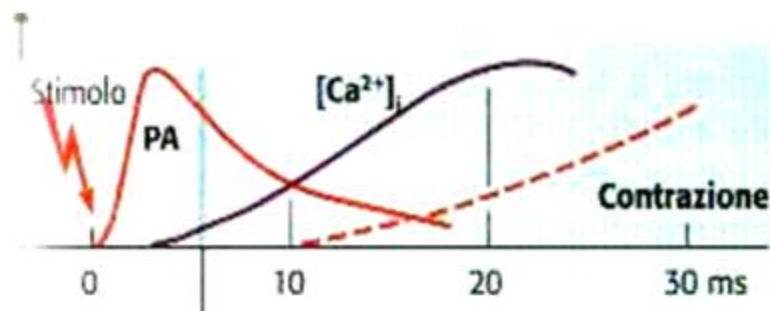




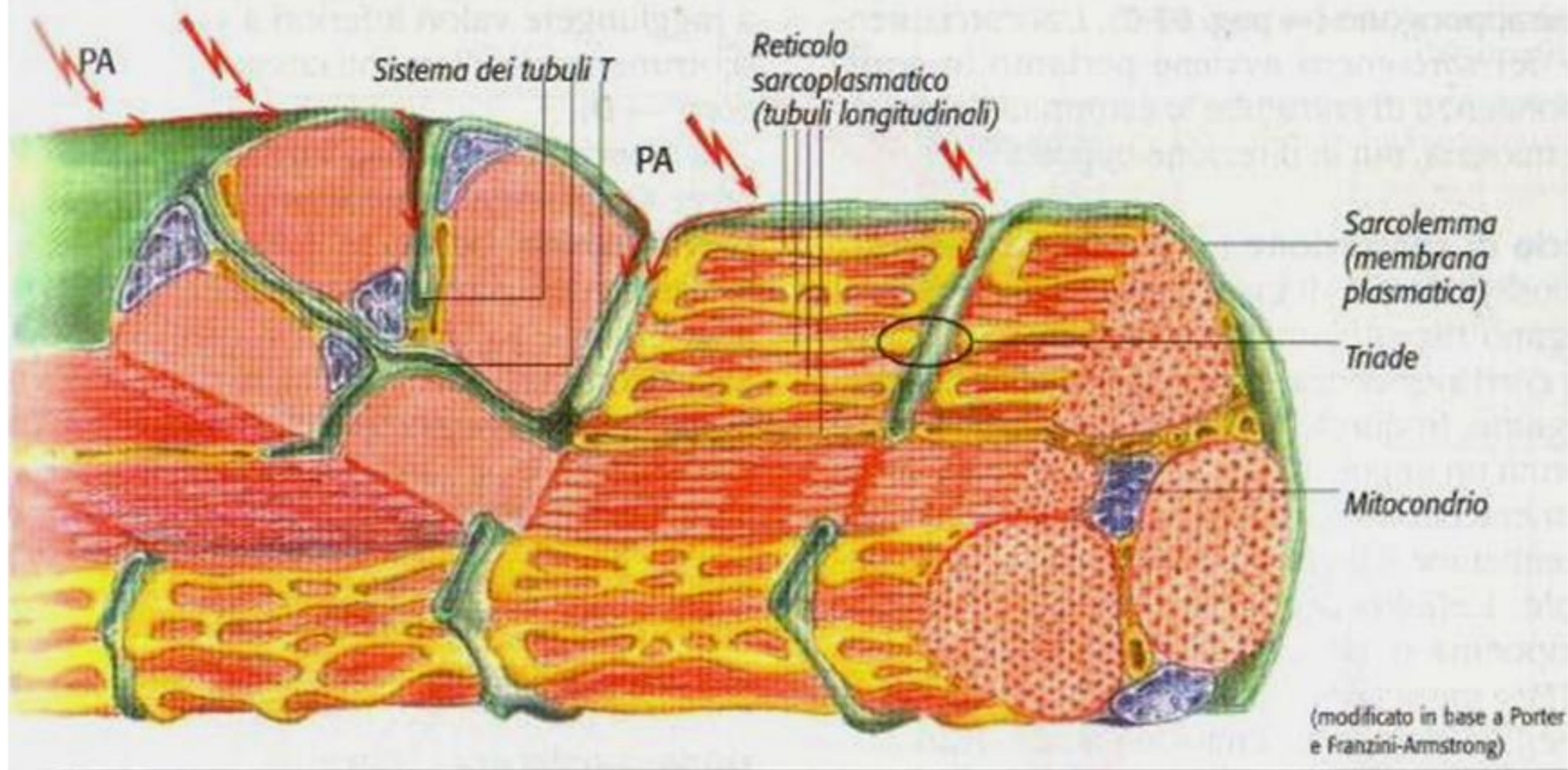


Accoppiamento eccitazione-contrazione (accoppiamento elettromeccanico):

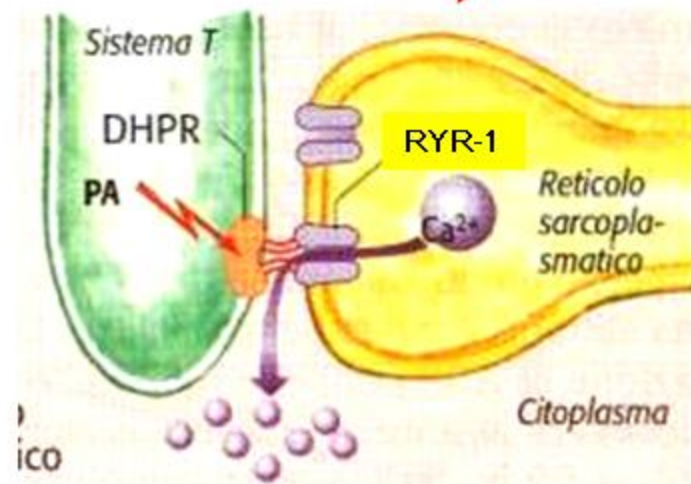
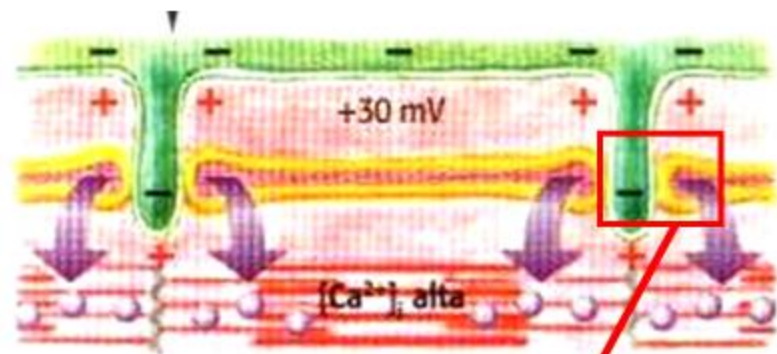
Dal potenziale di placca motrice
(tubulo-T)
al rilascio di ioni Ca nel
sarcoplasma



A. Il sistema sarcotubulare della fibra muscolare



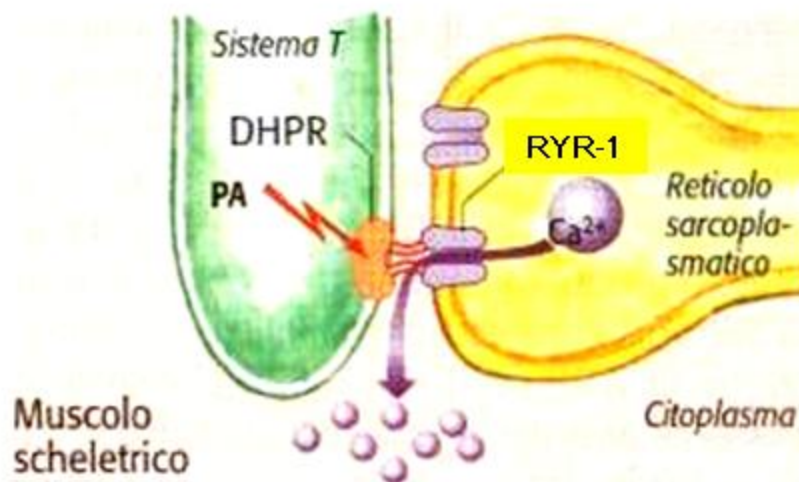
- Il potenziale di placca motrice si diffonde elettrotonicamente lungo i tubuli-T
- La membrana del tubulo-T ha sensori di voltaggio (recettori-diidropiridina =DHP receptor)
- I recettori-diidropiridina attivati costituiscono stimolo per recettori presenti sul reticolo sarcoplasmatico (RS): recettore-rianodina (RYR)
- I recettori RYR attivati sono i canali di rilascio del Ca^{2+} da parte del SR.



DHPR= DIIDROPIRIDINA - RYR= RECETT. RIANODINA

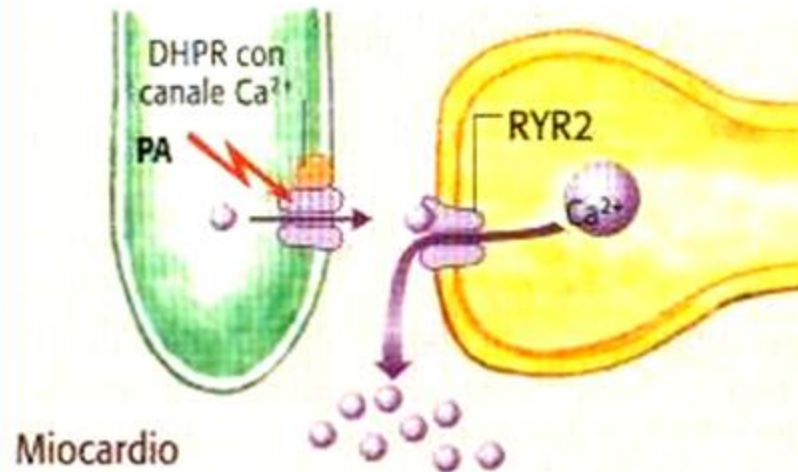
Muscolo Scheletrico

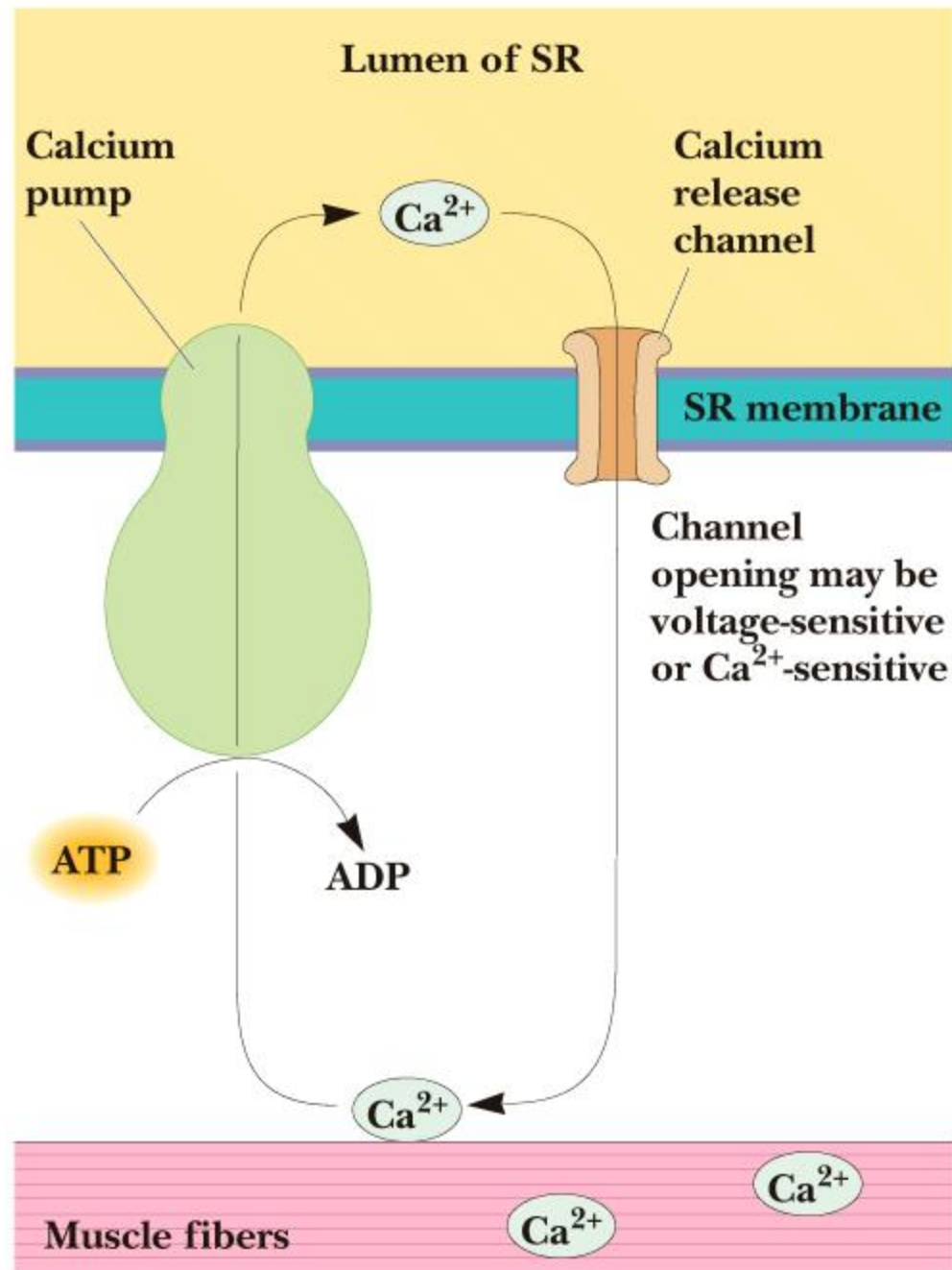
- I recettori-diidropiridina del tubulo-T attivati dal PA cambiano conformazione e questo stimola meccanicamente i recettori-rianodina (RYR1) del RS, che sono i canali di rilascio del Ca^{2+} da parte del RS.
- Il rilascio di Ca dal RS è voltaggio-dipendente (Voltage Activated Calcium Release = VACR)
- Il rilascio di Ca^{2+} dal RS è proporzionale al voltaggio della membrana sarcoplasmatica.

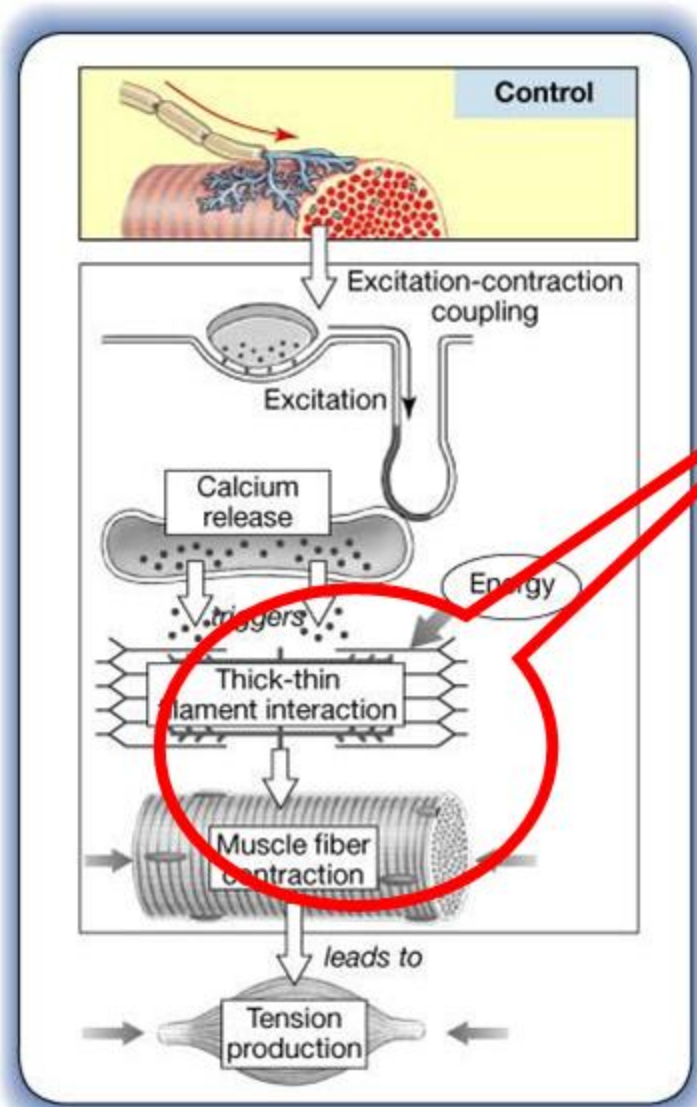


Muscolo Cardiaco

- I recettori-diidropiridina del tubulo-T attivati dal PA sono canali per il Ca e che entra nel citoplasma. Gli ioni Ca attivano i recettori-rianodina (RYR2) del RS che sono i canali di rilascio del Ca^{2+} .
- Il rilascio di Ca dal RS è ligando-dipendente (ligando = Ca: Calcium Activated Calcium Release = CACR)
- Il rilascio di Ca^{2+} dal RS è proporzionale alla quantità di Ca rilasciato dal tubulo-T

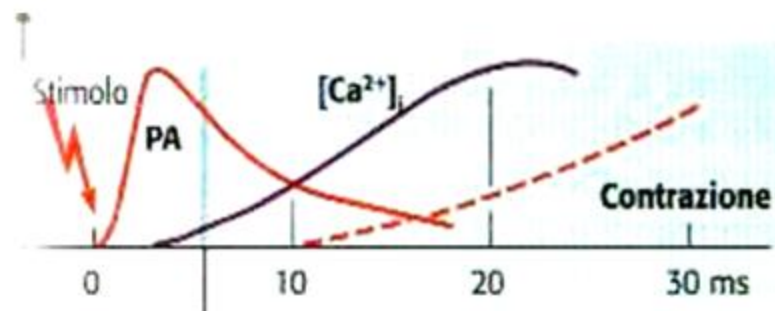


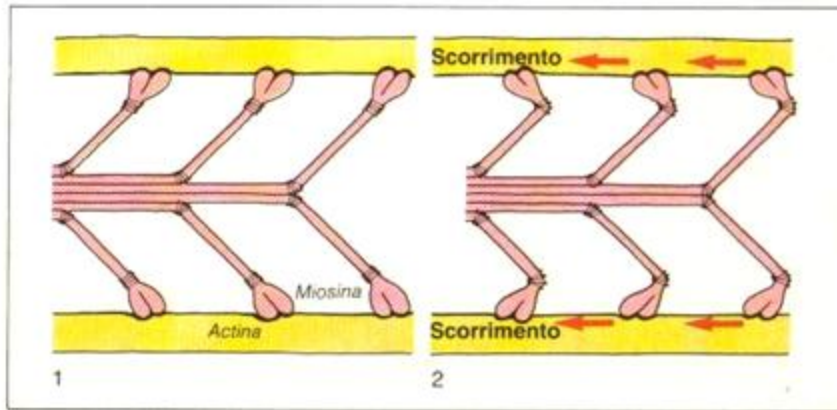




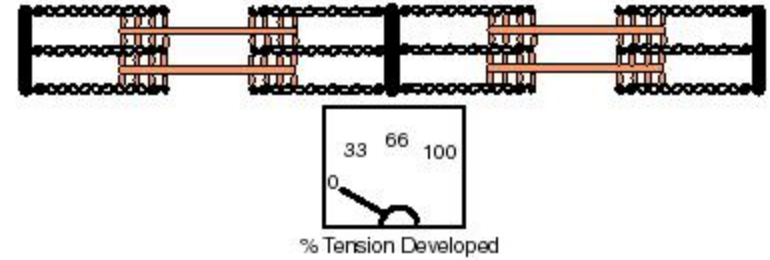
Interazione actina-miosina: contrazione muscolare.

Dal rilascio di ioni Ca nel sarcoplasma all' accorciamento dei sarcomeri.





B. Teoria del filamento scorrevole



C. Scorrimento dei filamenti

Legame actina-miosina II

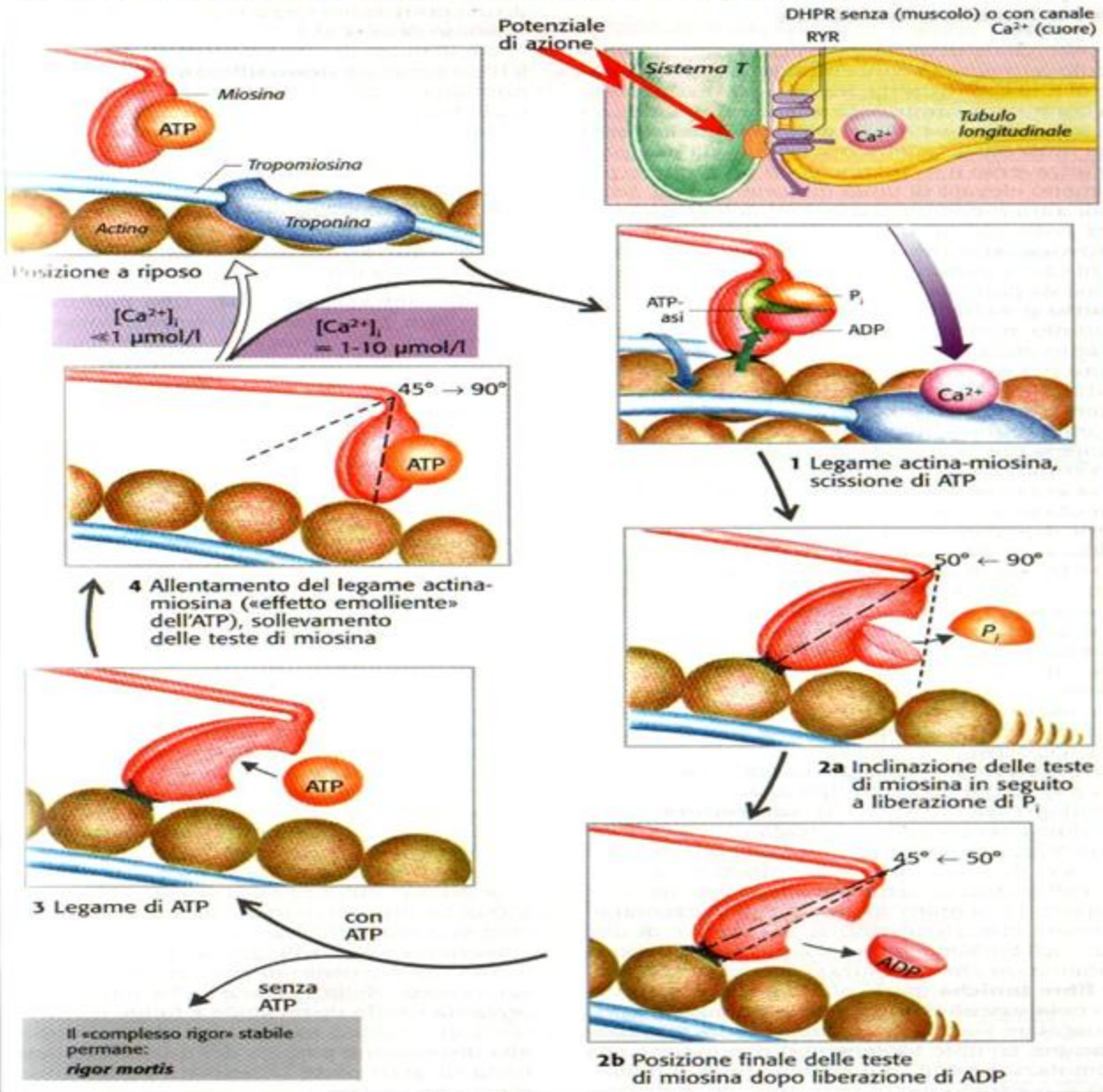
— forte — | — debole — | — forte —

1 Legame forte

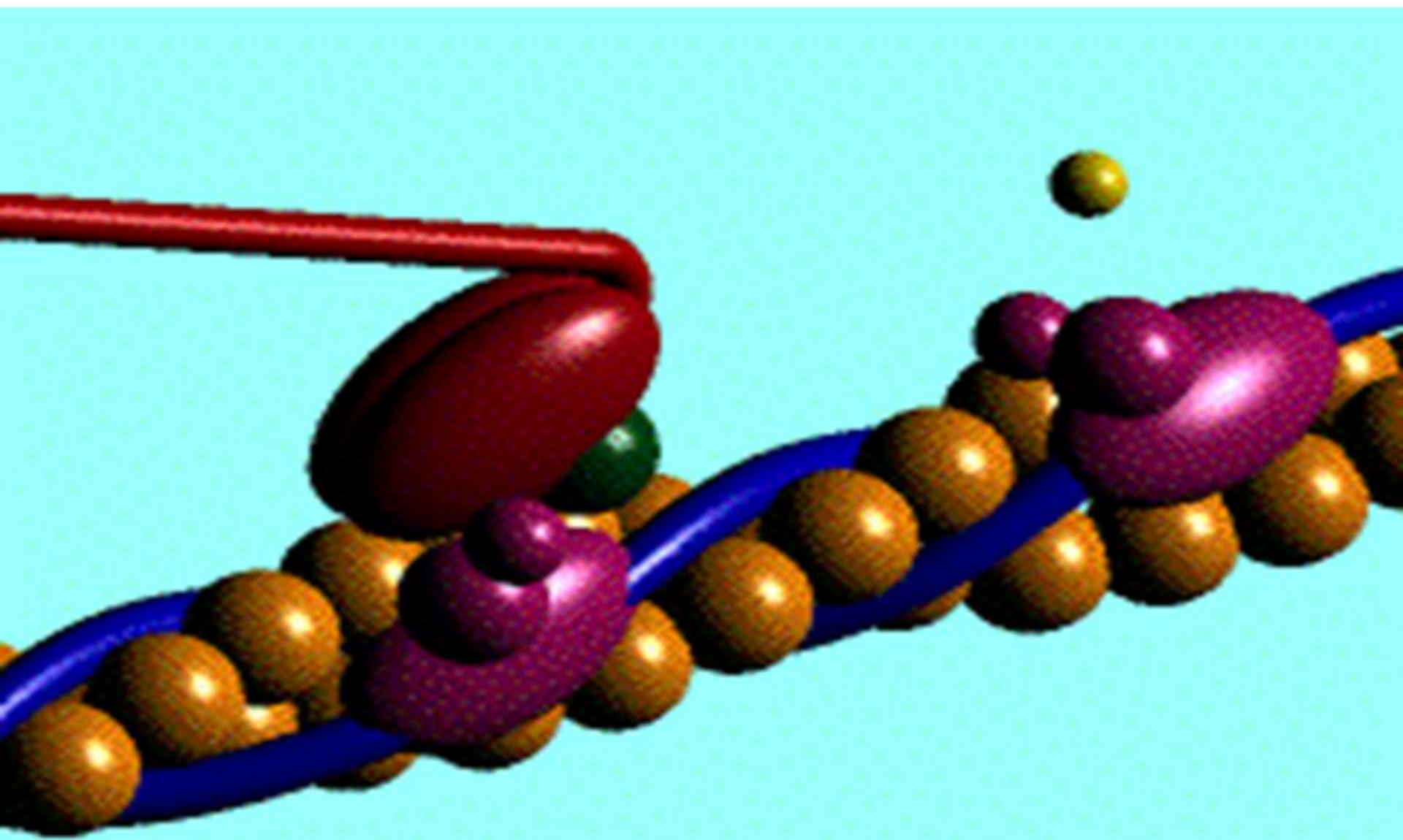
2 Tempo di lavoro circa il 10% del tempo complessivo

3 Pausa di lavoro (ca. il 90% del tempo totale; nel periodo sono attive altre teste di miosina)

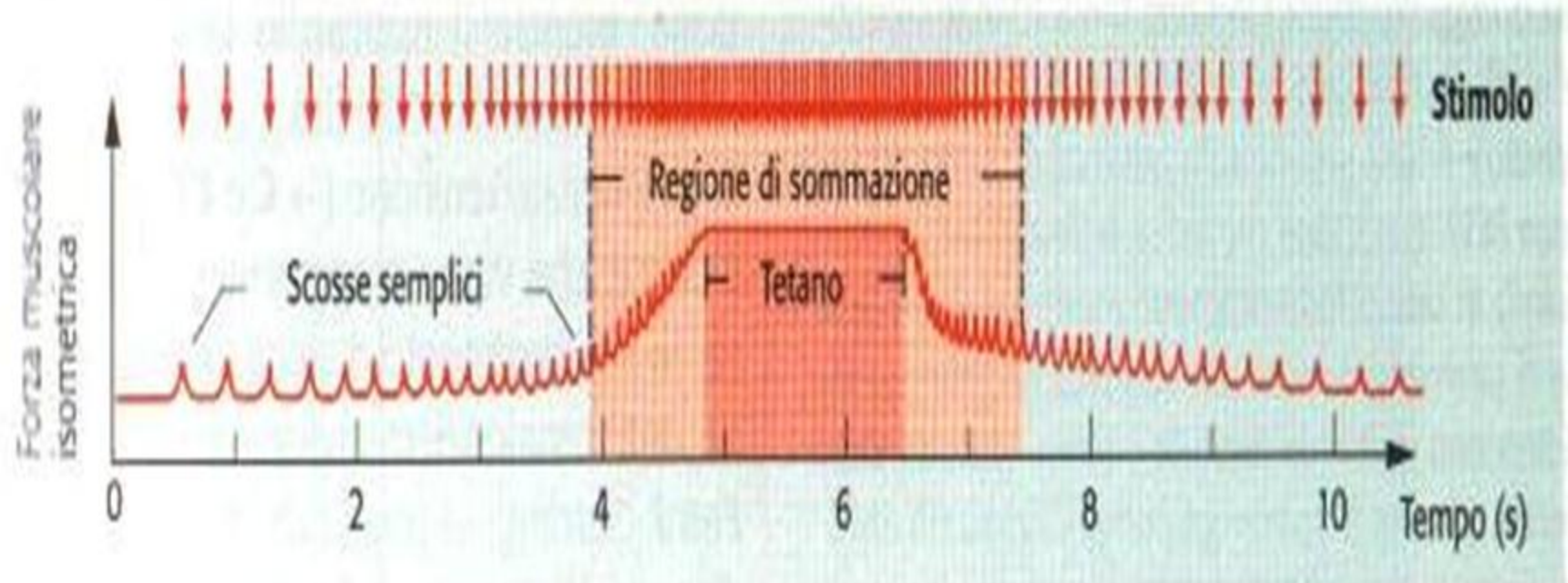
D. Ciclo di lavoro dello scorrimento dei filamenti (contrazione isotonica)



Cross Bridge Cycle

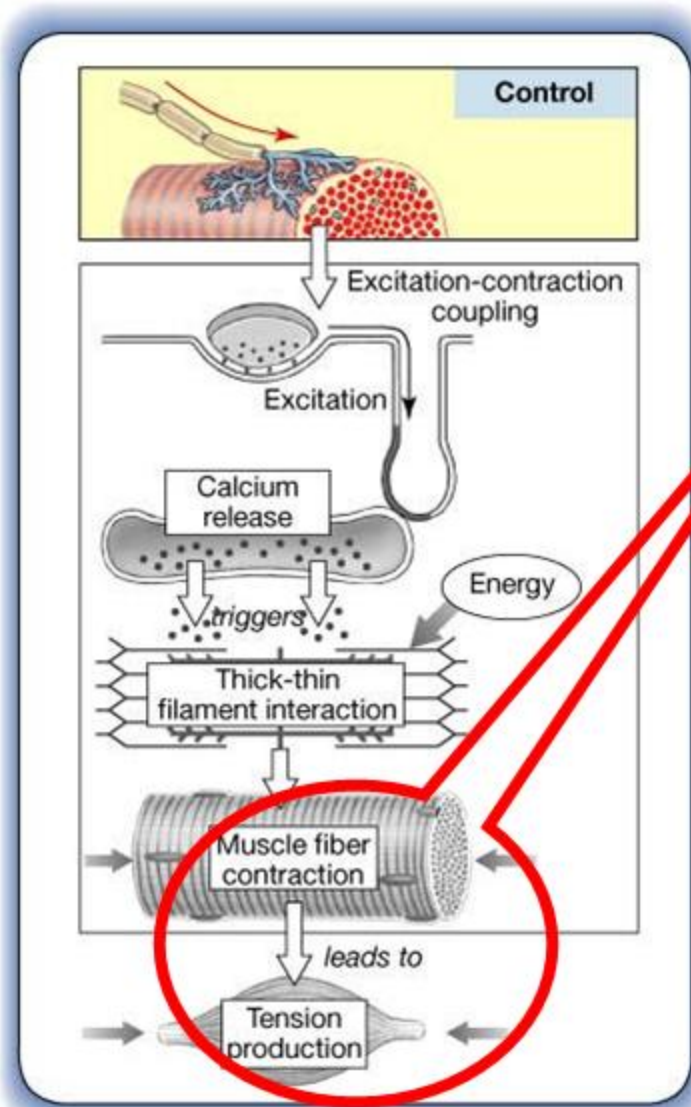


A. Forza muscolare durante l'aumento e la riduzione della frequenza dello stimolo —



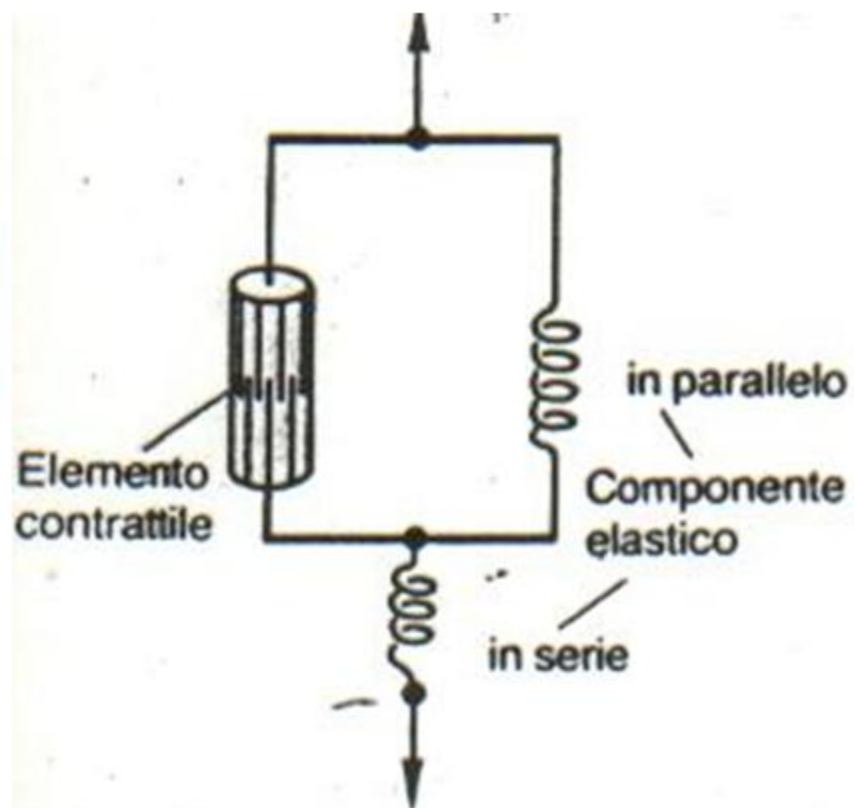
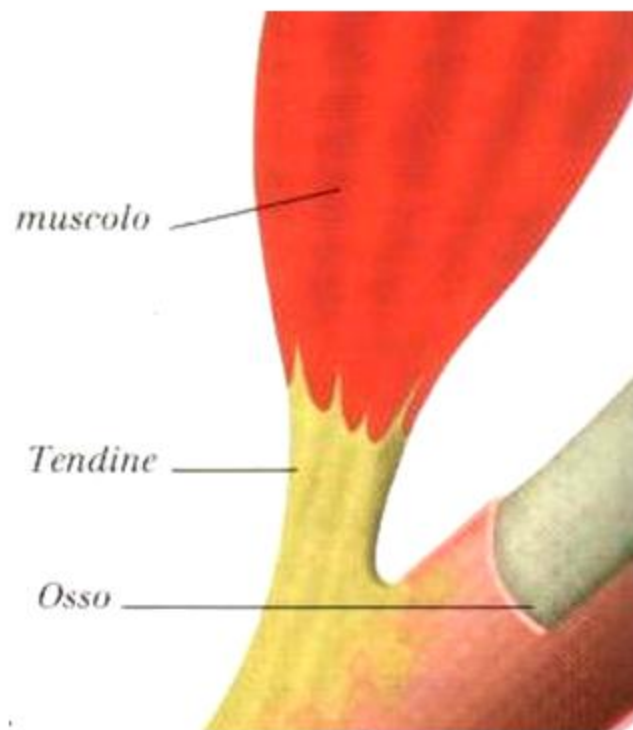
Scossa singola (Twitch): breve contrazione meccanica di una fibra prodotta da un singolo potenziale d'azione a bassa frequenza di stimolo.

Tetano: la somma di scosse singole che si verifica ad alta frequenza di stimolo.

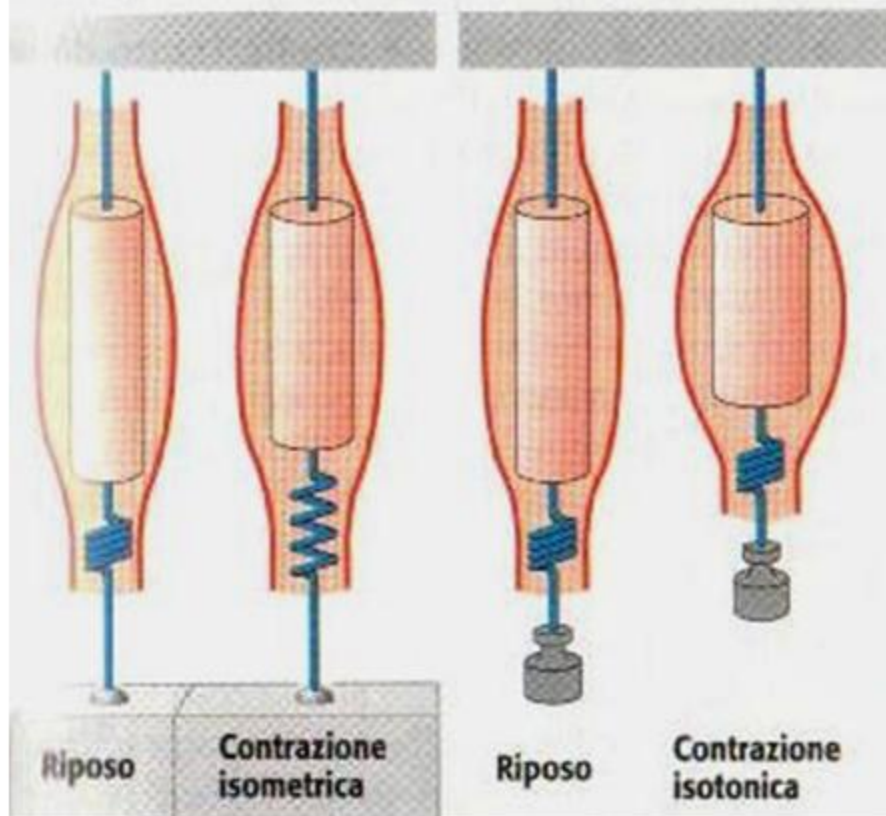


Aspetti biomeccanici della contrazione muscolare:

Dalla contrazione muscolare al
lavoro meccanico



B. Tipi di contrazione



Tensione e carico (load)

- La forza esercitata da un muscolo in contrazione su un oggetto è detta **tensione**.
- La forza esercitata da un oggetto (di solito il suo peso) sul muscolo è detta **carico (load)**.
- A seconda del momento della contrazione in cui il carico viene esercitato si distingue **pre-load** e **after-load**.

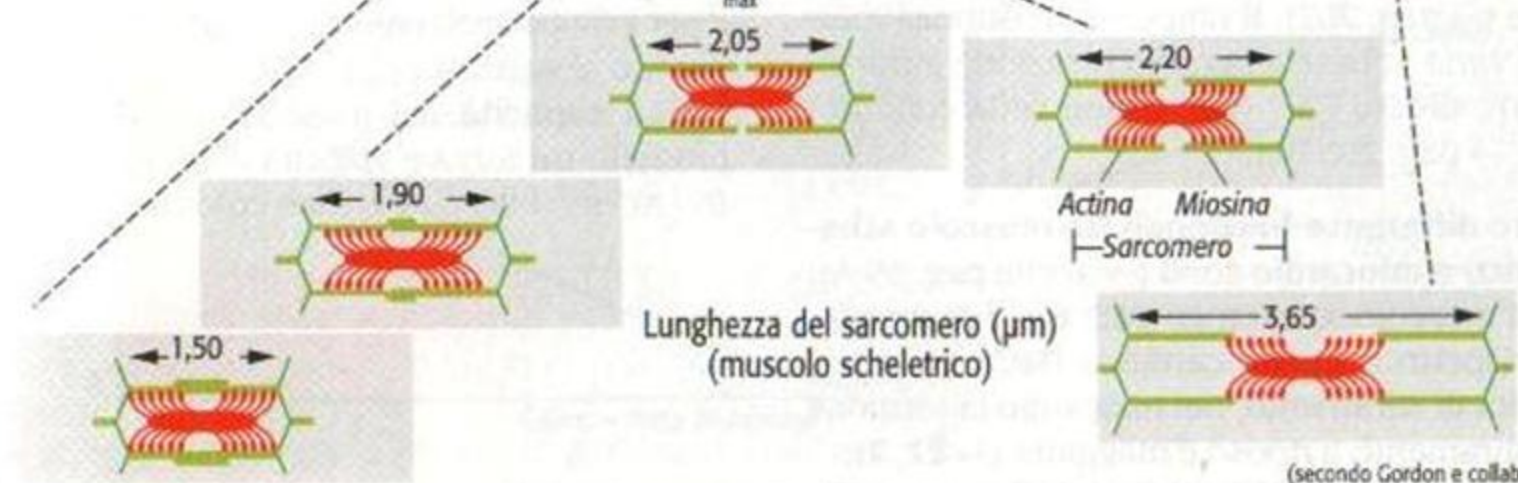
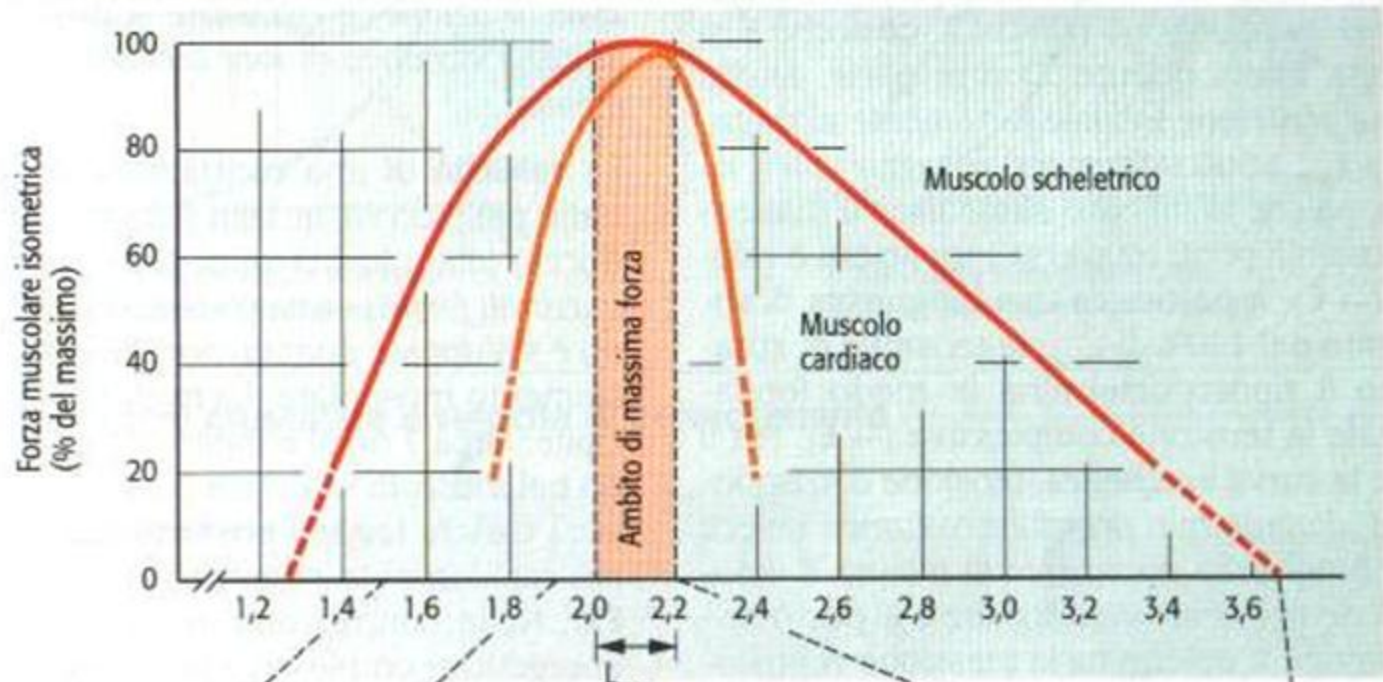
Precarico (preload)

- **Preload** è la forza esercitata sul muscolo prima della sua contrazione.
- Determina la lunghezza iniziale della fibra muscolare cioè la sua lunghezza prima che inizi la contrazione.
- La lunghezza iniziale è direttamente proporzionale al preload.

Postcarico (afterload)

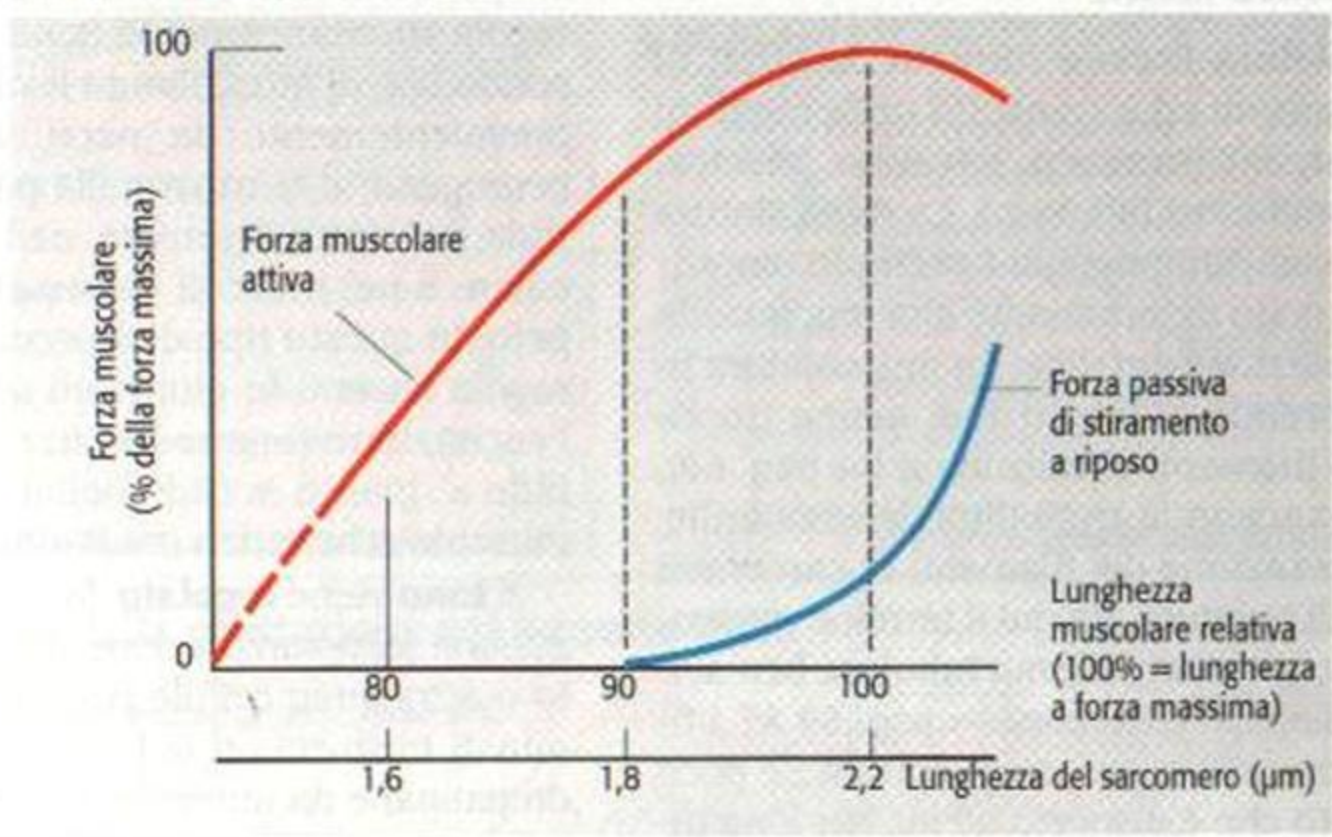
- **Afterload** è la forza esercitata sul muscolo dopo l'inizio della contrazione.
- Si tratta della forza opposta che ostacola la forza prodotta dalla contrazione muscolare.
- Non cambia la lunghezza iniziale delle fibre.
- Ostacola l'accorciamento della fibra: infatti una parte della forza sviluppata durante la contrazione viene usata per bilanciare l'afterload.

C. Forza muscolare isometrica in base alla lunghezza del sarcomero



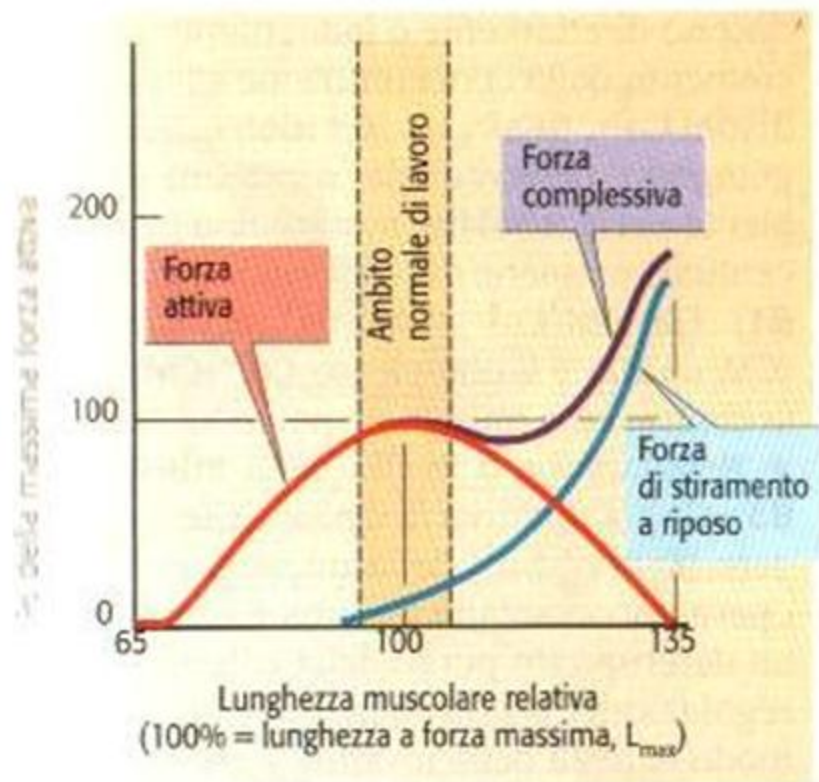
(secondo Gordon e collab.)

D. Componente attiva e passiva della forza muscolare (muscolo scheletrico) —

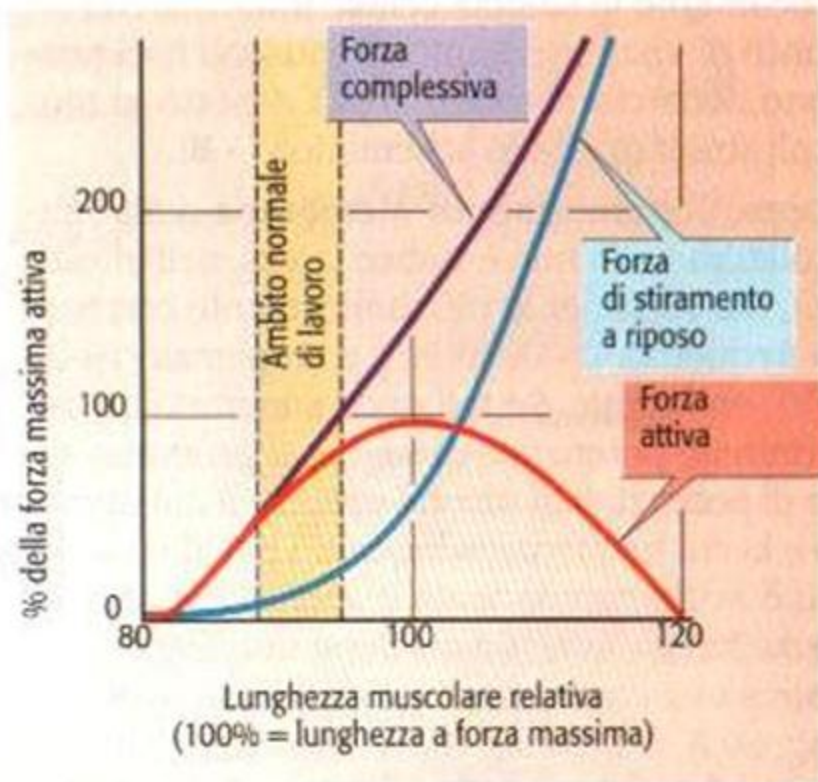


E. Curve lunghezza/forza nel muscolo scheletrico e cardiaco

1 Muscolo striato



2 Muscolo cardiaco



Modulazione della contrazione

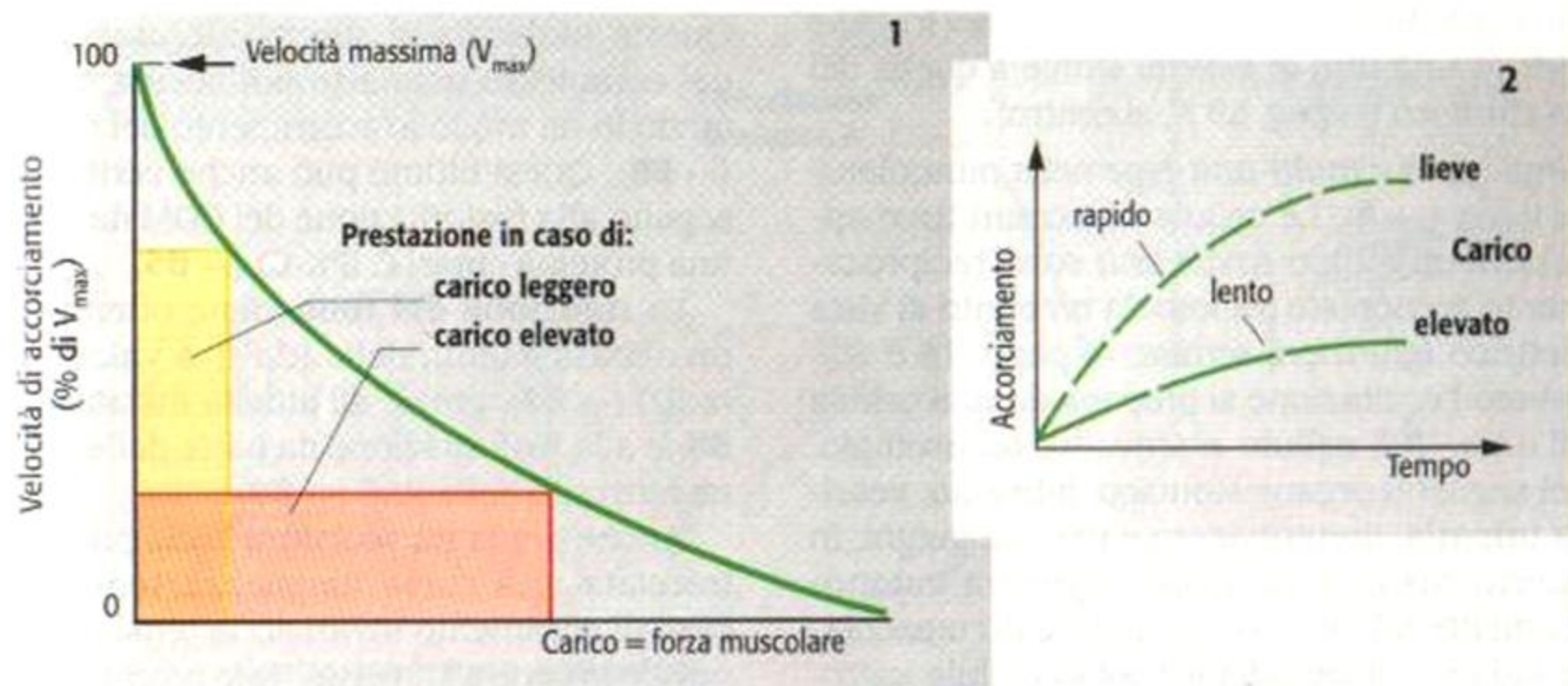
- scossa, clone, tetano (ma la maggior parte delle contrazioni in vivo sono tetaniche)
- reclutamento (recruitment) di diverso numero di unità motorie
- lunghezza iniziale (diagramma forza-lunghezza)
- riflesso di stiramento
- condizioni metaboliche

Tono muscolare: contrazione continua, debole (ma tetanica) di alcune o più fibre muscolari. E' il punto di partenza di una contrazione più forte

Flaccidità = tono muscolare abnormemente basso, come nella paralisi

Spasticità = tono muscolare abnormemente alto, come nel parkinsonismo

F. Forza (e carico) muscolare e velocità di accorciamento



Potenza del muscolo

Il muscolo sviluppa la massima potenza
($W=L/t$) dove il prodotto tra forza (P) e
velocità (v) è massimo ($W=Fv$)

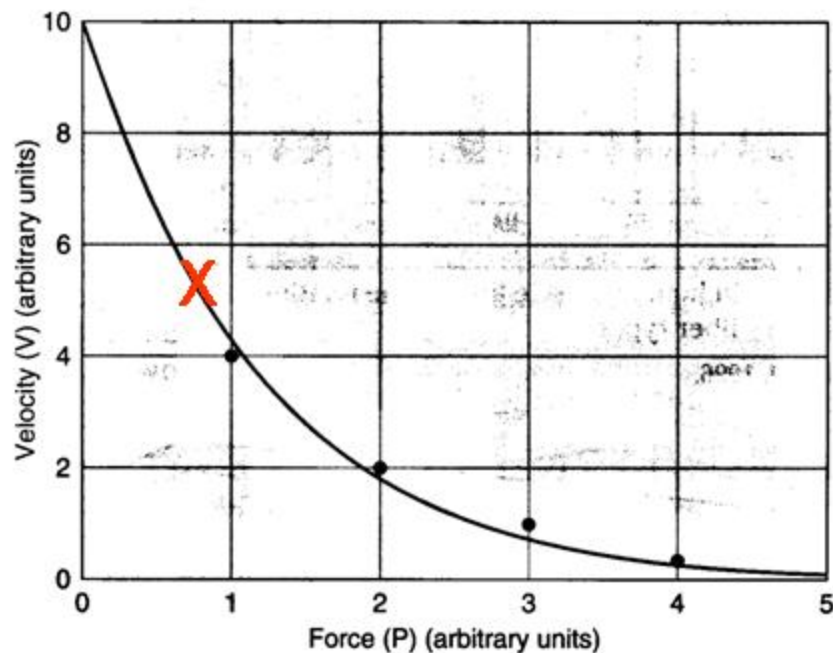


Figure 1.10 Force-velocity curve. The points fall along a rectangular hyperbola with the relationship $(P + a)(V + b) = C$.

Reprinted from Wohlfart and Edman 1994.

Tipi di fibre muscolari:

Lente, da durata, a metabolismo aerobico

Veloci, per contrazioni rapide e potenti,
a metabolismo prevalentemente anaerobico

Tipo I (muscolo rosso) = ossidativa lenta;

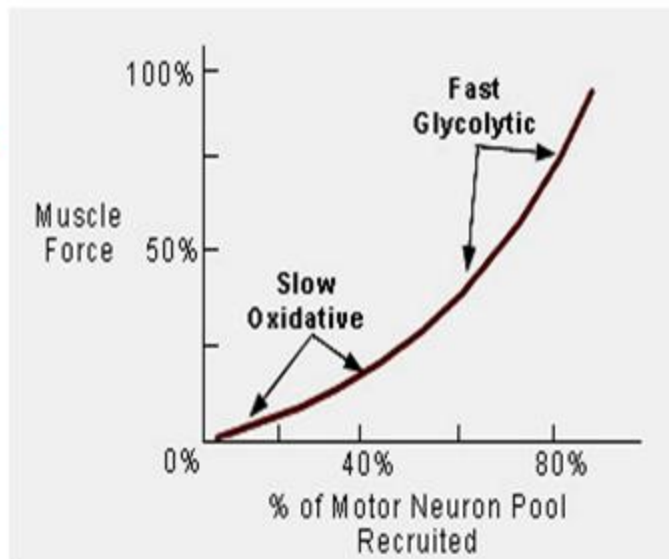
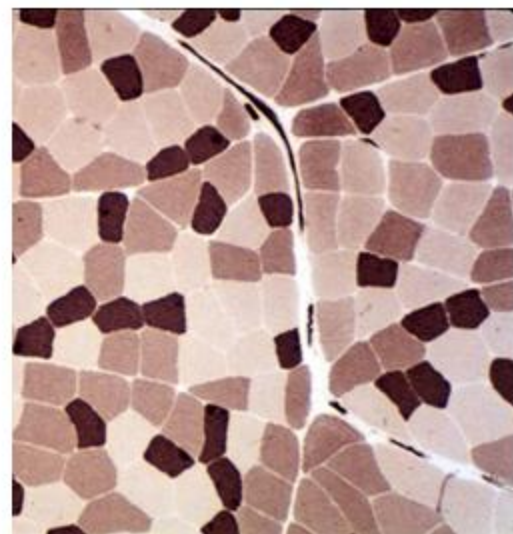
- muscoli posturali (soleo);
- lenti, efficienti, resistenti alla fatica;
- molti capillari; molta mioglobina

Tipo IIa (muscolo rosso) = ossidativa veloce.

- Caratteristiche intermedie di velocità,
resistenza alla fatica, capillari e mioglobina
(gastrocnemio)

Tipo IIb (muscolo bianco) = veloce glicolitica

- metabolismo anaerobico (mm.occhi e dita);
- elevato contenuto di glicogeno;
- veloce ma affaticabile;
contrazioni brevi e potenti.



Muscolo scheletrico (striato)



Placca motrice

si

Fibre

cilindriche, lunghe (max. 15 cm)

Mitocondri

pochi (dipende dal tipo di muscolo)

Nucleo/Fibra

molti

Sarcomero

si, lunghezza max. 3,65 μm

Accoppiamento elettrico

no

Reticolo sarco plasmatico

ben sviluppato

«Interruttore» Ca^{2+}

troponina

Pace-maker

no (necessita di stimolo nervoso)

Risposta allo stimolo

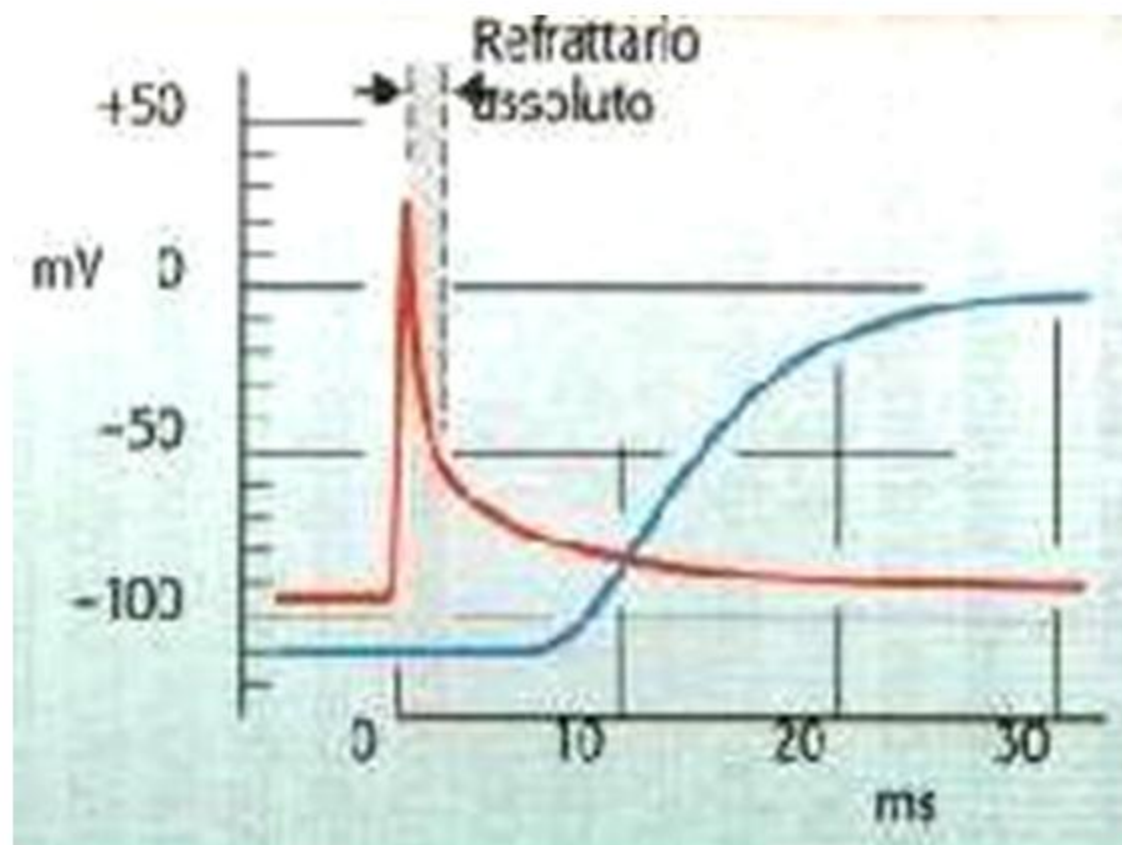
graduale

Tetanizzabile

si

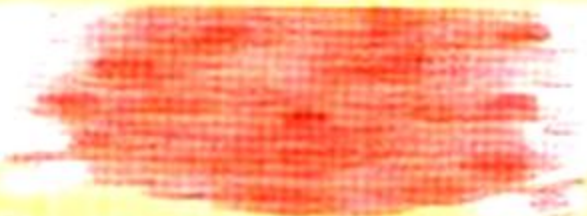
Ambito di lavoro

al massimo della curva forza/
lunghezza (vedi 2.15E)

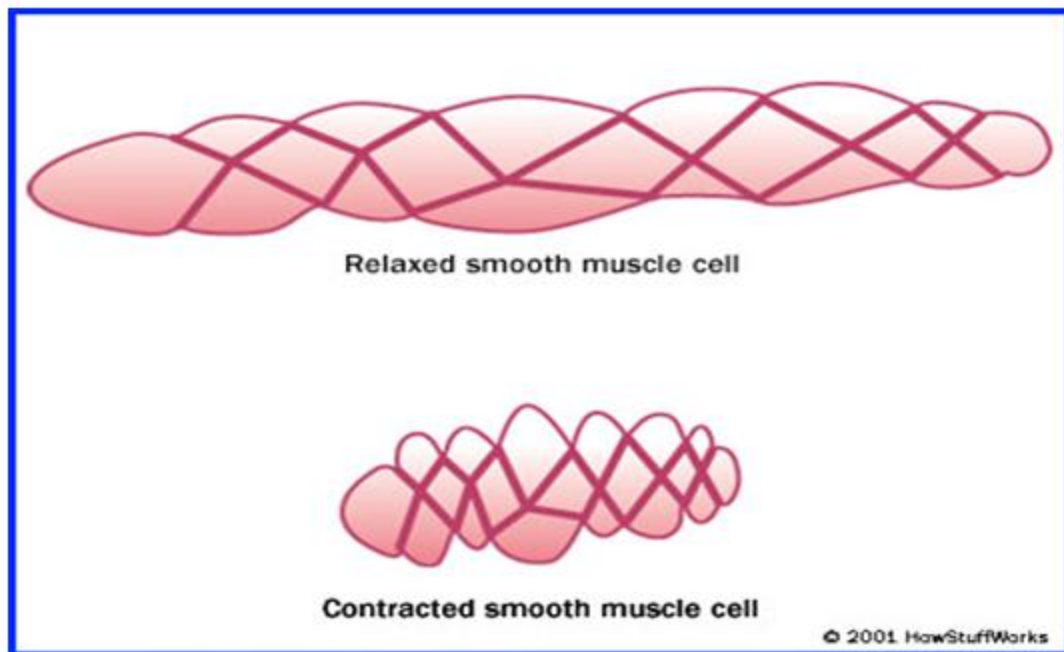


- potenziale
- risposta muscolare

Muscolo liscio

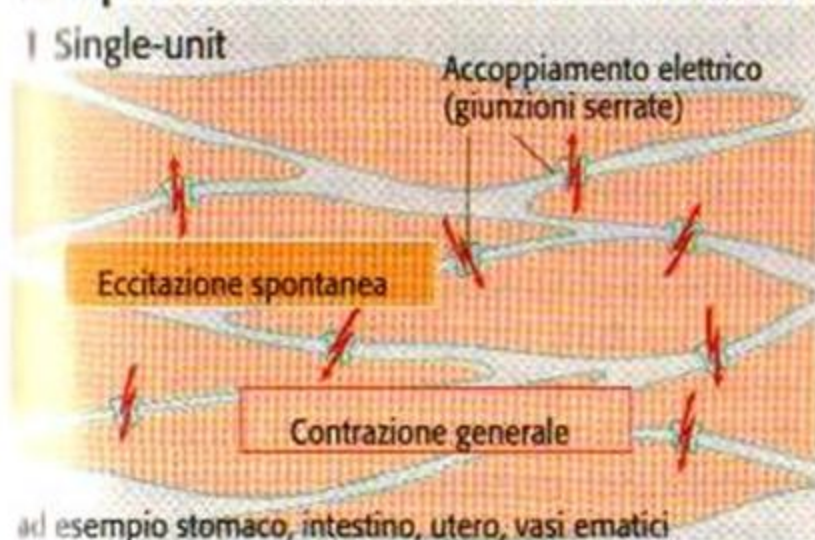


Placca motrice	assente
Fibre	fusiformi, brevi (max. 0,2 mm)
Mitocondri	pochi
Nucleo/Fibra	1
Sarcomero	assenti
Accoppiamento elettrico	in parte (tipo <i>single-unit</i>)
Reticolo sarco plasmatico	poco sviluppato
«Interruttore» Ca^{2+}	calmodulina/caldesmone
<i>Pace-maker</i>	in parte attività ritmica spontanea ($1 s^{-1} - 1 h^{-1}$)
Risposta allo stimolo	Variazione del tono o della frequenza ritmica
Tetanizzabile	si
Ambito di lavoro	Curva forza/lunghezza variabile

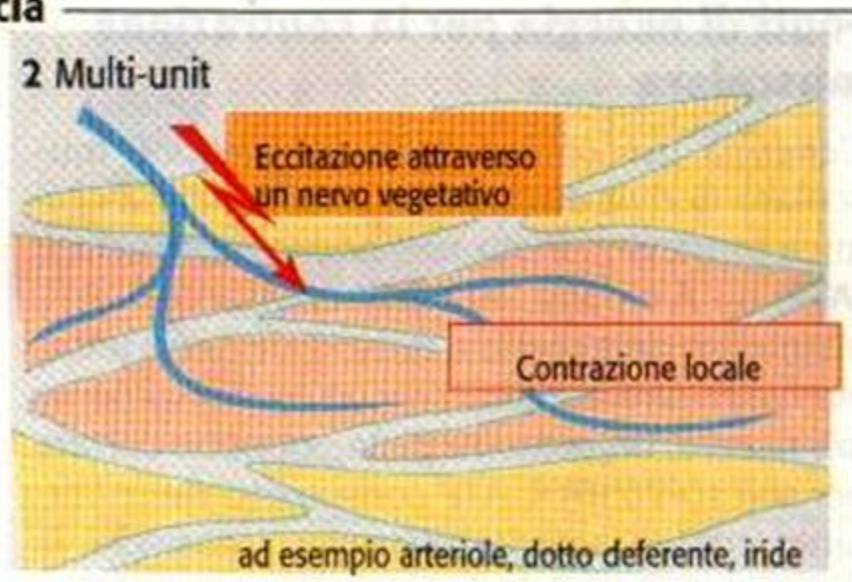


A. Tipi di eccitazione nella muscolatura liscia

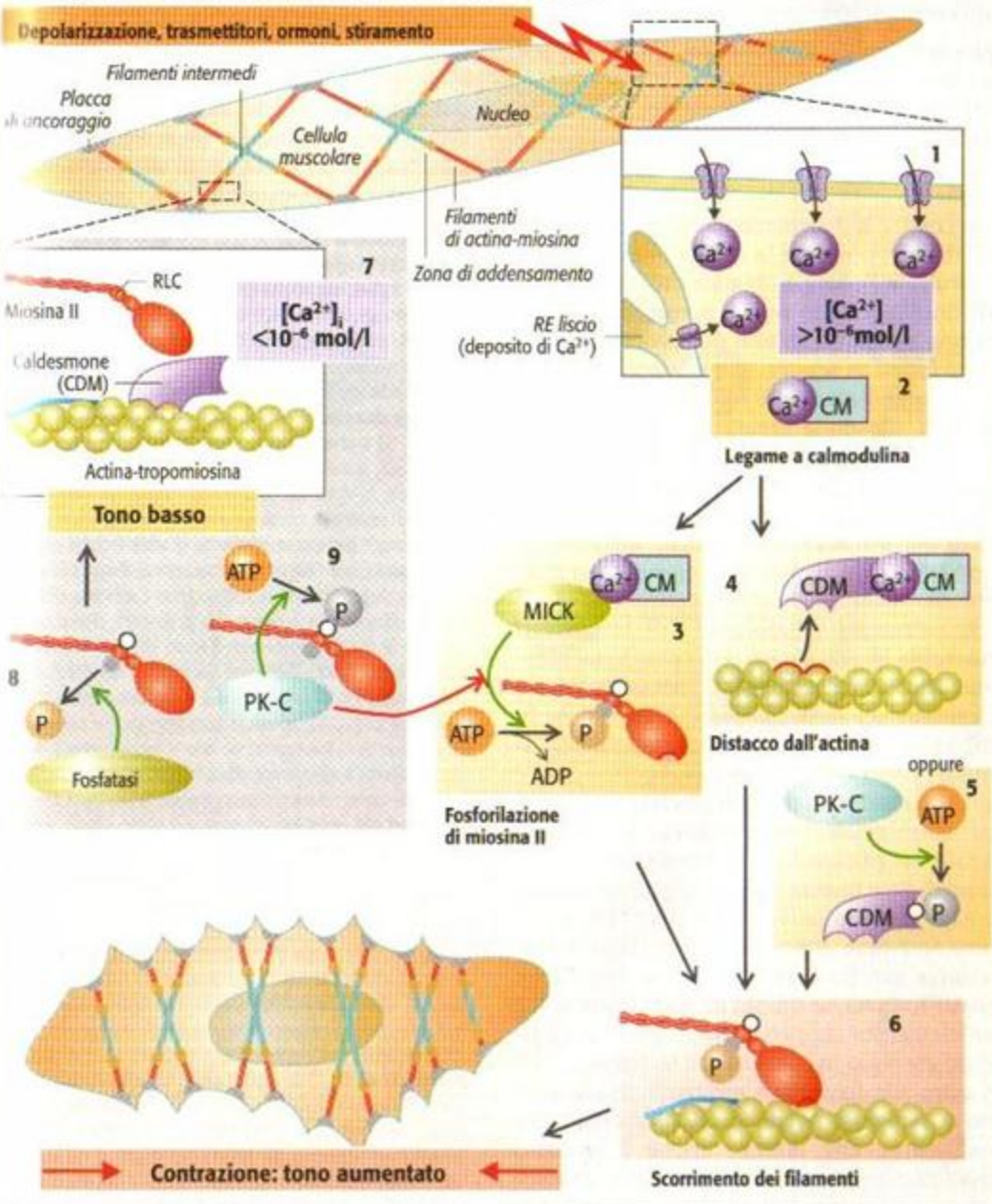
1 Single-unit



2 Multi-unit



B. Regolazione della contrazione nel muscolo liscio



Muscolo cardiaco (striato)



Placca motrice	assente
Fibre	ramificate
Mitocondri	molti
Nucleo/Fibra	1
Sarcomero	si, lunghezza massima 2,6 μm
Accoppiamento elettrico	si (sincizio funzionale)
Reticolo sarco plasmatico	mediamente sviluppato
«Interruttore» Ca^{2+}	troponina
<i>Pace-maker</i>	si (nodo del seno circa 1 s^{-1})
Risposta allo stimolo	«Tutto o nulla»
Tetanizzabile	no
Ambito di lavoro	nel tratto ascendente della curva forza/lunghezza (vedi 2.15E)

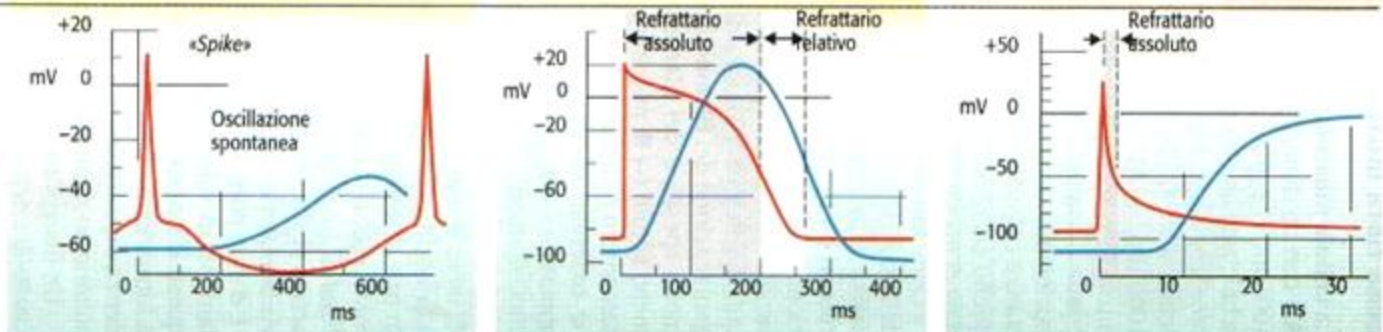
A. Struttura e funzione del muscolo liscio, cardiaco e scheletrico

Struttura e funzione

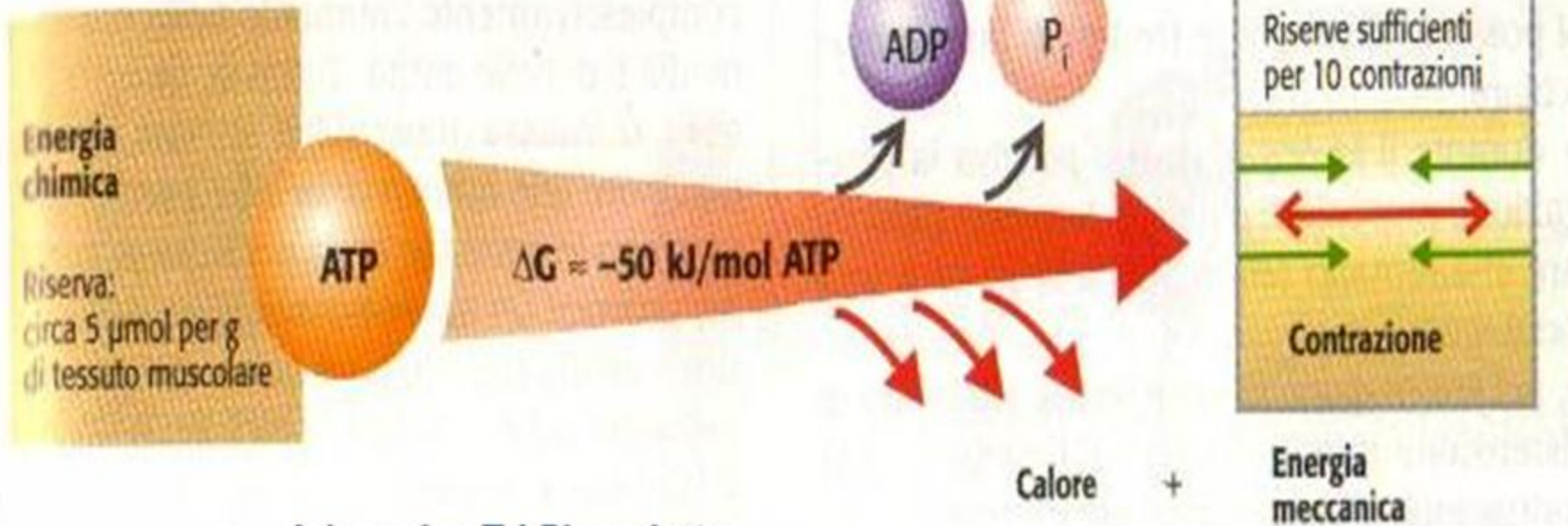
	Muscolo liscio	Muscolo cardiaco (striato)	Muscolo scheletrico (striato)
Placca motrice	assente	assente	si
Fibre	fusiformi, brevi (max. 0,2 mm)	ramificate	cilindriche, lunghe (max. 15 cm)
Mitocondri	pochi	molti	pochi (dipende dal tipo di muscolo)
Nucleo/Fibra	1	1	molti
Sarcomero	assenti	si, lunghezza massima 2,6 μm	si, lunghezza max. 3,65 μm
Accoppiamento elettrico	in parte (tipo <i>single-unit</i>)	si (sincizio funzionale)	no
Reticolo sarco plasmatico	poco sviluppato	mediamente sviluppato	ben sviluppato
«Interruttore» Ca^{2+}	calmodulina/caldesmone	troponina	troponina
Pace-maker	in parte attività ritmica spontanea ($1 \text{ s}^{-1} - 1 \text{ h}^{-1}$)	si (nodo del seno circa 1 s^{-1})	no (necessita di stimolo nervoso)
Risposta allo stimolo	Variazione del tono o della frequenza ritmica	«Tutto o nulla»	graduale
Tetanizzabile	si	no	si
Ambito di lavoro	Curva forza/lunghezza variabile	nel tratto ascendente della curva forza/lunghezza (vedi 2.15E)	al massimo della curva forza/lunghezza (vedi 2.15E)

Risposta allo stimolo

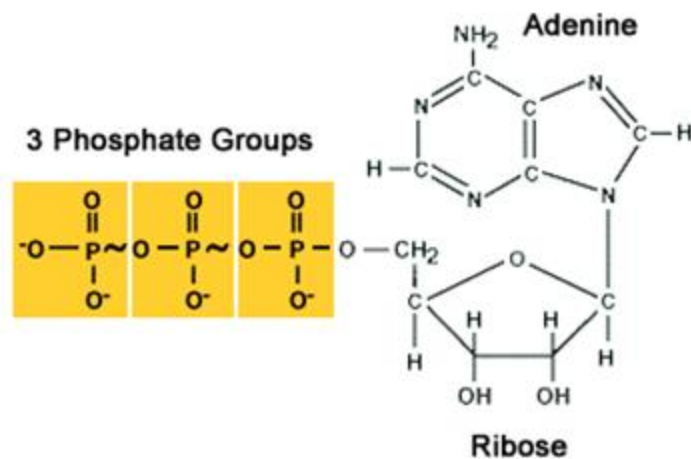
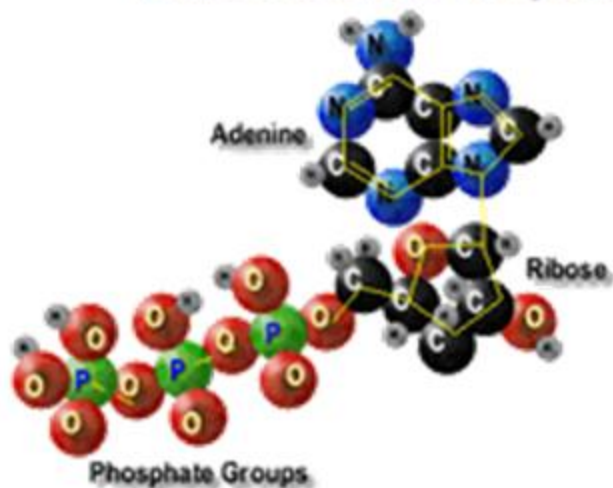
Potenziale —
Tensione muscolare —



A. ATP come fonte diretta di energia



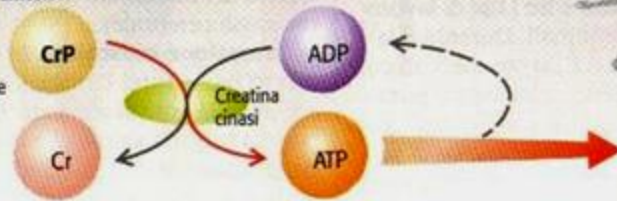
Adenosine Tri-Phosphate



B. Rigenerazione di ATP

1 Scissione di creatinfosfato

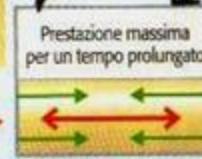
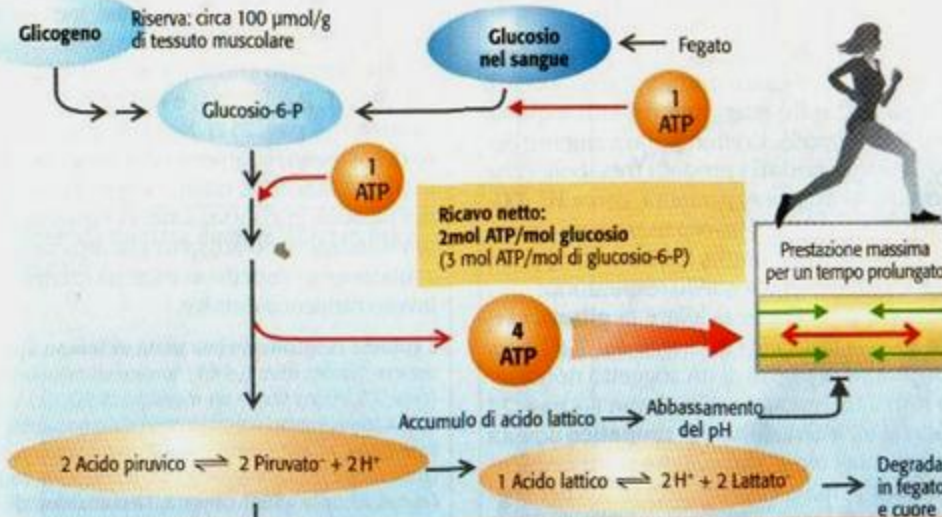
Riserva: circa
25 μmol per g
di tessuto muscolare



2 Glicolisi anaerobia

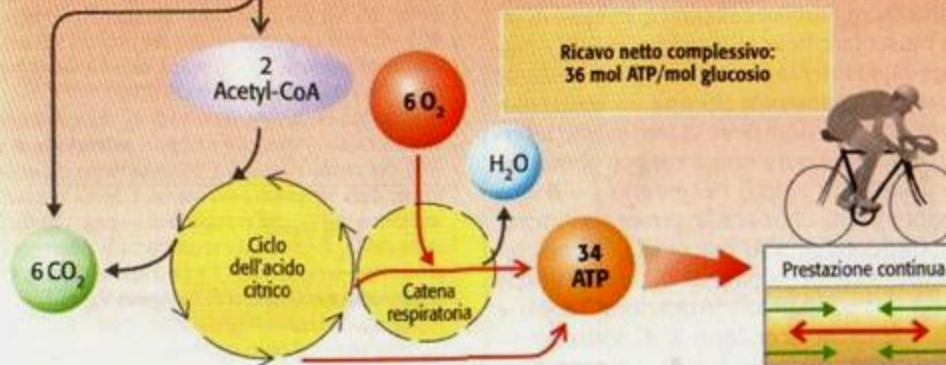
Glicogeno Riserva: circa 100 $\mu\text{mol/g}$
di tessuto muscolare

Anaerobio



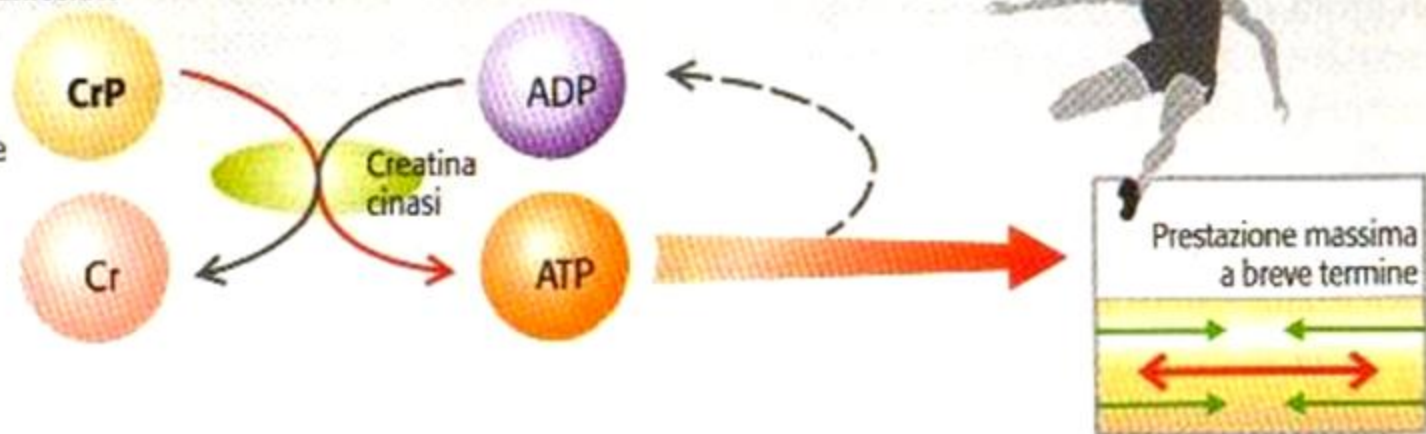
3 Ossidazione del glucosio

Aerobio

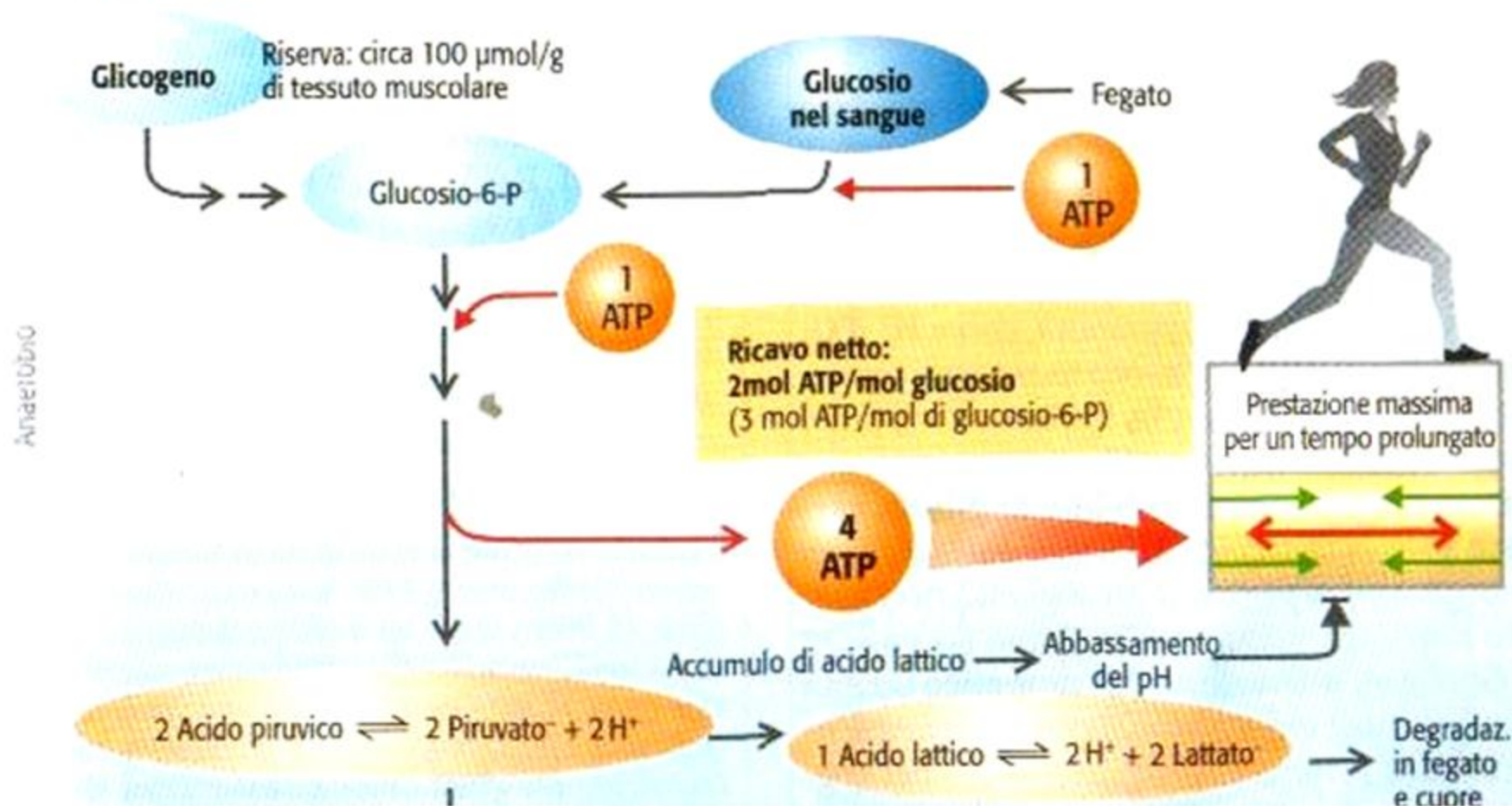


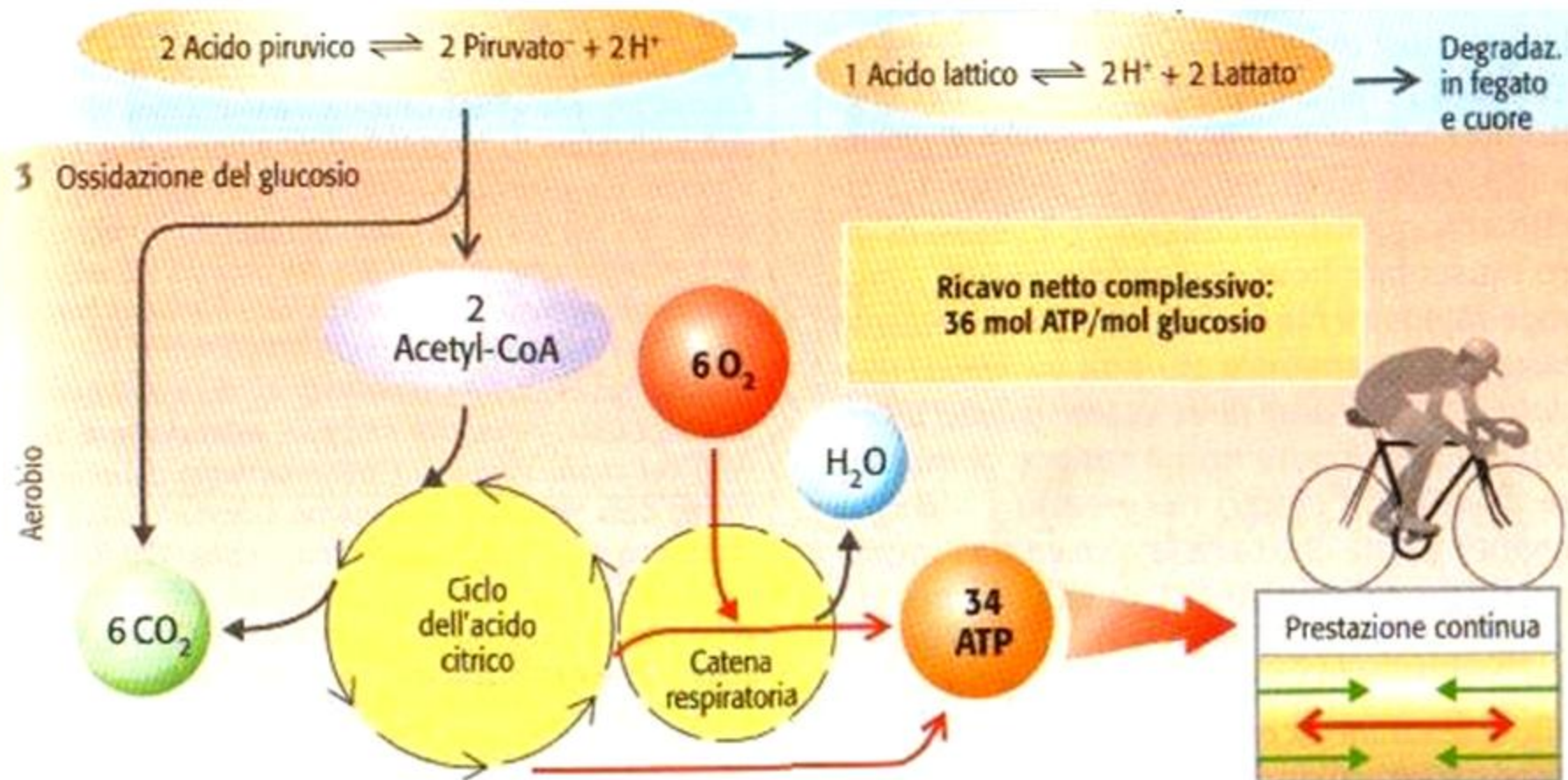
I Scissione di creatinfosfato

Riserva: circa
25 μmol per g
di tessuto muscolare

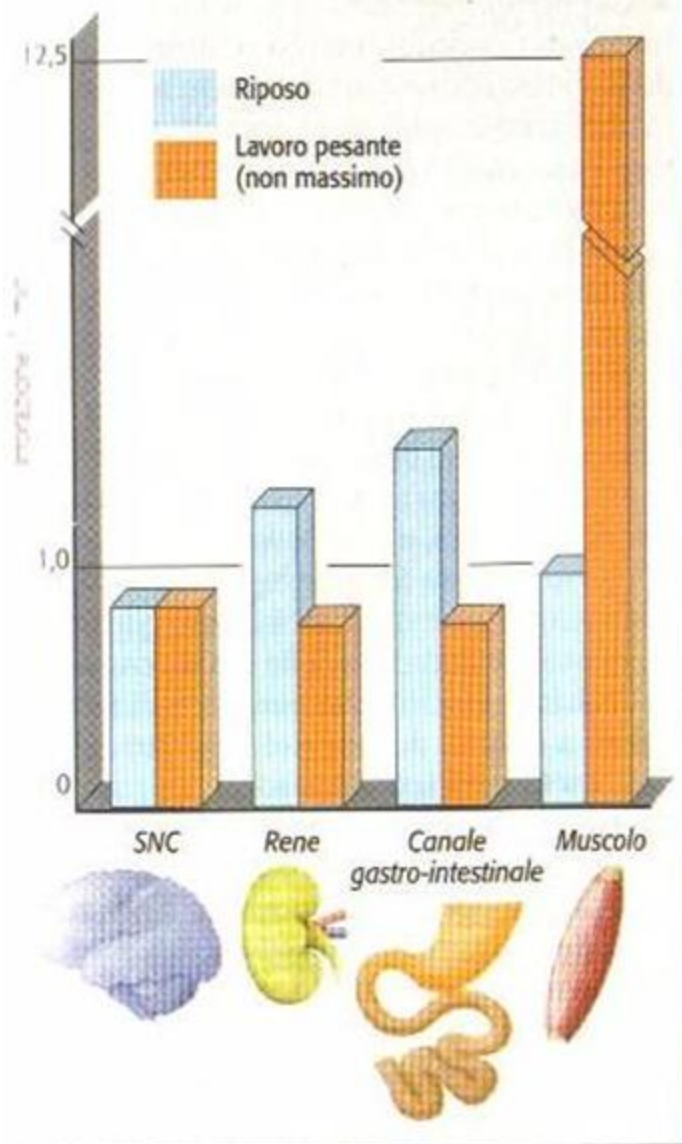


2 Glicolisi anaerobia

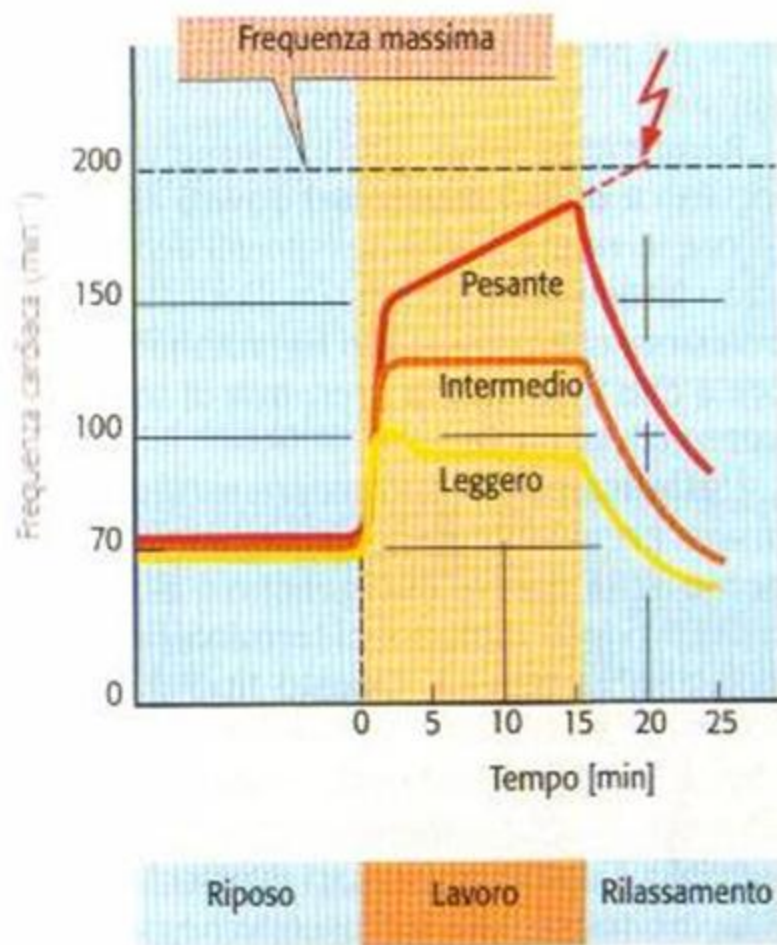


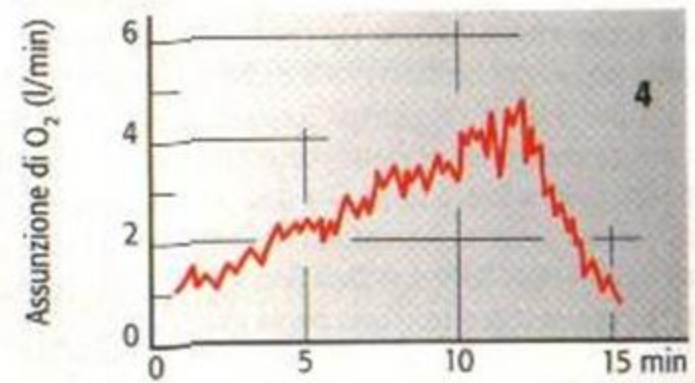
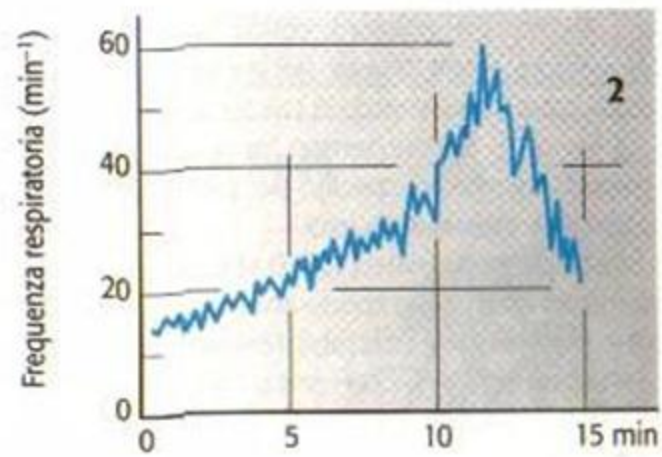
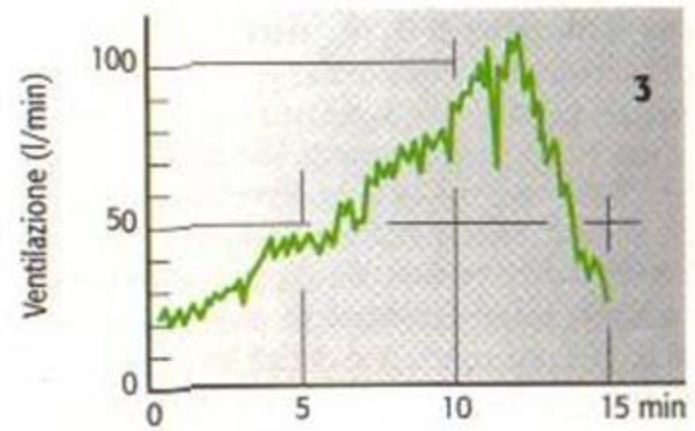
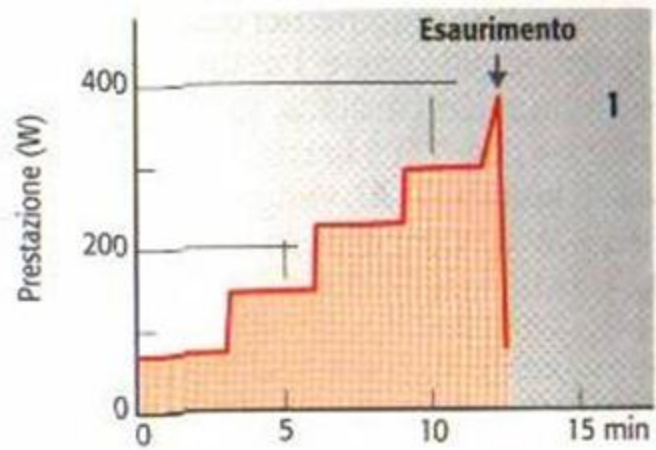


A. Irrorazione a riposo e durante il lavoro fisico

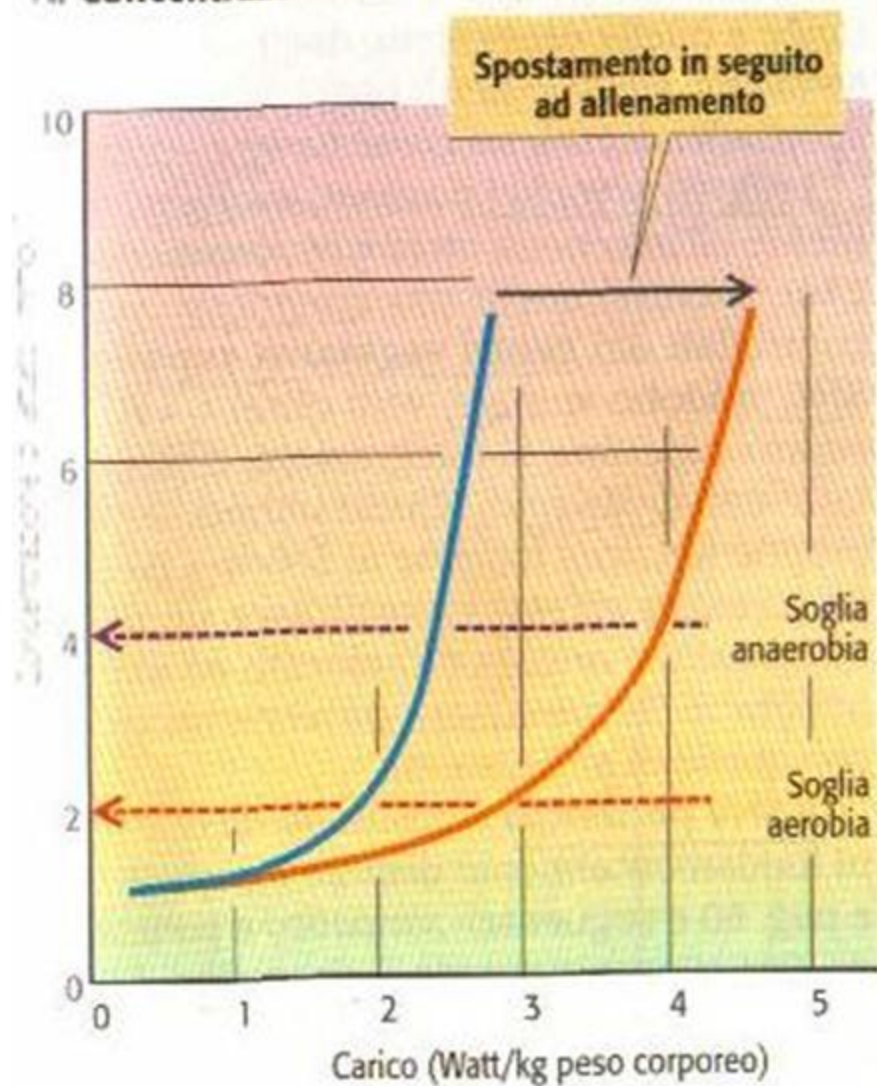


B. Frequenza cardiaca durante il lavoro fisico alternato





A. Concentrazione di lattato durante il lavoro

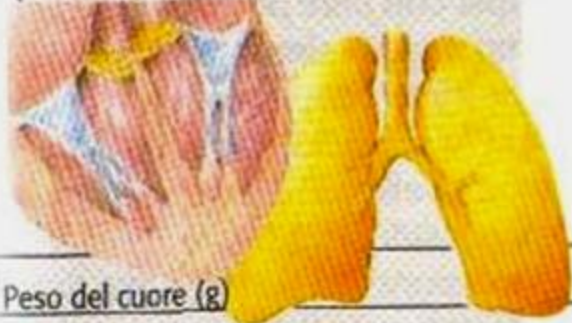


B. Massima assunzione di O₂



C. Confronto tra soggetti non allenati a soggetti con allenamento di fondo

Parametri fisiologici
(2 uomini, 25 anni, 70 kg)



Non allenato



Con allenamento di fondo



	Non allenato		Con allenamento di fondo	
	A riposo	Massimo	A riposo	Massimo
Peso del cuore (g)	300		500	
Volume ematico (l)	5,6		5,9	
Frequenza cardiaca (min ⁻¹)	80	→ → 180	40	→ → 180
Gittata sistolica (ml)	70	→ → 100	140	→ → 190
Gittata cardiaca (l/min)	5,6	→ → 18	5,6	→ → 35
Vol. respiratorio per unità di tempo (l/min)	8,0	→ → 100	8,0	→ → 200
Assunzione di O ₂ (l/min)	0,3	→ → 2,8	0,3	→ → 5,2

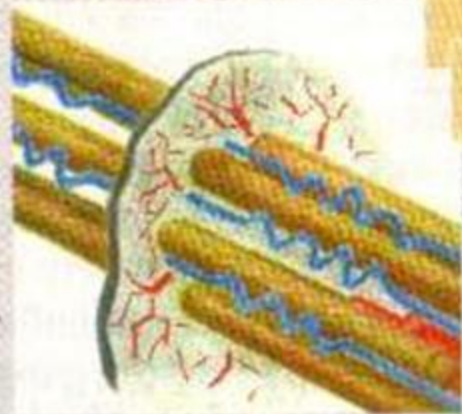
(Dati in parte da H.-J. Ullmer)

D. Dolori muscolari

Prestazione particolarmente elevata di singoli muscoli



Strappi nei dischi Z



Perdita di forza

Diverse ore

Degradazione proteica

Migrazione di acqua

Rigonfiamento

Cattiva irrorazione

Stiramento riflesso

Dolore

