

Modificazioni della forza esplosiva e reattiva degli arti inferiori in atleti di potenza dopo prove di affaticamento

Giampiero Alberti - Giulio Sergio Roi

Istituto Superiore di Educazione Fisica della Lombardia

INTRODUZIONE

L'affaticamento muscolare è un evento assai comune e probabilmente obbligatorio durante l'allenamento. I meccanismi fisiologici che determinano lo stato di fatica non sono ancora a tutt'oggi esaurientemente spiegati e numerose sono le definizioni di "fatica" fin'ora proposte. Una delle definizioni maggiormente utilizzate considera la fatica come l'incapacità di mantenere un determinato livello di forza o di intensità di esercizio (3, 14).

È noto che gli atleti praticanti attività sportive definite di potenza, posseggono una elevata percentuale di fibre muscolari rapide ed una delle caratteristiche principali di tali fibre è di essere altamente affaticabili.

Scopo di questo studio è indagare gli effetti che alcune esercitazioni, normalmente utilizzate dagli allenatori degli atleti di potenza in atletica leggera, producono sulle capacità di forza e sul recupero elastico e paragonarli con gli effetti di un test affaticante effettuato in laboratorio.

MATERIALI E METODI

Sono stati esaminati 20 atleti praticanti atletica leggera nella specialità di 100, 200, 400 e 800 metri piani (atleti di potenza) a livello regionale e nazionale. Le caratteristiche antropometriche ed i record nelle diverse specialità espressi in percentuale rispetto al record del mondo (al 31.12.91) sono riportati nella tabella 1.

Valutazione delle capacità di forza con il test di Bosco

Le capacità di esprimere forza sono state valutate mediante salti singoli e ripetuti effettuati su una pedana conduttometrica modello Ergo Jump, Bosco System lunga 7 m, collegata ad un cronometro digitale in modo da registrare i tempi che intercorrono tra la chiusura e l'apertura di un circuito elettrico in dipendenza dal contatto dell'atleta con la pedana. Per tempo di volo s'intenderà quindi il tempo che intercorre tra l'apertura del circuito (stacco dei piedi da

Soggetto n.	Età (anni)	Statura (cm)	Peso (kg)	Record personali	
				Distanza m.	R.M. %
1	21	175	61	100	90
2	23	173	60	400	88
3	23	187	75	200	92
4	18	183	70	800	84
5	17	175	70	100	88
6	21	178	75	100	94
7	20	182	63	400	77
8	19	178	80	100	88
9	23	186	81	100	86
10	24	184	74	400	94
11	19	179	59	400	85
12	25	179	75	400	94
13	21	180	73	400	92
14	24	183	72	400	94
15	23	184	73	200	84
16	18	180	68	400	92
17	22	175	76	400	80
18	24	182	62	400	78
19	19	182	71	400	86
20	22	180	69	400	92
media	21.30	180	70		88
SD	3.84	6	174		5

Tabella 1 - Caratteristiche antropometriche dei soggetti e prestazione percentuale rispetto al record del mondo (R.M.) al 31-12-1991

terra) e la chiusura dello stesso (ricaduta a terra). Il tempo di contatto è misurabile solo durante salti ripetuti e corrisponde alla durata della chiusura del circuito, cioè al periodo in cui i piedi sono a contatto con il suolo. Il massimo spostamento verticale del centro di gravità in volo (SCG) è calcolato dalla formula:

$$SCG = tv^2 g/8$$

dove tv è il tempo di volo (s) e g l'accelerazione di gravità (9.81 m/s^2) (2).

Sono stati eseguiti tre diversi test:

1. Salto da fermo partendo dalla mezza accosciata (SJ): l'atleta deve eseguire un salto in alto partendo da una posizione con angolo del ginocchio di 90° , busto eretto e mani sui fianchi. La prova deve essere eseguita senza compiere contromovimenti verso il basso e ricadendo sulla punta dei piedi, a ginocchia estese, nello stesso punto del decollo. Tal prova consente la valutazione della forza esplosiva degli arti inferiori.
2. Salto con contromovimento (CM): l'atleta deve eseguire un salto in alto partendo da posizione eretta, con le mani ai fianchi. Il salto viene effettuato dopo un rapido contromovimento verso il basso, fino a raggiungere un angolo del ginocchio di 90° ; il busto deve rimanere il più eretto possibile. Tale prova consente la valutazione della forza esplosiva con riutilizzo di energia elastica.
3. Salti ripetuti per 5 secondi (Test di Bosco-Vittori modificato): l'atleta deve eseguire una breve successione di salti in alto per complessivi 5 secondi con tempo di contatto il più breve possibile e tempo di volo maggiore possibile. Con questo esercizio viene valutata la forza esplosiva riflessa (test di reattività).

Procedura sperimentale

Nella medesima seduta, dopo 10-15 minuti nei quali venivano eseguiti esercizi di riscaldamento e di allungamento, tutti gli atleti sono stati sottoposti ai tre test descritti precedentemente per la valutazione delle capacità di forza. I test sono stati somministrati nel seguente ordine: salto da mezza accosciata, salto con contromovimento e test di reattività. I test SJ e CM sono stati ripetuti almeno due volte, con un intervallo minimo di 10-15 secondi ed è stato scelto per l'elaborazione il valore più elevato di SCG. Non sono state considerate le prove eseguite scorrettamente. Il test di reattività è stato eseguito una sola volta. Tutti gli atleti avevano una certa familiarità con i test, per cui non si sono registrati particolari problemi tecnici durante la loro esecuzione.

Immediatamente dopo i test, ogni atleta eseguiva una seduta di allenamento volta a creare uno stato di affaticamento (le cui modalità sono specificate più avanti), al termine della quale è stato eseguito un microprelievo di sangue capillare dal lobo dell'orecchio per la determinazione della concen-

trazione ematica di lattato (Lactate Analyzer Kontron 640) e sono stati ripetuti i test sulla piattaforma con lo stesso ordine.

Gli atleti sono stati suddivisi in tre gruppi a seconda del tipo di allenamento effettuato:

Gruppo 1: l'allenamento comprendeva l'esecuzione di una serie di 3-5 ripetute su distanze comprese tra 200 e 300 m con recupero di 5 minuti tra ogni ripetuta. L'intensità di ogni ripetuta era valutabile attorno al 90% del massimo.

Gruppo 2: la seduta comprendeva esclusivamente una prova submassimale (al 90%) sui 400 m.

Gruppo 3: l'allenamento comprendeva una seduta di potenziamento muscolare con sovraccarichi per i gruppi muscolari degli arti inferiori con carichi corrispondenti a 90% RM (5-6 serie di 5-7 ripetizioni, con tre minuti di intervallo tra le serie). La seduta in palestra era seguita da due serie di ripetizioni massimali su pista ($4 \times 30 \text{ m} + 3 \times 60 \text{ m}$) con intervallo di 2 minuti tra le ripetizioni e di 4 minuti tra le serie. La seduta era conclusa con 4 km di cross al 75% della massima potenza aerobica.

Affaticamento isocinetico

A circa 2-3 settimane dalle prove su esposte, ogni atleta ha eseguito una prova di affaticamento massimale su dinamometro isocinetico (Cybex II, Lumex INC N.Y.). Durante il test entrambi gli arti inferiori erano impegnati contemporaneamente per 60 secondi, alla velocità angolare di $180^\circ/\text{s}$. Ad ogni atleta è stato chiesto di eseguire una serie di estensioni e flessioni consecutive di entrambe le ginocchia eseguite "con la massima forza e velocità possibili". Il soggetto era in posizione seduta, con la leva del dinamometro collegata al terzo inferiore delle gambe, immediatamente al di sopra dei malleoli e durante il test era continuamente incoraggiato verbalmente.

Prima ed immediatamente dopo la prova sono stati effettuati i test sulla piattaforma con le stesse modalità descritte in occasione delle sedute di allenamento. Al quinto minuto dal termine del test isocinetico è stato effettuato un microprelievo per la determinazione della concentrazione ematica del lattato.

Elaborazione dei dati e statistica

Per ogni gruppo di atleti è stata calcolata la media, \pm deviazione standard, dei risultati di ogni singolo test effettuato con la pedana conduttometrica prima e dopo allenamento e del test isocinetico.

Sono stati presi in considerazione i valori migliori di ogni atleta per ogni test. La significatività delle differenze tra le rilevazioni effettuate prima e dopo allenamento o test isocinetico sono state saggiate con il t-test di Student per dati appaiati ed è stato scelto come significativo un valore di $p < 0,05$.

Risultati

I risultati e la relativa significatività statistica delle differenze tra prima e dopo affaticamento, sono riportati nella tabella 2. Non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi nei test effettuati prima dell'allenamento. La concentrazione ematica di lattato era significativamente diversa nei tre gruppi dopo l'allenamento ($p < 0,001$).

DISCUSSIONE

I diversi tipi di allenamento tendono a sollecitare diversamente, ma specificatamente, l'apparato locomotore determinando nell'atleta gradi diversi di affaticamento.

In particolare, la capacità di forza analizzate mediante i test utilizzati in questo studio, sono risultate modificate diversamente a seconda del tipo di allenamento proposto.

Nei soggetti appartenenti al gruppo 1, l'allenamento ha portato ad un notevole accumulo di lattato nel sangue poiché l'intensità dell'esercizio era elevata, (circa 90% del massimo) ed il tempo di recupero tra una prova e quella successiva era sufficientemente lungo per recuperare, ma non permetteva di smaltire completamente il lattato precedentemente accumulato.

Gli effetti sui test comprendevano una diminuzione della forza esplosiva (SJ -19%) ed un'aumento dell'indice di ela-

sticità (ricavabile dalla differenza CM-SJ), che indicano un to delle capacità di riutilizzo dell'energia elastica rispetto ai test effettuati prima dell'allenamento. Tale risultato è in accordo con i dati riportati da Bosco e coll. (1) e viene spiegato considerando che nei soggetti ricchi di fibre rapide (quali in genere gli atleti di potenza), il glicogeno muscolare viene rapidamente utilizzato per fornire energia, con conseguente accumulo di lattato e diminuzione del pH a livello cellulare. Ciò eserciterebbe un effetto negativo sulla capacità di generare forza (6). Infatti con l'aumentare dell'acidità, è necessaria una maggior quantità di Ca^{2+} per produrre un determinato livello di tensione. Inoltre l'aumentata concentrazione di ADP tende a rallentare la scissione dei ponti actomiosinici ed a ridurre l'attività del meccanismo di riassorbimento del calcio nel reticolo sarcoplasmatico (7). Ciò determinerebbe un aumento del tempo di rilassamento del muscolo, cosicché l'energia elastica accumulata durante lo stiramento, potrebbe essere mantenuta più a lungo e potrebbe essere riutilizzata durante la successiva contrazione concentrica, rendendo così più efficiente il lavoro positivo in condizioni di affaticamento (1).

Queste osservazioni possono essere confermate dai risultati del test di reattività, dove si verifica un significativo aumento dei tempi di contatto (CT +15%), cui non corrisponde un decremento altrettanto significativo dei tempi di volo (-7%). Completamente diversa è la situazione degli atleti del gruppo 2, nei quali l'affaticamento è stato indotto da un'unica

		SJ cm	CM cm	CM - SJ cm	TV ms	TC ms	La mM
GRUPPO 1	prima	42.2 + 2.9 * * *	46.6 + 3.7	4.7 + 3.2	631 + 43	150 + 13 * *	
	dopo	33.3 + 10.5	42.0 + 4.9	6.1 + 7.7	593 + 37	163 + 26	19.3 + 2.8
GRUPPO 2	prima	41.4 + 4.5	44.8 + 5.4	3.4 + 3.1	609 + 38	140 + 13	
	dopo	40.6 + 5.1	45.0 + 5.4	4.4 + 4.7	596 + 48	150 + 12	12.8 + 2.2
GRUPPO 3	prima	42.4 + 1	48.1 + 4.6	5.7 + 3.7	628 + 44 * *	159 + 4	
	dopo	40.4 + 4.4	45.0 + 6.6	4.7 + 2.2	569 + 79	166 + 6	4.5 + 3.0
ISOCINETICA	prima	43.7 + 4.9 * * *	47.5 + 5.4 * *	3.9 + 2.5	615 + 40 * *	165 + 17	
	dopo	34.5 + 4.9	38.4 + 4.5	3.9 + 3.6	574 + 32	173 + 27	12.6 + 2.7

Tabella 2 - Valori medi (+ DS) e significatività statistica tra prima e dopo affaticamento (asterischi) relativi allo spostamento del centro di gravità in volo nei salti da 1/2 accosciata (SJ) e con contromovimento (CM). Sono inoltre riportati l'indice di elasticità (CM - SJ) ed i tempi di volo (TV) e di contatto (TC) nel test di reattività e la concentrazione ematica di lattato al termine delle prove di affaticamento.



prova submassimale (pari al 90%) di breve durata (circa 53 secondi) di tipo anaerobico lattacido (400 m di corsa). In tali atleti è stato registrato solo un lieve, seppur non significativo peggioramento delle prestazioni al test di reattività, mentre i test SJ e CM tendevano a migliorare. Ciò potrebbe significare che gli atleti, dopo una prova submassimale di breve durata, si trovano in uno stato di migliore attivazione neuromuscolare, nonostante il livello di lattato accumulato. Nel presente studio la concentrazione ematica di lattato è risultata infatti inferiore a quella registrata da vari autori dopo prove sui 400 m (9, 11, 12). Tali differenze sono logicamente imputabili alla diversa intensità dell'esercizio. Nummela e Coll. (11) hanno osservato che la capacità di

esprimere forza (valutata con il drop jump da 39 cm) tende a ritornare ai livelli pre esercizio entro 5 minuti, dopo una prova massimale sui 300 m ed entro 15 minuti dopo una prova massimale sui 400 m, che implicino rispettivamente un accumulo di lattato ematico pari a 11.3 e 15.4 mM. In questo caso le capacità di forza indagabili con il drop jump sarebbero più dipendenti dalla diminuzione del pool dei fosfati altamente energetici, (ATP e PC), che dall'aumento dell'acidità muscolare. Infatti dopo circa 15 minuti dalla fine dell'esercizio (400 m), la concentrazione ematica di lattato era ancora di 13.9 mM, cui corrisponde a livello muscolare una concentrazione di lattato superiore a 10 mM/Kg (8).

In questo secondo gruppo l'esercizio affaticante sembra quindi aver provocato un affaticamento di tipo prevalentemente metabolico dipendente da due fattori: 1) l'utilizzo delle fonti energetiche alattacide (ATP e PC), che però avrebbe ripercussioni sulle capacità di forza esplosiva per soli 4-5 minuti; 2) l'utilizzo delle fonti energetiche lattacide, con lieve diminuzione del pH cellulare senza effetti sulle capacità di recupero di energia elastica.

Il terzo gruppo di atleti ha effettuato un allenamento misto, che ha portato alla diminuzione del pool dei fosfati e delle riserve di glicogeno, senza per altro modificare significativamente il pH cellulare. La durata complessiva degli esercizi e la loro intensità submassimale determinano uno stato di affaticamento generale che si traduce in una diminuzione della forza esplosiva e della forza reattiva, quest'ultima esclusivamente per quanto riguarda il tempo di volo. Tale situazione non sembra dipendere dal livello di glicogeno muscolare (19); mentre il non incremento dell'indice di elasticità escluderebbe l'intervento del meccanismo descritto per il primo gruppo. In questo caso potrebbe essere inoltre presa in considerazione l'ipotesi della fatica centrale.

Il test di affaticamento isocinetico è stato effettuato utilizzando contemporaneamente i due arti inferiori ad una velocità angolare che rende praticamente impossibile un ciclo stiramento-accorciamento con recupero di energia elastica. In questo test vengono attivate prevalentemente le unità motorie di tipo rapido, almeno nella fase iniziale della prova (15). Vari autori hanno osservato una relazione tra distribuzione delle fibre muscolari e fatica dopo una serie di azioni muscolari dinamiche massimali (10, 16, 17, 18) ed è altresì noto che le fibre rapide sono più affaticabili di quelle lente. Gli atleti esaminati, al termine del test hanno fatto registrare un decremento medio del PMF pari al 64%, valore confrontabile con i risultati di analoghi test effettuati su atleti di potenza (13) o su atleti ricchi di fibre rapide (17). È noto che tali atleti accumulano maggiori quantità di lattato nei test di fatica rispetto ai soggetti ricchi di fibre lente (13, 17).

L'accumulo di lattato conseguente al test isocinetico bilaterale è risultato significativamente maggiore ($p < 0.001$) rispetto a quanto si verifica in test isocinetici compiuti con l'estensione ripetuta di un solo ginocchio (13). È chiaro che l'entità delle masse muscolari impegnate determina tale dif-

ferenza. Ciò che desta particolare interesse è il fatto che al termine di un esercizio di questo tipo, le capacità di forza risultano notevolmente depresse. In particolare la diminuzione significativa della prestazione nei salti, con e senza contromovimento, indicherebbe una marcata diminuzione della forza esplosiva probabilmente dipendente dall'esaurimento del pool dei fosfati. D'altra parte, l'indice di elasticità invariato, indicherebbe che le capacità di recupero di energia elastica restano inalterate. Ciò è però contraddetto dalla relazione tra la differenza di tempo di volo tra prima e dopo affaticamento, e la concentrazione ematica di lattato (Fig. 1). Nel salto SJ la correlazione non è significativa, mentre

nel salto CM il coefficiente di correlazione (R^2) è 0,369 e risulta altamente significativo ($p < 0,01$). Dopo affaticamento isocinetico quindi, il recupero di energia elastica sembra inversamente proporzionale all'accumulo di lattato. Similmente nel test di reattività il tempo di contatto tende ad aumentare, mentre il tempo di volo diminuisce significativamente. Anche questo risultato può essere interpretato come un effetto prevalentemente metabolico, con ripercussioni sulle caratteristiche meccaniche del muscolo.

Sembra esistere dunque una differenza fondamentale tra il test di fatica isocinetico e le esercitazioni che hanno indotto l'affaticamento negli atleti del primo gruppo. Con l'affaticamento isocinetico infatti, la diminuzione delle capacità di generare forza è collegata all'aumento del lattato ed all'incapacità di recupero di energia elastica. D'altra parte negli atleti del primo gruppo, l'affaticamento determina una diminuzione della sola forza esplosiva senza intervento degli elementi elastici (SJ); mentre il recupero di energia elastica risulta potenziato, nonostante il maggior aumento della concentrazione ematica del lattato.

È difficile spiegare tali differenze ed in particolare le diverse concentrazioni ematiche di lattato rilevate al termine delle prove di affaticamento non possono certo contribuire a fare chiarezza. Infatti la concentrazione ematica di lattato dopo esercizio non rispecchia la produzione di lattato da parte di un gruppo muscolare né può essere messa in relazione al pH muscolare. Si potrebbero piuttosto considerare le differenti modalità di esercizio. Gli atleti del primo gruppo hanno infatti effettuato esercitazioni nelle quali è implicato il ciclo stiramento-accorciamento del muscolo (corsa), cosa che non si verifica nell'esercizio isocinetico a $180^\circ/\text{s}$. Queste due modalità di esercizio potrebbero determinare effetti diversi sui propriocettori. Tale ipotesi necessita però di ulteriori indagini.

Gallhofer e Coll. (4, 5) hanno dimostrato che l'affaticamento delle braccia effettuato con un particolare dispositivo che comporta il ciclo stiramento-accorciamento, provoca un aumento dei tempi di contatto ed un aumento del contributo del riflesso da stiramento. Inoltre i fusi neuromuscolari risponderebbero diversamente alla diminuzione del pH, dapprima con un potenziamento del riflesso e successivamente, con il progredire della fatica, con una sua depressione. È quindi ipotizzabile che negli atleti del primo gruppo di tempi di recupero tra una serie e quella successiva siano sufficienti per tamponare l'acidosi metabolica, mentre un esercizio massimale continuato, quale l'affaticamento isocinetico, porta ad una situazione acuta di acidosi che blocca la risposta dei propriocettori ed impedisce il recupero di energia elastica.

In conclusione, l'affaticamento provoca in genere una diminuzione delle capacità di forza esplosiva, mentre le capacità di recupero elastico sembrano modificarsi in relazione alla diminuzione del pH muscolare. Negli esercizi di breve durata l'affaticamento sembra quindi essere di origine periferica.

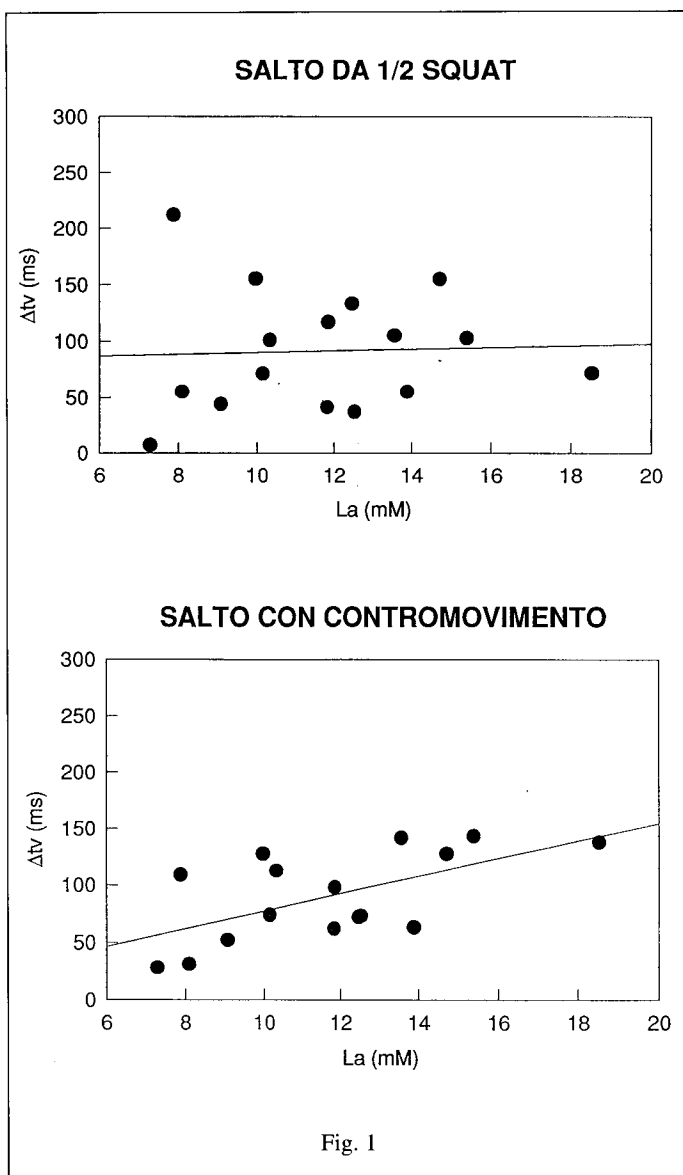


Fig. 1

BIBLIOGRAFIA

- 1) BOSCO C., TIHANYI J., LATTERI F., FEKETE G., APORT P., RUSKO H.: *The effect of fatigue on store and re-use of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle*. Acta Physiol Scand. 128: 109-117, 1986.
- 2) DAVIES C.T.M.: *Human power output in exercise of short duration in relation to body size and composition*. Ergonomics 14: 245-256, 1971.
- 3) EDWARDS R.H.T.: *Human muscle function and fatigue*. In: R. Porter & J. Whelan (eds) Human muscle fatigue: physiological mechanism, pp. 1-18. Pitman Medical, London, 1981.
- 4) GALLHOFFER A., KOMI P.V., FUJITSUKA N., MIYASHITA M.: *Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. II Changes in neuromuscular activation patterns of human skeletal muscle*. Int. J Sports Med 8:38-47, 1987.
- 5) GALLHOFFER A., KOMI P.V., MIYASHITA M. & AURA O.: *Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. Changes in mechanical performance of human skeletal muscle*. Int. J Sports Med 8:71-78, 1987.
- 6) HERMANSEN L.: *Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise*. In: R. Porter & J. Whelan (eds) Human muscle fatigue: physiological mechanism, pp. 75-88. Pitman Medical, London, 1981.
- 7) HULTMAN E., SJOHOLM H., SAHLIN K., EDSTROM L.: *Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle*. In: R. Porter & J. Whelan (eds) Human muscle fatigue: physiological mechanism, pp. 19-40. Pitman Medical, London, 1981.
- 8) KARLSSON J.: *Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man*. Acta Physiol. Scand, Suppl. 358, 1971.
- 9) KINDERMAN W & KEUL J.: *Lactate acidosis with different forms of sports activities*. Can. J Appl Sports Sci 2:177-182, 1977.
- 10) NILSSON J., TESCH P., THORSTENSSON A.: *Fatigue and EMG of repeated fast voluntary contractions in man*. Acta Physiol Scand 101: 194-198, 1977.
- 11) NUMMELA A., VUORIMAA T., RUSKO H.: *Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint*. J. Sports Sci, 10: 217-228, 1992.
- 12) OSNES J.B., HERMANSEN L.: *Acid-base balance after maximal exercise of short duration*. J Appl Physiol 32: 59-63, 1972.
- 13) ROI G.S., AINA A., ALBERTI G.: *La valutazione funzionale degli atleti di potenza e resistenza mediante dinamometro isocinetico*. Atleticastudi XIX (2), 185-191, 1988.
- 14) SAHLIN K.: *Metabolic aspects of fatigue in human skeletal muscle*. In: Marconnet P., Komi P.V., Saltin B., Sejersted O.M. (eds): Muscle fatigue mechanisms in exercise and training. med Sport Sci. Basel, Karger, 38 pp. 54-68, 1992.
- 15) TESCH P.: *Muscle fatigue in man*. Acta Physion Scand Suppl 480: 1-40, 1980.
- 16) TESCH P.: *Fatigue pattern in subtypes of human skeletal muscle fibers*. Int J Sports Med 1:79-81, 1980.
- 17) TESCH P., SJODIN B., THORSTENSSON A., KARLSSON J.: *Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man*. Acta Physiol Scand 103:413-420, 1978.
- 18) THORSTENSSON A., KARLSSON J.: *Fatiguability and fiber composition of human skeletal muscle*. Acta Physiol Scand 98:318-322, 1976.
- 19) VOLLESTAD N.K. & SEJERSTED O.M.: *Biochemical correlates of fatigue*. Eur J Appl Physiol 57:336-347, 1988.

Indirizzo dell'Autore:
Prof. Giampiero Alberti
Via Catalani, 44
20131 Milano