



ASPETTI MECCANICI DELLA CONTRAZIONE MUSCOLARE

FGE aa.2015-16



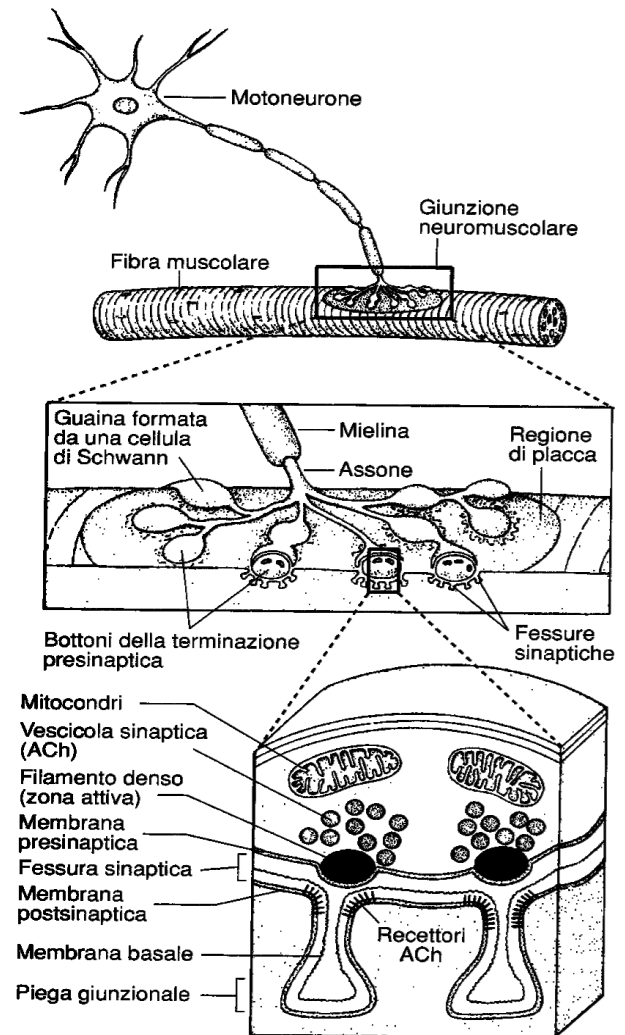
ARGOMENTI

- ◆ INNERVAZIONE DEL MUSCOLO SCHELETRICO
- ◆ PLACCA NEURO MUSCOLARE
- ◆ UNITÀ NEURO MOTORIE
- ◆ TIPI DI CONTRAZIONE
- ◆ SCOSSE SEMPLICI
- ◆ RELAZIONI TENSIONE-LUNGHEZZA E VELOCITÀ-FORZA
- ◆ TETANO MUSCOLARE E FATICA
- ◆ TIPI DI FIBRE MUSCOLARI
- ◆ CENTRI MOTORI DEI MUSCOLI
- ◆ MODULAZIONE DELLA FORZA MUSCOLARE
- ◆ ELETTROMIOGRAFIA

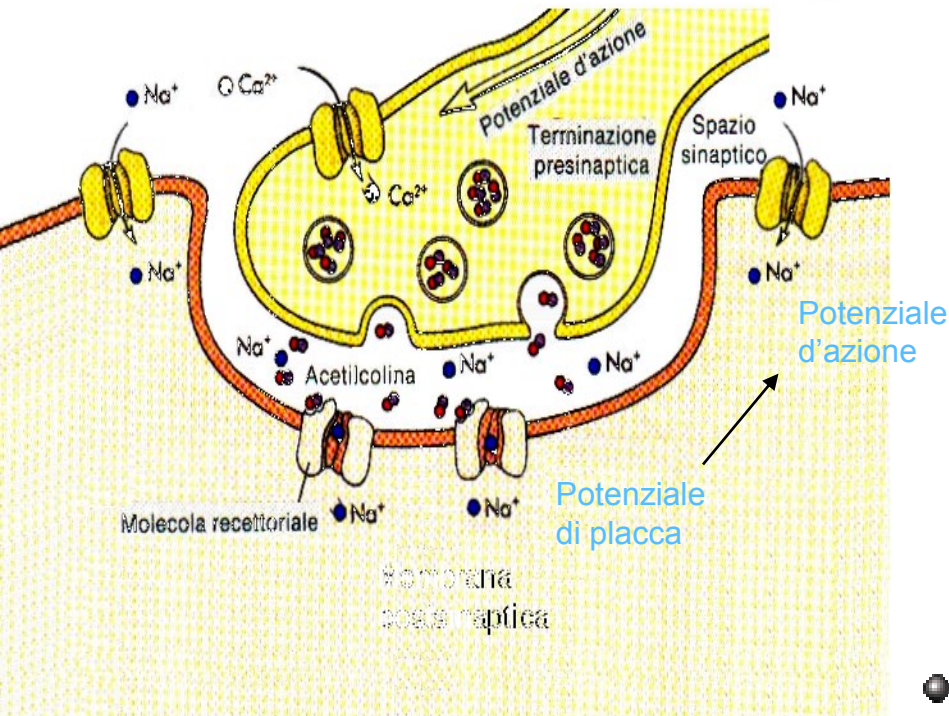
INNERVAZIONE DEL MUSCOLO

● STRUTTURA

- UNA GIUNZIONE PER OGNI FIBRA MUSCOLARE
- TERMINAZIONE PRESINAPTICA RAMIFICATA IN BOTTONI
- ACETILCOLINA COME MEDIATORE
- SPAZIO SINAPTICO DA 50-100 NM
- MEMBRANA POST-SINAPTICA PIEGHETTATA CON UNA SUPERFICIE DI 2000 MM²
- RECETTORI NICOTINICI PER L'ACETILCOLINA



FUNZIONAMENTO DELLA PLACCA NEUROMUSCOLARE



● MECCANISMO

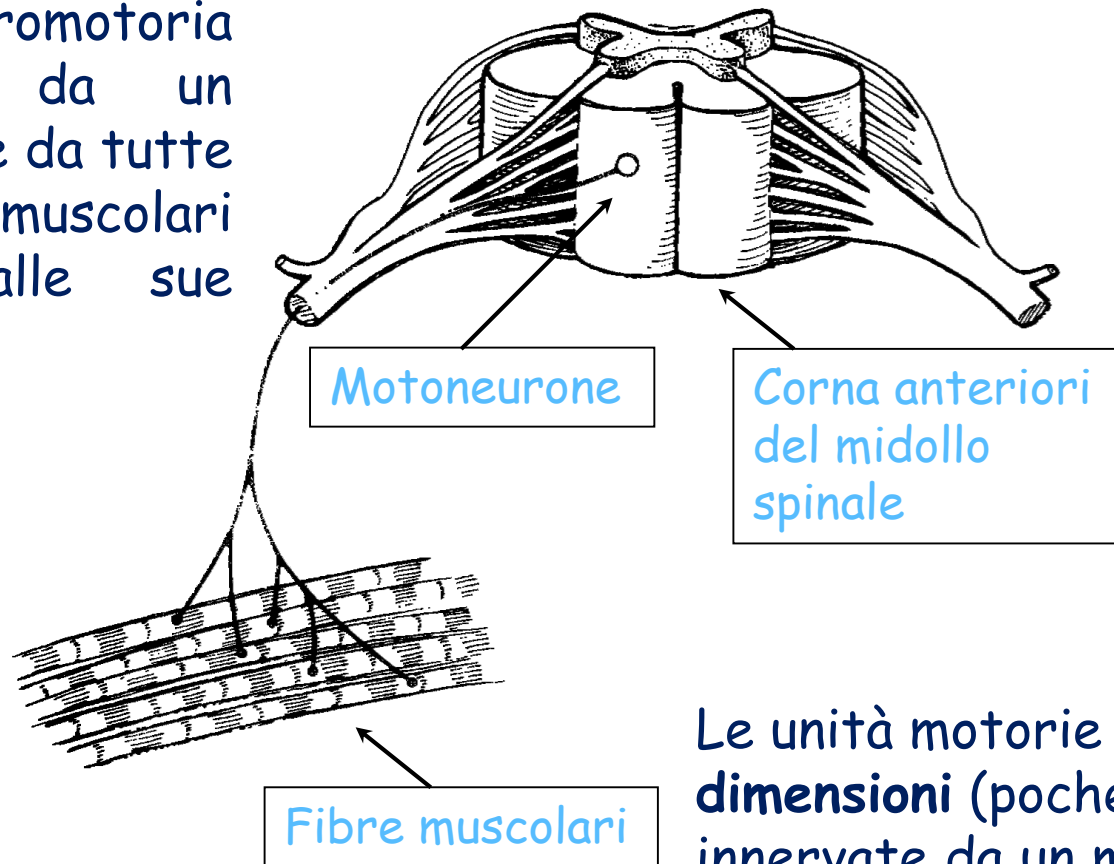
- DEPOLARIZZAZIONE DELLA TERMINAZIONE
- LIBERAZIONE DI ACETILCOLINA
- LEGAME CON IL RECETTORE DELLA MEMBRANA POST-SINAPTICA (POI INATTIVAZIONE)
- APERTURA DEI CANALI POSTSINAPTICI
- FORTE CORRENTE DI Na^+ VERSO L'INTERNO
- POTENZIALE DI PLACCA
- CORRENTI LOCALI VERSO REGIONI PERISINAPTICHE
- INSORGENZA DEL POTENZIALE D'AZIONE

● CARATTERISTICHE

- SEMPRE ECCITATORIA
- MANCANZA DI SOMMAZIONE
- SICUREZZA DELLA TRASMISSIONE

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)

TIPI DI CONTRAZIONE

Isometrica

Lunghezza costante
Massima forza

Isotonica

Lunghezza variabile
Forza costante

Concentrica

Accorciamento
Forza attiva

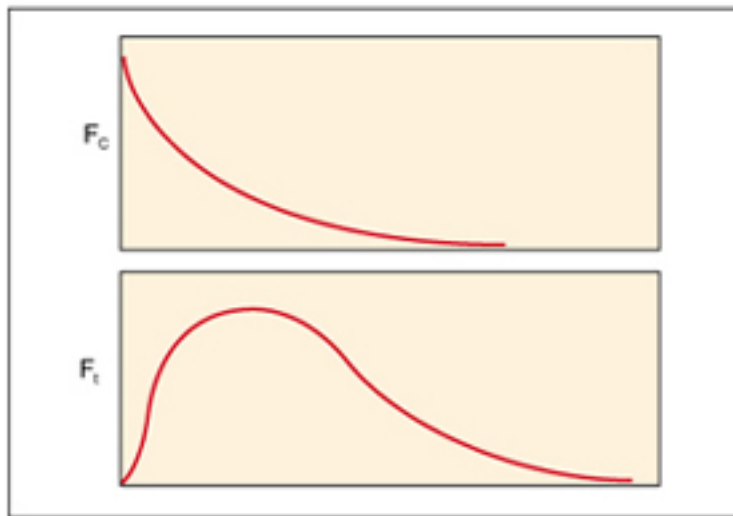
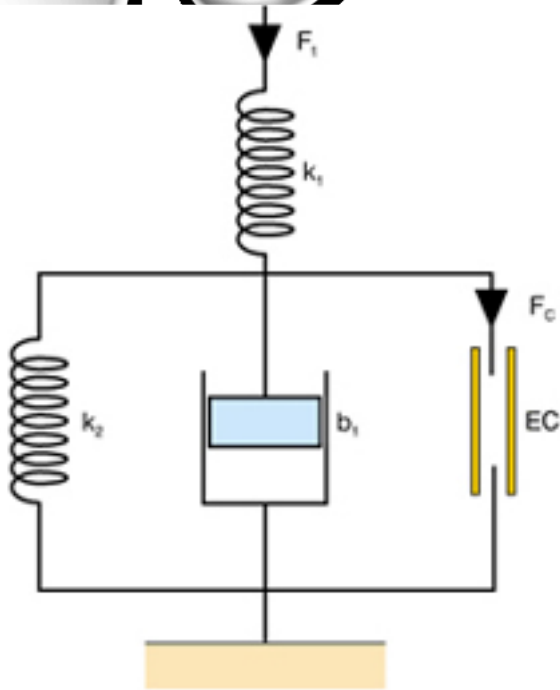
Eccentrica

Allungamento
Forza resistiva

Isocinetica

Velocità costante
Carico variabile

MODELLO MECCANICO MUSCOLARE



- EC: ELEMENTI CONTRATTILI
- K1: ELEMENTI ELASTICI IN SERIE
- K2: ELEMENTI ELASTICI IN PARALLELO
- B1: ELEMENTI VISCOSI IN PARALLELO
- FC: FORZA SVILUPPATA DAGLI EC
- FT: FORZA MISURATA AL CAPO DEL TENDINE

I DETERMINANTI DELLE PRESTAZIONI MECCANICHE DEL MUSCOLO

FORZA (N)

1. Caratteristiche delle fibre muscolari
2. Caratteristiche delle unità motorie
3. Caratteristiche dell'unità muscolo tendinea

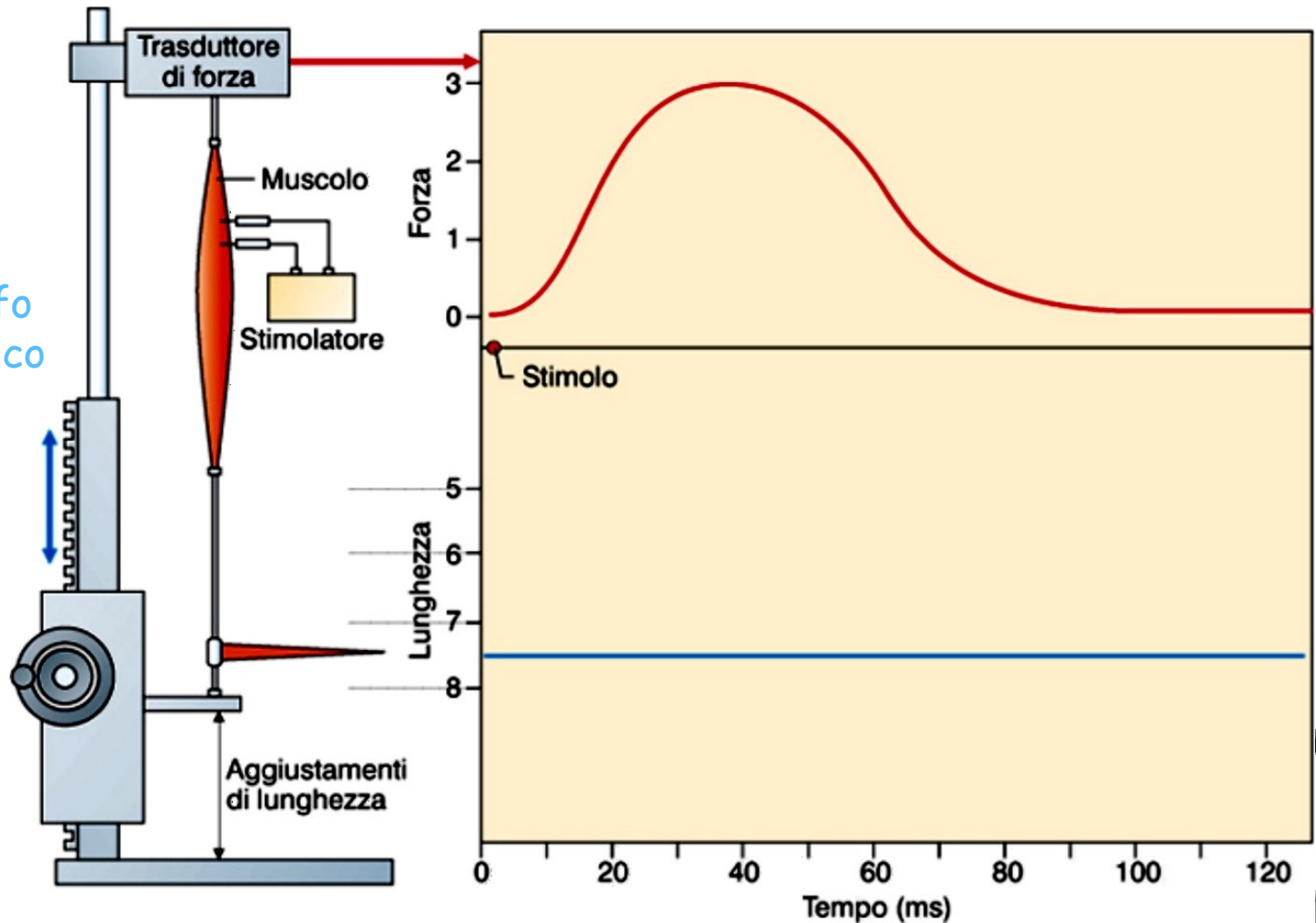
Velocità (m/s)

1. Velocità con la quale avviene l'interazione tra actina e miosina
 - Carico applicato
 - Attività ATPasica
 - Massima forza isometrica sviluppata

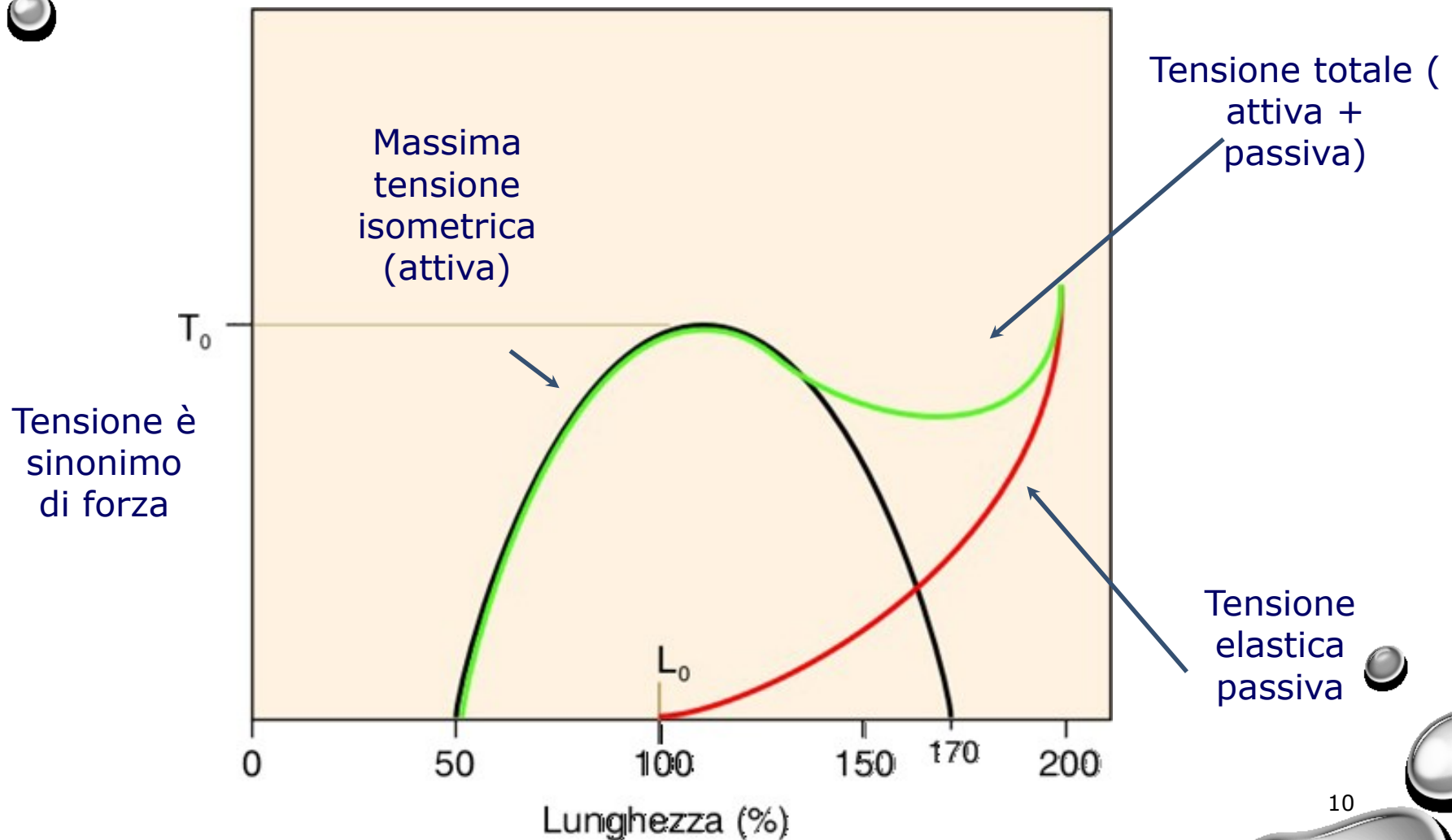
$$\text{Potenza (W)} = \text{Forza} \times \text{Velocità}$$

SCOSSA MUSCOLARE SEMPLICE ISOMETRICA

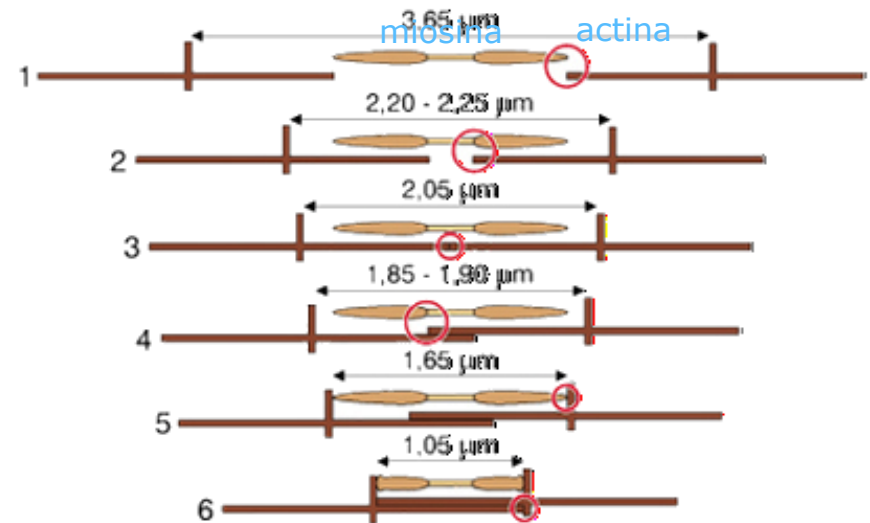
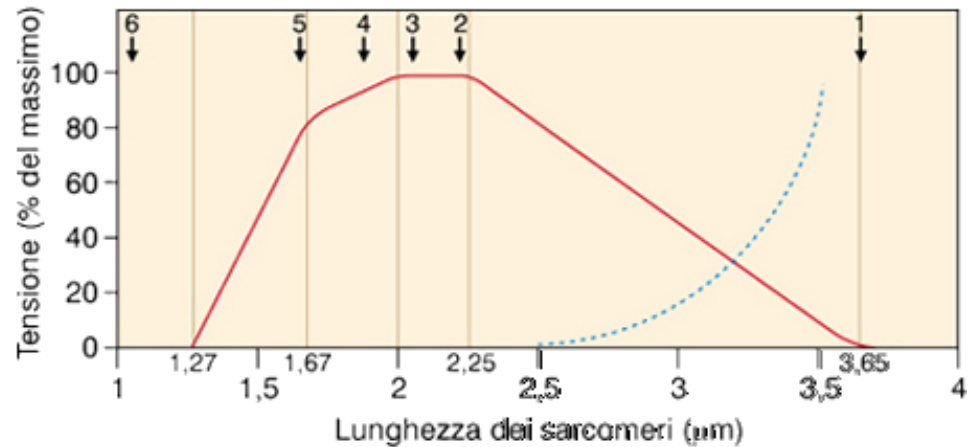
Miografo
isometrico



RELAZIONE TENSIONE - LUNGHEZZA



SPIEGAZIONE DELLA CURVA TENSIONE-LUNGHEZZA



1. Nessuna sovrapposizione

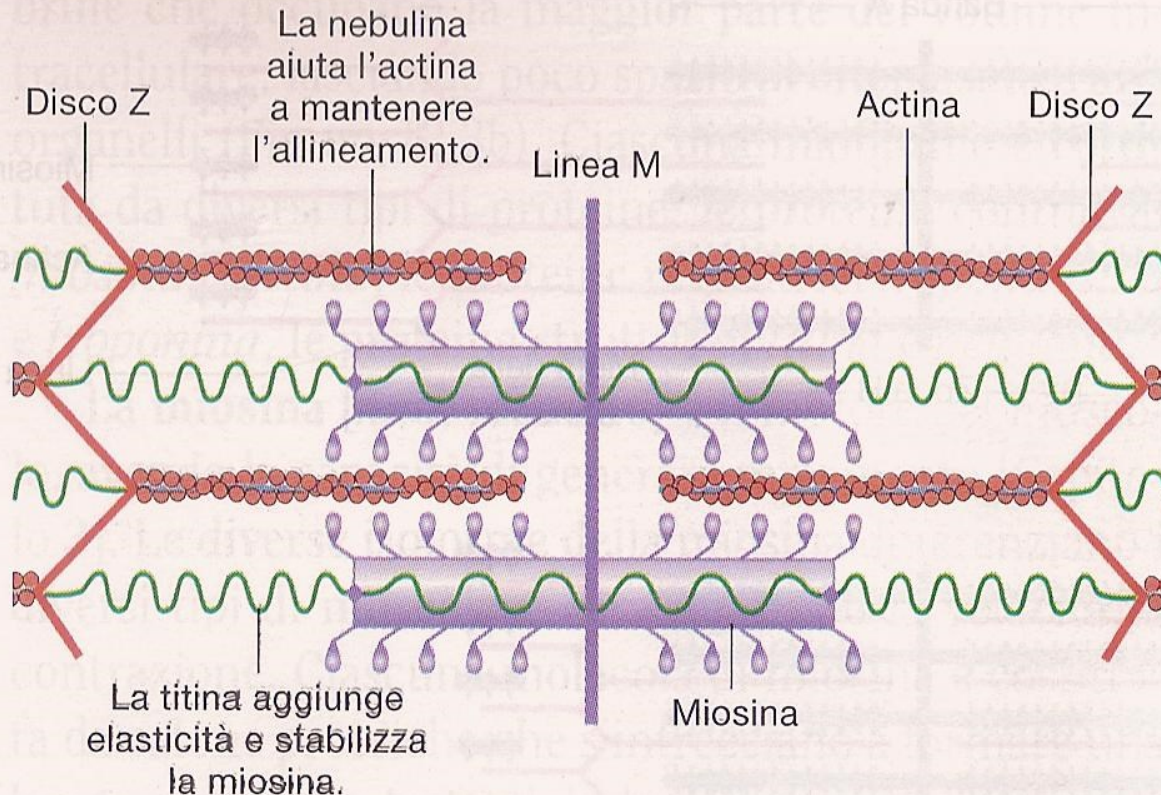
2-3. Sovrapposizione ottimale

4-6. Doppia sovrapposizione



TITINA E NEBULINA

Titina e nebulina sono proteine accessorie giganti. La titina si estende dalla linea Z alla linea M successiva. La nebulina percorre tutto il filamento sottile, è attaccata a una linea Z, ma non raggiunge la linea M.



**TITINA ENORME
PROTEINA ELASTICA:**

**STABILIZZA LA
POSIZIONE DEI
FILAMENTI
CONTRATTILI**

**CONSENTE IL RITORNO
DEL MUSCOLO ALLA
LUNGHEZZA INIZIALE
DOPO LO STIRAMENTO**

**NEBULINA È
ANELASTICA:**

**FAVORISCE
L'ALLINEAMENTO
DELL'ACTINA NEL
SARCOMERO**

DETERMINANTI DELLA FORZA MUSCOLARE ISOMETRICA

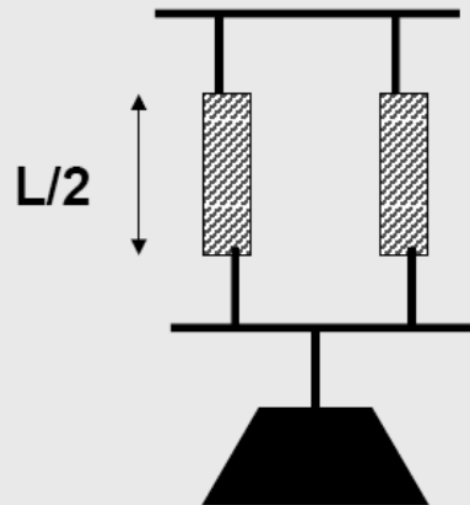
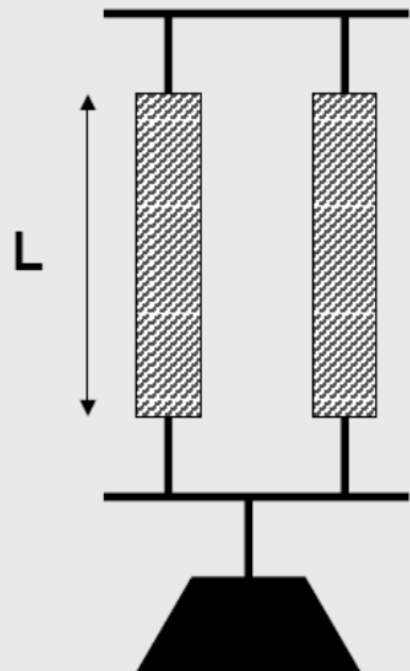
(SINGOLA FIBRA MUSCOLARE)

- LA FORZA ISOMETRICA DIPENDE DAL **NUMERO DI PONTI** TRA ACTINA E MIOSINA.

A SUA VOLTA, IL NUMERO DI PONTI DIPENDE DA:

- *DIAMETRO DELLA FIBRA*
 - (INFLUENZA IL NUMERO DI MIOFIBRILLE E QUINDI IL NUMERO DI SARCOMERI IN PARALLELO)
- *LUNGHEZZA DEI SARCOMERI*
- *QUANTITÀ DI CALCIO CHE SI LEGA ALLA TROPONINA*
- *TIPO DI MIOSINA*

ELEMENTI IN SERIE ED ELEMENTI IN PARALLELO



IN PARALLELO

$$\Delta L_{\text{tot}} = \Delta L_i$$

$$F_{\text{tot}} = F_1 + F_2$$

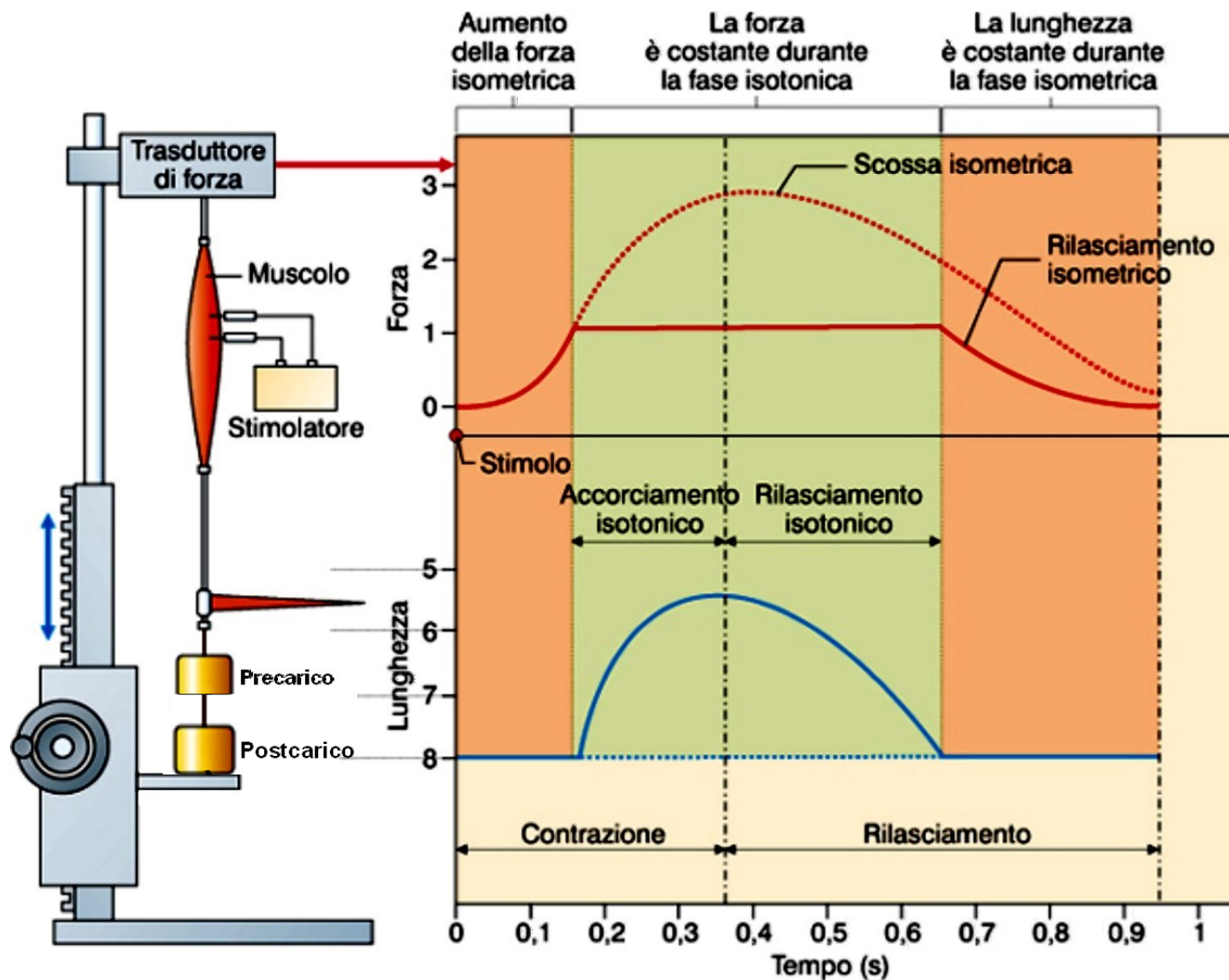
(quindi F va normalizzata
dividendola per la superficie di
sezione)

QUANTITÀ DI CALCIO CHE SI LEGA ALLA TROPONINA

- DIPENDE DALLA QUANTITÀ DI CALCIO LIBERATA DAL RETICOLO SARCOPLASMATICO
- *CONCENTRAZIONE DI CALCIO LIBERO RAGGIUNTA NEL CITOPLASMA*
- DALL'AFFINITÀ DELLA TROPONINA C PER IL CALCIO
- *DAL TEMPO DURANTE IL QUALE LA CONCENTRAZIONE DI CALCI NEL CITOPLASMA RESTA ALTA PRIMA CHE IL CALCIO VENGA RICATTURATO DAL RETICOLO SARCOPLASMATICO*

SCOSSA MUSCOLARE SEMPLICE ISOTONICA

Miografo
isotonico

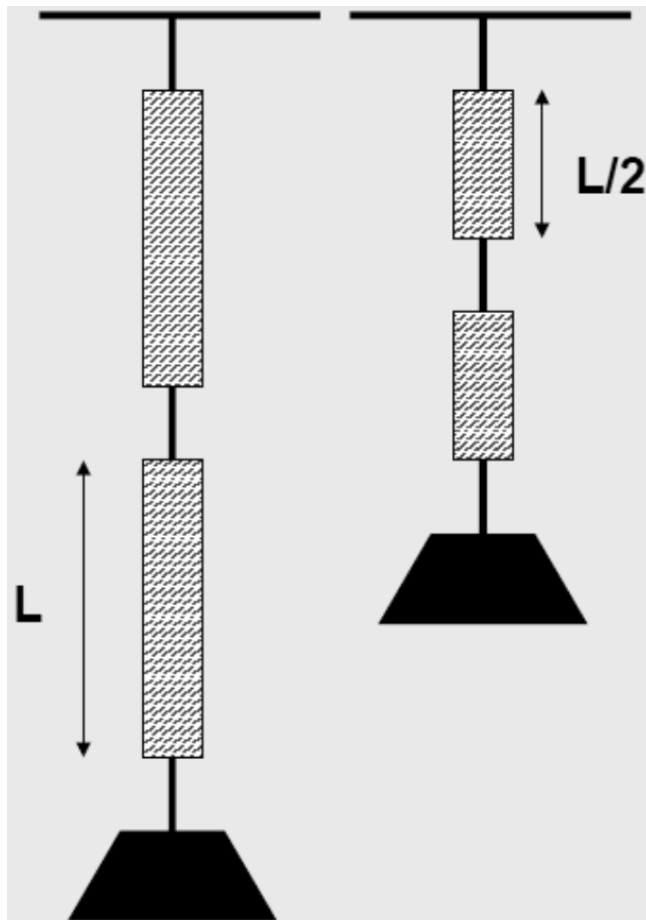


DETERMINATI DELLA VELOCITÀ DI ACCORCIAMENTO

(SINGOLA FIBRA MUSCOLARE)

- DIPENDE DALLA VELOCITÀ DEL CICLO DI INTERAZIONE TRA ACTINA E MIOSINA.
 - ESSA DIPENDE DA:
 - - NUMERO DI SARCOMERI IN SERIE
 - - CARICO APPLICATO (CURVA F - V)
 - - ATTIVITÀ ATPASICA DELLA MIOSINA (TIPI DI MIOSINA)
 - - MASSIMA FORZA ISOMETRICA SVILUPPATA

ELEMENTI IN SERIE ED ELEMENTI IN PARALLELO

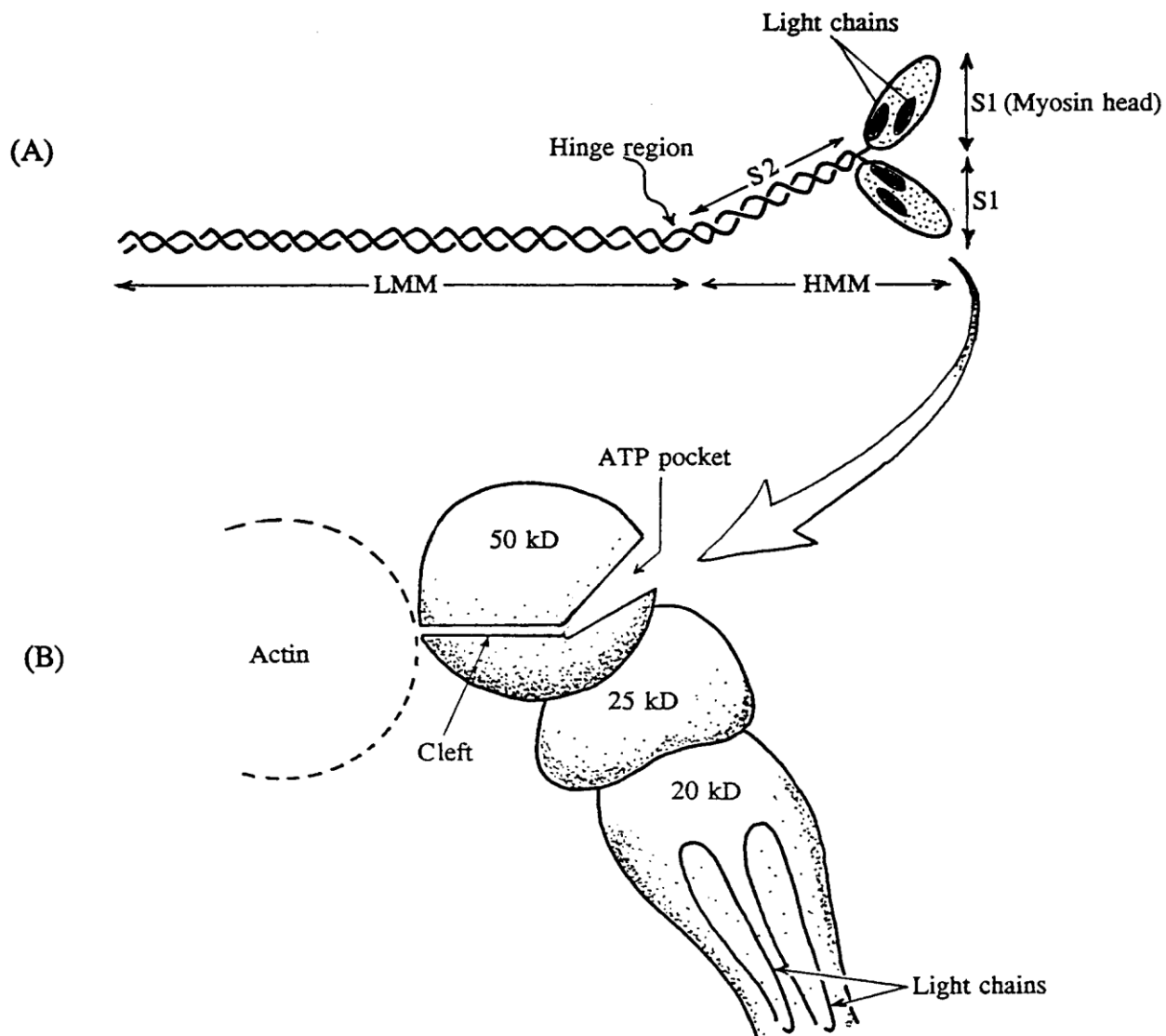


IN SERIE

$$\Delta L_{\text{tot}} = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

$$F_{\text{tot}} = F_1 = F_2$$

$$\Delta L / \Delta t = \Delta L_1 / \Delta t + \Delta L_2 / \Delta t$$



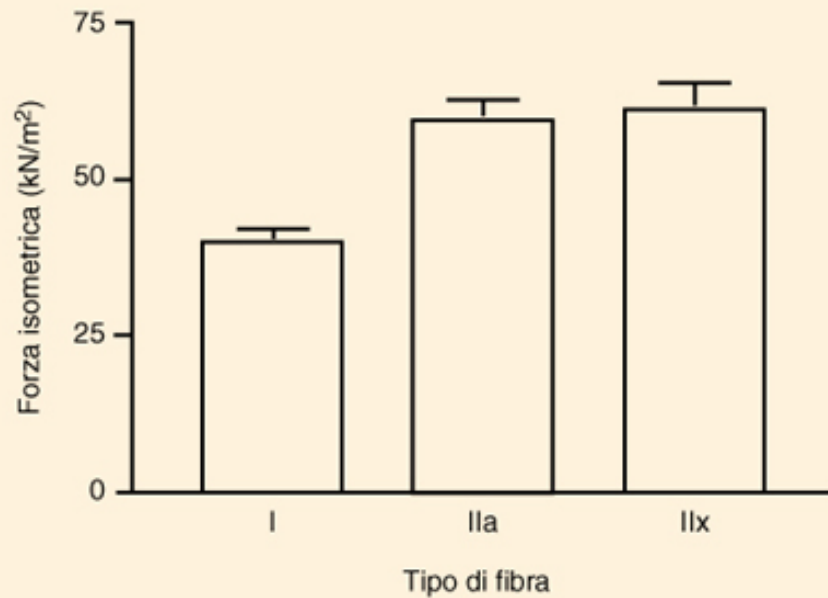
Singolo filamento di Miosina

Figure 11.7 (A) Different components of the myosin molecule. Various proteolytic enzymes cleave the molecule into heavy meromyosin (HMM) and light meromyosin (LMM). The point of cleavage is flexible in the intact molecule (*hinge region*) and serves to bring the cross-bridge to the surface of the myosin filament. The HMM moiety comprises the remainder of the α -helical rod (S2 fragment) and the two globular heads (S1 fragments), to which the light chains are attached. The two globular heads form a cross-bridge. (B) Enlargement of one globular myosin head to show the three components (segments). The 50-kD segment is divided into upper and lower domains by a cleft, the size of which is regulated by the interaction of ATP with its "pocket." Based on Vibert & Cohen (1988) and Rayment et al. (1993).

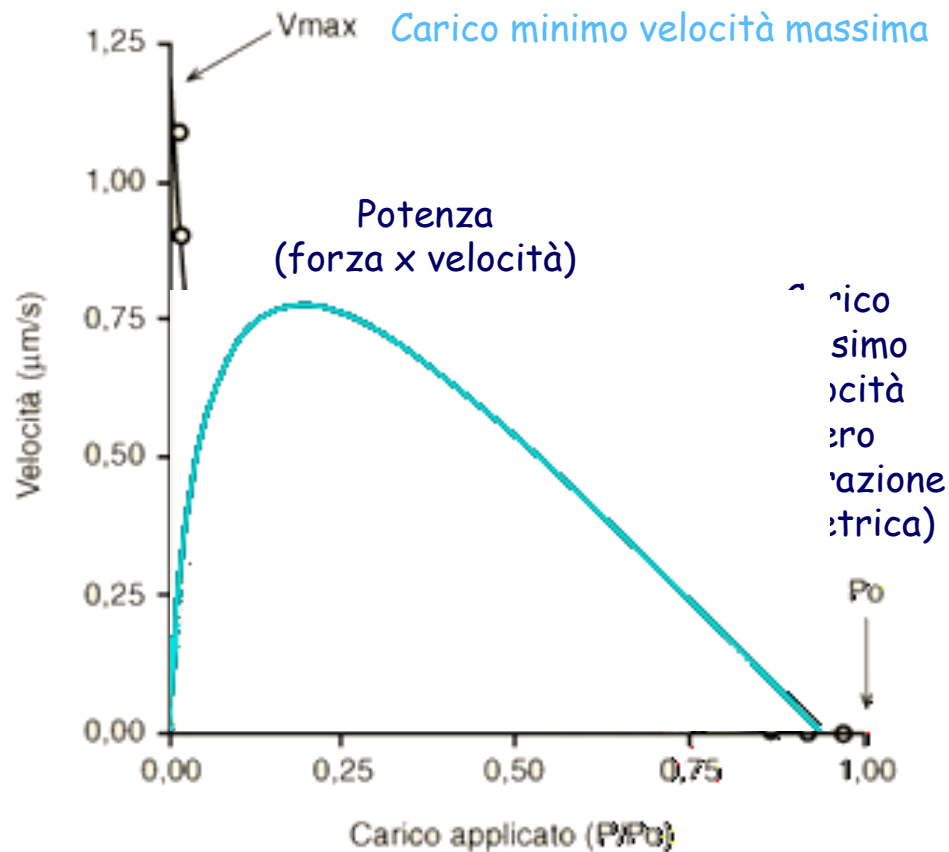
ISOFORME DELLE CATENE PESANTI (MHC)

	<i>Tipo I: lento ossidativo</i>	<i>Tipo IIa: veloce ossidativo</i>	<i>Tipo IIx: veloce glicolitico</i>
Isoforme della miosina	MHC-I	MHC-IIa	MHC-IIx
Capacità della pompa per il Ca^{2+} del reticolo sarcoplasmatico	Moderata	Elevata	Elevata
Diametro (distanza di diffusione)	Medio	Piccolo	Grande
Capacità ossidativa; contenuto di mitocondri; densità dei capillari; mioglobina	Elevata	Molto alta	Bassa
Capacità glicolitica	Moderata	Elevata	Elevata

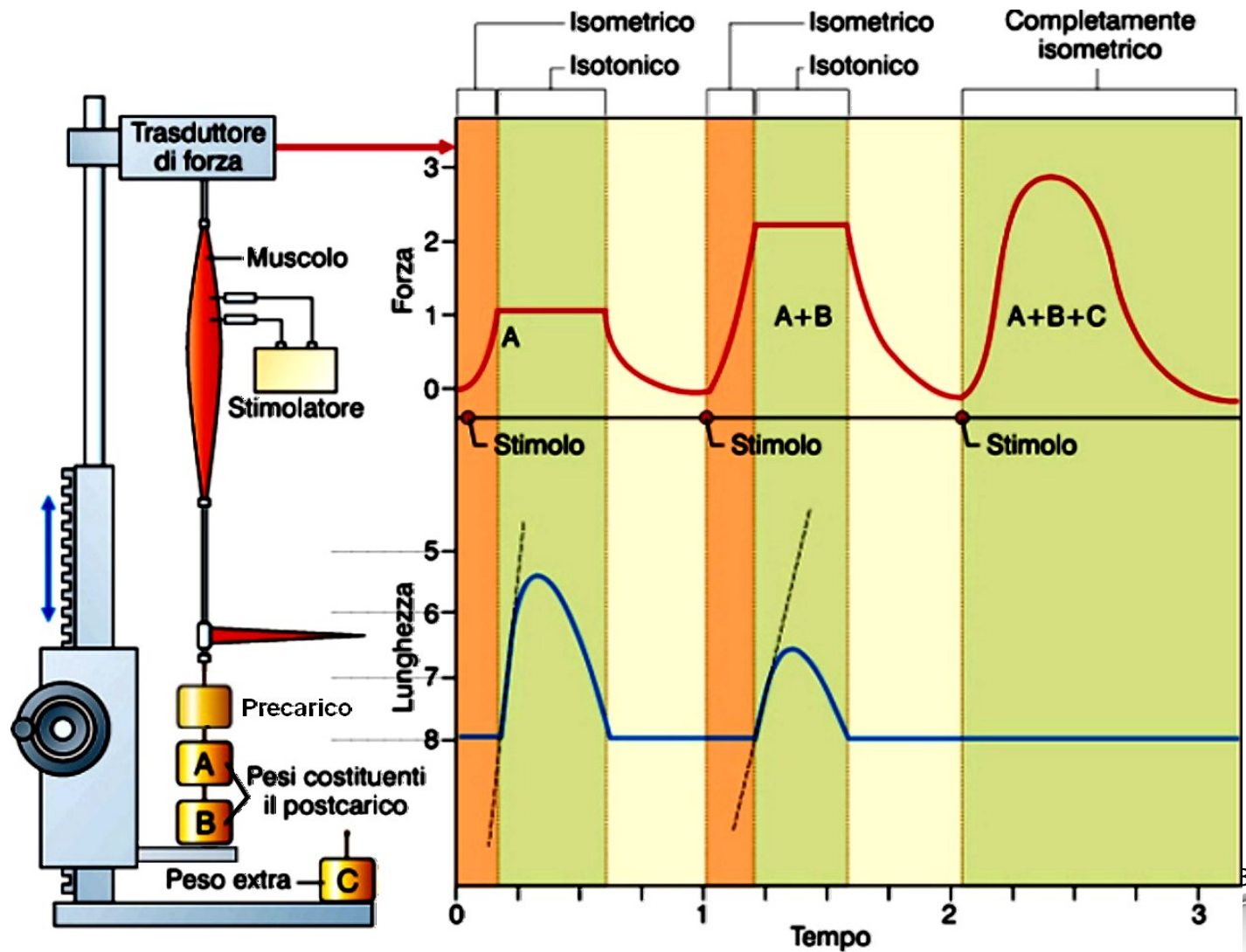
ISOFORME DELLA MIOSINA E MASSIMA FORZA ISOMETRICA



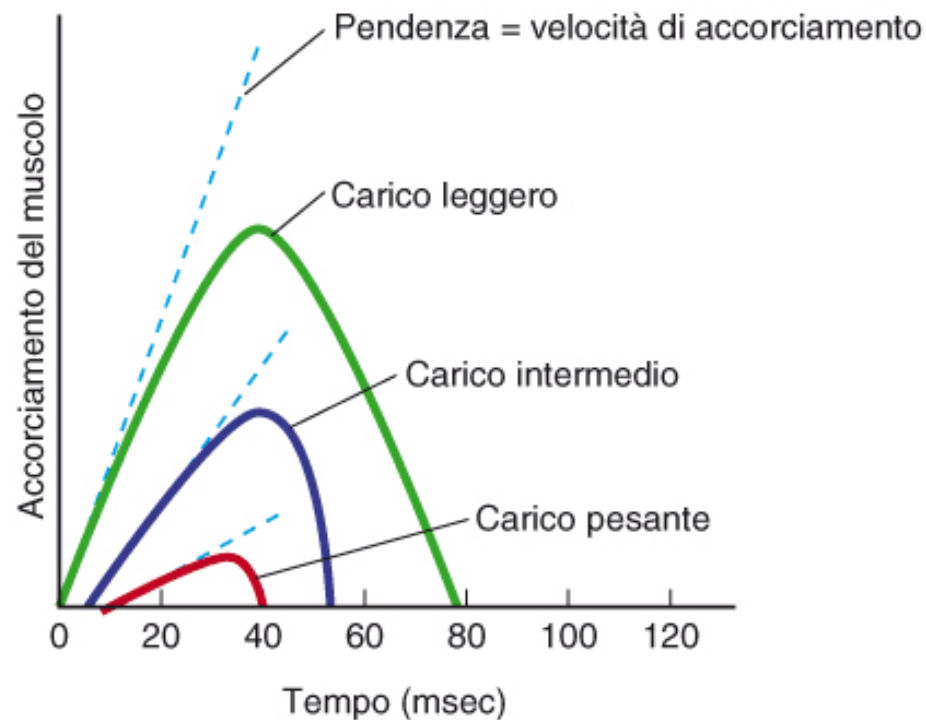
CURVA VELOCITÀ - CARICO



SCOSSE ISOTONICHE A CARICO CRESCENTE



EFFETTO DEL CARICO SULLA VELOCITÀ DI ACCORCIAMENTO

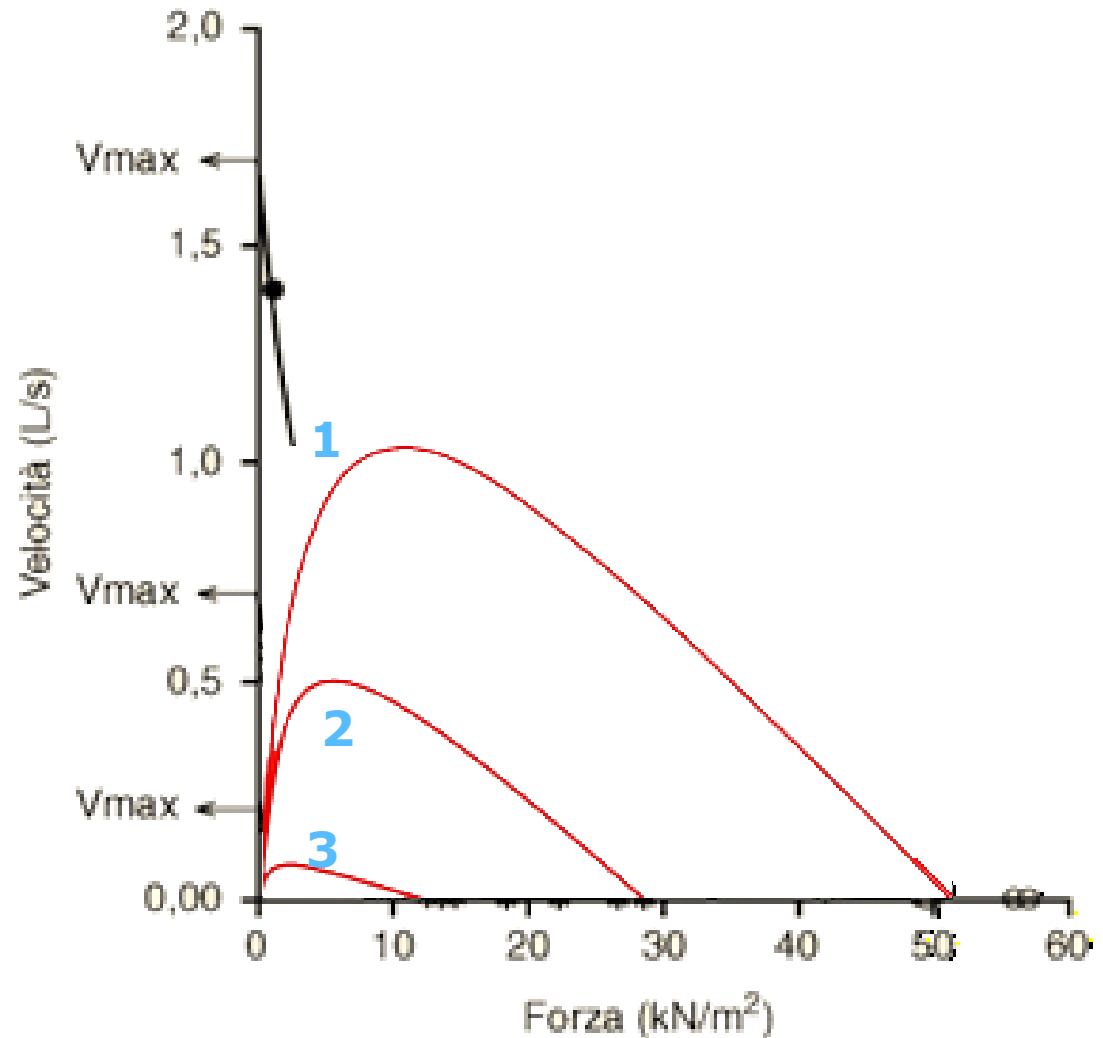


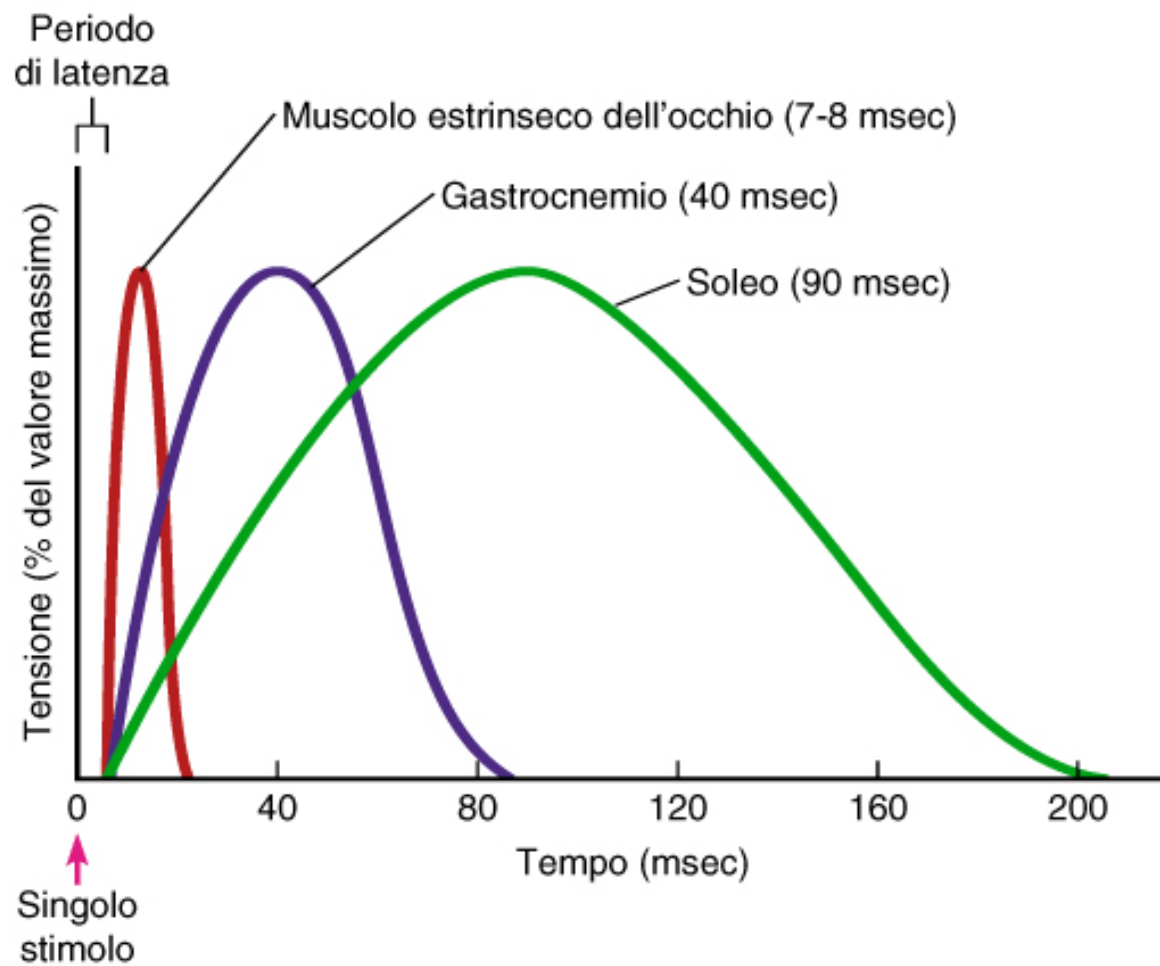
UNITÀ MOTORIE CON VELOCITÀ E POTENZE DIFFERENTI

1 Fibre veloci

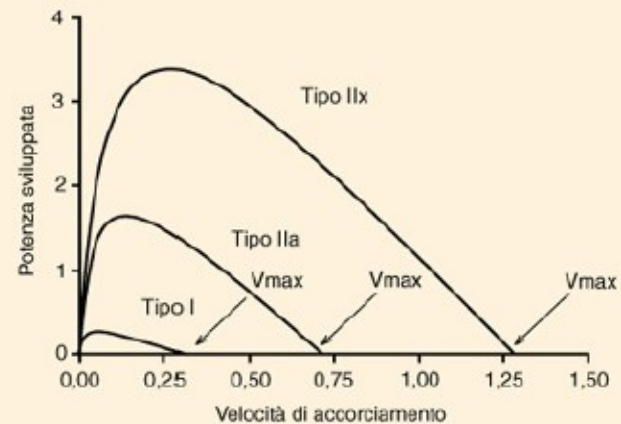
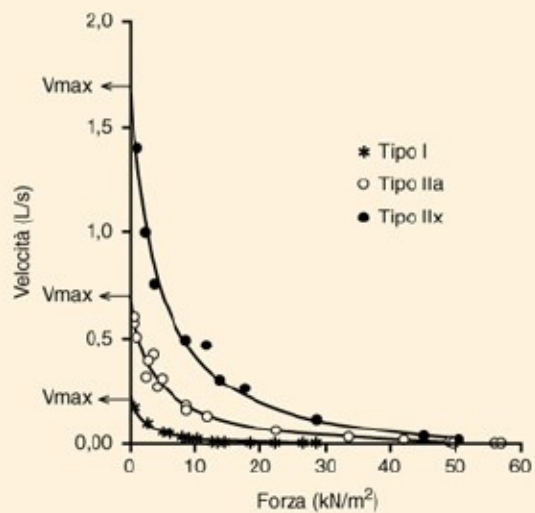
2 Fibre intermedie

3 Fibre lente

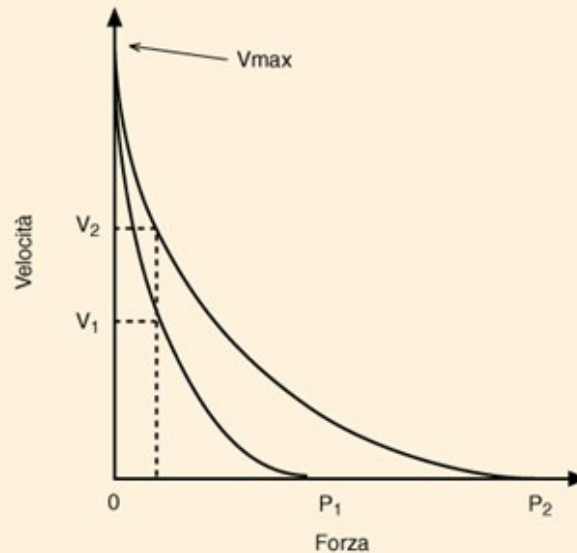




ATTIVITÀ ATP-ASICA DELLA MIOSINA



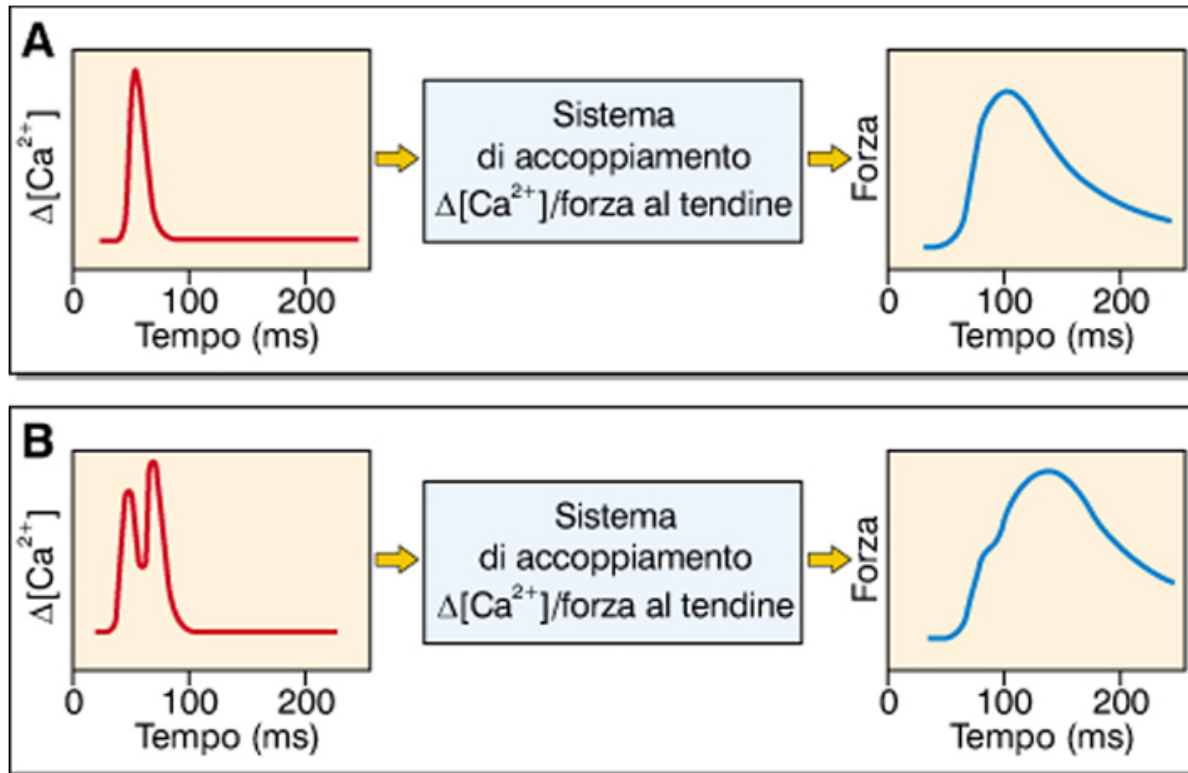
MASSIMA FORZA ISOMETRICA SVILUPPATA



copyright edi.ermes milano

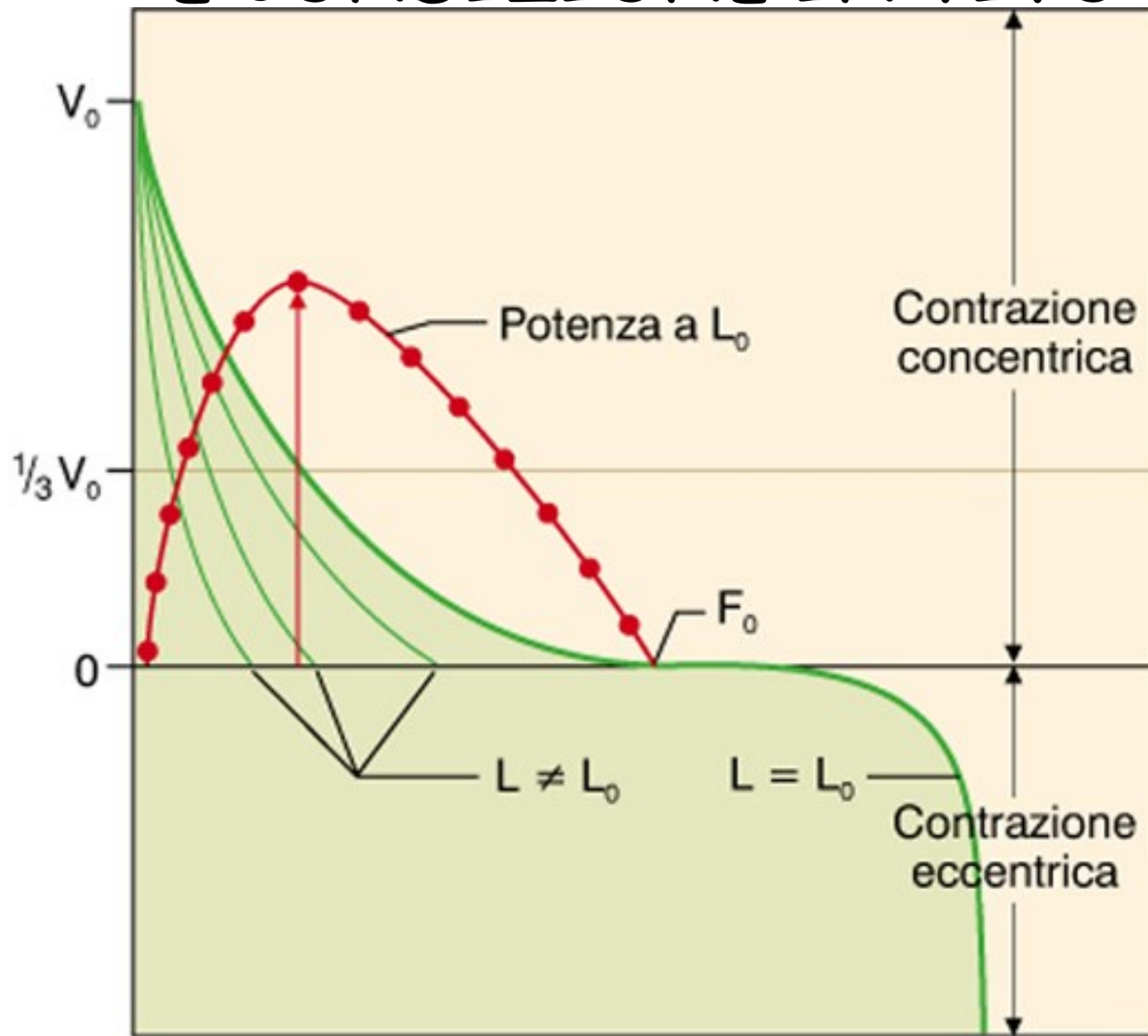
ci della
scolare

CONSEGUENZE IN VIVO

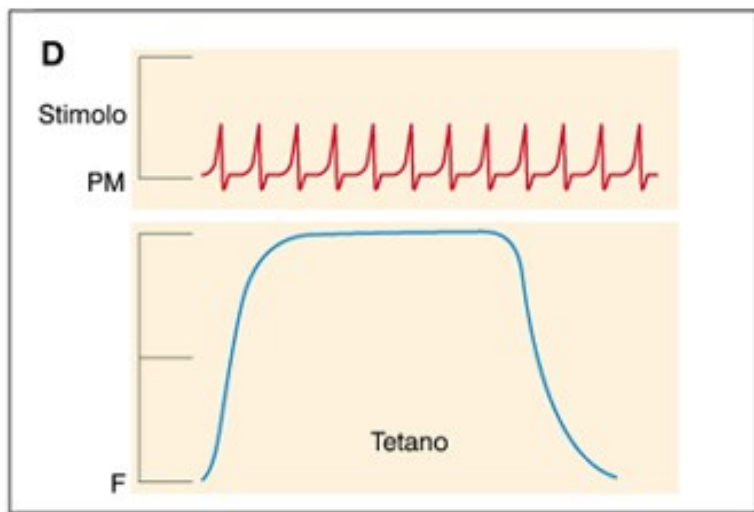
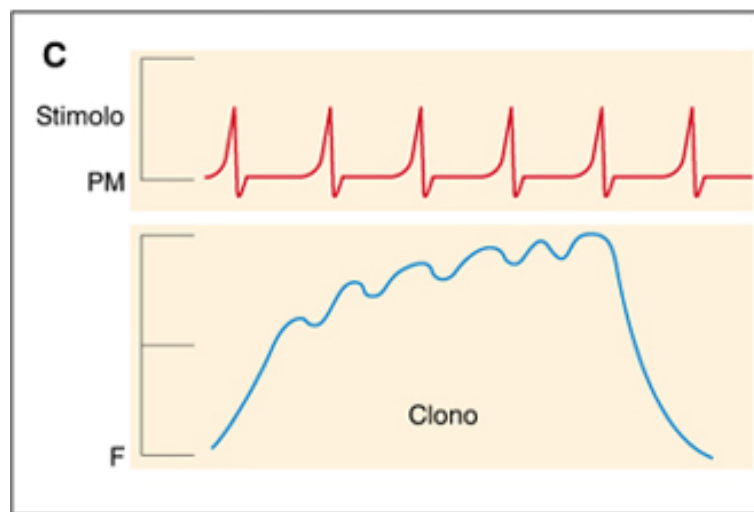
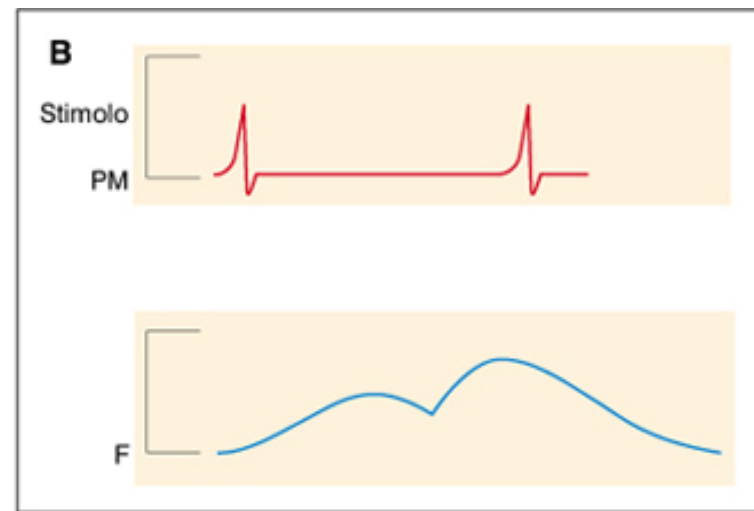
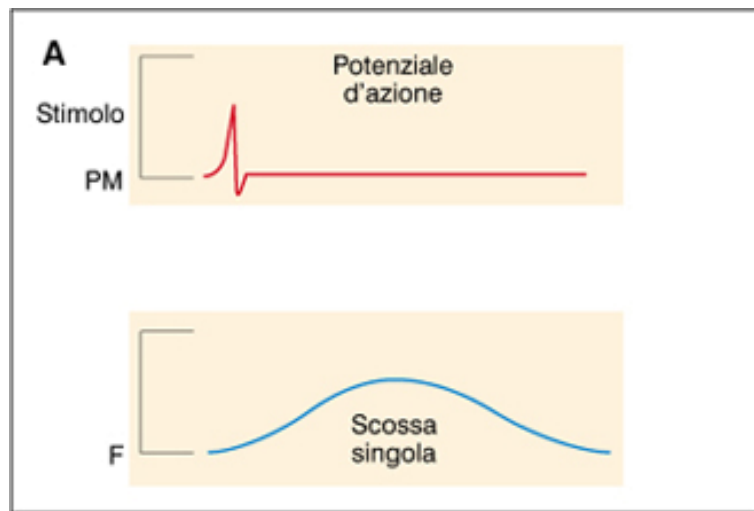


- LA FORZA FT È UGUALE FC SOLO QUANDO $K1$ È COMPLETAMENTE STIRATA E LA VELOCITÀ DI STIRAMENTO DX/DT È UGUALE A ZERO

CONTRAZIONE ECCENTRICA E CONDIZIONE IN VIVO

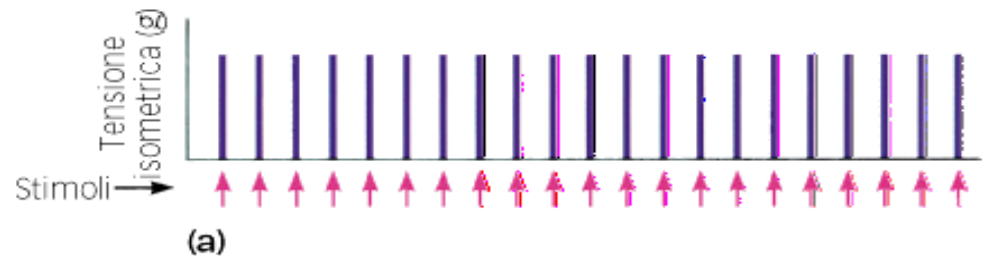


TETANO MUSCOLARE

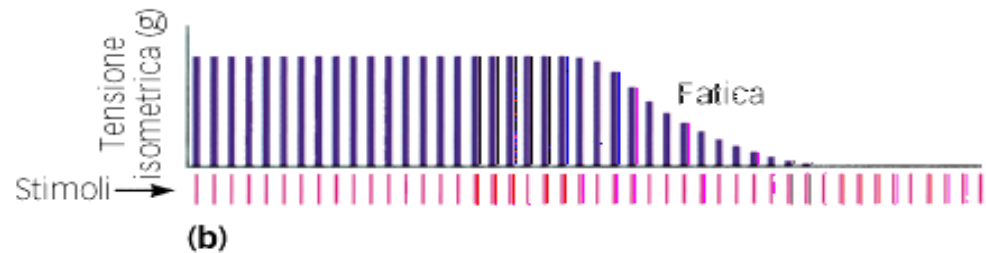


FATICA MUSCOLARE

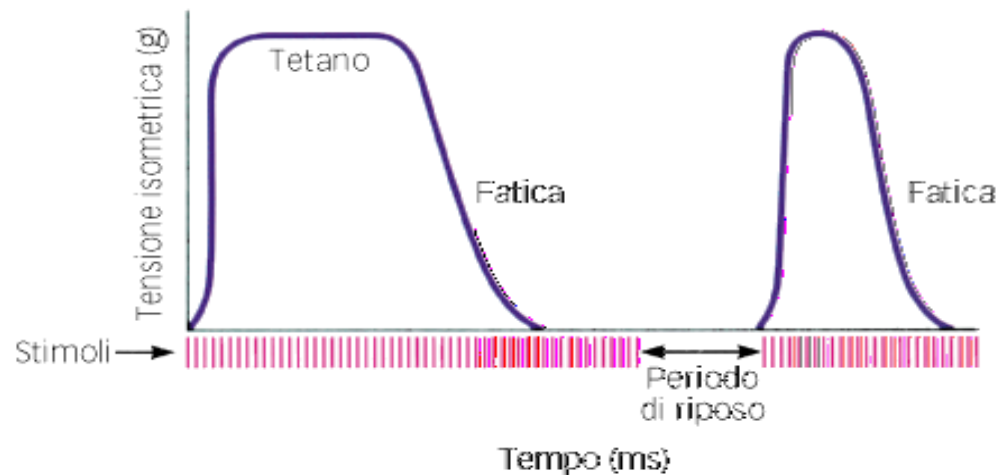
Frequenza non affaticante



Frequenza affaticante ma non tetanizzante



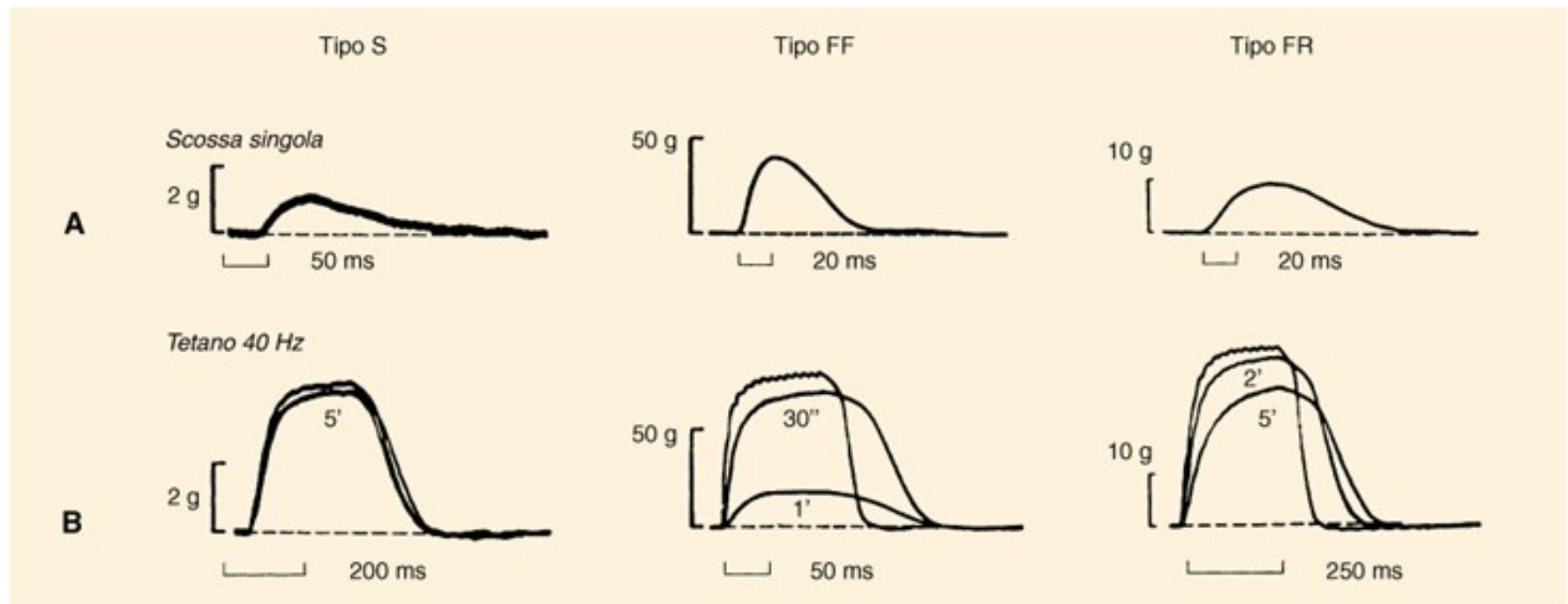
Frequenza affaticante e tetanizzante



CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ MOTORIE: TERMINOLOGIA

Criterio	I	IIa	IIb
Biochimica	SO (slow oxidative)	FOG (fast oxidative glycolytic)	FG (fast glycolytic)
Fisiologia	S (slow)	FR (fast resistant)	FF (fast fatigable)
Fisiologia	ST (slow twitch)	FT (fast twitch)	FT (fast twitch)

CARATTERISTICHE FISIOLOGICHE DELLE UM



copyright edi.ermes milano

TIPI DI FIBRE MUSCOLARI

I

neurone piccolo

PPS ampio

assone piccolo
conduzione lenta

fibre innervate
10 - 180

metabolismo
ossidativo

forza ridotta

contrazione lenta

scarsa
affaticabilità

IIa

neurone grande

PPS medio

assone grande
conduzione veloce

metabolismo
ossidativo
glicolitico

forza intermedia

contrazione rapida

affaticabilità
moderata

IIb

neurone grande

PPS piccolo

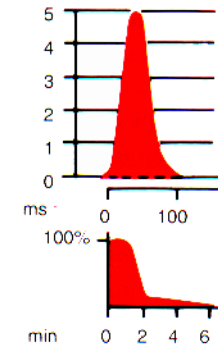
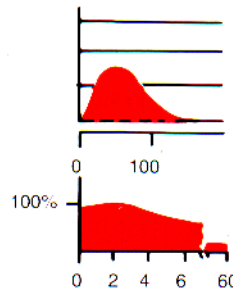
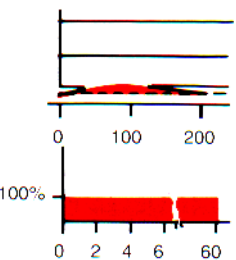
assone grande
conduzione veloce

fibre innervate
300 - 800
metabolismo
glicolitico

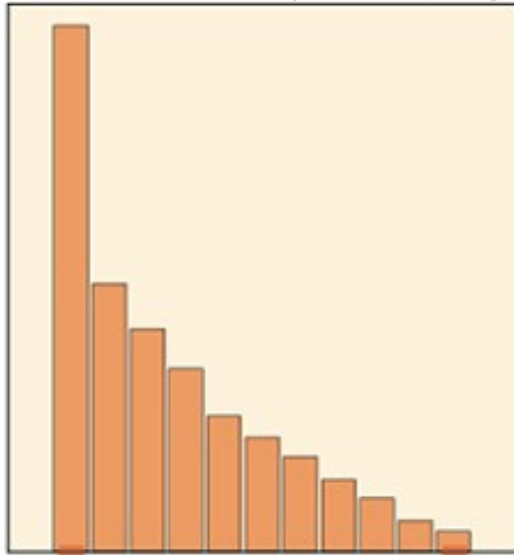
forza elevata

contrazione rapida

rapida
affaticabilità



LE UM SONO DISTRIBUITE È DIVERSAMENTE NEI MUSCOLI



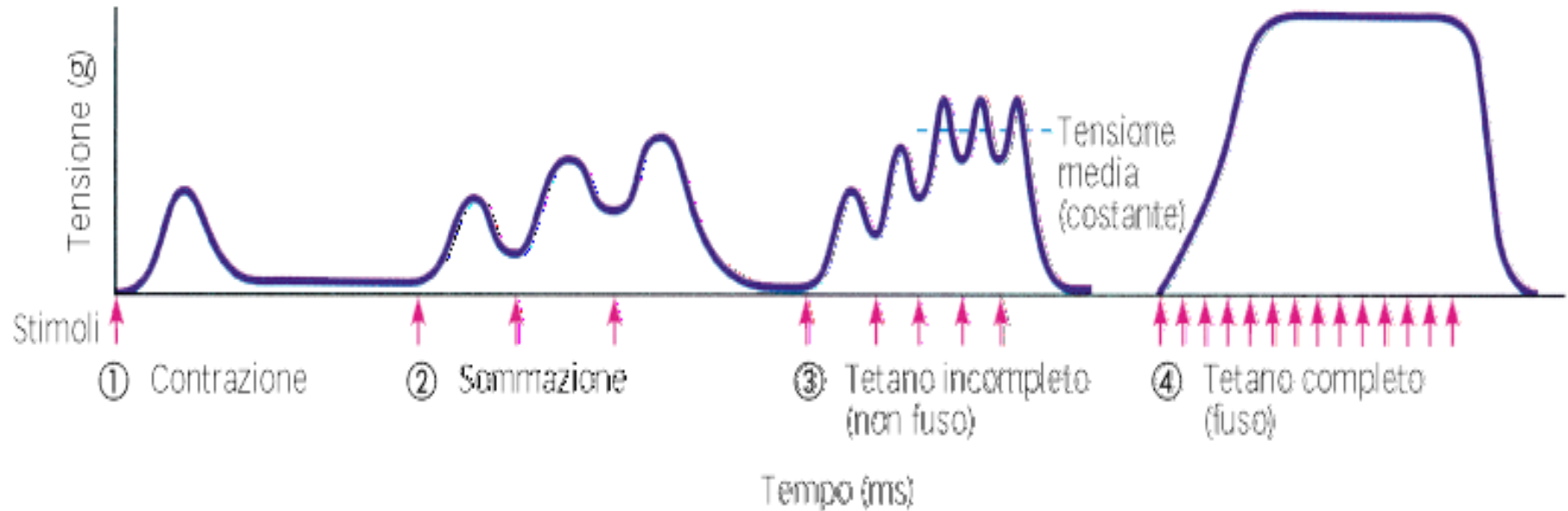
N° delle unità	molte
Diametro degli assoni	piccolo
N° delle terminazioni	poche
Tensione tetanica	piccola
Velocità di contrazione	lenta o rapida
Fatica	poca o nulla
Metabolismo	aerobico
Mioglobina	abbondante
Glicogeno	poco
Mitocondri	molto fitti
Capillari	abbondanti
Fibre muscolari	piccole, rosse

N° delle unità	poche
Diametro degli assoni	grande
N° delle terminazioni	molte
Tensione tetanica	grande
Velocità di contrazione	rapida
Fatica	rapida
Metabolismo	anaerobico
Mioglobina	scarsa
Glicogeno	molto
Mitocondri	poco fitti
Capillari	pochi o nessuno
Fibre muscolari	grandi, pallide

- muscoli impiegati in attività motorie di tipo **tonico**: UM S e FR (Soleus)

- muscoli impiegati in attività **fasiche**: UM FF (Gastrocnemius)

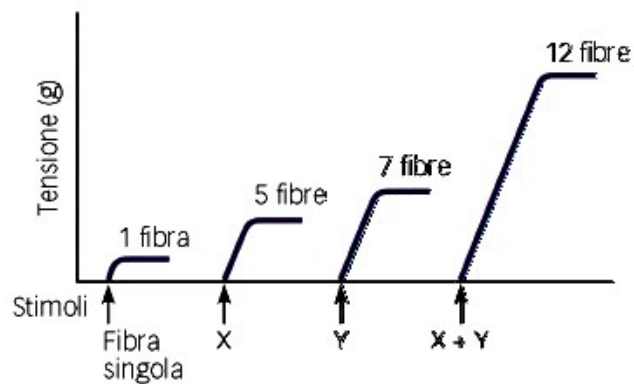
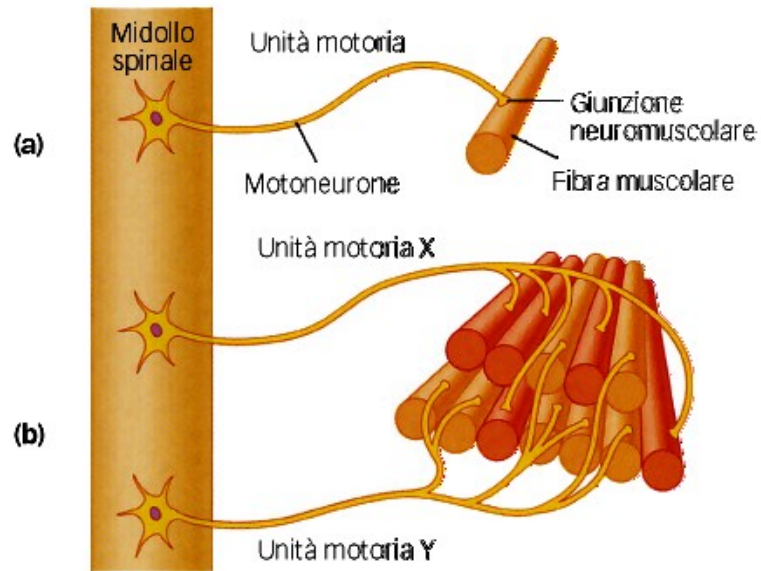
MODULAZIONE DELLA FORZA: TETANIZZAZIONE



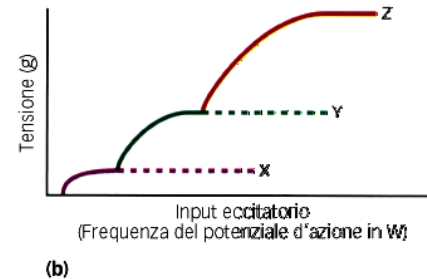
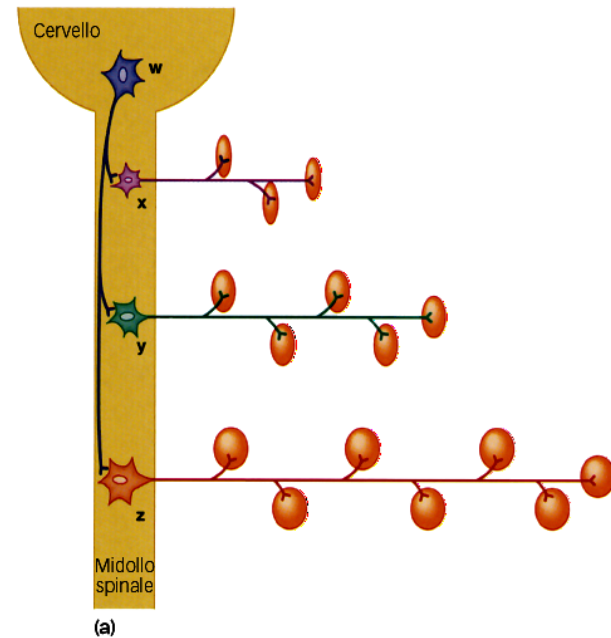
Aumento della frequenza degli stimoli



MODULAZIONE DELLA FORZA: RECLUTAMENTO DI UNITÀ MOTORIE

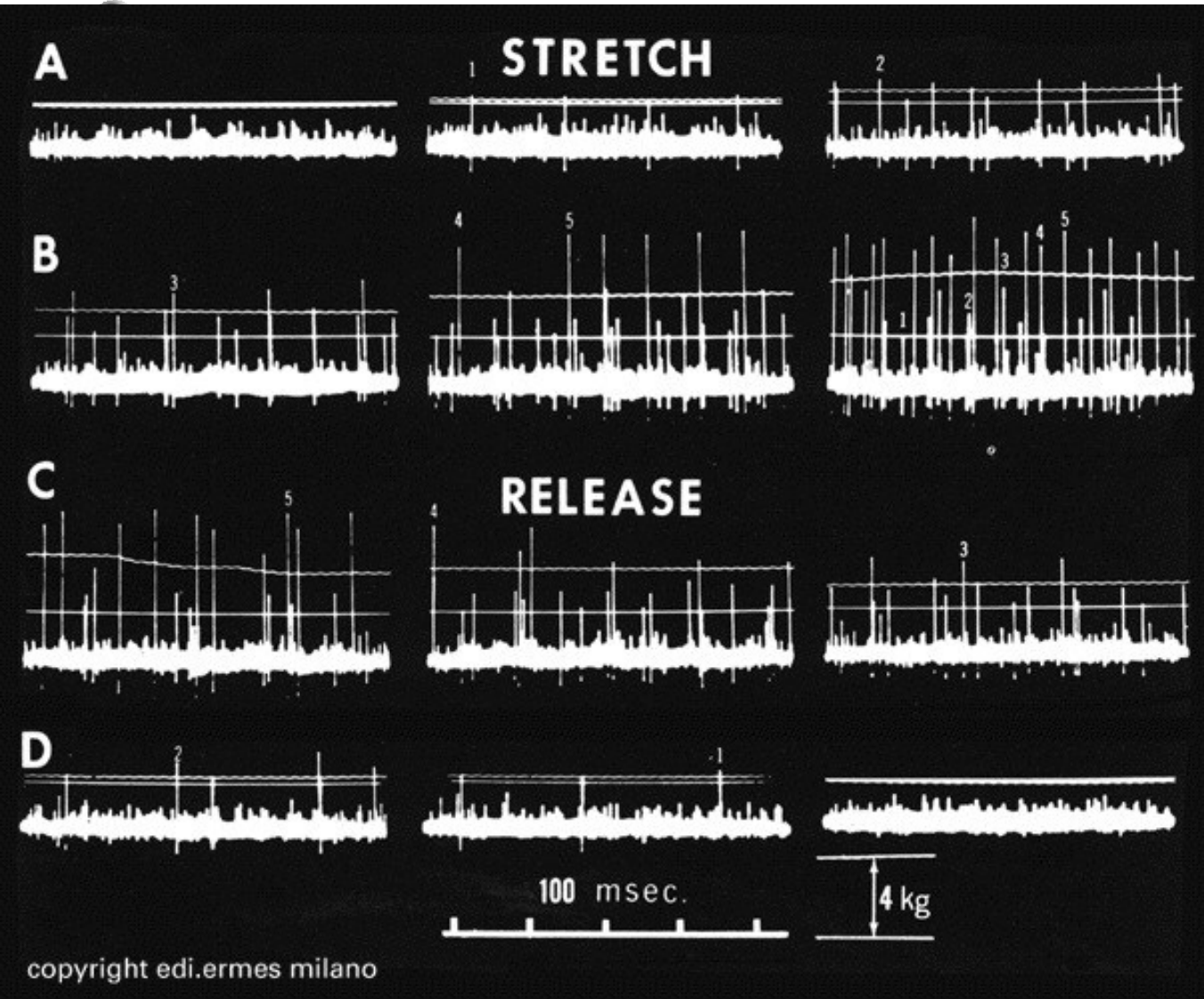


Sommazione spaziale



Principio delle dimensioni

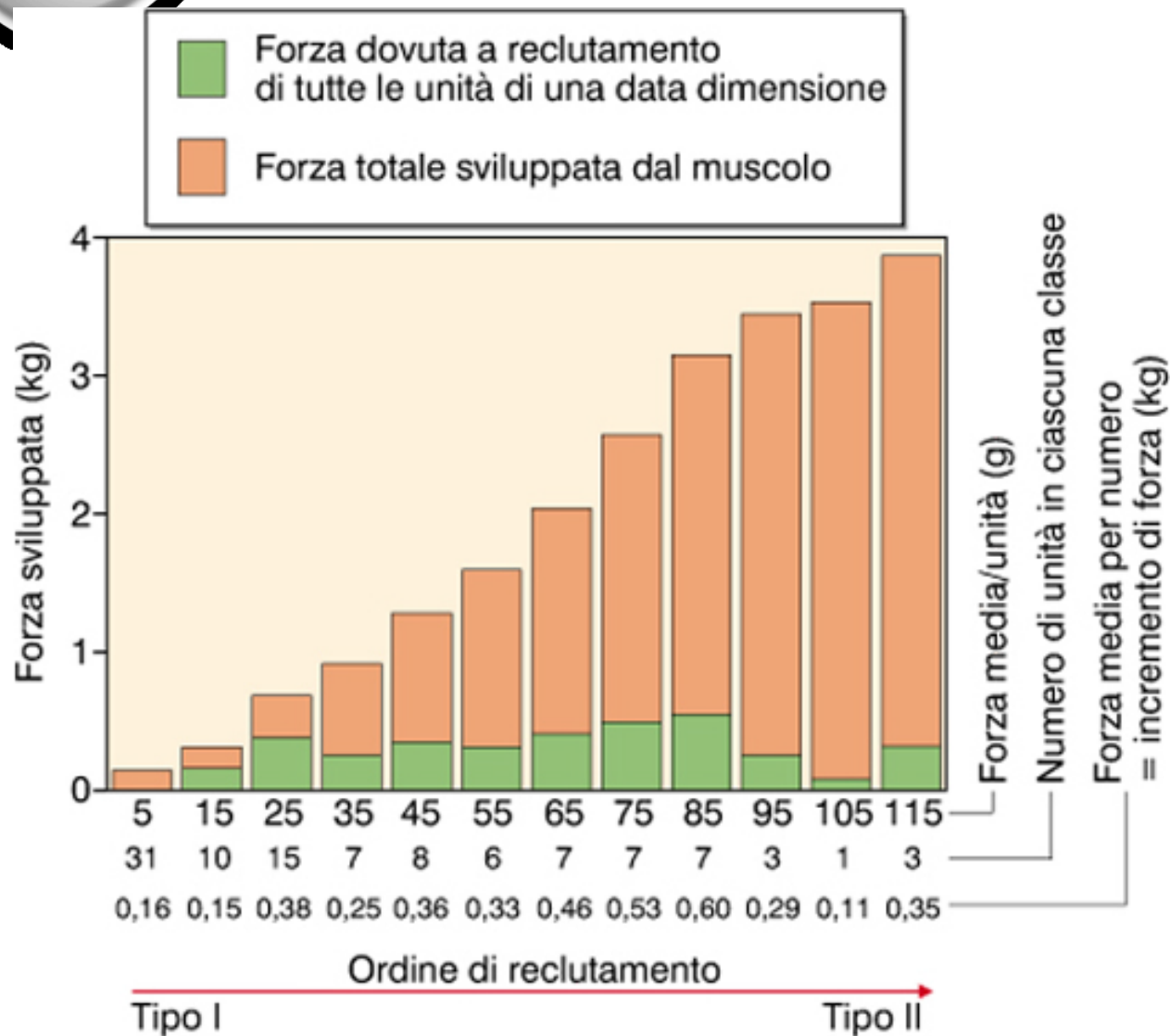
CONTROLLO DELLA FORZA MUSCOLARE



Reclutamento di UM e principio della dimensione

- Attività elettrica di 5 motoneuroni

- A e B: risposte dei motoneuroni a diversi gradi di stiramento muscolare

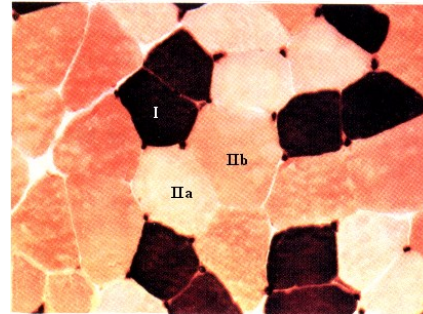


MODULAZIONE
DELLA
FREQUENZA DI
SCARICA
DELLE UM ATTIVE

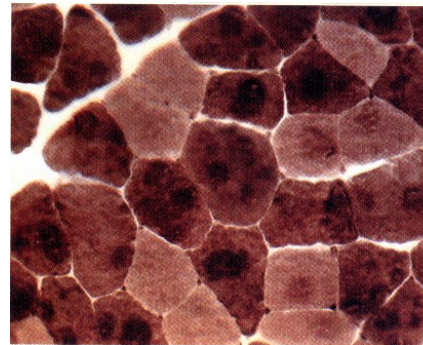
MODULAZIONE DELLA FORZA: SCHEMA SINTETICO



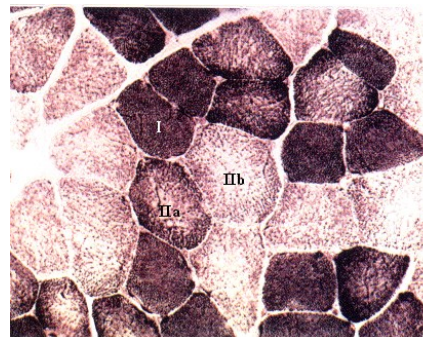
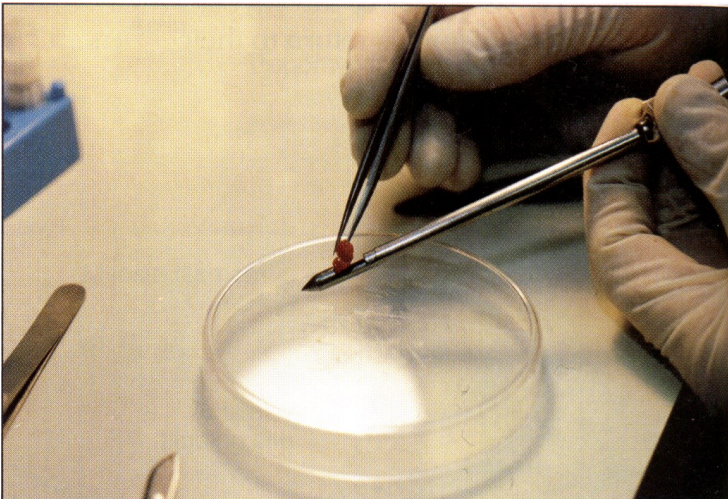
TIPI DI FIBRE: BIOPSIA MUSCOLARE



Attività ATPasica
a pH neutro
(colora le fibre di tipo I)



Attività ATPasica
a pH acido
(colora le fibre di tipo II)

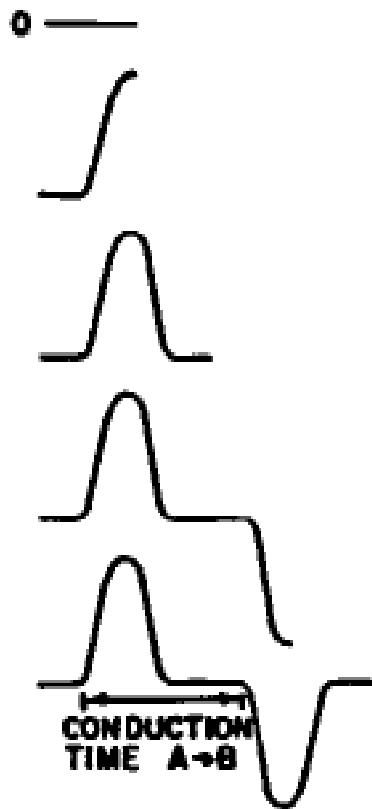


NADH-deidrogenasi
(colora le fibre di tipo I e
IIa e IIb)

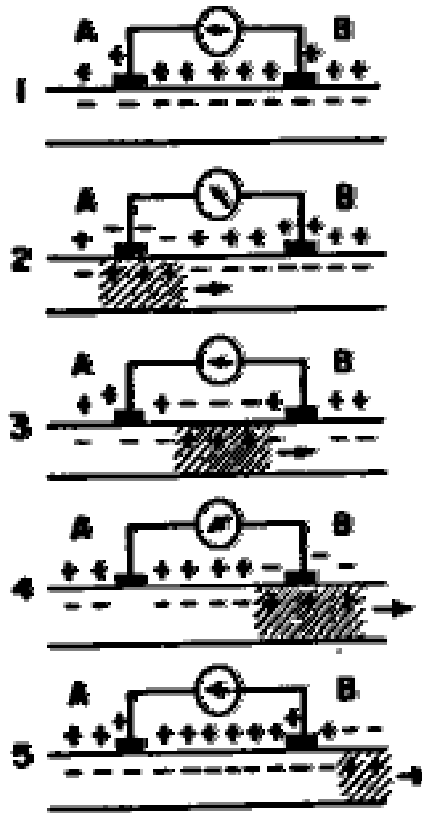
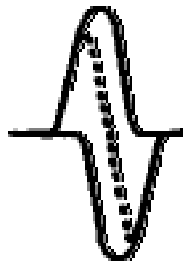
atti meccanici della
razione muscolare

ELETTROMIOGRAFIA: BASI FISIOLOGICHE

Differenza di potenziale tra due elettrodi A e B posti sulla superficie di una fibra durante la conduzione del potenziale d'azione



6

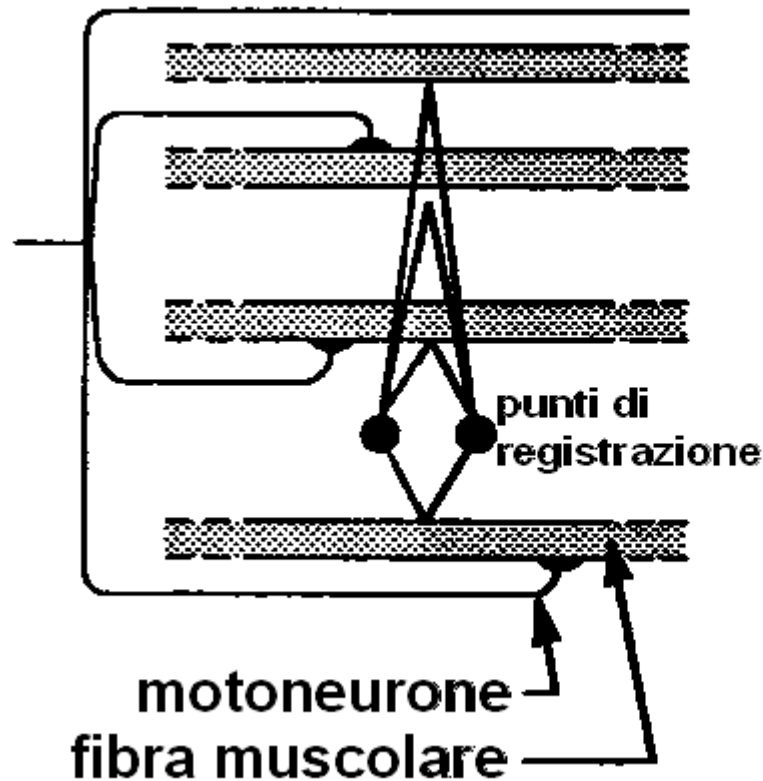


ELETTROMIOGRAFIA: POTENZIALI D'AZIONE DI UNITÀ MOTORIA

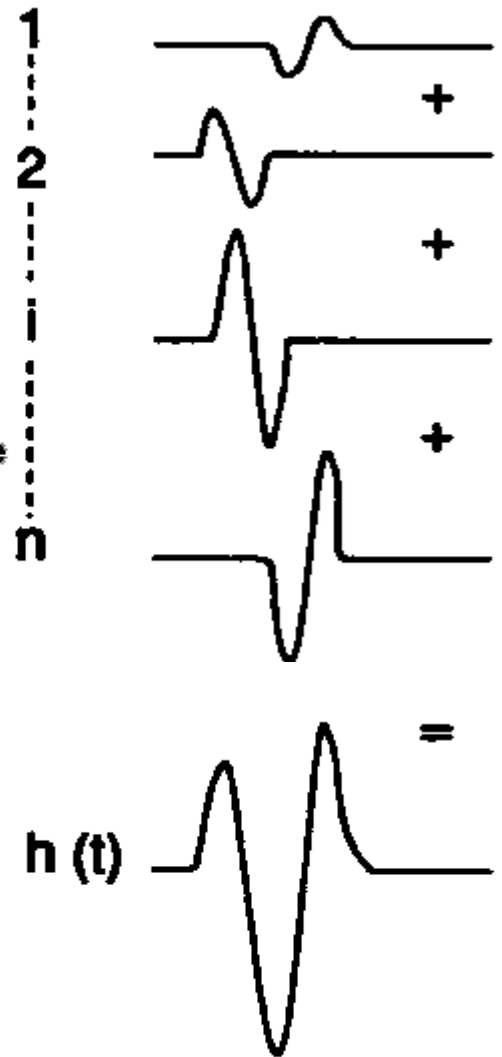
Disposizione
geometrica
degli elettrodi e
delle fibre attive

Funzioni di filtro
dei tessuti e degli
elettrodi

Sovrapposizione
dei potenziali
d'azione



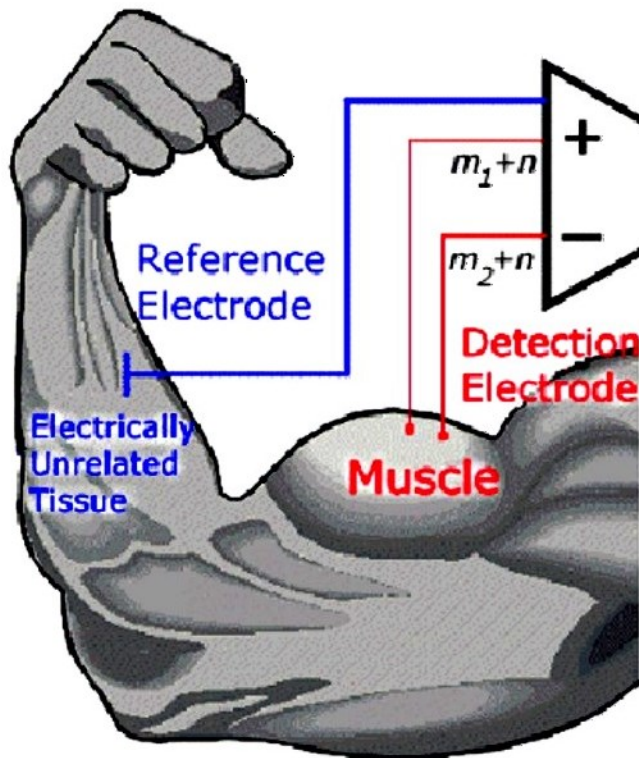
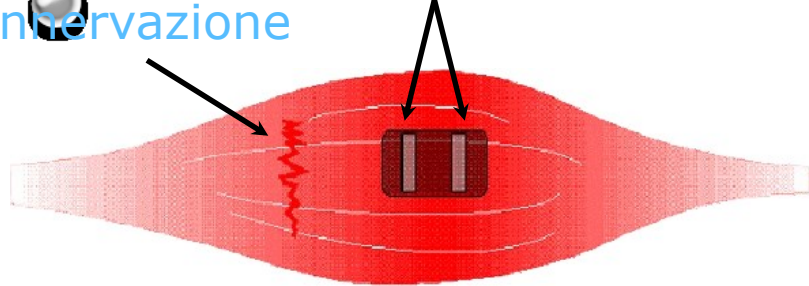
Potenziale risultante



ELETTROMIOGRAFIA DI SUPERFICIE

zona di
innervazione

elettrodi



m_1+n

m_2+n

Detection
Electrode

Muscle

$$(m_1+n)-(m_2+n) =$$

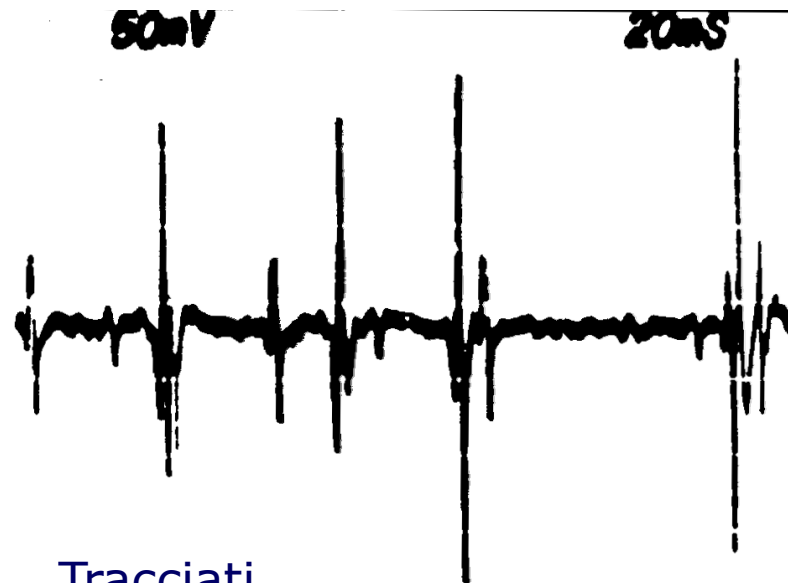
EMG ϵ

500mV

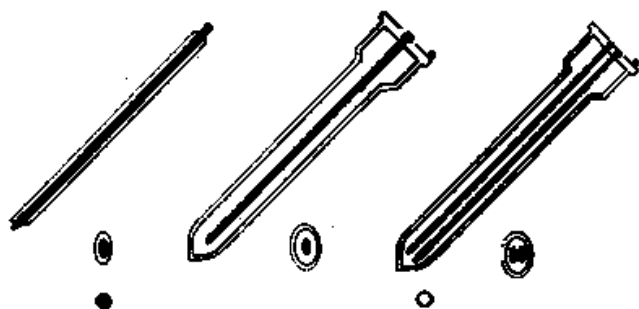
500ms



ELETTROMIOGRAFIA UNITARIA



Tracciati

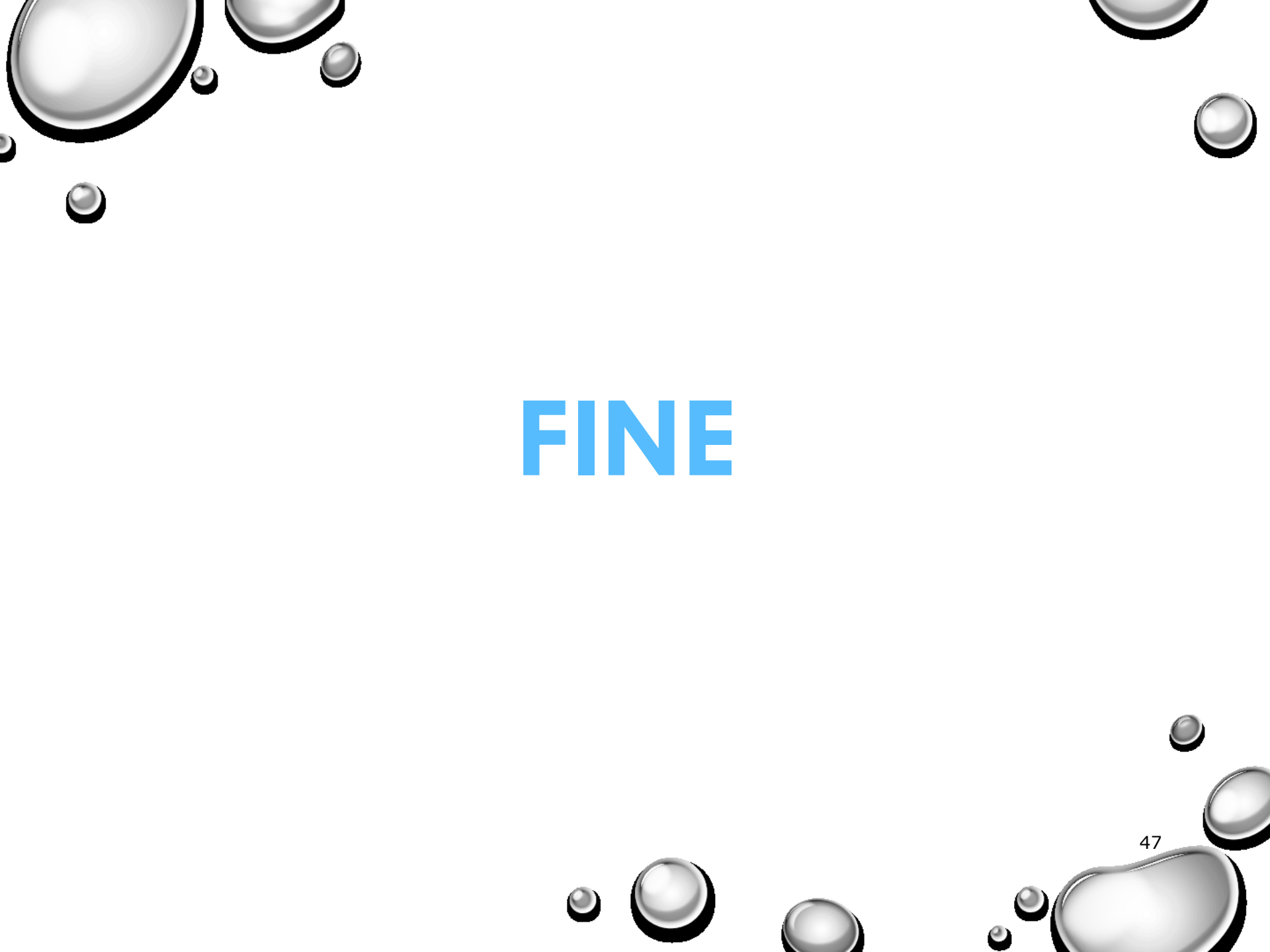


Tipi di aghi elettrodi

semplice

concentrico

bipolare

The page features a white background with several realistic, 3D-rendered water droplets of varying sizes. These droplets are positioned in the four corners of the page, creating a frame-like effect. Each droplet has a bright highlight and a dark shadow, giving it a three-dimensional appearance.

FINE