

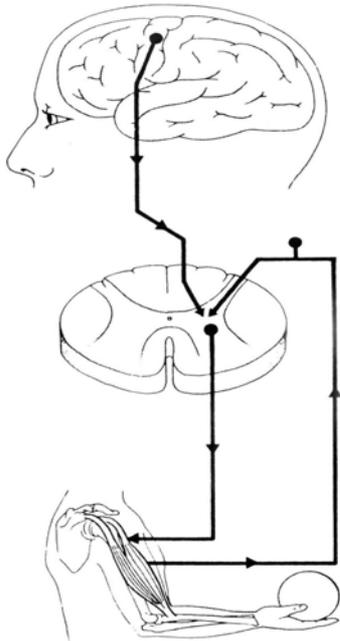
LA FORZA MUSCOLARE

Prof. Nicola Silvaggi

CENNI GENERALI SUL SISTEMA NEUROMUSCOLARE

La forza e la velocità, due parametri prodotti dal muscolo scheletrico, sono alla base di qualsiasi movimento che l'uomo compie. Apparentemente questi due parametri sembrano molto dissimili tra loro ma in realtà, essendo prodotti dallo stesso sistema, la dinamica della contrazione muscolare è la stessa: è la dimensione del carico esterno a determinare con quale velocità e forza deve essere spostato il carico.

Il sistema che produce forza e velocità è definito sistema neuromuscolare. Esso è composto dal sistema nervoso definito anche sistema neurale e dalla parte muscolare o sistema miogeno. Il muscolo si contrae e produce movimento in quanto viene eccitato da uno stimolo che parte dall'area motoria del cervello e si trasmette attraverso il midollo spinale, da qui attraverso un motoneurone arriva sulle fibre muscolari. (Fig.1)



Le fibre muscolari a loro volta sono formate da sottili filamenti chiamati miofibrille che a loro volta contengono l'unità funzionale del muscolo: il **sarcomero** fig. 2.

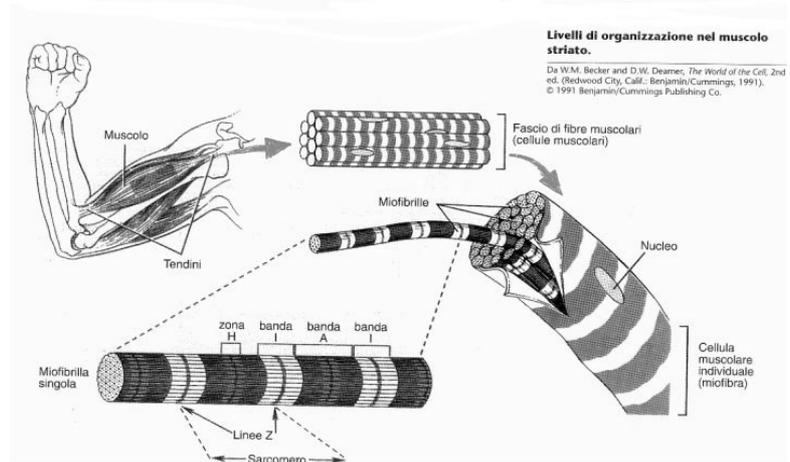


Fig. 2

Fig. 1 – Rappresentazione schematica delle componenti principali preposte alla realizzazione del movimento (da: Sale),

Il sarcomero è composto da sottili filamenti proteici: actina e miosina. Quando la fibra muscolare viene raggiunta da uno stimolo nervoso i filamenti di actina e miosina reagiscono formando il cosiddetto “cross-bridge” ponte actomiosinico, per mezzo del quale i due filamenti scorrono uno sull'altro accorciando il sarcomero fig. 3 a, b.

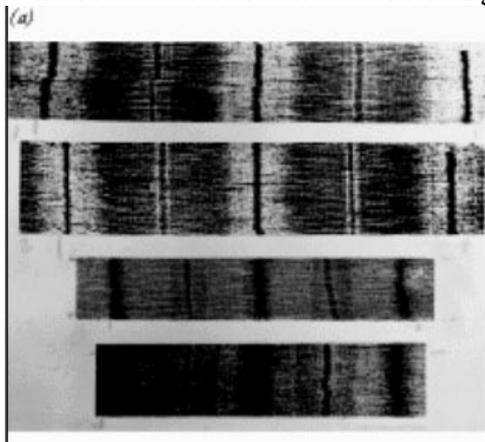


Fig. 3° sarcomero visto al microscopio elettronico



Fig. 3b sarcomero schematizzato

Quando descritto precedentemente, è in sintesi il sistema che permette all'uomo di produrre forza in generale. La possibilità per un atleta di produrre forza e velocità sempre più elevata dipende da diversi fattori che possiamo così sintetizzare:

- 1 Tipi di fibre muscolari
- 2 Sezione trasversa delle fibre (grandezza del diametro delle fibre definita IPERTROFIA)
- 3 Reclutamento delle fibre
 - a Reclutamento e frequenza
 - b La sincronizzazione
 - c Efficienza neuromuscolare
- 4 Coordinazione intra e intermuscolare
- 5 Fattori legati allo stiramento
 - a Fenomeni eccitatori ed inibitori della contrazione muscolare
 - b Caratteristiche elastiche del muscolo

1a ° Le fibre muscolari

Nel muscolo sono state classificate due tipi di fibre:

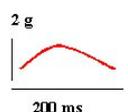
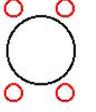
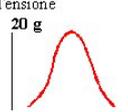
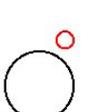
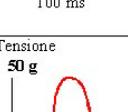
- ❖ Fibre rosse chiamate più comunemente fibre lente o toniche, definite anche di tipo I o con sigla inglese definite Slow twitch fibres ST
- ❖ Fibre bianche chiamate più comunemente fibre veloci o fasiche o di II tipo o con sigla inglese definite Fast twitch fibres FT

Le fibre del tipo I sono fibre rosse perciò lente, caratterizzate da metabolismo aerobico, producono basse tensioni per un periodo di tempo molto lungo. Sono fibre molto vascolarizzate e si affaticano poco. I substrati utilizzati per la risintesi dell'ATP sono glucidi e lipidi.

Le fibre del tipo IIa sono fibre di tipo intermedio, il metabolismo è misto anaerobico-aerobico, sviluppano una tensione media e sono mediamente vascolarizzate.

Le fibre del tipo IIb sono fibre rapide per eccellenza, sviluppano altissime tensioni, sono scarsamente vascolarizzate, il metabolismo è di tipo anaerobico, si affaticano rapidamente. Tab. 1

Ogni individuo possiede percentuali di fibre bianche e rosse in quantità diverse e questo è dettato solo da fattori genetici per cui atleti con percentuali di fibre bianche maggiore rispetto alle rosse sono in grado di esprimere gradienti di forza esplosiva superiore rispetto ad atleti con maggior numero di fibre rosse Fig. 3. La percentuale di fibre presente in un muscolo determina la caratteristica di muscolo veloce o resistente. Un muscolo con un'alta percentuale di fibre bianche è un muscolo che esprime più velocità rispetto ad un muscolo con prevalenza di fibre rosse. Nella Fig. 4 si nota come soggetti con percentuali di fibre bianche a carichi bassi esprimano maggiore velocità rispetto a soggetti con percentuali maggiori di fibre rosse.

Fibre	Caratteristica generale	Metabolismo	Scossa muscolare	Vascolarizzazione	Affaticabilità	Substrati	
						Glucidi	lipidi
I	Lente	Aerobico	Tensione 2 g  200 ms		Scarsa	☆ ☆ ☆	☆ ☆ ☆
IIa	Rapide	Aerobico anaerobico	Tensione 20 g  100 ms		Media	☆ ☆ ☆	☆
IIb	Rapide	Anaerobico	Tensione 50 g  100 ms		Elevata	☆ ☆ ☆	☆

Tav. 1 da: Cometti modificato

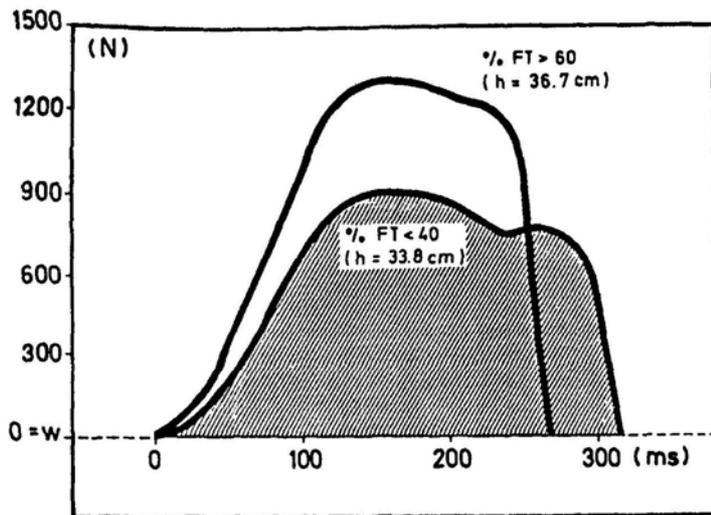


Fig. 3 relazione forza tempo registrata durante l'esecuzione di SJ eseguiti da soggetti veloci (%FT>60) e lenti (%FT<40) (da: Bosco e Komi, 1976b)

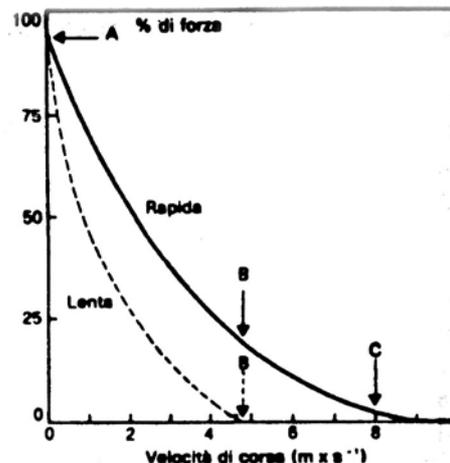


Fig.4 Esempio della relazione forza velocità nei tipi lenti e rapidi (da: Bosco 1983)

L'obiettivo principale dell'allenamento è quello di migliorare le caratteristiche dei due tipi di fibre in funzione della disciplina sportiva praticata e questo è possibile se si somministrano stimoli specifici. Stimoli errati possono provocare adattamenti non desiderati soprattutto a carico delle fibre rapide, infatti, queste pur mantenendo le caratteristiche di fibre fasiche possono subire modificazioni a livello di metabolismo. Questo accade prevalentemente a carico delle fibre del tipo IIa, che hanno un metabolismo misto, quindi sollecitazioni lente e prolungate ne esaltano prevalentemente il metabolismo aerobico.

2 Ipertrofia

Sotto ponendo il muscolo ad allenamenti con carichi elevati (forza massima) si provocano modificazioni strutturali alle fibre muscolari. Queste aumentano di dimensione e precisamente aumenta la sezione trasversa. Questo fenomeno viene definito ipertrofia.

Essa è dovuta principalmente all'aumento del materiale contrattile del muscolo.

Le cause dell'ipertrofia sono:

- a) Aumento delle miofibrille
- b) Sviluppo degli involucri muscolari (tessuto connettivo)
- c) Aumento della vascolarizzazione
- d) Aumento del numero di fibre (iperplasia). Argomento questo ancora molto discusso e criticato da diversi ricercatori, perciò da non prendere in considerazione fig. 5.

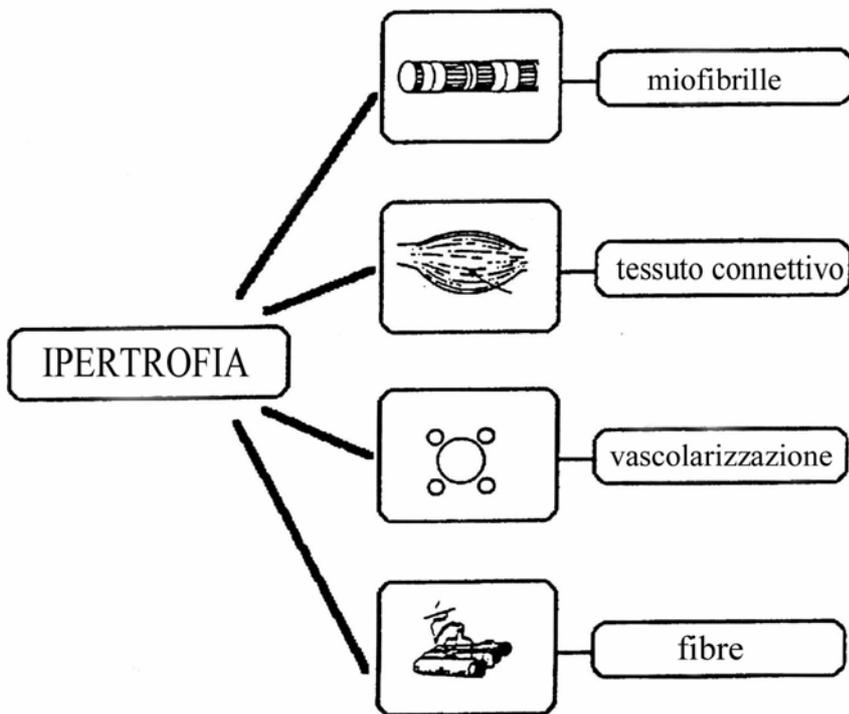


Fig. 5 Le cause dell'ipertrofia (da: Cometti)

Ogni fibra muscolare, che sia essa lenta o veloce, è composta da un elevato numero di miofibrille e sono proprio queste ad aumentare sia di volume sia di numero quando il muscolo è sottoposto a lavoro con carichi molto pesanti. Le fibre interessate all'aumento di volume riguardano entrambi i tipi (lente e rapide), ma l'aumento maggiore avviene a carico delle fibre rapide fig. 6; l'immobilizzazione del muscolo provoca un'ipertrofia che interessa maggiormente le fibre rapide (Mac Dougall e coll. 1980) fig. 7.

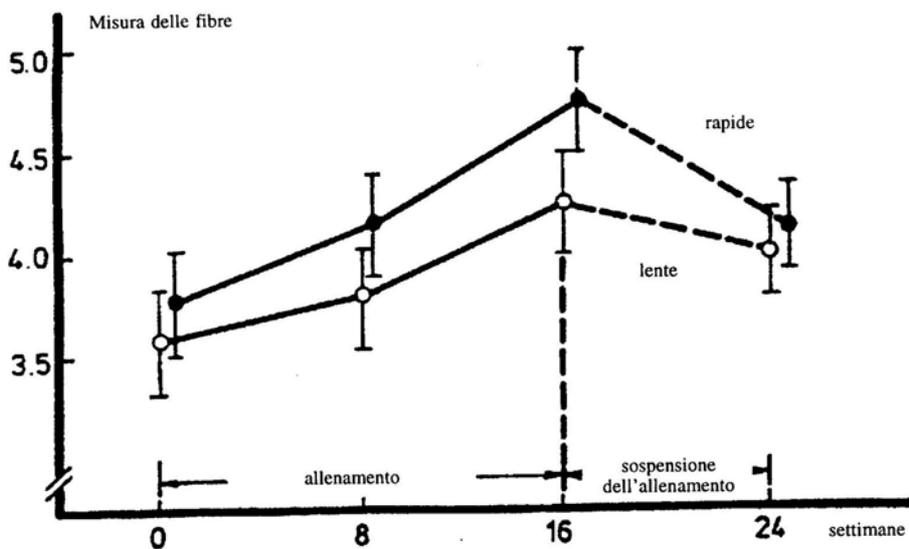


Fig. 6 Evoluzione delle fibre rapide e lente in seguito a 16 settimane di allenamento e 8 settimane di sospensione dell'allenamento (da: Hakkinen e coll. 1981)

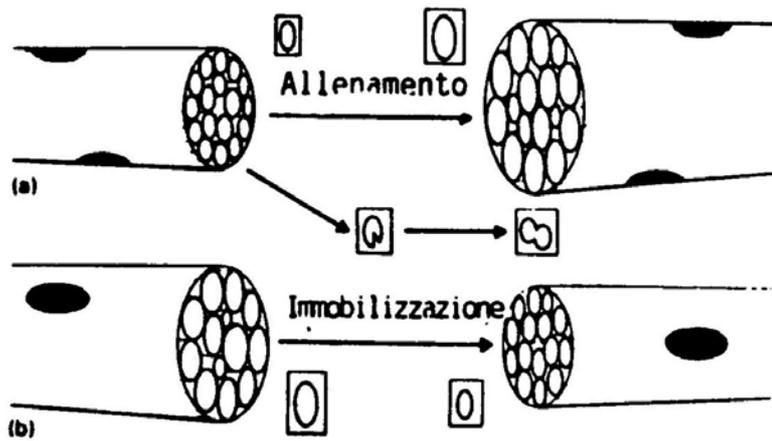


Fig. 7 Modello delle variazioni morfologiche che avvengono come risposta allenamento della forza massima e dell'immobilizzazione. Con l'allenamento la sezione trasversa delle miofibrille aumenta in proporzione diretta all'incremento della dimensione e del numero (a). Con l'immobilizzazione la sezione delle fibre decresce in proporzione alla sezione delle miofibrille (b). (da: Mac Dougall, 1986 modificato)

I metodi utilizzati per lo sviluppo dell'ipertrofia sono molti e diversi tra loro. Qualsiasi metodo si utilizzi, esso deve rispettare alcuni principi essenziali per far sì che si verifichi l'effetto voluto. Gli allenamenti per lo sviluppo dell'ipertrofia devono essere eseguiti con carichi compresi tra il 70 ed il 90 % di una RM, per permettere la stimolazione di tutte le unità motorie disponibili, perciò un numero elevato di fibre muscolari. Il numero di ripetizioni non deve essere superiore a 10. Carichi elevati (90%) consentono un numero limitato di ripetizioni (2-3 rip.) perciò sono stimolati solo i processi nervosi. Carichi inferiori al 70% permettono di eseguire un numero di ripetizioni elevato ma non si attivano tutte fibre perciò si innescano solo i processi metabolici deputati alla resistenza. Lavorando con carichi che ci permettono di eseguire al massimo 10 ripetizioni, si attivano i processi connessi alla sintesi proteica, essenziale per l'aumento della massa muscolare Fig. 8.

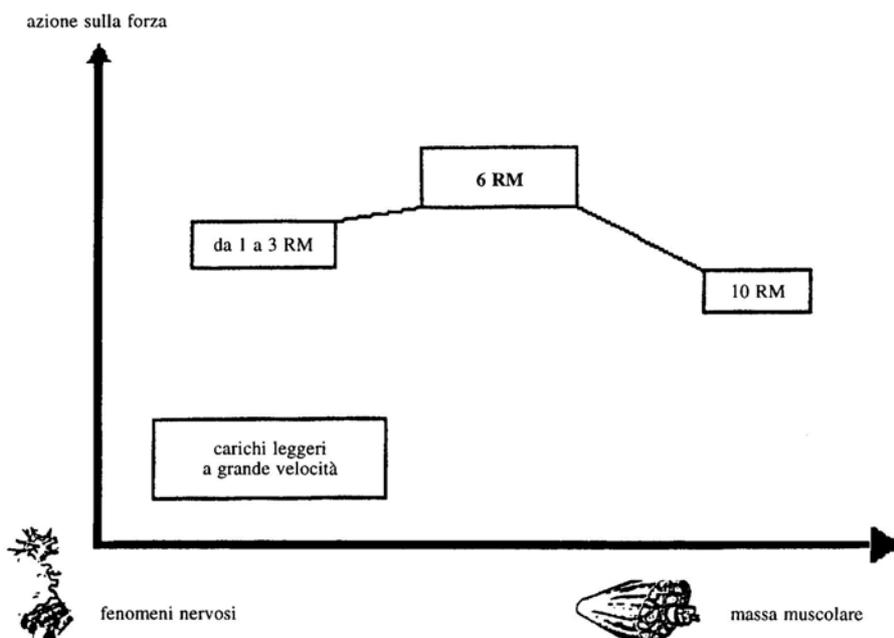


Fig.8 Rappresentazione dei carichi e del numero di ripetizioni utilizzati per migliorare la forza max o l'ipertrofia (da: Cometti, 1988)

Possiamo affermare che la causa principale dell'ipertrofia è dovuta principalmente all'aumento del materiale contrattile del muscolo, tuttavia altri due elementi concorrono, se pur in modo meno marcato, all'aumento del volume muscolare:

- Tessuto connettivo
- Vascolarizzazione

Diversi autori (Stone 1988, Viidik 1986, Golspink 1985) hanno notato che all'aumento del volume delle miofibrille si accompagna un aumento del tessuto connettivale che avvolge le miofibrille. Le modificazioni avvengono prevalentemente a carico dell'elemento principale del tessuto connettivale che è il collagene, composto di tre catene di aminoacidi.

L'altro elemento che concorre all'ipertrofia è l'aumento della vascolarizzazione. Si è riscontrato un aumento di vasi capillari per fibra soprattutto in atleti che praticano sport di resistenza e culturisti, mentre nessun risultato significativo si è avuto su atleti che eseguono esercizi di forza come i sollevatori di pesi.

• 3 Reclutamento delle fibre

Lo sviluppo della forza nel corso di un movimento naturale o gesto sportivo, dipende da una complessa serie di movimenti, controllati e coordinati da una complicata sequenza di attivazione neuromuscolare. Lo sviluppo e la regolazione fine della forza viene effettuato da un sistema centrale (Sistema Nervoso Centrale) che si serve poi di un sistema periferico (nervi periferici) per portare l'ordine ai muscoli Fig 9.

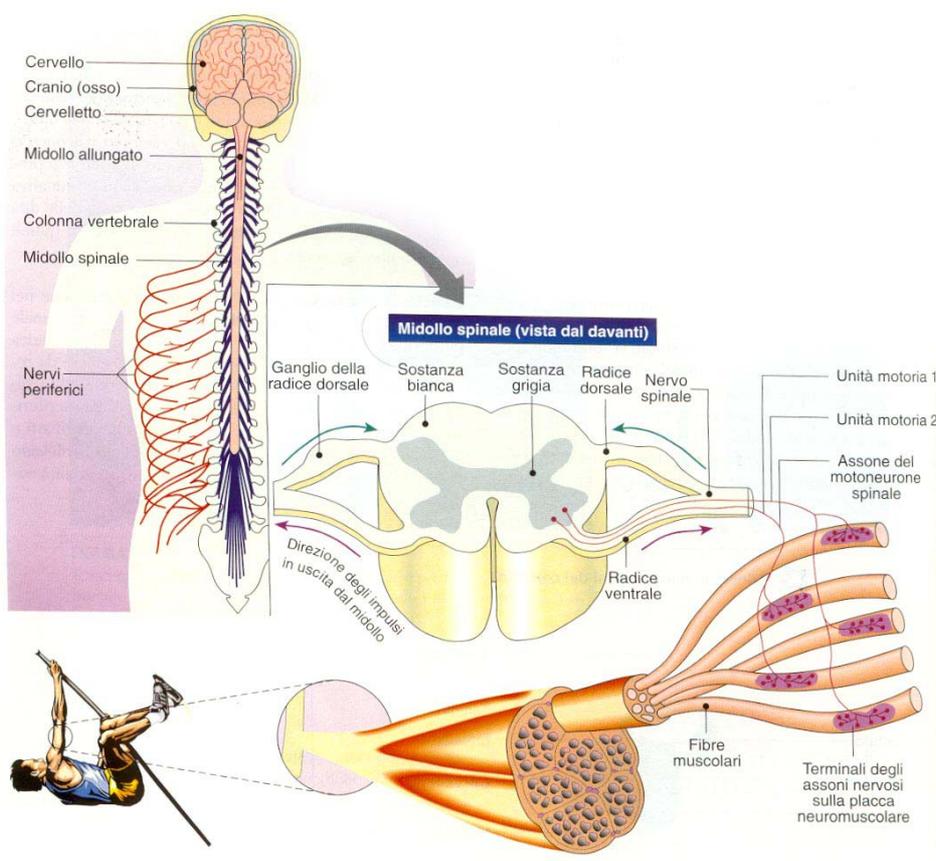


Fig 9 la figura mostra una sezione del midollo spinale ed i motoneuroni afferenti (in entrata al midollo) e i neuroni efferenti (in uscita dal midollo).

Le fibre muscolari si contraggono ed esprimono tensione per effetto di stimoli nervosi che dal sistema nervoso centrale raggiungono le fibre stesse attraverso un motoneurone. Il complesso funzionale

costituito da un motoneurone spinale alfa e dalle fibre che esso innerva viene definito UNITA' MOTORIA fig. 10.

La maggior parte dei muscoli è costituita da 100 a 700 unità. Es. muscolo flessore di un dito ci sono 120 unità motorie per un totale di 41000 fibre, il gastrocnemio è controllato da 580 unità motorie per un totale di fibre di 1030000.

Il numero di fibre per unità motoria varia a secondo dei muscoli, ad esempio si va dalle tre fibre per il muscolo estrinseco dell'occhio alle circa 1730 fibre per il soleo (Aubert).

Es. muscolo flessore delle dita l'unità motoria contiene 340 fibre, il gastrocnemio ne contiene 1800.

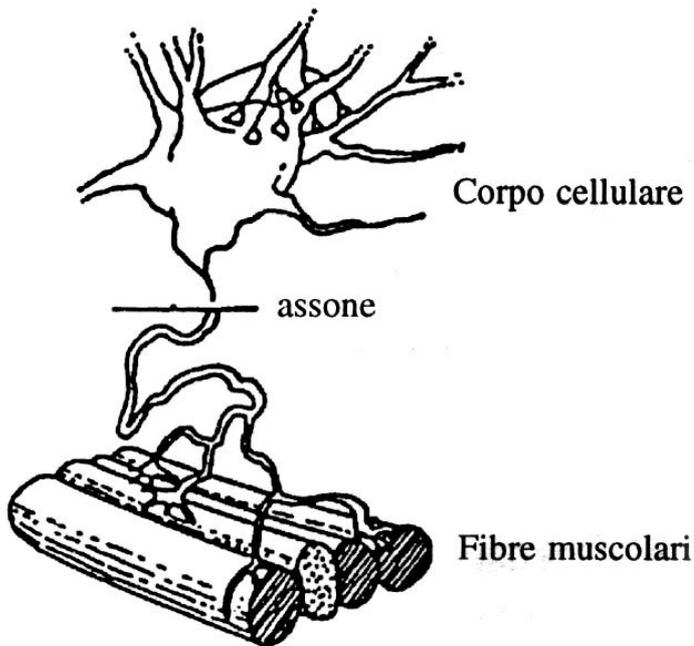


Fig 10 unità motoria

La contrazione di una fibra muscolare è sempre massimale, pertanto anche la stimolazione di una unità neuromotoria comporta uno sviluppo di forza massimale.

la contrazione simultanea di tutte le fibre di una unità motoria viene definita: **LEGGE DEL TUTTO O NULLA**

Può sembrare a prima vista che il muscolo sappia compiere contrazioni solo massimali ma in realtà è in grado di sviluppare innumerevoli varietà di tensioni.

La graduazione della forza sviluppata dipende dalla possibilità di variare la frequenza di stimolazione delle unità neuromotorie e dalla possibilità di variare il numero delle unità neuromotorie stimulate.

Il meccanismo che regola il numero di unità motorie da reclutare per sviluppare tensioni diverse viene definito reclutamento.

• 3a Reclutamento e frequenza

Tra i fattori neurogeni, quello che subisce i primi adattamenti all'allenamento della forza massimale è quello relativo al reclutamento di nuove unità motorie (reclutamento spaziale)

Successivamente con l'allenamento migliora la capacità di reclutare sempre più unità motorie nel medesimo tempo (reclutamento temporale).

Il reclutamento temporale è spiegato nel seguente modo:

il muscolo risponde ad un impulso con una contrazione, al sopraggiungere di un secondo impulso la contrazione diventa maggiore; una serie di impulsi ravvicinati provoca un tetano ravvicinato o clono, fino ad arrivare al tetano completo Fig.11, normalmente la fascia delle frequenze è compresa tra 8 e 50-60 hertz.

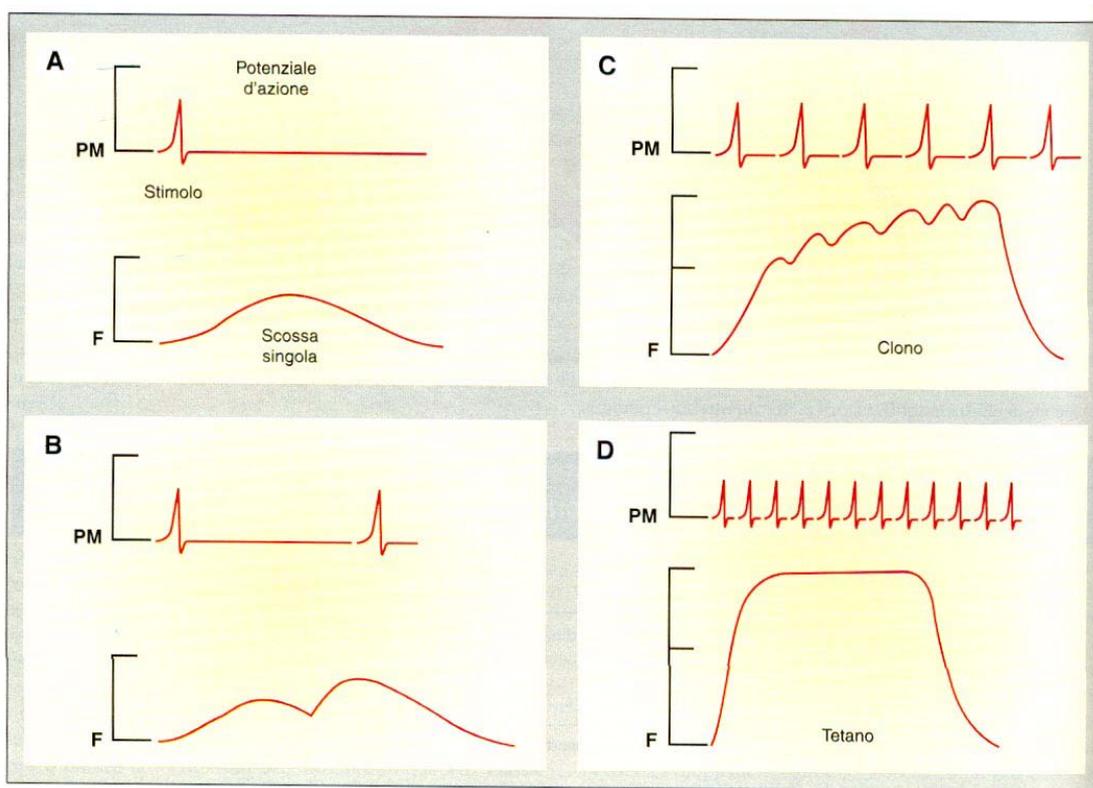


Fig 11 Reclutamento temporale

Per i movimenti rapidi può arrivare anche ai 150 hertz. La forza massima si può ottenere anche con frequenze di 50 hertz, ed anche se la frequenza arriva a 150 hertz non vi sono incrementi di forza massima bensì un miglioramento della pendenza della curva Fig.12, questo fenomeno è particolarmente interessante per tutti i gesti sportivi di tipo esplosivo.

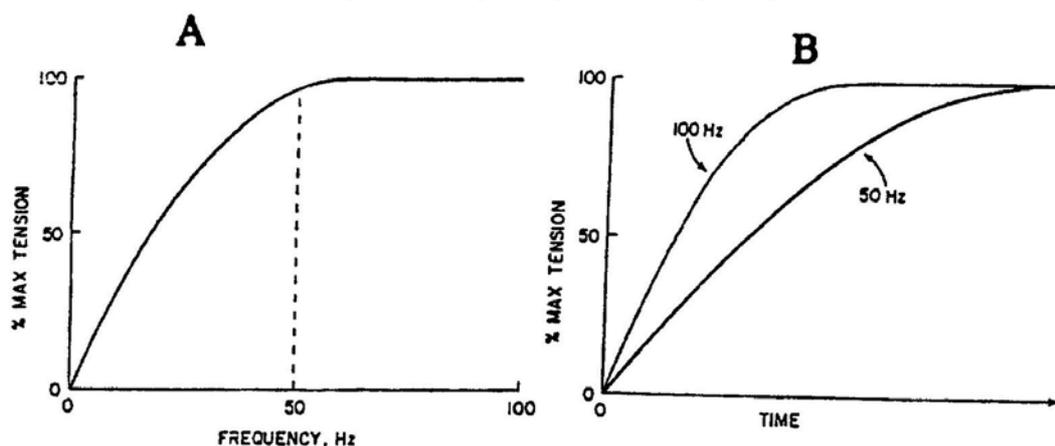
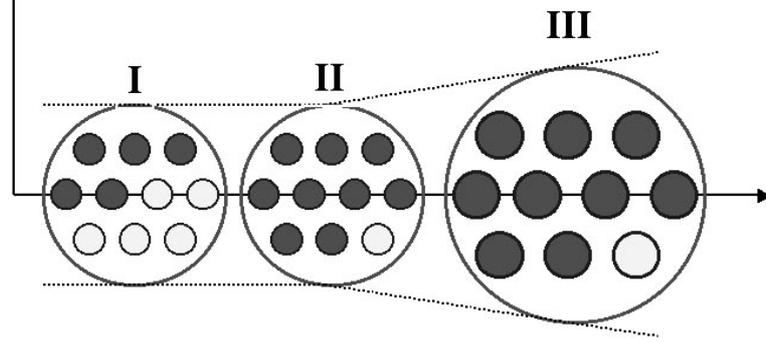


Fig. 12 una stimolazione a 50Hz è sufficiente per produrre forza massima (a). se si aumenta la frequenza (b) aumenta la pendenza della curva e quindi lo sviluppo rapido della forza (secondo Grimby e coll. 1981)

Le frequenze fino a 50-60 hertz sono strettamente legate al reclutamento spaziale e per raggiungerle c'è bisogno in ogni caso di carichi elevati. Sollevare carichi elevati in tempi molto brevi permette di arrivare a frequenze intorno ai 100 hertz, mentre con movimenti esplosivi espressi in tempi brevissimi (100ms) si arriva a frequenze di 150 hertz. La capacità di emettere impulsi di stimoli ad alta frequenza è l'ultima fase di miglioramento del sistema nervoso. Per produrre adattamenti stabili occorre un

periodo di tempo molto lungo; di contro c'è il fatto che l'adattamento regredisce velocemente in assenza di allenamento.



reclutamento nell'aumento di forza (Fukunaga 1976)

Fig. 13 Rappresentazione dei fenomeni di

L'effetto positivo dello stimolo, all'inizio dell'allenamento, agisce prevalentemente sul numero di fibre da reclutare.

Un soggetto sedentario normalmente recluta solo il 30-50% delle unità a disposizione, Fig 13 dopo alcune settimane di lavoro il soggetto è in grado di esprimere più forza grazie ad un maggior reclutamento di unità motorie, mentre con il proseguire del tempo la causa del miglioramento di forza diventa l'ipertrofia.

Il reclutamento delle fibre muscolari è normalmente spiegato con la legge di Henneman che mostra come le fibre lente siano reclutate prima delle rapide. La Fig 14 evidenzia che per carichi leggeri sono reclutate fibre lente, per un carico medio si reclutano fibre intermedie e solo con carichi elevati si attivano fibre veloci. Questa legge oggi è stata rimessa in discussione quando si parla di movimenti balistici. La legge rimane valida solo se i movimenti con carichi leggeri sono spostati a basse velocità cioè se si passa da esercizi eseguiti blandamente come la corsa lenta e si va verso esercizi di forza. In movimenti balistici le unità motorie rapide vengono reclutate senza che siano sollecitate le fibre lente fig. 15

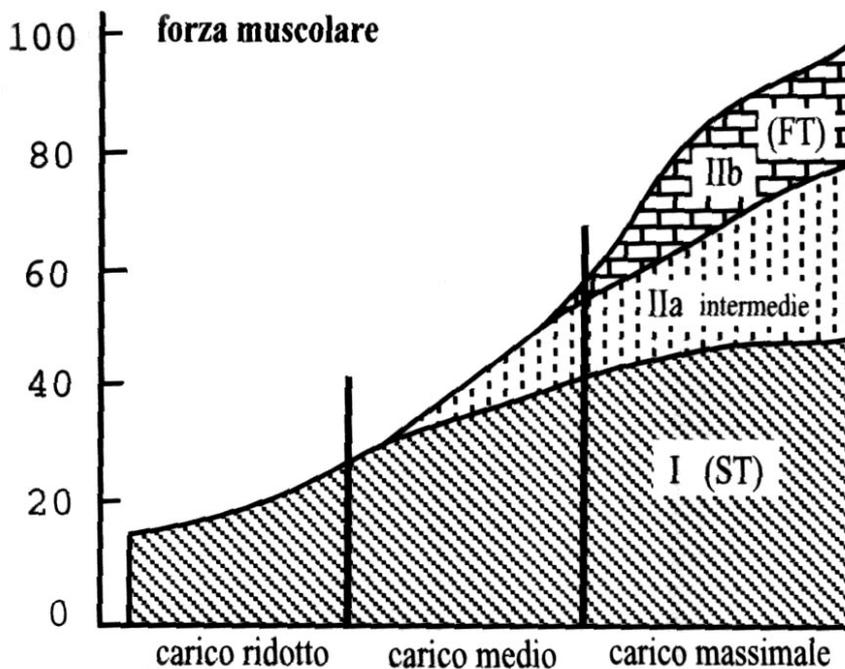


Fig 14 Il reclutamento delle fibre rispetto all'intensità del carico (Costill 1980)

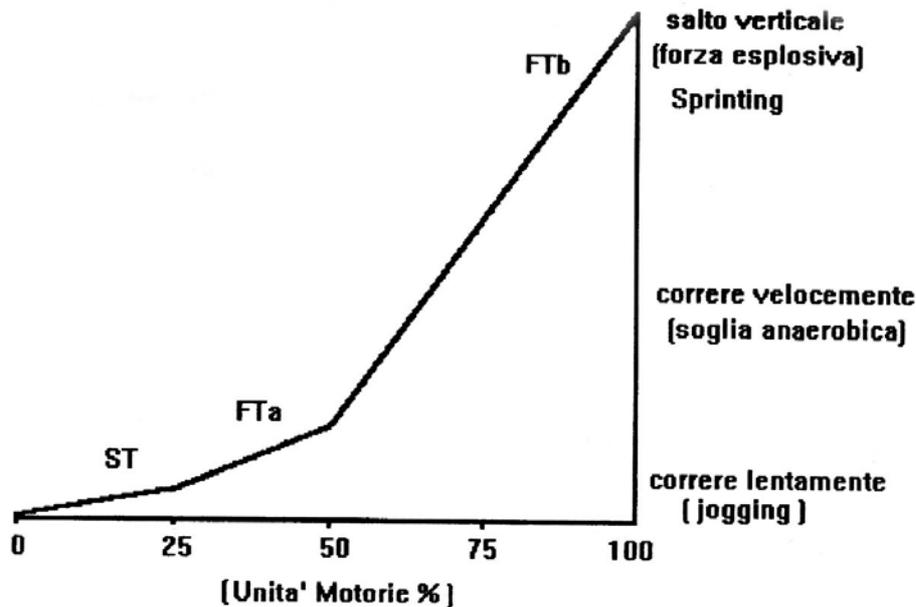


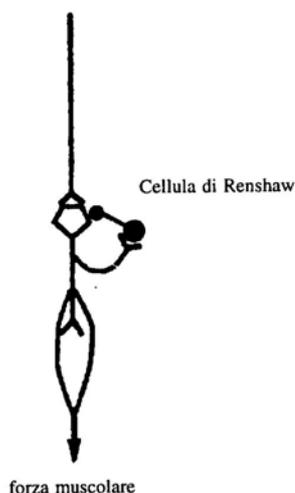
Fig 15 Modello ipotetico di reclutamento delle varie unità motorie lente (ST) intermedie (FTa) e veloci (FTb) (da: Stuart ed Enoka 1983)

Studi condotti da Bosco e Komi hanno dimostrato che soggetti ricchi di fibre veloci nei muscoli degli arti inferiori, ottenevano risultati migliori nel salto verticale. Questo fa pensare che se pur gli sviluppi di forza sono molto bassi, 30-40% della forza massima isometrica, l'intervento delle unità fasiche è dominante sulle toniche.

• 3b La sincronizzazione

Come detto nel paragrafo precedente la capacità di emettere impulsi di stimoli ad alta frequenza è l'ultima fase di miglioramento del sistema nervoso. Quest'ultimo adattamento ci porta ad un altro meccanismo di produzione della forza: la sincronizzazione.

La sincronizzazione la possiamo definire come la capacità di reclutare tutte le fibre nello stesso istante. Quindi la sincronizzazione ci porta ad un ulteriore miglioramento della forza e soprattutto al miglioramento della forza esplosiva. Secondo Sale (1988) la sincronizzazione delle unità motorie non porta ad un aumento della forza massima ma ad una capacità di sviluppare forza in tempi più brevi. La sincronizzazione è regolata da un particolare sistema inibitorio composto da interneuroni chiamate cellule di Renshaw fig. 16. Queste cellule formano un sistema di sicurezza con l'effetto di deprimere l'attività dei motoneurone. Il risultato è pertanto una diminuzione della frequenza di scarica del motoneurone, per cui viene impedita un'eccessiva attività con eventuale sovraccarico del muscolo.



Un miglioramento della sincronizzazione con conseguente inibizione del circuito di Renshaw, si può avere attraverso esercitazioni molto intense come ad esempio balzi pliometrici. Nella Fig. 17 sono schematizzati i rapporti tra reclutamento e sincronizzazione nel corso di una contrazione muscolare. Inizialmente si migliora la capacità di reclutare un maggior numero di unità motorie, successivamente migliora la capacità di reclutarle in un tempo minore e per ultimo aumentare la frequenza di stimolo che porta alla sincronizzazione.

Fig 16 Cellula di Renshaw

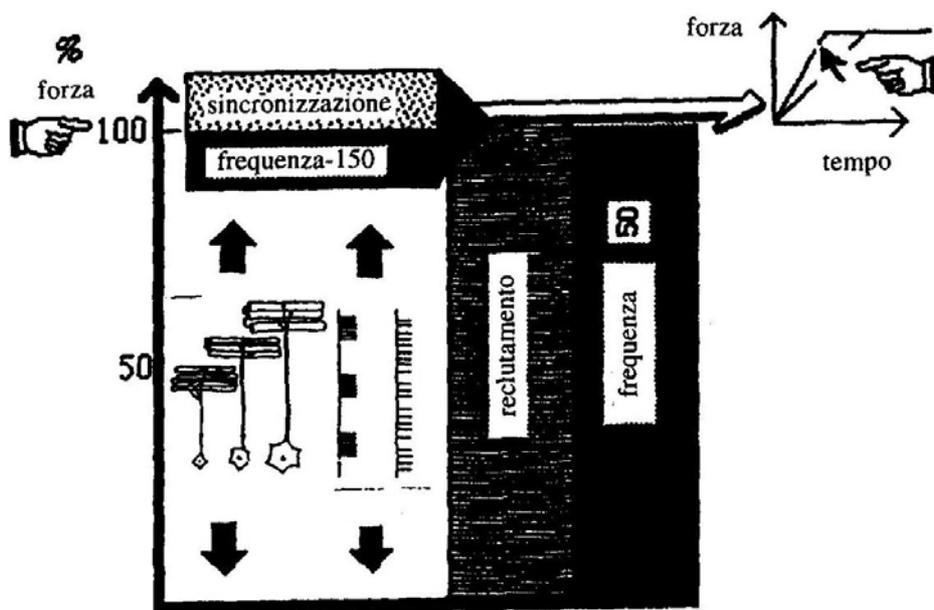


Fig.17 Rappresentazione schematica dell'intervento dei diversi meccanismi nella regolazione della forza (da: Cometti)

• 3c Efficienza neuromuscolare

L'incremento di forza che un muscolo ottiene dopo un periodo di allenamento, è dovuto a adattamenti e modificazioni sia della parte miogena sia della parte neurale.

Questi miglioramenti portano ad un diverso rapporto tra forza sviluppata ed attività elettrica prodotta dal sistema nervoso centrale EMG/Forza. Una decremento di questo rapporto dovuta ad un riduzione dell'attività elettrica ed un aumento della forza evidenzia un fenomeno definito da Bosco efficienza neuromuscolare.

Questo fenomeno è spiegabile con l'esperimento riportato di seguito sulle conseguenze dell'allenamento incrociato effettuato sugli arti superiori.

Effetti di allenamenti incrociati hanno dimostrato un aumento di forza sull'arto controlaterale non allenato (Ikai e Fukunaga 1970, Houston e coll. 1983, Komi e coll. 1978). Sono stati condotti degli studi su ambedue gli arti superiori e si è notato che allenando un solo braccio, si ottengono miglioramenti di forza anche sull'altro arto non allenato.

Nella Fig 18 si nota l'effetto di un allenamento di forza su un braccio allenato ed uno non allenato. L'incremento di forza per il braccio allenato è dato sia da un miglioramento della parte miogena, evidenziato da un aumento della massa muscolare, sia da un livello di attivazione nervosa maggiore.

Per l'arto non allenato l'aumento di forza è dato solo da un incremento dell'attività nervosa.

Nella Fig 19 si evidenzia il miglioramento dell'EMG in funzione della forza prima e dopo l'allenamento. Il miglioramento consiste in una diminuzione dell'attività elettrica per esprimere la stessa forza, vale a dire una maggiore efficienza neuromuscolare, mentre nell'arto non allenato si osserva un miglioramento nervoso per esprimere più forza massima. I miglioramenti che si ottengono sul braccio non allenato, sono dovuti solo ed esclusivamente ad un incremento dell'attività elettrica ottenuto dalla stimolazione dell'altro braccio.

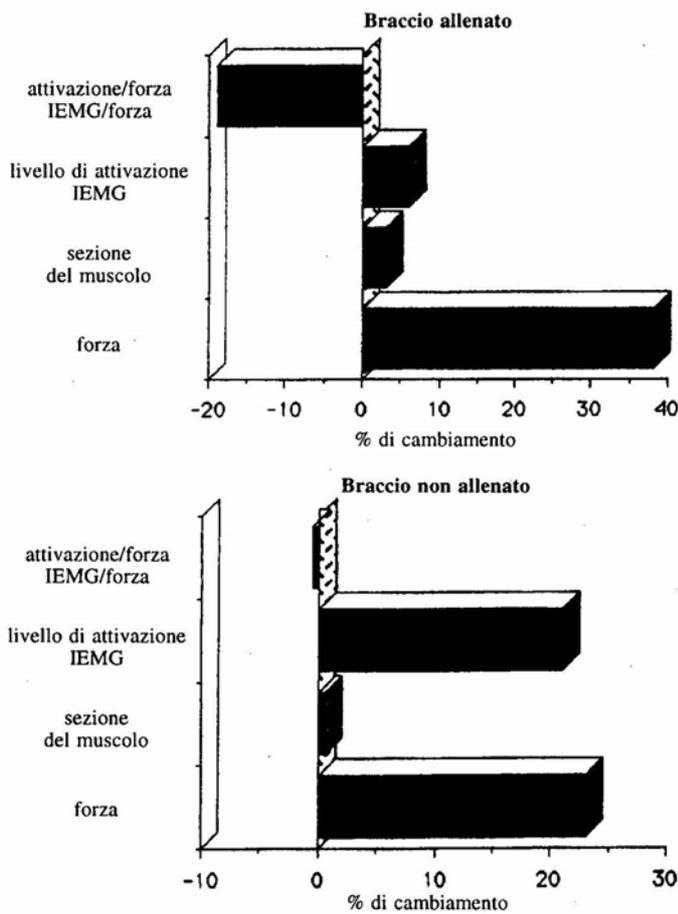


Fig. 18 Effetto di un allenamento di forza sul braccio allenato ed il braccio non allenato (secondo Moritani e De Vries 1979)

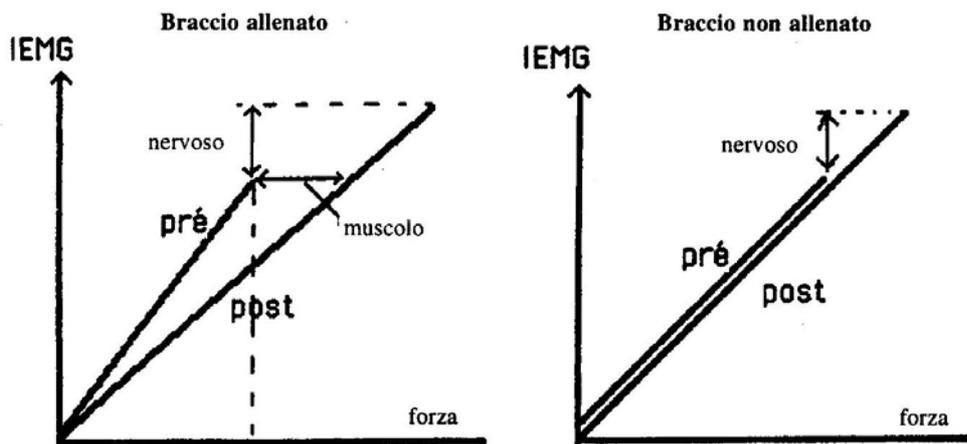


Fig 19 risultati di un allenamento di forza sul braccio allenato ed il braccio non allenato (secondo Moritani e De Vries 1979)

Concludendo si può riassumere dicendo che l'incremento di forza che un muscolo ottiene dopo un periodo di allenamento, è dovuto a adattamenti e modificazioni sia della parte miogena sia della parte neurale.

I primi adattamenti avvengono a livello di sistema nervoso e successivamente avvengono dei cambiamenti a livello morfologico (ipertrofia). fig.20.

Nella prima fase di allenamento si nota una fase predominante di adattamento neurale. Questa fase è stata studiata nella maggior parte delle ricerche pubblicate nella letteratura internazionale. Lavori sperimentali che sono stati protratti per lungo tempo mostrano un successivo adattamento miogeno e la relativa ipertrofia. L'intervento iniziale del miglioramento di forza, da parte del sistema nervoso, è stato dimostrato con studi in allenamento di breve durata che hanno evidenziato miglioramenti di forza massimale, senza aumento di volume muscolare:

Komi, Viitassalo, Rauramaa e Vihko (1979)

Moritano e De Vries (1979)

Tesch, Hjort e Balldin (1983)

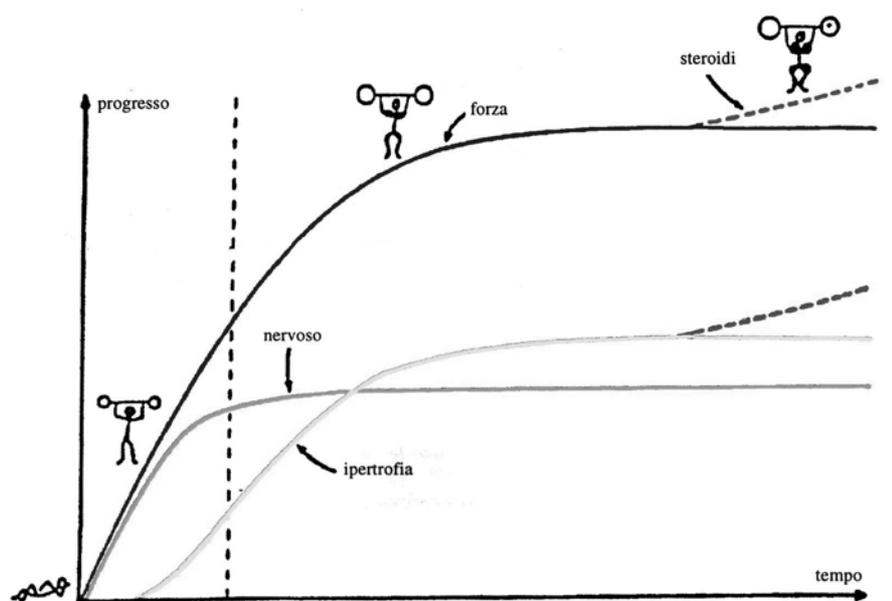


Fig. 20 Rappresentazione dei relativi ruoli di adattamento neurale e morfologico all'allenamento di forza massimale. Nella prima fase di allenamento si nota una fase predominante di adattamento neurale. Questa fase è stata studiata nella maggior parte delle ricerche pubblicate nella letteratura internazionale. Lavori sperimentali che sono stati protratti per lungo tempo mostrano un successivo adattamento miogeno e la relativa ipertrofia (modificato da: Sale, 1988)

4. La coordinazione intermuscolare

Molti studi dimostrano che il miglioramento della forza è specifico, cioè un progresso ottenuto in un determinato esercizio, ad esempio lo squat, non è sempre accompagnato da un miglioramento della forza in un altro esercizio. Ciò significa che incrementi di forza in parte sono dovuti alla coordinazione di quei muscoli che intervengono e che sono specifici per quel determinato esercizio. Di solito gli esercizi utilizzati per lo sviluppo della forza, nelle sue varie espressioni, sono molto diversi dal gesto tecnico, per questo è importante che l'allenamento della forza sia combinato con altri esercizi che si avvicinano sempre più alla tecnica specifica della disciplina praticata. Questi esercizi in gergo vengono definiti esercizi di forza speciale e specifica ed ogni disciplina sportiva ha i propri esercizi speciali.

Altro fenomeno che rientra tra la coordinazione intermuscolare è il rapporto tra muscoli agonisti ed antagonisti, la cosiddetta co-contrazione degli antagonisti. La contrazione dei muscoli agonisti a volte è accompagnata da una simultanea contrazione degli antagonisti, soprattutto durante esercitazioni molte rapide ed intense. Questo fenomeno si verifica spesso in atleti poco evoluti tecnicamente o su atleti che apparentemente non accusano nessun problema ma che, in effetti, presentano il muscolo interessato non in perfette condizioni fisiche. Questo fenomeno costituisce una sorta di meccanismo di difesa.

5. FATTORI LEGATI ALLO STIRAMENTO

Generalmente un muscolo preventivamente allungato, con piccole variazioni, esprime nel successivo accorciamento una forza maggiore rispetto ad una semplice contrazione eccentrica. La conseguenza di questo fenomeno dipende:

- ◆ Sollecitazione del sistema nervoso
- ◆ Proprietà visco-elastiche del muscolo

Fattori eccitatori ed inibitori

L'importanza delle esercitazioni pliometriche è quella di stimolare il sistema neuromuscolare tale da provocare sollecitazioni che permettono di sviluppare, in tempi molto brevi, elevatissimi livelli di forza ad alte velocità. La condizione essenziale per avere elevati sviluppi di forza, è quella di una limitata variazione angolare delle articolazioni interessate. Le esercitazioni pliometriche stimolano fortemente, con il meccanismo stiramento-accorciamento, sia le strutture miogene (parte contrattile del muscolo) che quelle neurogene (sistema nervoso). La stimolazione più importante avviene a livello neurogeno dove vengono ad essere sollecitate due funzioni tra l'altro in contrasto tra loro: inibitoria ed eccitatoria. L'equilibrio che si crea tra gli stimoli inibitori e quelli eccitatori influenzano le condizioni di realizzazione della prestazione.

L'unità motoria è costituita da un motoneurone, chiamato più precisamente alfa motoneurone, e dall'insieme di fibre che esso innerva. L'alfamotoneurone riceve informazioni o meglio stimoli dal Sistema Nervoso Centrale (SNC) e le trasmette alle fibre, le quali si contraggono. Oltre a ricevere informazioni dal SNC, l'alfamotoneurone riceve altre informazioni provenienti, al momento dell'allungamento, da fibre afferenti le quali inviano, attraverso motoneuroni chiamati betamotoneuroni, ulteriori stimoli che vanno a sommarsi a quelli provenienti dal SNC potenziandolo e permettendo un maggior reclutamento. Questa funzione eccitatoria è definita **riflesso miotattico o riflesso da stiramento**.

Il segnale che dal muscolo arriva al sistema nervoso centrale proviene da particolari recettori situati in parallelo con le fibre muscolari definiti fusi neuromuscolari. I fusi neuromuscolari sono recettori posti nei muscoli che forniscono messaggi riguardo la lunghezza del muscolo, più precisamente delle fibre muscolari, vengono definiti anche recettori di allungamento Fig 21.

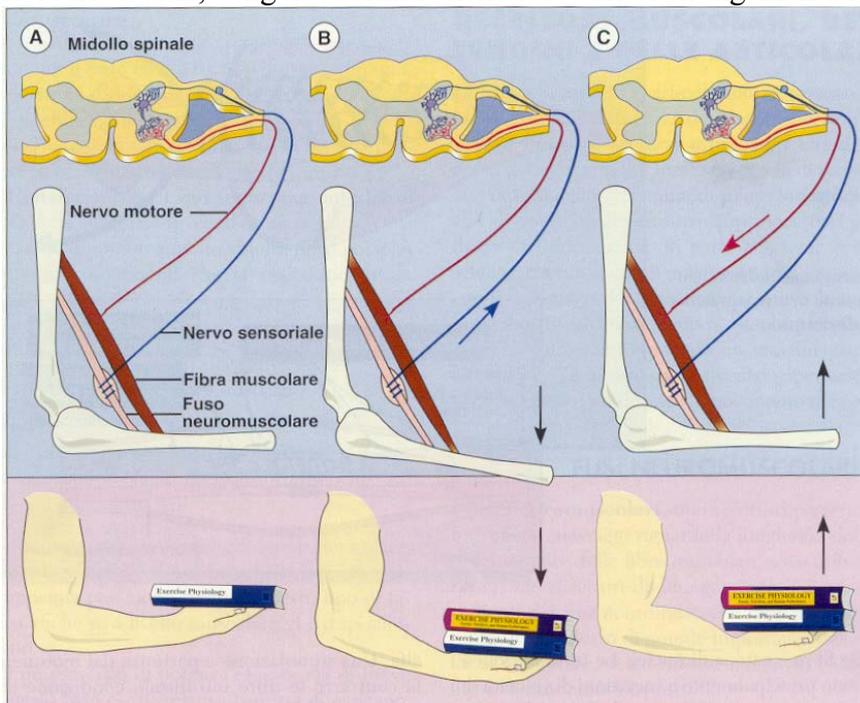


Fig 21 descrizione schematica dei fusineuromuscolari.

Quando un muscolo viene stirato contemporaneamente vengono sollecitati anche i fusineuromuscolari che inviano un segnale al sistema nervoso centrale. Se lo stiramento è seguito in tempi brevissimi da una contrazione concentrica il segnale proveniente dai fusi si somma al segnale volontario proveniente dal sistema nervoso centrale rafforzandolo.

Oltre a sollecitazioni eccitatorie ve ne sono altre inibitorie provenienti dai tendini dove sono situati particolari sensori chiamati corpuscoli tendinei del Golgi (GTG) fig 22.

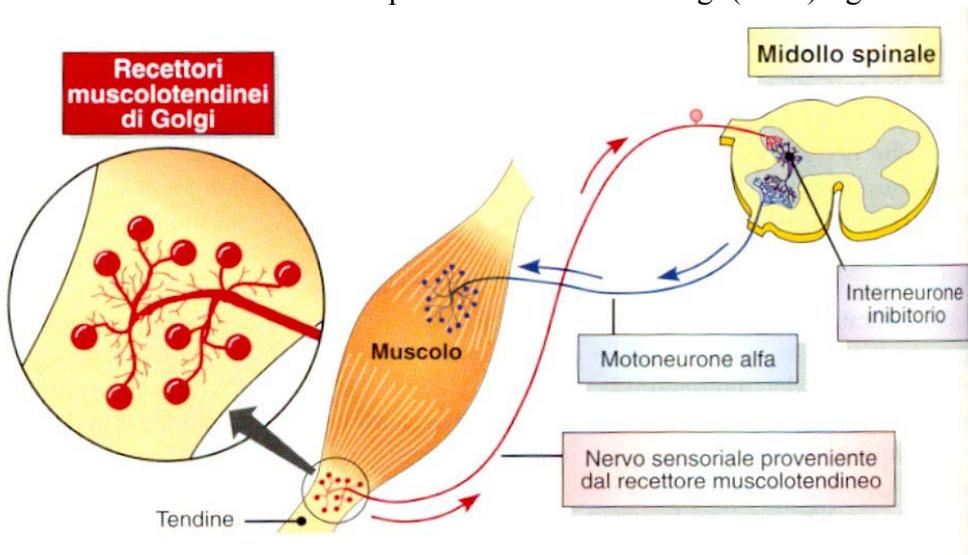


Fig 22 recettori del Golgi e meccanismo inibitorio.

I recettori del Golgi sono recettori di forza, ed essendo posti in serie rispetto al muscolo rispondono alle variazioni di forza che si sviluppano ai capi tendinei.

La funzione dei GTG è di inibire, o più semplicemente evitare, eccessivi sviluppi di forza che potrebbero provocare infortuni muscolari. Bosco (1985) ha dimostrato che i GTG hanno funzione inibitoria quando si raggiungono altezze di cadute eccessive nel Drop jump /salto in basso (caduta da diverse altezze con successivo salto verticale). L'allenamento con esercitazioni pliometriche innalza la soglia di eccitabilità dei recettori del Golgi in modo da avere una migliore risposta neuromuscolare, cioè un maggior sviluppo di forza. La migliore risposta neuromuscolare si ha quando gli stimoli eccitatori del riflesso miotattico superano gli stimoli inibitori esercitati dai GTG. Nella fig. 23 si può notare la differenza di risposta dell'attività elettrica di un soggetto allenato ed uno non allenato.

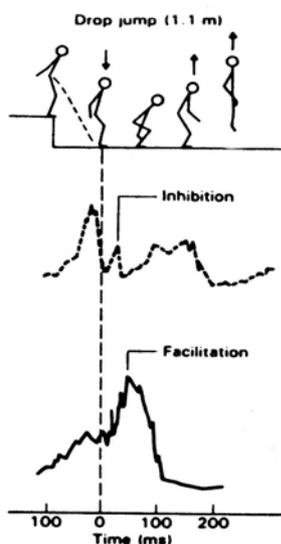


Fig. 23 Registrazione elettromiografica del gastrocnemio durante un salto pliometrico cadendo da 1,1 m, in un soggetto allenato (sotto) e non allenato (sopra). L'attività elettromiografica del soggetto allenato al momento del contatto sale per tutto il tempo, mentre il non allenato mostra una depressione iniziale dovuta ad inibizione (da Schmidbleicher e Gollhofer, 1982)

Proprietà visco-elastiche del muscolo

Nelle esercitazioni pliometriche, oltre alle componenti già descritte, oltre ad una risposta positiva a livello dell'attività elettrica vi sono altre componenti che danno ulteriori vantaggi ai fini di maggiori sviluppi di forza. I vantaggi derivano dalle componenti elastiche, le quali, una volta prestirate, restituiscono energia che va a sommarsi alla contrazione concentrica, per un ulteriore contributo allo sviluppo di forza. Un fattore molto importante ai fini dell'efficacia muscolare dovuta ad uno stiramento, è il tempo di "accoppiamento" (Bosco 1982), cioè il tempo che divide la fase di stiramento con la fase di accorciamento. Bosco ha dimostrato che più breve è il tempo di accoppiamento, più elevata è la restituzione di energia potenziale.

La quasi totalità degli sport presentano gesti tecnici con componenti a carattere pliometrico, perciò è importante inserire nell'allenamento esercitazioni che sollecitano la componente di allungamento-accorciamento. Nella Fig 24 si riassumono i punti più importanti dello stiramento muscolare.

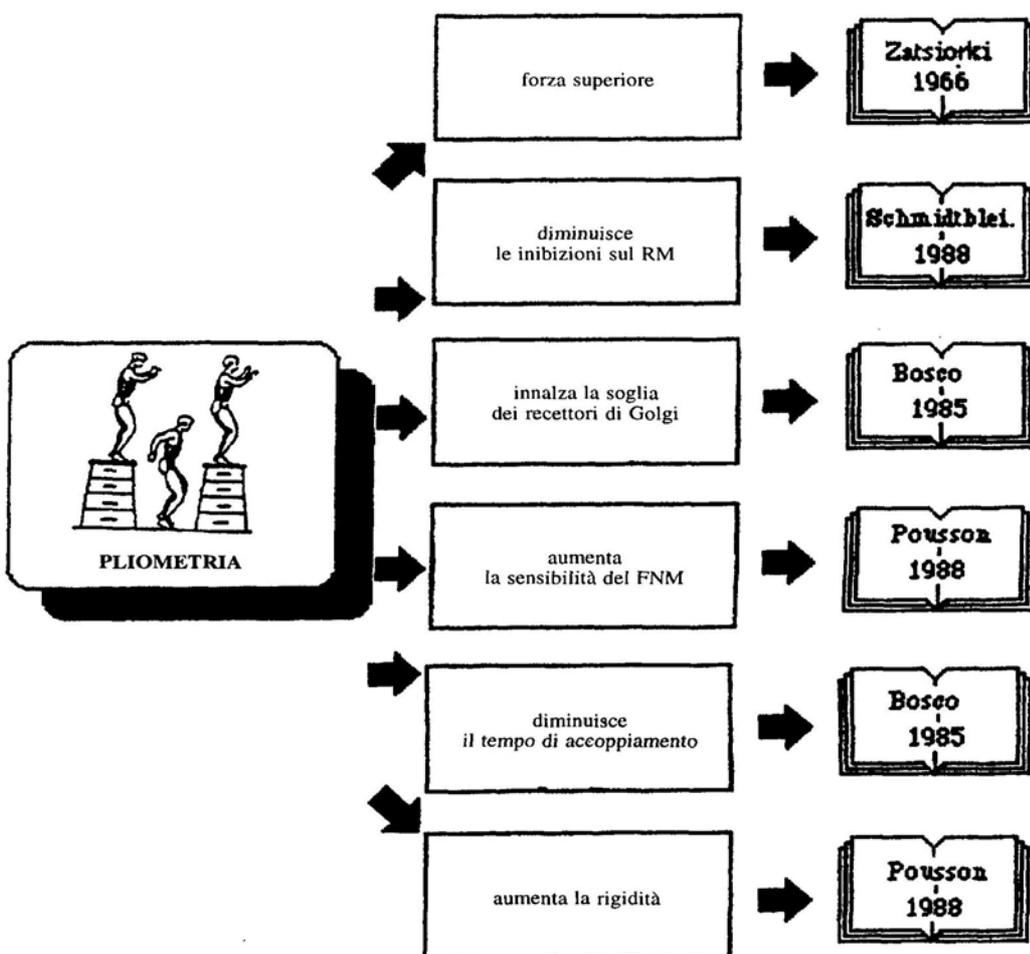


Fig 24 Riepilogo circa le considerazioni applicative relative allo stiramento muscolare (da: Cometti)

L'ALLENAMENTO DELLA FORZA MASSIMALE ED ESPLOSIVA

Definizione di Forza:

Svariate sono le definizioni che i vari ricercatori hanno formulato per classificare la forza:

- ❖ **“La forza muscolare si può definire come la capacità che i componenti intimi della materia muscolare hanno di contrarsi, in pratica di accorciarsi”. (VITTORI)**
- ❖ **“La forza è la capacità del muscolo scheletrico di produrre tensione nelle varie manifestazioni”. (VERCHOSANSKIJ)**
- ❖ **“Si può definire la forza dell'uomo come la sua capacità di vincere una resistenza esterna o di opporvisi con un impegno muscolare”. (ZACIORRSKIJ)**

Semplificando le definizioni citate, si può affermare che **la forza si identifica nella capacità del muscolo di esprimere tensione**. Essendo molteplici le tensioni che un muscolo può esprimere si vengono ad avere espressioni di forza che possiamo così sintetizzare:

1. **FORZA MASSIMA**
2. **FORZA ESPLOSIVA**
3. **RESISTENZA ALLA FORZA VELOCE**
4. **RESISTENZA MUSCOLARE**

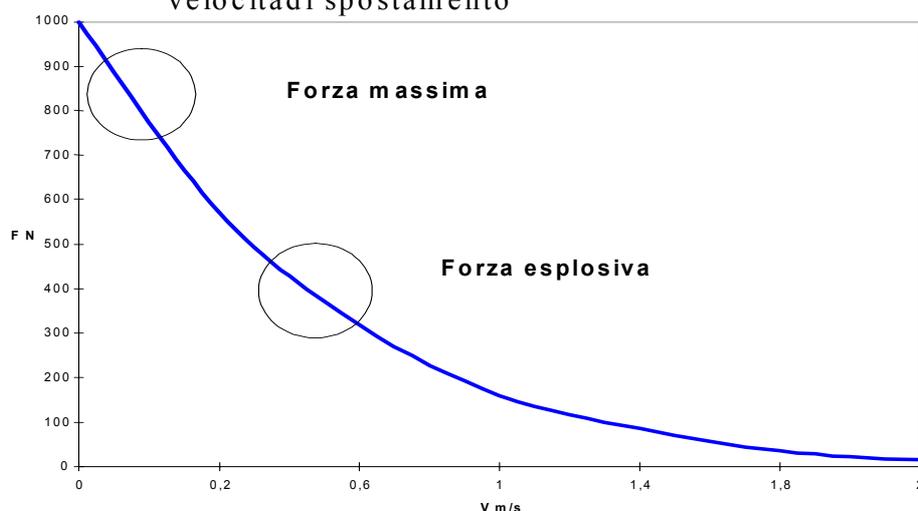
- La forza massima si può definire come la capacità del sistema neuromuscolare di sviluppare la più alta tensione possibile, per vincere una resistenza elevata, senza limitazione di tempo.
- La forza esplosiva, anche se in modo improprio, si può definire come la capacità del sistema neuromuscolare di esprimere elevati gradienti di forza nel minor tempo possibile, in modo da imprimere al carico da spostare la maggior velocità possibile.
- E' interessante sottolineare che all'espressione di forza esplosiva coincide con la massima potenza muscolare. La massima potenza muscolare generalmente si ottiene con sviluppi di forza pari al 30-40% della forza massima e con velocità di accorciamento pari al 35-45% di quella massima.
- La resistenza alla forza veloce non è altro che la capacità di esprimere elevati sviluppi di forza esplosiva ripetuti per tempo relativamente lungo
- La resistenza muscolare è la capacità del muscolo di produrre bassi sviluppi di forza prolungati per lungo tempo.

Considerazioni pratiche sulla forza

Nella maggior parte degli sport, l'incremento della prestazione è dato dal miglioramento della velocità del gesto tecnico, questo significa sviluppare elevati gradienti di forza nel minor tempo possibile, vale a dire migliorare la forza esplosiva

Per capire meglio il miglioramento della forza esplosiva analizziamo la relazione forza-velocità (fig. 25).

Fig. 25 Relazione forza/velocità tra carico sollevato e velocità di spostamento



Si nota dalla figura che, al diminuire del carico da spostare, diminuisce la forza ed aumenta la velocità. Appare chiaro che la forza massima si estrinseca con velocità basse, mentre, quell'esplosiva, con velocità alte. Migliorare la forza esplosiva significa spostare la curva forza-velocità verso destra. Questo, però, non è sempre possibile poiché la forza esplosiva è legata alla forza massima, perciò, per migliorarla, occorre migliorare anche quest'ultima.

Spesso si esalta troppo lo sviluppo della forza massima trascurando l'elemento velocità. Così facendo, si corre il rischio di cadere nell'errore di diventare "troppo forti", cioè capaci di sollevare un carico maggiore, ma allo stesso tempo più lenti.

Questo perché, nell'allenamento della forza, spesso si prende in considerazione un solo aspetto, vale a dire la forza stessa, trascurando un altro importantissimo parametro, cioè la velocità con cui la forza si manifesta.

Utilizzando solo il carico massimo come parametro di riferimento (sistemi tradizionali come metodo piramidale, ripetizioni massime RM, metodo a contrasto), si trascura il parametro più efficace per creare adattamenti specifici e concreti, cioè l'intensità del carico.

L'intensità si può definire il modo con cui si sposta un carico, cioè la velocità di spostamento, poiché è proprio la velocità con cui è realizzato il movimento che favorisce il miglioramento e, quindi, l'adattamento di un processo biologico, anziché di un altro.

Oggi si sono distinte la percentuale del carico e l'intensità per allenare le varie espressioni di forza:

Alla luce di queste considerazioni una programmazione razionale e personalizzata non può essere formulata basandosi su esperienze empiriche. Per il miglioramento della forza nelle sue varie espressioni si prende in considerazione sia la percentuale del carico massimo sia il valore della potenza, essendo questo parametro, il prodotto della forza per la velocità. Prendendo in esame questi due parametri vediamo di seguito quali sono i campi di intervento per allenare le varie espressioni di forza.

FORZA MASSIMA

Per quanto riguarda la forza massima, si consiglia di utilizzare carichi compresi tra il 70 e il 100% del CM (carico massimo), in questo modo si è certi di sollecitare tutte le unità motorie possibili. Con carichi prossimi a quelli massimali possiamo stimolare con forti sollecitazioni, il sistema neuromuscolare, per periodi relativamente lunghi (700 – 900 ms.). Con carichi al di sotto del 70% del CM possiamo, sì avere un reclutamento massimale, ma con tempi di lavoro molto ridotti rispetto ai carichi maggiori. L'effetto allenante, per la forza massimale, consiste nella stimolazione protratta nel

tempo fig. 26. Il valore della potenza nelle ripetizioni non deve scendere al di sotto del 90% di quello massimale.

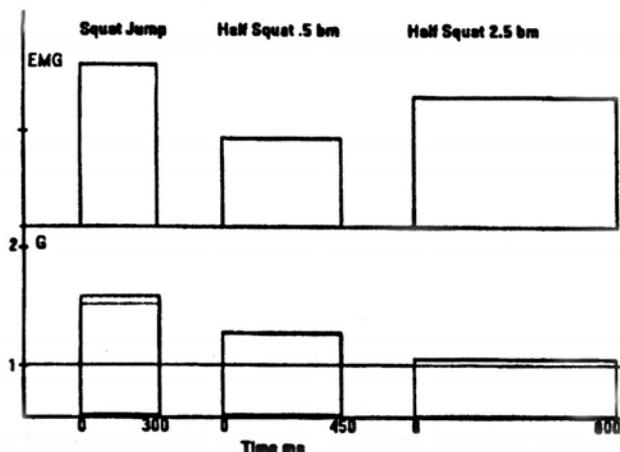


Fig 26 Attività elettromiografica registrata nei muscoli estensori del ginocchio (quadricepiti femorale) durante l'esecuzione di uno squat jump, $\frac{1}{2}$ squat con un carico pari al 50% e con un carico pari al 250% del peso corporeo. Si evidenzia come nello squat jump l'entità dell'attivazione mioelettrica è di gran lunga maggiore di quella che si ottiene in prestazioni di $\frac{1}{2}$ squat. Nello stesso tempo si può notare che la durata dello stimolo, nello squat jump, è solo il 40% di quello che si registra nel $\frac{1}{2}$ squat eseguito con sovraccarico del 250% del peso corporeo (da: Bosco e coll. 1996)

FORZA ESPLSIVA

Per allenare la forza esplosiva, si consigliano carichi leggeri che si aggirano tra il 20% e il 70% del CM con sviluppi di potenza sempre massimali, con valori compresi tra il 90 e il 100% di quello max. Per avere alti sviluppi di forza esplosiva debbono essere coinvolte prevalentemente le fibre bianche, pertanto l'esecuzione del movimento deve essere più veloce possibile. Con carichi al di sotto del 70% per ottenere il massimo sviluppo di potenza sia la forza sia la velocità devono essere massimali. E' importante in questo tipo di lavoro un recupero totale.

IPERTROFIA MUSCOLARE

L'ipertrofia, cioè incremento di massa muscolare, non è da considerare un'espressione di forza bensì un meccanismo strutturale che influenza la forza massima, Per allenarla si utilizzano carichi compresi tra il 70% e il 90% del CM con sviluppi di potenza tra l'80% e il 90% della Max. La scelta delle percentuali del carico è dettata dal fatto che esso deve essere sufficientemente alto per permettere la stimolazione di tutte le unità motorie disponibili e quindi il maggior numero di fibre, ma non superiore al 90% perché limiterebbe il numero di ripetizioni. I valori della potenza non devono superare il 90% in quanto insorgerebbe precocemente la fatica limitando il numero delle ripetizioni, pertanto non si attivano i processi metabolici utili per l'ipertrofia. Valori al di sotto dell'80% significherebbero velocità basse, perciò reclutamento di fibre lente che non producono sostanziali incrementi di massa muscolare al contrario delle fibre bianche.

RESISTENZA ALLA FORZA VELOCE

I carichi da utilizzare si aggirano tra il 20 e il 70% del CM con valori di potenza superiori al 90% della Max.

RESISTENZA MUSCOLARE

Carichi di lavoro compresi tra il 20 e il 50% del CM. I valori della potenza devono essere compresi tra il 60 e l'80% della Max.

METODI GENERALI DI SVILUPPO DELLA FORZA

I metodi per lo sviluppo della forza possono essere sintetizzati secondo la classificazione fatta da Zatsiorski (1966)

- ❖ Metodo degli sforzi massimi
- ❖ Metodo degli sforzi ripetuti
- ❖ Metodo degli sforzi dinamici

Secondo Zatsiorski per agire sulla forza bisogna creare tensioni massimali, soprattutto per intervenire sui fattori nervosi, perciò bisogna sollevare carichi massimali. Sollevare carichi massimali non è sempre possibile per cui bisogna trovare soluzioni diverse come quelle di sollevare carichi più leggeri ma che producano lo stesso effetto allenante sia sui fattori neurogeni sia su quelli miogeni. Nel sollevare carichi sub massimali si presentano due possibilità:

Ripetere il carico per un certo numero di ripetizioni (sforzi ripetuti)

Eseguire movimenti a velocità massima (sforzi dinamici)

Sforzi massimi

Questo metodo consiste nel sollevare carichi prossimi al carico massimo, circa 90%. Il numero delle ripetizioni possibili non è superiore alle tre per un massimo di cinque serie

Sforzi ripetuti

Quando si parla di sforzi ripetuti non si deve intendere un numero elevato di ripetizioni ma un massimo di 5-6 RM (ripetizioni massime). Per ripetizioni massime si intende che bisogna scegliere un carico che non permette di eseguire più di sei ripetizioni in una singola serie

Sforzi dinamici

Utilizzare questo metodo consiste nel sollevare carichi leggeri (30-60% del carico massimo) a velocità sempre massima per un numero di ripetizioni di 10-15.

Questo metodo risulta molto interessante per lo sviluppo della forza esplosiva.

Nella tab. 2 si riassumono i vantaggi e gli svantaggi dei metodi di Zatsiorski.

Partendo da questi tre metodi, che possiamo definire di base, si possono sviluppare altri metodi come ad esempio il metodo piramidale, a contrasto ed altri ancora, successivamente descritti.

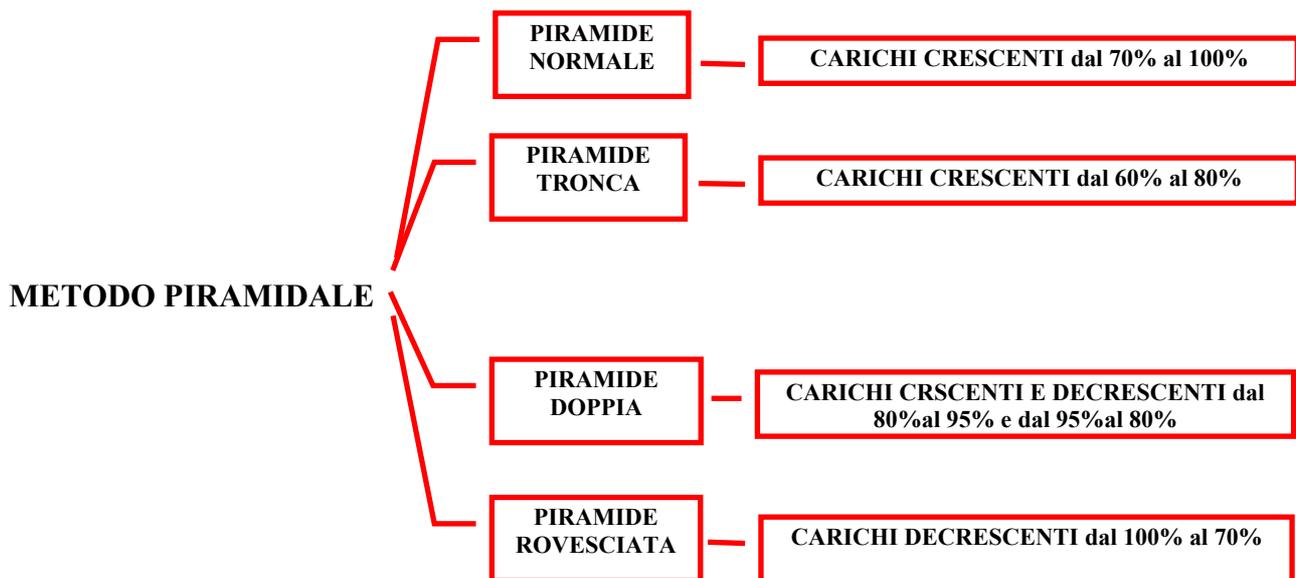
La variabilità dei metodi di allenamento della forza, dipende anche dai vari regimi di contrazione muscolare.

METODI	RIPETIZIONI	SERIE	RECUPERO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Carichi massimi	Da 1 a 3	Da 4 a 7	7 min	Azione sui fattori nervosi, sincronizzazione nel caso di lavoro su organismo riposato	Grandi sovraccarichi, recupero lungo tra le serie, da utilizzare solo con atleti ben allenati alla forza.
Carichi ripetuti	Da 5 a 7	Da 6 a 16	5 min	Carichi meno elevati, azione prevalente sulla massa muscolare, recuperi più brevi	Messa in gioco dei meccanismi nervosi si effettuano in condizioni sfavorevoli, ripetizioni efficaci su organismo stanco
Carichi dinamici	Da 6 a 15	Da 10 a 30	3 min	Azione su fattori nervosi, azione sull'espressione rapida della forza	Azione scarsa sulla forza massima

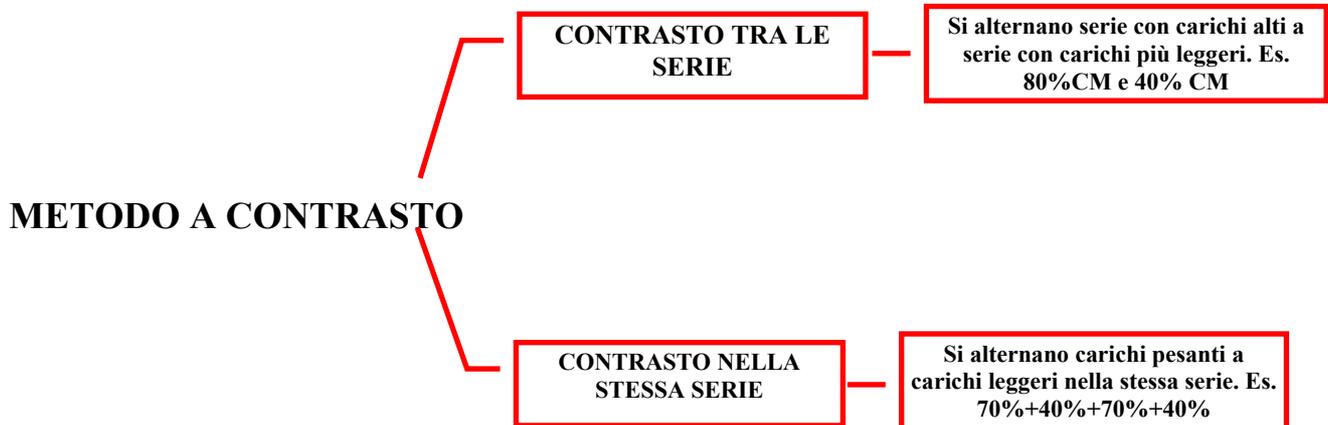
Tab. 2 tabella riassuntiva dei metodi di Zatsiorski

PRINCIPALI METODI DI ALLENAMENTO DELLA FORZA

Stabilite le varie espressioni di forza, gli esercizi più efficaci da utilizzare per ogni singola disciplina sportiva e tenendo conto dei metodi generali enunciati da Zatsiorski (tab n° 2), si passa ora ad illustrare i metodi basilari di allenamento. Sulla base dei concetti espressi precedentemente, oltre alla percentuale di una RM da utilizzare e all'intensità di spostamento del carico, i metodi più utilizzati restano quelli tradizionali tenendo in considerazione i principi generali quali quello del carico progressivo (metodo piramidale) e della variazione del carico (metodo bulgaro o alternato). Questi metodi possono essere così riassunti:



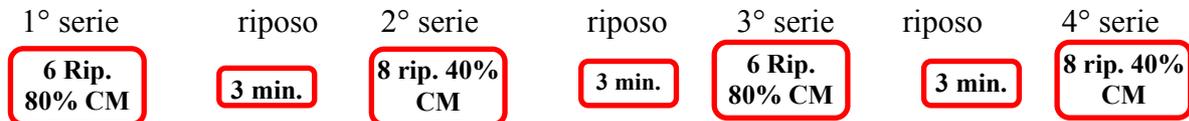
METODO DELLE RIPETIZIONI MASSIME — ES. 6 serie da 6 RM



Alcuni esempi di metodo a contrasto:

Contrasto tra le serie

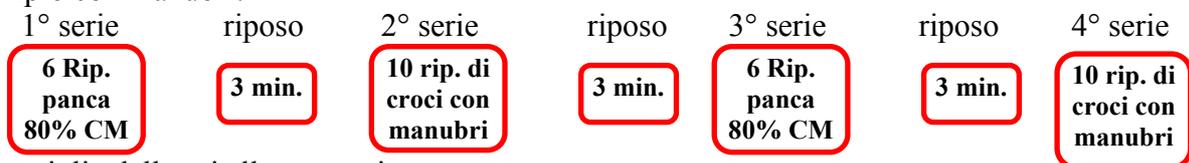
Si alternano carichi pesanti a carichi leggeri es.:



Con quest'alternanza si possono eseguire fino ad otto serie.

Si possono alternare a carichi pesanti esercizi senza carico o con piccoli attrezzi, ad esempio nell'esercizio di panca orizzontale, si può inserire l'esercizio di croci con manubri o la palla medica.

Esempio con manubri:



Si consiglia dalle sei alle otto serie.

Esempio con palla medica:



Si consiglia dalle sei alle otto serie.

Si sottolinea che il carico leggero deve essere sempre spostato alla massima velocità.

Contrasto nella stessa serie

Si alternano carichi pesanti a carichi più leggeri all'interno della stessa serie es.:



Si continua con quest'alternanza per 4-6 serie.

Come per il contrasto tra le serie, anche in questo caso, si possono inserire in sostituzione del carico leggero con il bilanciere, piccoli attrezzi (palle mediche, manubri, ecc.) eseguendo dalle quattro alle sei ripetizioni.

Classificazione biologica delle varie espressioni di forza

Le varie espressioni di forza precedentemente menzionate: forza massima, forza esplosiva, resistenza alla forza esplosiva e resistenza muscolare possono essere classificate in conformità a principi biologici. Queste espressioni si possono classificare tenendo in considerazione sia gli aspetti neuromuscolari che servono a modulare la tensione, sia gli aspetti metabolici che ne determinano la durata. Pertanto la forza massima e la forza esplosiva sono caratterizzate da fattori neurogeni, mentre la resistenza alla forza esplosiva e la resistenza muscolare sono caratterizzate da fattori metabolici. Questa classificazione ci porta a fare una distinzione tra sport individuali e sport di squadra. Gli sport individuali si possono dividere in due gruppi, uno dove prevale la forza esplosiva e quindi la velocità connessa alla forza (corsa veloce, salti, lanci, ecc.), l'altro gruppo dove prevalgono i fattori metabolici a determinare la prestazione (maratona, sci di fondo, ciclismo, ecc.).

Per quanto riguarda gli sport di squadra bisogna considerare due aspetti molto importanti:

1. ESPLOSIVITA'
2. RIPETIZIONE.

Spesso sorge il dubbio su quale delle due caratteristiche bisogna soffermarsi. Gli sport di squadra sono caratterizzati da sforzi di tipo esplosivo che vengono ripetuti molte volte quali correre più veloci, saltare più in alto, arrivare prima dell'avversario sulla palla e nel frattempo recuperare la fatica nel più breve tempo possibile. Per questi motivi, si cade molte volte nell'errore di impostare la preparazione atletica sul lavoro di resistenza, basato sulla convinzione che sforzi di bassa intensità e a ritmo lento sono di gran lunga superiore a quelli di tipo esplosivi cioè brevi e rapidi. Analizzando un qualsiasi sport di squadra ci si rende conto che, in effetti, gli sforzi di bassa intensità sono di gran lunga superiori a quelli di azioni esplosive. A mio avviso non bisogna lasciarsi influenzare dalla loro quantità, per impostare il lavoro, ma capire che il risultato è determinato, se pur da quantità inferiori, da sforzi esplosivi. Alla luce di quanto detto la preparazione atletica, deve essere impostata al miglioramento di ciascuna azione esplosiva cioè: saltare più in alto, correre più veloce o schiacciare con la massima potenza. Perciò si può affermare, senza ombra di dubbio, che il potenziamento muscolare cioè l'allenamento della forza, è alla base dello sviluppo dell'esplosività e quindi del risultato sportivo.

In conclusione si può riassumere che la preparazione fisica, per gli sport di squadra, deve avere questa successione temporale:

1. MIGLIORAMENTO DELLE QUALITA' NEUROMUSCOLARI (Tutte le espressioni della forza) in altre parole MIGLIORAMENTO DEI PARAMETRI QUALITATIVI DELL'ALLENAMENTO
2. MIGLIORAMENTO DEI PROCESSI METABOLICI (aerobico ed anaerobico) cioè MIGLIORAMENTO DEI PARAMETRI TEMPORALI DELL'ALLENAMENTO.

La forza esplosiva deve costituire la base della preparazione fisica, la resistenza viene allenata successivamente.