

I MUSCOLI

Struttura del muscolo scheletrico

I muscoli scheletrici sono gli organi che, tenendo insieme e muovendo i segmenti del corpo, permettono il movimento. Il fatto che il corpo è costituito da circa il 50% di muscoli, ci fa capire l'importanza dell'apparato muscolare e del movimento.

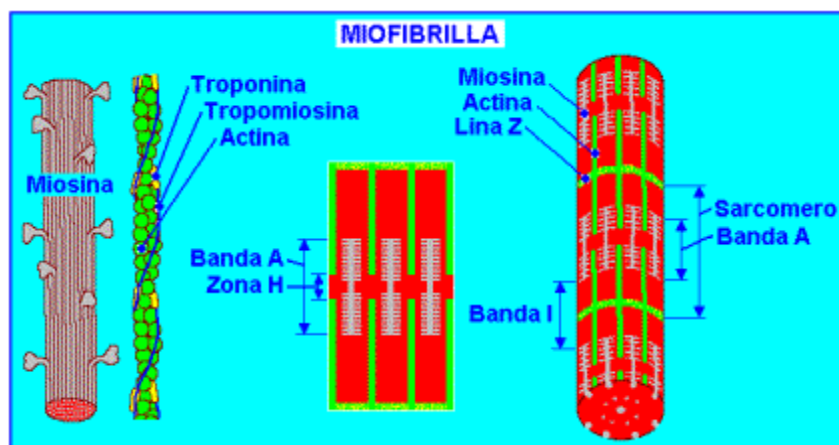
La contrazione, quindi l'avvicinamento dei capi di inserzione, muove i segmenti del corpo in varie direzioni, tra di loro e rispetto all'ambiente circostante.

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

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

La **struttura di base per la contrazione** è la *miofibrilla* (o miofibrilla) la cui lunghezza varia da 10 a 100 micron (1 micron = 1/1000 di mm.). Il diametro di una miofibrilla è di circa 1 micron. Al microscopio la miofibrilla mostra come **componente contrattile elementare** il *sarcomero*, costituito a sua volta dalle proteine *miosina*, *actina*, *tropomiosina* e *troponina* (Figura).

La sommatoria dell'azione dei diversi sarcomeri determina la contrazione di tutto il muscolo, quindi l'avvicinamento dei capi estremi di inserzione e, di conseguenza, lo spostamento dei segmenti del corpo sui quali sono inseriti i tendini.



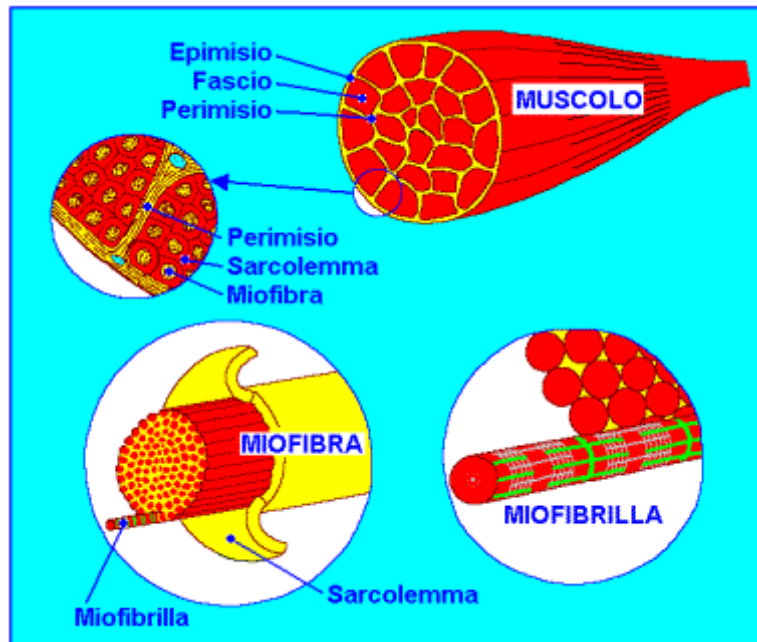
Una *fibra muscolare* è composta da circa 1000 miofibrille.

In successione le fibre si riuniscono prima in *fasci primari*. Più fasci primari si raggruppano poi in *fasci secondari* e, infine, in *fasci terziari*.

Il **tessuto connettivo che avvolge la miofibrilla** viene denominato *sarcolemma*. La diramazione di questo tra i fasci prende il nome di *perimisio* che a sua volta diventa *epimisio* quando avvolge l'intero muscolo (Figura).

Il liquido, che circonda le miofibre e che contiene anche i substrati energetici del muscolo, viene definito *sarcoplasma*.

Struttura del muscolo



L'apporto al muscolo di ossigeno e sostanze nutritive viene veicolato dal sangue attraverso un elevatissimo numero di capillari arteriosi. Gli stessi capillari, divenuti venosi, con percorso inverso consentono l'eliminazione delle sostanze non più utilizzabili e dell'anidride carbonica.

L'aspetto complessivo del muscolo evidenzia una parte centrale, detto ventre, e due apici terminali detti *tendini*.

I tendini, composti da fibre connettivali riunite in fasci circondati da tessuto lasso, si inseriscono tra due o più articolazioni.

Un tendine è in grado di sopportare carichi elevatissimi, anche superiori ai 500 kg./cm² della sua sezione. Comunque, al contrario di quanto si immagina, l'elasticità del tendine è inferiore di quella del muscolo e il suo stiramento non può oltrepassare il 4-5% della sua lunghezza.

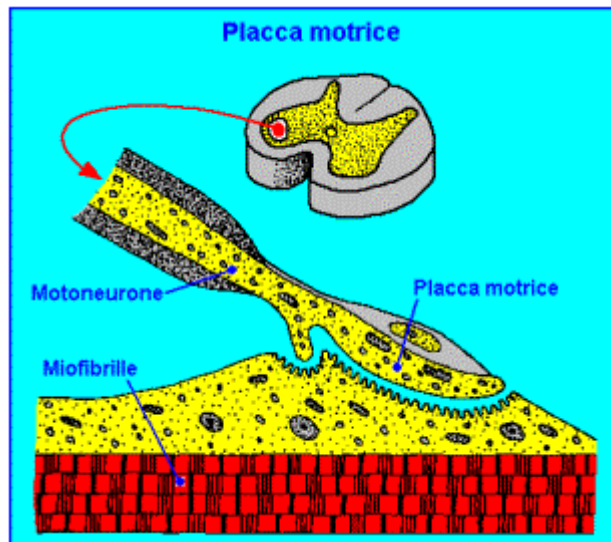
In alcuni muscoli il tendine presenta una struttura elicoidale (es.: Gran pettorale). Questa ne aumenta l'elasticità e ne consente un più elevato assorbimento della tensione.

Meccanismo di contrazione

La contrazione prevede una **sequenza di interventi**:

- **dal cervello, cellule dell'area motoria, partono gli impulsi nervosi** (fino a circa 50 al secondo ad una velocità da 12 a 120 metri al secondo) diretti alle corna anteriori del midollo spinale (*motoneuroni alfa*). Questi proseguono poi fino alla *placca motrice* che è posta a contatto delle fibre muscolari interessate (Figura).

In relazione alle caratteristiche motorie a cui sono deputati i muscoli, movimenti fini e delicati (es.: mani) oppure movimenti di locomozione, una placca motrice può contrarre un ridotto numero di fibre (da 5 a 10) oppure molte fibre contemporaneamente (fino a 150 e oltre);



- **all'arrivo dello stimolo nervoso la placca motrice libera acetilcolina.** Quindi l'impulso da nervoso si trasforma in biochimico e l'acetilcolina va a fissarsi su specifici recettori posti sulla membrana della fibra muscolare e la depolarizza (ne annulla il potenziale elettrochimico);
- **una volta depolarizzata, la membrana cellulare può essere attraversata dagli ioni sodio** che penetrano dentro di essa mentre fuoriescono gli **ioni potassio**. Questo porta ad una inversione di polarità elettrica, ora la fibra è elettropositiva all'interno ed elettronegativa all'esterno.
Il potenziale di azione che si è creato è maggiore del potenziale di soglia (limite necessario per agire) di eccitazione della fibra muscolare. Pertanto si propaga dalla fibra nervosa a quella muscolare. Il potenziale di azione depolarizza i tubuli trasversi del reticolo sarcoplasmatico che sono indotti a liberare **ioni calcio**. Il legame tra ioni calcio, troponina e tropomiosina, fa sì che miosina e actina interagiscano scorrendo l'una dentro l'altra, ovvero contraendo il muscolo. In sostanza gli ioni calcio interrompono momentaneamente il meccanismo di decontrazione muscolare per cui alla miosina viene impedito di agire sull'actina per mezzo dell'**ATP** (Adenosin-trifosfato);
- **Il meccanismo inverso, di decontrazione,** avviene per distruzione dell'acetilcolina da parte dell'acetilcolinesterasi.

La contrazione, anche di intensità massima, non vede mai impegnate tutte le miofibrille presenti in un muscolo. Ogni miofibrilla è programmata per reagire solo ad una determinata intensità di stimolo (**soglia di stimolo**). Se lo stimolo è più basso del limite di soglia la miofibrilla non reagisce. Solo con uno stimolo uguale o superiore al limite di soglia la fibra si contrae (**legge del tutto o nulla**). Per ogni miofibrilla, l'intensità e la rapidità della contrazione sono sempre le stesse, indipendentemente dall'entità dello stimolo.

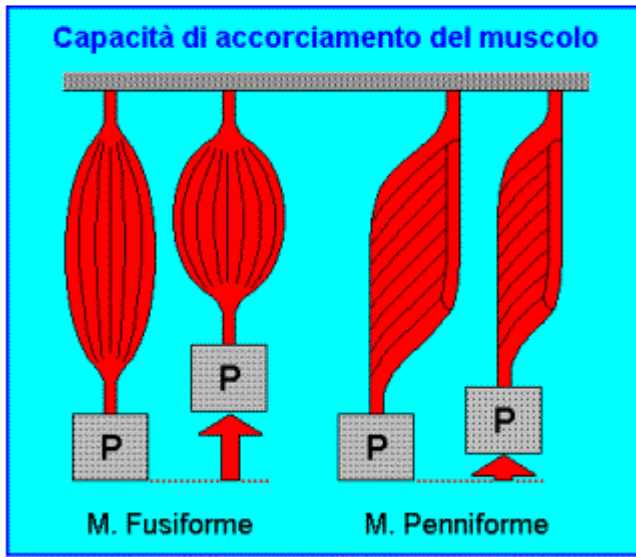
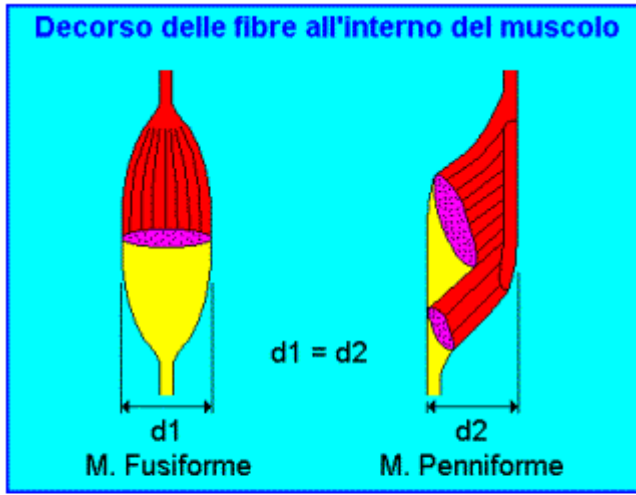
Caratteristiche del muscolo e delle fibre muscolari

In relazione alla disposizione delle fibre e alla modalità di inserzione dei tendini, i muscoli del corpo presentano delle **diverse conformazioni** (Figura).

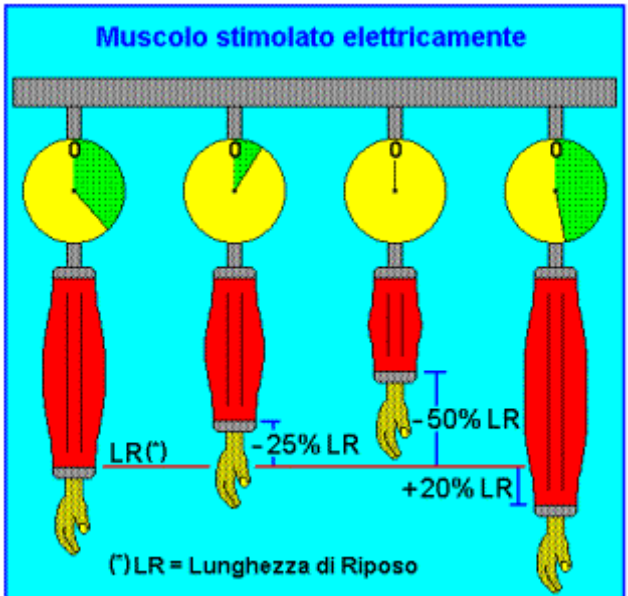


La **velocità e la forza** con le quali può esprimersi un muscolo dipendono molto dalla direzione delle fibre rispetto all'asse longitudinale ai punti estremi di inserzione (Figura):

- *fibre parallele all'asse longitudinale dei tendini* permettono un movimento rapido e di grande ampiezza;
- *fibre oblique rispetto all'asse longitudinale dei tendini* producono una notevole forza di contrazione ma un movimento poco veloce e di modesta ampiezza. La grande quantità di forza è possibile in quanto presentano una sezione trasversa maggiore rispetto alla sezione longitudinale (la forza è anche in diretto rapporto alla sezione trasversa del muscolo).



La **forza di contrazione** dipende anche dalla **posizione di partenza del muscolo rispetto alla lunghezza di riposo** (Figura). Una posizione di partenza del segmento corporeo che vede il muscolo accorciato, quindi con i capi estremi di inserzione ravvicinati, esprime meno forza. Al contrario, un muscolo che parte dalla posizione di riposo e oltre esprime più forza.



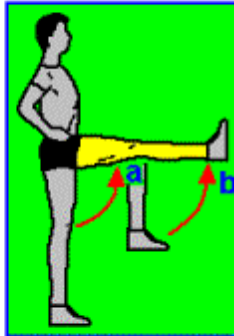
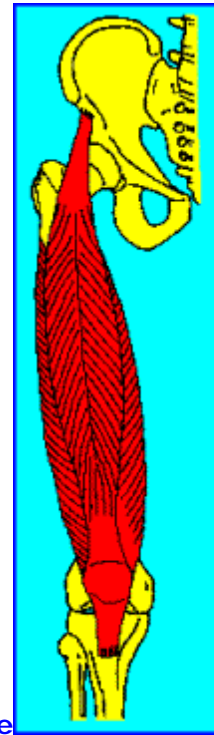
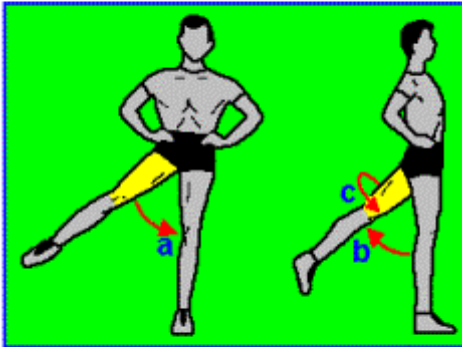
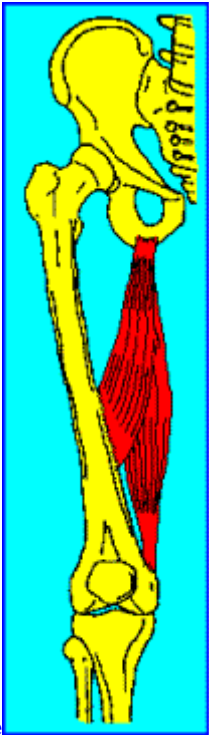
Inoltre **i muscoli possono essere inseriti a cavallo di una o più articolazioni** (Figura):

- **muscoli monoarticolari:** le inserzioni tendinee estreme uniscono due segmenti ossei articolati tra di loro. Il movimento può avvenire solo su un'articolazione.
- **muscoli biarticolari:** le inserzioni tendinee estreme uniscono tre segmenti ossei articolati in sequenza tra di loro. Il movimento può avvenire utilizzando due articolazioni (es.: Retto anteriore del Quadricipite femorale che flette la coscia ed estende la gamba);
- **muscoli pluriarticolari:** le inserzioni tendinee uniscono e muovono più segmenti ossei (es.: Sacrospinale che estende e inclina lateralmente la colonna vertebrale articolando tra loro più vertebre).

Esempio di muscoli con inserzioni mono, bi e pluriarticolari

Grande

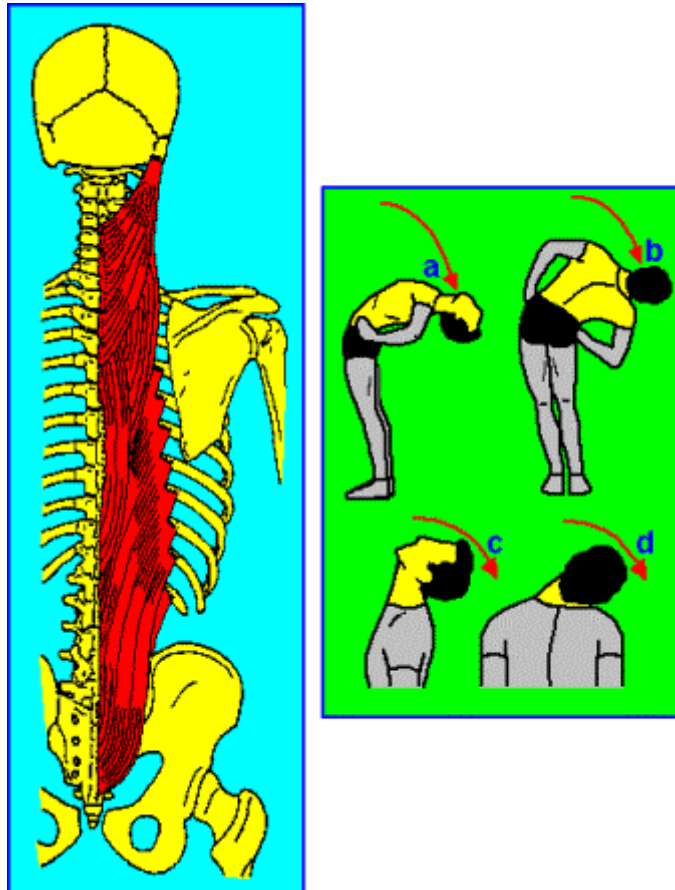
Retto anteriore del



adduttore

Quadricipite femorale

Sacrospinale



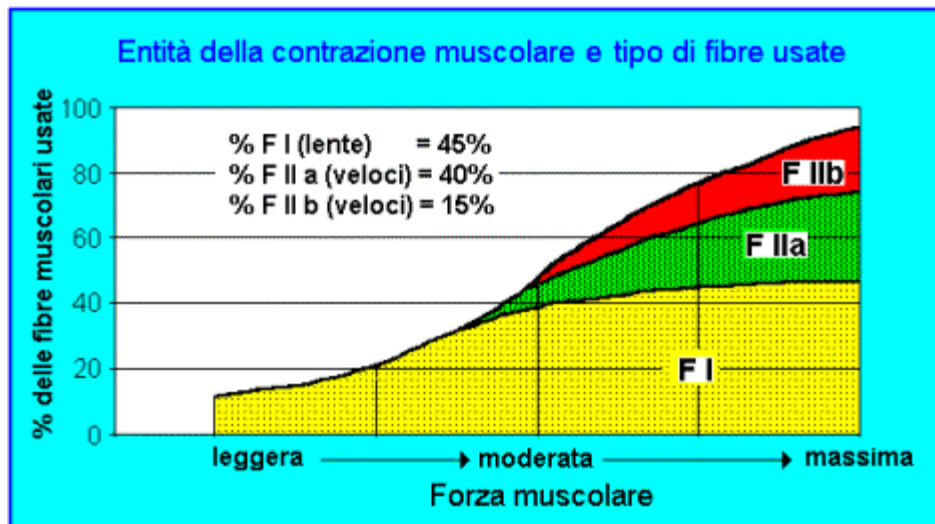
Una tipica caratteristica del muscolo è il **tono** che può definirsi lo stato di tensione permanente anche quando il muscolo è a riposo. Oltre che dalla viscosità e dalla elasticità della fibra, il tono muscolare è mantenuto e modulato da uno stimolo riflesso che parte dai fusi neuromuscolari.

Le **unità motorie del muscolo** sono fondamentalmente di due tipi (Figura):

- *Unità motorie lente*: dette anche fibre rosse o ST o di tipo I.
- *Unità motorie rapide*: o fibre bianche o FT o di tipo II.

Le fibre a contrazione rapida si suddividono a loro volta in:

- *fibre del tipo II A (o FTa)*;
- *fibre del tipo II B (o FTb)*.



FIBRE I (lente, rosse): - bassa intensità di tensione; - bassa velocità di contrazione; - ricche di mitocondri e mioglobina; - elevata densità di capillari sanguigni; - alto potere ossidativo.	RESISTENZA MUSCOLARE	
FIBRE IIa (veloci, bianche): - medio-alta intensità di tensione; - alta velocità di contrazione; - alto potere ossidativo; - medio potere glicolitico.	Con allenamento opportuno possono assumere le caratteristiche di F IIb.	FORZA MUSCOL.
FIBRE IIb (veloci, bianche): - elevatissima intensità di tensione; - altissima velocità di contrazione; - alto potere glicolitico.	Con allenamento opportuno possono assumere le caratteristiche di F IIa.	

Caratteristiche delle fibre del muscolo scheletrico umano

(C. Bosco: "La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche" - Società Stampa Sportiva 1997)

CARATTERISTICHE DELLE FIBRE	ST	FTa	FTb
Velocità conduzione nervosa (m x sec ⁻¹)	60-80	80-100	80-130
Frequenza di stimolo nervoso (Hz)	5-30	60-70	60-80
Lunghezza delle fibre	+	++	+++
Lunghezza dei sarcomeri	+	+++	+++
N° delle miofibrille per fibra	+	++	+++
N° di fibre costituenti l'unità motoria	+++	++	+
Tempo di contrazione della fibra (ms)	100-150	50-60	40-80

Percentuale di fibre lente e veloci presente nei muscoli scheletrici dell'uomo (*)

(da Pierrynowski e Morrison integrata con Johnson e coll.) (C. Bosco: "La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche" - Società Stampa Sportiva 1997)

MUSCOLO	%ST	%FTa	%FTb
Adduttore breve	45	25	40
Grande adduttore	55	15	30
Grande gluteo	50	20	30
Ileo psoas	50	--	50
Pettineo	45	15	40
Psoas	50	20	30
Gracile	55	15	30
Semimembranoso	50	15	35
Tensore della fascia lata	70	10	20
Vasto intermedio Quadr. F.	50	15	35
Vasto mediale Quadr. F.	50	15	35
Soleo	75	15	10
Gran dorsale	50	--	50
Bicipite brachiale	50	--	50
Deltoide	60	--	40
Romboide	45	--	55

Trapezio	54	--	46
Adduttore lungo	65	15	40
Gemelli	50	20	30
Gluteo medio/piccolo	50	20	30
Otturatore esterno/interno	50	20	30
Piriforme	50	15	30
Bicipite femorale	65	21	25
Sartorio	50	10	30
Semitendinoso	50	20	35
Popliteo	50	15	35
Vasto laterale	45	15	35
Retto femorale Q.F.	45	20	40
Tibiale anteriore	70	15	20
Retto addome	46	10	54
Brachioradiale	40	--	60
Gran Pettorale	42	--	58
Tricipite brachiale	33	--	67
Soprasspinato	60	--	40
(*)			
ST = fibre lente;			
FTa = fibre veloci con alto potenziale metabolico ossidativo e glicolitico;			
FTb = fibre veloci con alto potenziale prevalentemente glicolitico			

Percentuale di fibre lente (muscoli delle gambe) rilevate in atleti impegnati in differenti discipline sportive

(C. Bosco: "La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche" - Società Stampa Sportiva 1997)

DISCIPLINA	% DI FIBRE LENTE	AUTORI
Atletica		
- 100 - 200 m.	35 - 40	Bosco. 1985; Tihanyi, 1985.
- 400 m.	40 - 50	Bosco. 1985; Tihanyi, 1985.
- 800 - 1500	55 - 60	Bosco. 1985; Tihanyi, 1985.
- 5000 m. - maratona	65 - 80	Bosco. 1985; Komi e coll., 1977.
- marciatori	65 - 70	Bosco. 1985.
- lanciatori	50 - 55	Bosco. 1985.
- saltatori	50 - 55	Bosco. 1985; Tihanyi, 1985.
Sci		
- fondo	65 - 85	Komi e coll., 1977; Tesch e coll., 1975.
- slalom	50 - 55	Komi e coll., 1977.
- salto dal trampolino	50 - 55	Komi e coll., 1977.
Hockey su ghiaccio		
Pattinaggio su ghiaccio		
Ciclisti su strada		
Canoa		
Nuoto		
Orientamento		
Sci acquatico		
Lotta		
Sollevamento pesi		
Body building		
Pallamano		
Pallavolo		
Hockey su prato		
Calcio		
Sportivi non competitivi		

In base alla principale funzione svolta i muscoli possono essere suddivisi in (Tabella):

- muscoli fasici (deputati al movimento);
- muscoli tonici (antigravitari o posturali).

Caratteristiche anatomiche e funzionali dei muscoli tonici e fasici

(Stockmeyer 1970, integrata da Spring et al. 1986).

MUSCOLI DEL GRUPPO TONICO	MUSCOLI DEL GRUPPO FASICO
- Hanno funzione di sostegno	- Hanno funzione di movimento
- Si affaticano tardivamente	- Si affaticano precocemente
- Contengono più fibre muscolari rosse (lente)	- Contengono più fibre muscolari bianche (rapide)
- Si contraggono più lentamente	- Si contraggono più rapidamente
- Reagiscono al carico errato con accorciamento e con peggioramento funzionale	- Reagiscono al carico errato con indebolimento

<ul style="list-style-type: none"> - Hanno fibre muscolari più corte e sono per lo più penniformi - Sono localizzati più profondamente e più medialmente - Generalmente appartengono al gruppo degli estensori le cui funzioni comprendono anche l'abduzione e la rotazione esterna - Sono più forti di circa 1/3 - Esprimono la massima potenza a velocità di contrazione moderata - Se inattivi divengono più lentamente deboli - Tendono ad accorciarsi a causa della continua tensione a cui sono sottoposti 	<ul style="list-style-type: none"> con peggioramento funzionale - Hanno fibre muscolari più lunghe e sono per lo più fusiformi - Sono localizzati più superficialmente e più lateralmente - Generalmente appartengono al gruppo dei flessori le cui funzioni comprendono anche l'adduzione e la rotazione mediale - Sono più deboli - Esprimono la massima potenza a velocità di contrazione elevata - Se inattivi divengono più rapidamente deboli - Tendono ad allungarsi con l'inattività
---	--

Muscoli tendenti all'accorciamento e all'indebolimento

(secondo Janda 1976; Berthold et al. 1981; Weber et al.; Spring et al. 1986)

MUSCOLI TENDENTI ALL'ACCORCIAMENTO	MUSCOLI TENDENTI ALL'INDEBOLIMENTO
Circuito funzionale cingolo scapolare, arti superiori, tratto cervicale	
<ul style="list-style-type: none"> - Grande e Piccolo pettorale - Trapezio (fasci discendenti) - Elevatore della scapola - Tricipite brachiale (Capo lungo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande e Piccolo romboide - Trapezio (fasci ascendenti e fasci trasversali) - Gran dentato
Circuito funzionale tronco	
<ul style="list-style-type: none"> - Sacrospinale (porzione cervicale e lombare) - Quadrato dei lombi 	<ul style="list-style-type: none"> - Sacrospinale (porzione dorsale) - Retto e Obliqui dell'addome
Circuito funzionale anca, lombi, regione del bacino, arti inferiori	
<ul style="list-style-type: none"> - Psoas iliaco - Piriforme - Lungo, Breve e Grande adduttore, Gracile - Tensore della fascia lata - Quadricipite femorale (Retto anteriore) - Semitendinoso, Semimembranoso e Bicipite femorale (Capo lungo) - Tricipite surale 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande, Medio e Piccolo gluteo - Quadricipite (Vasto mediale e laterale) - Tibiale anteriore - Peronieri

Alcune proprietà delle fibre muscolari

Eccitabilità	Capacità del tessuto muscolare di rispondere alla stimolazione
Contrattilità	Capacità di produrre tensione (trazione) tra le due estremità
Rilasciamento	Opposto della tensione
Elasticità	Capacità, una volta stirato, di riprendere la sua lunghezza ottimale

Per tenersi costantemente informato sull'entità delle tensioni muscolari, sulla posizione dei segmenti del corpo rispetto agli altri e sulla direzione e posizione del corpo rispetto all'ambiente esterno, l'apparato locomotore possiede dei **proprioettori generali** (Tabella) che sono organi di senso stimolati dai movimenti delle fibre e delle articolazioni (Figura). Questi proprioettori sono anche dei sistemi posti a difesa dell'integrità della struttura muscolo-tendinea e articolare.

La loro stimolazione trasmette gli stimoli al cervello permettendo la reazione dei meccanismi riflessi che regolano, oltre al movimento, anche la postura ed il tono muscolare.

I più importanti proprioettori sono:

- **I fusi neuromuscolari**, avvolti dalle fibre muscolari e posti in parallelo con esse, informano sui cambiamenti di tensione del muscolo, con particolare riferimento alla velocità e ampiezza. Se il muscolo viene allungato repentinamente generano dei segnali, di intensità crescente col crescere della tensione, ai quali il muscolo risponde con una contrazione (**riflesso miotatico fasico o riflesso da stiramento**) (Tabella) mentre il suo antagonista si rilascia (**fenomeno della inibizione reciproca**). Questo permette di evitare un ulteriore pericoloso allungamento.
- **Gli organi tendinei del Golgi**, posizionati in serie nella struttura tendinea del muscolo, danno informazioni sull'eventuale eccesso di tensione dovuto allo stiramento o alla contrazione muscolare. Producono una inibizione della contrazione e conseguente rilasciamento del muscolo (**riflesso inverso da stiramento o innervazione reciproca**) (Tabella). La loro risposta non è immediata ma solo dopo circa 6 secondi dall'inizio dello stiramento.
- **I recettori di Pacini ed i corpuscoli di Ruffini**, situati nelle capsule articolari, informano sull'ampiezza, velocità e senso del movimento.

I propriocettori

Propriocettori: recettori sensibili agli stimoli prodotti dai mutamenti ambientali. Più precisamente vengono suddivisi in:

- esteroceettori, localizzati sulla superficie del corpo o in prossimità di essa;
- enteroceettori, localizzati all'interno del corpo;
- propriocettori, localizzati nella struttura muscolo-tendinea e nelle articolazioni.

Riflesso miotatico fasico: un esempio tipico è dato dal brusco stiramento del muscolo che si ottiene percuotendo con un martelletto il tendine rotuleo del quadricipite femorale. Questo stimola i fusi neuromuscolari che producono l'attivazione, in via riflessa, dei motoneuroni spinali (cellule responsabili della conduzione dell'impulso nervoso tra il sistema nervoso ed il muscolo. Comandano la contrazione e la regolazione del tono muscolare) che fanno contrarre il muscolo che si oppone così allo stiramento passivo.

Riflesso inverso da stiramento: si attiva durante la contrazione o lo stiramento eccessivo di un muscolo, stiramento che stimola gli organi tendinei del Golgi che, allo scopo di proteggere il muscolo da lesioni, inibiscono il neurone spinale con conseguente rilasciamento del muscolo stesso.