

APPLICAZIONI DI BIOMECCANICA IN CAMPO SPORTIVO

ANTONIO DAL MONTE

Lo scopo della presente relazione è quello di indicare e descrivere alcune tecniche biomeccaniche che già allo stato attuale consentono una valutazione funzionale specifica del gesto sportivo con la possibilità perciò di ottenere informazioni di rilevante utilità pratica per l'allenatore.

La ricerca biomeccanica del gesto sportivo può infatti essere di tipo puramente teorico oppure applicato. La ricerca biomeccanica di tipo teorico è quella nella quale lo studio dei fenomeni statici e di moto vengono affrontati, per lo più settorialmente, attraverso l'impostazione di problemi di fisica di elevato livello.

Nella ricerca applicata, invece, il fine immediato è quello di riuscire, con l'apporto delle conoscenze apprese mediante gli studi biomeccanici, ad ottenere un miglioramento delle prestazioni atletiche od un'efficace prevenzione contro danni da sport.

E' evidente che, mentre a livello di ricerca teorica o basica potrà essere trascurato il fine applicativo immediato prevalendo su questo l'aspetto conoscitivo, chi effettua ricerche applicate dovrà invece dedicare ogni cura alla concreta conoscenza dei fenomeni di statica, dinamica, bioenergetica che si producono nel gesto sportivo specifico, allo scopo di giungere ad una più globale ed interdisciplinare conoscenza dell'attività studiata. Non potrà quindi abbandonarsi a pur seducenti ricerche, prive di immediato contenuto pratico, ma dovrà tener sempre presente che quanto egli studia dovrà poter essere utilizzato per l'atleta sul campo.

Quindi nelle tecniche di studio biomeccanico applicate ai differenti sport i metodi di studio dovranno essere scelti in base allo sport esaminato, così come le fondamentali metodiche di studio biomeccanico dovranno essere via via adattate ed applicate alle esigenze, necessità e limiti di approssimazione che possono risultare utili ai fini pratici.

Nella presente relazione non verrà descritta organicamente la problematica della biomeccanica applicata alle diverse attività sportive, limitandoci alla sola indicazione dei sistemi di valutazione dell'atleta

che si basano o vengono integrati da informazioni di tipo biomeccanico (fig. 1 e fig. 2). Ci si soffermerà, invece, cercando appunto di dare a questo aspetto un particolare rilievo, allo studio biomeccanico del fenomeno della « fatica » muscolare. E' infatti particolarmente importante, ai fini pratici, non solamente fissare l'attenzione sul gesto sportivo biomeccanicamente quasi idealizzato, perché compiuto dall'atleta in

Fig. 1 - FASI DELLA RICERCA BIOMECCANICA APPLICATA ALLO SPORT

I FASE: <i>Rilievo dei dati</i>	<ul style="list-style-type: none">a) analisi delle varie tecniche di rilievo;b) scelta della tecnica di rilievo dei dati più adatti allo scopo;c) adattamento della tecnica allo sport.
II FASE: <i>Tecnica di analisi dei dati</i>	<ul style="list-style-type: none">a) scelta del sistema di analisi dei dati;b) valutazione degli errori e dell'approssimazione dei risultati;c) organizzazione e semplificazione della tecnica ai fini della utilizzazione per valutazioni di routine in laboratorio o sul « campo ».

Fig. 2 - TECNICHE DI RILIEVO PIU' USATE IN BIOMECCANICA APPLICATA ALLO SPORT

Tecniche fotografiche	{ cronociclofotografia stroboscopia tracce luminose { continue intermittenti
Tecniche utilizzanti più macchine fotografiche	{ azione contemporanea azione successiva con riprese su piani diversi
Tecniche cinematografiche	{ monodimensionale tridimensionale con correzione dell'errore ottico
Tecniche elettrogoniometriche	
Tecniche fisiologiche	
Tecniche dinamometriche	{ trasduttori di forze { pedane dinamometriche (piezoelettriche) accelerometri pressioni visualizzate
Tecniche elettromiografiche	
Tecniche miste	{ 1 cinematografica-elettrogoniometrica 2 cinematografica-elettromiografica 3 cinematografica-dinamometrica 4 cinematografica-fisiologica 5 cinematografica-elettromiografica-dinamometrica-fisiologica

condizioni ideali e cioè partendo da una situazione di perfetto riposo e di corretto riscaldamento, ma alle imponenti modificazioni che, negli sport di una certa durata, si verificano quando la potenza dell'azione dell'atleta viene a deteriorarsi per effetto della fatica.

Va infatti ancora una volta sottolineato che lo studio biomeccanico del gesto sportivo e cioè la valutazione sotto i profili cinematico, statico e dinamico possono essere compiuti su un solo movimento, ma quando, come nella maggioranza degli sport si verifica, il gesto sportivo va ripetuto a lungo, non potranno essere ignorate le modificazioni del « pattern » motorio derivanti dal progressivo rarefarsi delle capacità energetiche delle masse muscolari impegnate. Verranno, a tale scopo, descritte alcune metodiche di rilievo di parametri biomeccanici del gesto sportivo ottenuti sia direttamente sull'atleta, sia attraverso l'impiego di simulatori meccanici da laboratorio necessari, appunto, per consentire l'effettuazione del movimento sportivo in condizioni il più possibile simili a quelle reali, ma in modo tale da permettere il rilievo dei dati di forza, accelerazione, variazioni angolari, costi energetici ecc. che non sarebbe possibile rilevare al di fuori del laboratorio.

La simulazione costituisce oggi una delle più interessanti branche della ricerca scientifica applicata, nonché forse il più importante metodo di studio delle prestazioni umane.

La creazione di simulatori che permettano di verificare in condizioni assai prossime a quelle reali, ma in laboratorio, le attività operative dell'uomo è ormai indispensabile in molti settori nei quali necessita valutare accuratamente sotto il profilo sia biomeccanico che fisiologico le prestazioni sia fisiche che mentali che l'uomo deve effettuare.

Tuttavia non sono ancora molto noti né diffusi i metodi di simulazione applicati allo sport, mentre è proprio nella valutazione funzionale degli atleti che si può dire che il simulatore di laboratorio rivesta una importanza rilevante. L'atleta costituisce infatti la massima espressione nella specializzazione motoria umana e per compiere funzioni così esasperate il suo organismo tende ad una enorme differenziazione dal normale sviluppo fisiologico delle strutture corporee. Ad esempio, l'uomo è un bipede che, avendo assunto la stazione eretta, effettua i suoi usuali spostamenti con gli arti inferiori che, appunto per servire a tale scopo, possiedono ingenti masse muscolari. Gli arti superiori, al contrario, negli individui normali possiedono solamente una frazione della potenza muscolare degli arti inferiori non superiore ad un quinto (vedi figg. 3 e 4). Negli atleti, invece, può verificarsi l'esigenza di indurre uno sviluppo massivo dei distretti superiori del corpo fino a raggiungere addirittura il pareggio o l'inversione del rapporto di forza e di capacità di lavoro tra gli arti superiori e gli arti inferiori. Possiamo quindi identificare atleti a « propulsione » sugli arti superiori, nei quali le masse muscolari dei distretti superiori corporei vengono potenziate in modo tale da raggiungere e possibilmente superare la potenza muscolare degli arti inferiori; atleti di tipo, possiamo dire, convenzionale, nei quali la propulsione è affidata agli arti inferiori; atleti nei quali la propulsione durante il gesto sportivo è affidata a tutti e quattro gli arti.

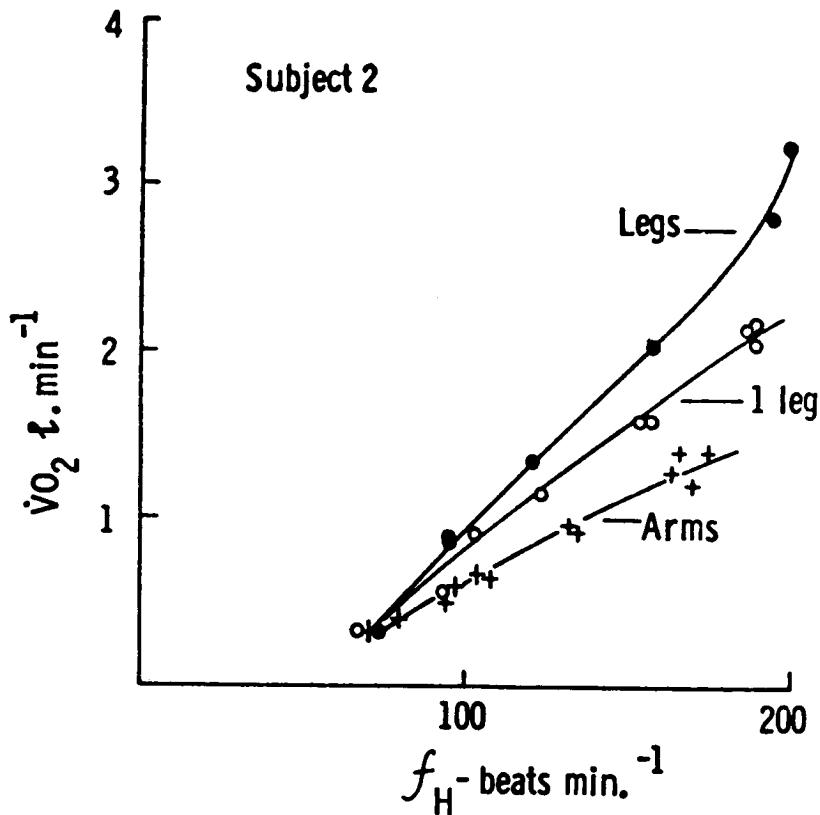


Fig. 3

	MEZZOFONDO				CANOA (Kajak)			
	statura 172,5 peso 58		eta 21,7		statura 184 peso 80		eta 25,9	
	treadmill	cicloerg.	manovella	simulat. kajak	treadmill	cicloerg.	manovella	simulat. kajak
LAVORO TOTALE	*	8.350	2.000	1312	(1)	6.200	5.400	10.700
POTENZA MAX o VELOCITA'	22 Km/h	kgm	kgm	kgm	16 Km/h	kgm	kgm	kgm
Freq. card. max	210	198	156	166	174	168	170	188
V max	126.750	92.400	85.800	48.100	131.150	112.000	105.000	130.000
$\dot{V}O_2$ max	4.045	3.803	2.450	2.303	4.516	3.998	4.057	4.914
$\dot{V}CO_2$ max	4.045	3.880	2.810	1.898	4.737	4.045	4.233	5.023
R	1.00	1.02	1.14	0.82	1.04	1.01	1.04	1.02
$\dot{V}O_2 / Fc$	19.26	19.20	15.70	13.87	25.95	23.80	23.86	26.13
$\dot{V}O_2 / \text{kg}$	69.74	65.56	42.24	39.70	56.46	49.97	50.71	61.42
Kcal/kg/min.	0.352	0.331	0.213	0.193	0.285	0.252	0.256	0.310

* 2 min. 14 Km/h - 2 min. 16 Km/h - 2 min. 18 Km/h - 2 min. 20 Km/h - 2'20" 22 Km/h.

(1) 3 min. 8 Km/h - 2 min. 12 Km/h - 3 min 16 Km/h.

Fig. 4

Lo studio più particolareggiato possibile della valutazione funzionale applicata ad individui così « specializzati » nel tipo di prestazione ha costituito in passato il filo conduttore che ha portato alla realizzazione, presso l'Istituto di Medicina dello Sport, di originali metodiche di valutazione funzionale ed alla realizzazione di diversi ergometri simulatori, come quelli per la corsa, per il ciclismo, per il canottaggio, per la canoa kayak, per il nuoto, per la canoa canadese, per lo sci di fondo.

Attraverso questi ergometri simulatori è quindi possibile rilevare sia gli aspetti biomeccanici che i parametri fisiologici del gesto sportivo, sia effettuato in condizioni ideali che sotto gli effetti della fatica, campo di studio, quest'ultimo che, come si è detto, è importantissimo nella valutazione degli atleti.

Va sottolineato infatti che la fatica, pur presentandosi nell'esecuzione del gesto sportivo per lo più con una sintomatologia generalizzata, può risultare particolarmente evidente in determinati distretti corporei.

Gli ergometri simulatori consentono, perciò, di mettere in evidenza questi particolari aspetti della fatica nell'atleta, la cui conoscenza risulta fondamentale nella messa a punto e nell'applicazione dei vari mezzi di allenamento. La simulazione in laboratorio, quindi, non costituisce un mezzo di indagine fine a se stessa, ma consente di valutare ad un banco di prova il più possibile specifico e completo la prestazione dell'atleta, così da poter consentire la verifica delle metodiche di allenamento adottate ed infine suggerire modifiche che allo schema di allenamento potrebbero rendersi necessarie.

Il primo ergometro simulatore per rilievi biomeccanici al quale accenniamo è rappresentato dal remoergometro, il quale, già da anni, attraverso un progressivo perfezionamento del sistema di rilevamento e di integrazione dei valori, costituisce il banco di prova biomeccanico e fisiologico degli atleti praticanti questo sport (vedi fig. n. 5).

Esistono tre differenti possibilità di rilevare i fenomeni biomeccanici del gesto sportivo del canottiere: direttamente in barca, in vasca di prova ed in laboratorio.

Mentre nei due primi casi il « freno » all'azione delle remate del canottiere è direttamente costituito dall'acqua, nel laboratorio tale freno può essere meccanico e cioè ad attrito elettrico (con produzione di energia elettrica smaltita su resistenza, o come nel caso del nostro remoergometro, mediante una pompa idraulica tarata ed a resistenza variabile).

Dal momento che attraverso i test incrociati si è messo in evidenza che i vari « freni » consentono di ottenere una buona simulazione della resistenza che il remo offre in condizioni reali e cioè in barca, si è potuto dotare l'ergometro di laboratorio di vari trasduttori, sia di forza che angolari, in modo da rilevare quanti più parametri biomeccanici possibile da accoppiare a quei parametri che convenzionalmente vengono definiti come « fisiologici » e cioè quelli che rilevano l'andamento dei valori cardiocircolatori, respiratori e metabolici (fig. 5).

I rilievi biomeccanici ottenuti sono di differente tipo. Il primo (fig. 6) si basa sulla tracciatura della forza applicata sul remo (grafico in alto), e sulla forza con cui l'atleta preme sulla pedaliera (grafico

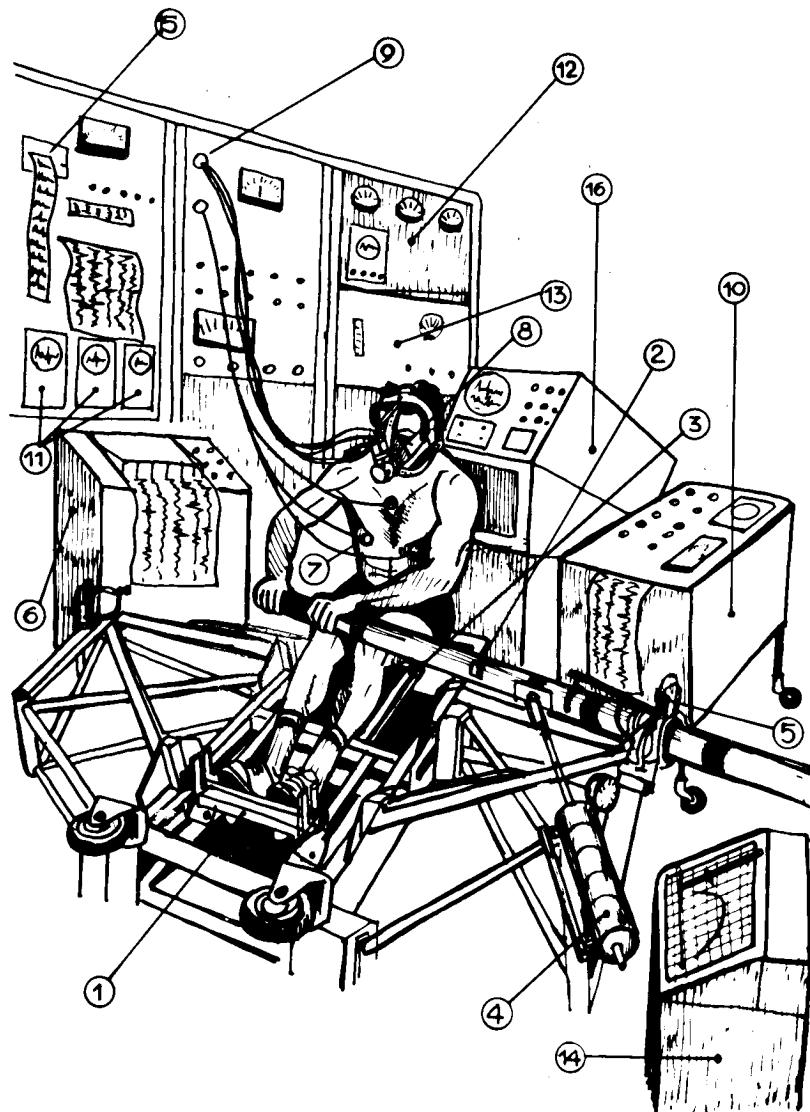


Fig. 5

inferiore); nella figura 7 insieme alla traccia che rappresenta la forza applicata sul remo, viene registrata la ventilazione polmonare per verificare se esiste una correlazione tra la meccanica ventilatoria ed il ciclo della remata.

Nella fig. n. 8 si osserva come non esista alcun accordo tra ventilazione e ciclo di voga, mentre nella figura n. 9 tale sincronizzazione è completa.

DIDASCALIA FIG. 5

L'illustrazione mostra, schematicamente, la tecnica di valutazione multipla che viene adottata per l'esplorazione funzionale specifica in laboratorio dei canottieri. Nel caso in oggetto viene usato il remoergometro, che ne simula l'azione specifica consentendo il rilievo di parametri fisiologici e biomeccanici.

- 1) trasduttore estensimetrico per misurare la forza con cui l'atleta preme sulla pedaliera;
- 2) trasduttore estensimetrico per registrare la forza di trazione sul remo;
- 3) trasduttore lineare per registrare gli spostamenti longitudinali del carrello;
- 4) sistema elettro-idraulico per simulare la resistenza offerta dall'acqua al remo;
- 5) trasduttore angolare per la registrazione dell'ampiezza del movimento effettuato dal remo;
- 6) « Recorder » multitraccia su cui vengono registrati tutti i parametri biomeccanici ottenuti e cioè l'espressione di forza e l'ampiezza e tipo dei movimenti compiuti dall'atleta;
- 7) elettrodi biopotenziali per il rilievo dell'elettrocardiogramma e della frequenza cardiaca;
- 8) pneumotacografo con relativi tubi per il rilievo della ventilazione polmonare e per il prelievo continuo dei campioni di aria espirata, necessari per effettuare l'analisi dei gas respiratori;
- 9) unità completa comprendente i vari integratori e cioè: del pneumotacogramma (misura del flusso dell'aria), della ventilazione polmonare, del consumo di ossigeno, dell'emissione di anidride carbonica, dell'elaborazione dell'elettrocardiogramma ecc.;
- 10) apparecchiatura poligrafica per la registrazione di alcuni parametri fisiologici;
- 11) batteria di oscilloscopi a raggi catodici su cui vengono monitorati a differente ampiezza e velocità di scorrimento, l'attività elettrica cardiaca e la ventilazione polmonare;
- 12) analizzatore di ossigeno;
- 13) analizzatore di anidride carbonica;
- 14) plotter XY su cui vengono registrati, nel caso in oggetto, sull'asse delle ascisse e su quello delle ordinate, rispettivamente, i movimenti angolari del remo e la forza applicata dal rematore;
- 15) computer per calcolare, in rapporto ai valori di pressione, temperatura e umidità dell'aria ambiente, i più importanti parametri cardiocircolatori, respiratori e metabolici. Il calcolo è effettuato in tempi reali e la registrazione dello stampa-dati effettuato ogni 30";
- 16) oscilloscopio a raggi catodici multicanale su cui vengono inviati i segnali indicanti i parametri biomeccanici rilevati (forza, pressione, movimenti lineari ed angolari, accelerazioni ecc.).

In questo tipo di grafico, mentre sull'asse delle ascisse viene riportato il tempo, sulle ordinate i valori delle forze espressi in Kg e quelli della ventilazione in litri.

Nella fig. 10 viene mostrato un altro tipo di registrazione, in cui sull'asse delle ascisse, in luogo del tempo, viene espresso lo spostamento angolare del remo rilevato allo scialmo. In questo tipo di tracciato, ovviamente, si ha la formazione di una immagine ciclica con-

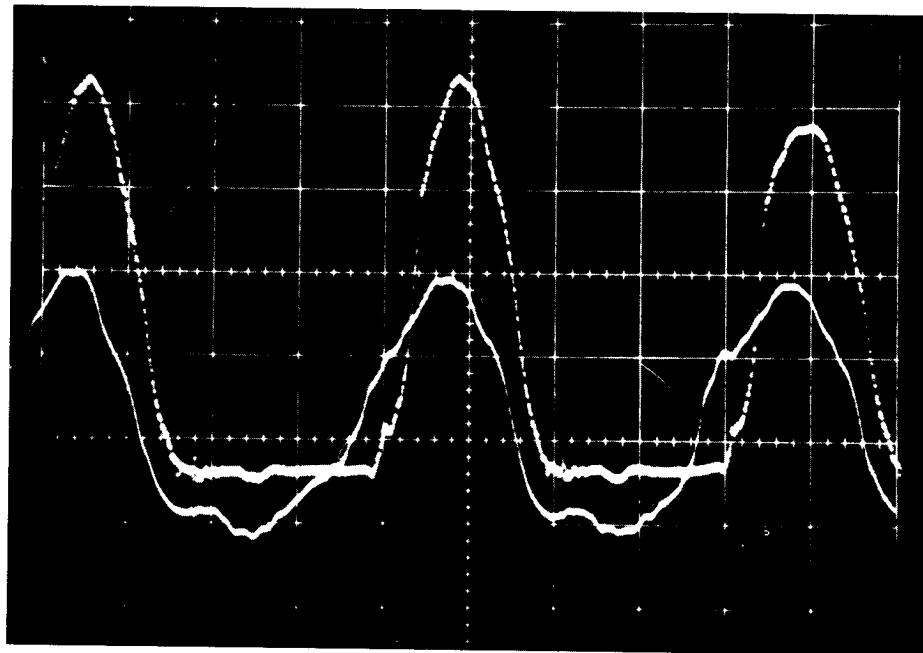


Fig. 6

tinua e cioè di un « loop » nel quale si ritrova l'applicazione di forza sul remo in rapporto all'angolo formato tra remo ed imbarcazione.

Nella figura 10 è possibile inoltre rilevare nel lato sinistro il « loop » che si riferisce al primo minuto di un lavoro simulante una prestazione di gara, al centro si vedono i « loops » che si riferiscono al secondo, terzo, quarto e quinto minuto di lavoro dell'impegno di gara, nel « loop » di destra si osserva, infine, il tracciato riferito alle ultime fasi del test di lavoro.

E' possibile osservare nelle figure 11 e 12 non solamente le differenze nell'applicazione di forza tra i diversi soggetti esaminati, indice questo di differenti impostazioni tecniche e di altrettanto differenti interpretazioni soggettive effettuate da parte degli atleti, ma soprattutto gli effetti della fatica, rappresentati dalla decrescente area dei diagrammi (forza · angolo) riferiti ai minuti successivi al primo e che, nei grafici fotografati all'oscilloscopio, sono rappresentati da diagrammi che concentricamente vanno riducendosi.

Il « loop » di destra rappresenta l'espressione delle ultime « stille » di energia che, biomeccanicamente vengono espresse come un incremento di lavoro esterno (nello sport in oggetto definito serrate finale) in cui l'atleta raggiunge il massimo debito che è in grado di sopportare.

Un'ulteriore sofisticazione del sistema è rappresentata dall'inserimento nello stesso schermo oscilloscopico, delle forze di spinta che agiscono sulla pedaliera e che rappresentano la risultante delle forze,

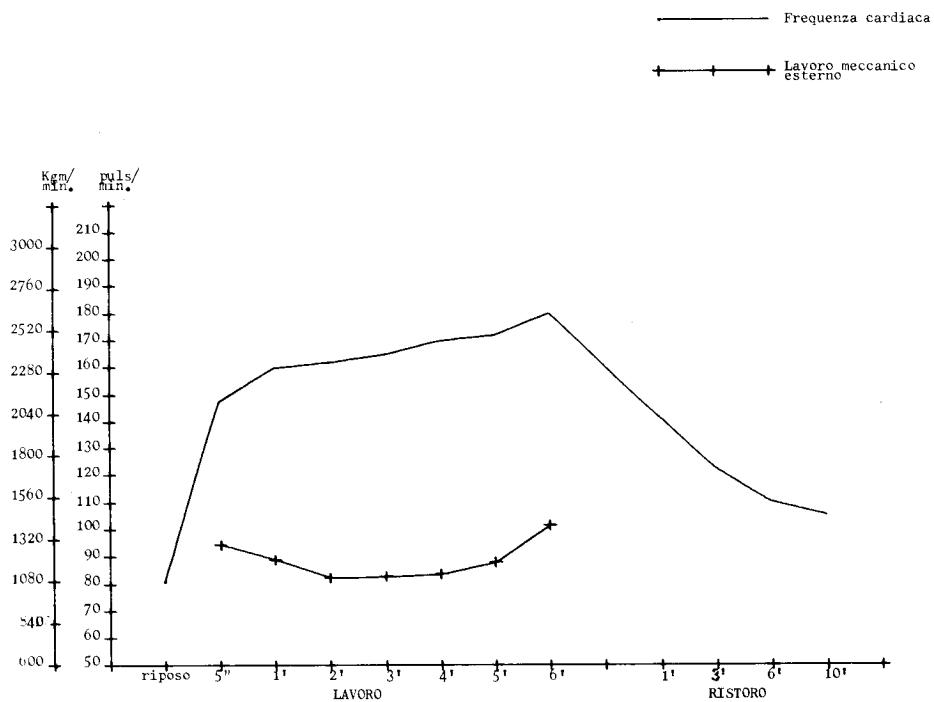


Fig. 14

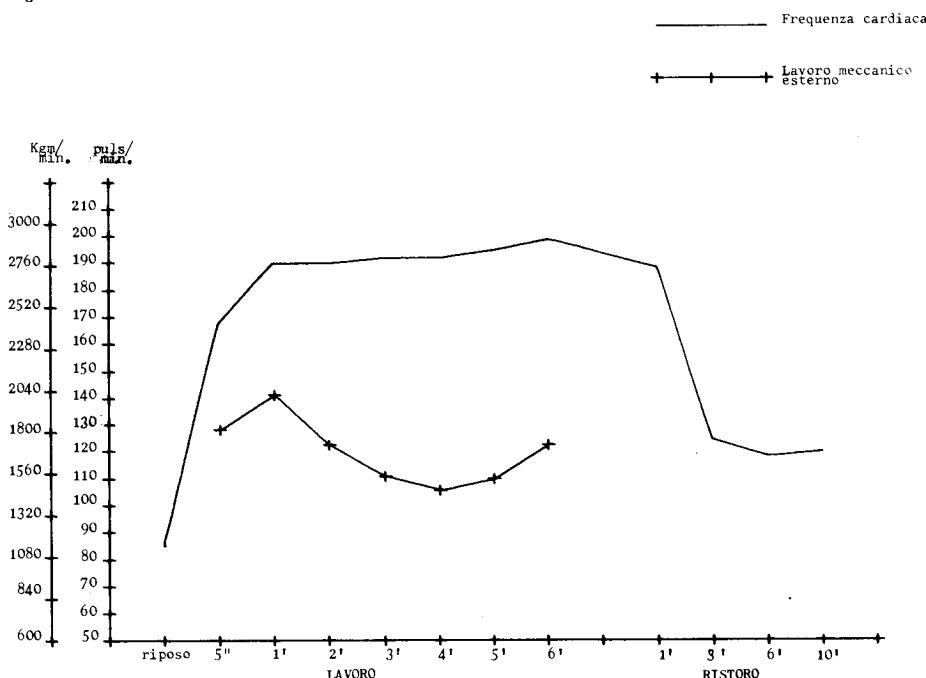


Fig. 15

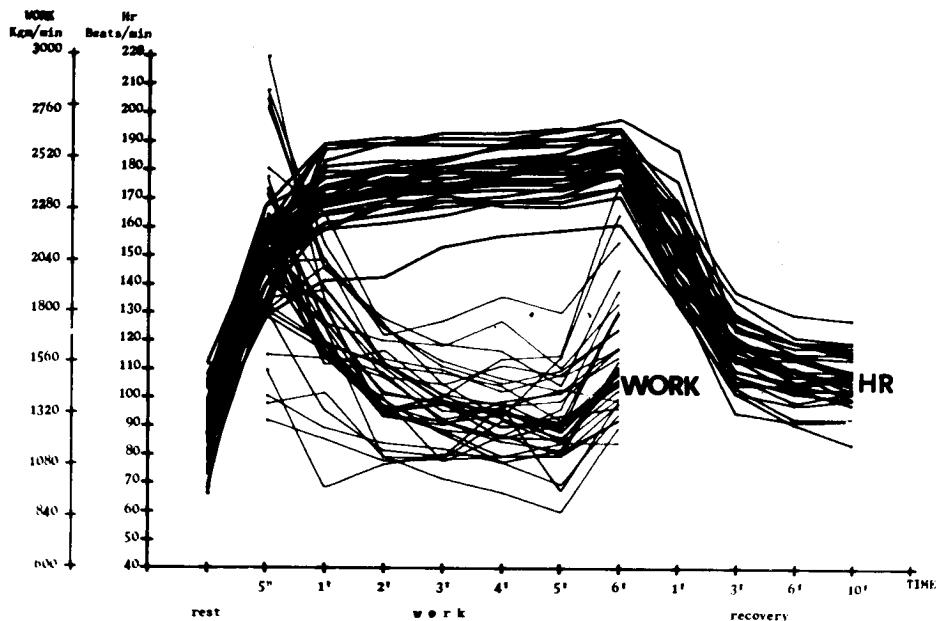


Fig. 16

Analiticamente risulta:

$$L_E = R \times \int F \, dx \quad (1)$$

dove l'integrale è esteso ad uno o più cicli di voga ed R è la distanza dallo scalmo del punto di applicazione della forza F (perpendicolare al remo).

Un ulteriore affinamento della (1) si ha considerando la sola porzione di lavoro esterno (L_u) prodotto dalla sola componente di F parallela all'asse della barca (e quindi utile al fine di avanzamento) e trascurando il lavoro compiuto durante la fase di ritorno ($F = 0$).

Risulta:

$$L_u = R \times \int F' \cos^2 \alpha \, d\alpha \quad (2)$$

con $F' = F$ per $F \geq 0$

Gli integrali (1) e (2) possono essere calcolati graficamente o con l'ausilio del calcolatore elettronico.

Non essendo lo scopo della presente relazione quello di approfondire l'analisi di un singolo sport, ma quello di descrivere alcune delle applicazioni di biomeccanica in campo sportivo, lasciamo senz'altro

di spinta e di inerzia, che vengono trasmesse dall'atleta all'imbarcazione mediante l'unico collegamento fisso che lo collega ad essa (si rammenta che l'atleta voga su seggiolino mobile, a carrello) (fig. 13).

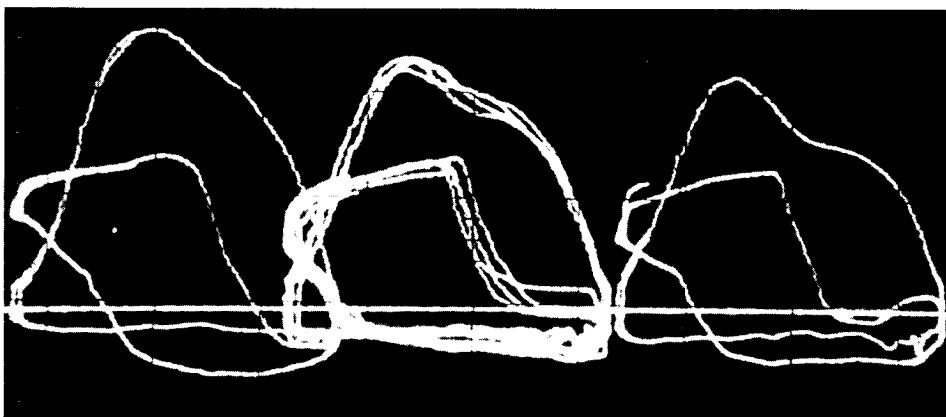


Fig. 13

Lo studio associato delle forze che agiscono sul remo e di quelle che si scaricano sulla pedaliera costituiscono un materiale prezioso per lo studio del movimento più potente ed economico, nello stesso tempo, ma rappresenta anche il mezzo di indagine ideale per osservare gli effetti della fatica sulla potenza e sulla coordinazione neuromuscolare del gesto sportivo.

Nella figura 14 e nella figura 15 si osserva come, in un test massimale simulante biomeccanicamente una gara di canottaggio, il lavoro meccanico esterno fornito sia, in due atleti entrambi di elevato valore sportivo, del tutto diverso e si osserva anche come il comportamento della F.C. risulti corrispondente nei due soggetti presi come esempio.

Nella fig. 16 si osserva quanto sia disomogeneo il comportamento sia di un parametro fisiologico come la F.C., sia del lavoro esterno fornito durante test simulante biomeccanicamente una competizione. Il grafico presentato si riferisce ai controlli effettuati su tutta la fascia di canottieri di maggior rilievo sportivo del nostro Paese. Ciò costituisce un'ulteriore conferma di quanto sia importante utilizzare metodologie simulanti il gesto sportivo o effettuare rilievi durante l'esecuzione del gesto sportivo stesso per rendersi ben conto di quali siano, espressi quantitativamente e qualitativamente, i valori meccanici e fisiologici grazie ai quali l'atleta compie la sua prestazione. Può probabilmente risultare di qualche interesse indicare la metodologia per rilevare il lavoro meccanico esterno prodotto al remoergometro (L_E). Esso è rappresentato dall'area dei diagrammi ciclici angolo (α), forza (F) precedentemente illustrati.

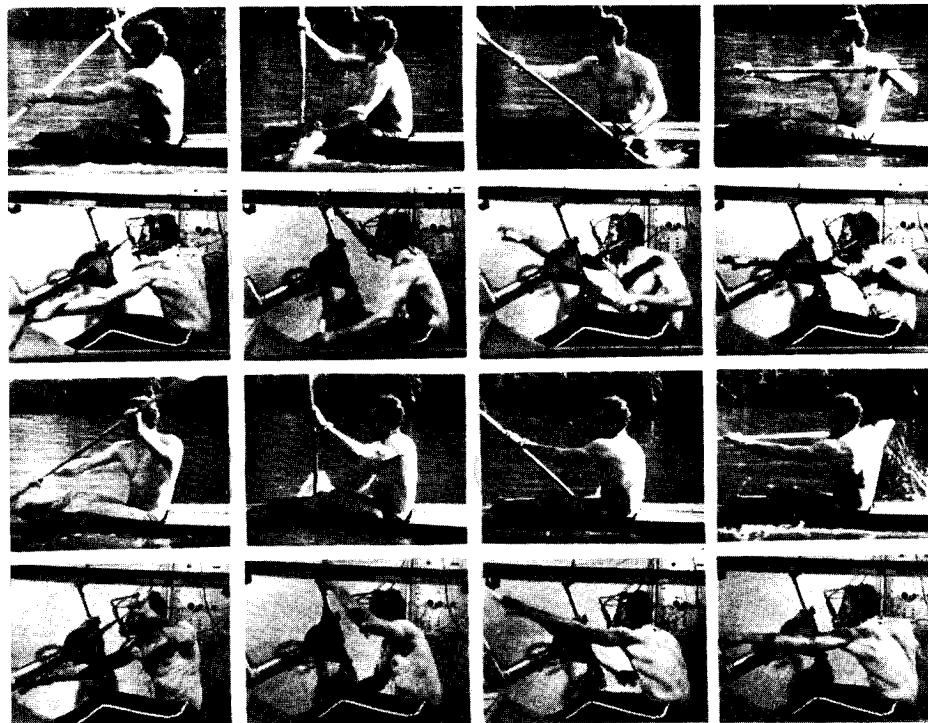


Fig. 17

il canottaggio e passiamo alla descrizione del metodo di valutazione dei canoisti di imbarcazione kayak che, solamente grazie alla messa a punto di un simulatore del gesto sportivo specifico, viene effettuata in condizioni tali da consentire un'esplorazione attendibile dei particolari condizionamenti fisici cui gli atleti di tale sport sono dovuti andare incontro per eccellere in tale specialità.

E' questo uno degli sport nei quali la realizzazione di un simulatore meccanico specifico appare pressoché indispensabile per poter ottenere una risposta utile nei test funzionali e per poter meglio verificare gli effetti dell'allenamento.

Nella canoa kayak, infatti, la potenza degli organi di trasporto (sistema emocardiocircolatorio e respiratorio) vanno messi in collegamento con la specifica muscolatura utilizzata nello sport e non con una parte qualsiasi di muscolatura.

Non è infatti, in questi test di valutazione, il massimo consumo di ossigeno che riveste valore determinante. Nella massima parte dei canoisti, anche bene allenati, i valori più elevati di consumo di ossigeno si ottengono attraverso test (nastro trasportatore e cicloergometro) che impegnano le masse muscolari più ingenti e cioè degli arti inferiori e della parte bassa del tronco (glutei ed addominali). Appare invece importante constatare di quanto la loro muscolatura si sia adeguata al



Fig. 18

loro attrezzo di gara. In altre parole, più elevato è il consumo di ossigeno ottenuto cimentando la muscolatura degli arti superiori e del tronco e più elevata risulta la quantità di lavoro svolta, migliore sarà la trasformazione in senso « canoistico » della struttura muscolare di questi atleti.

In altri termini è solamente attraverso la valutazione biomeccanica effettuata mediante simulazione del gesto che si ottiene la risposta desiderata, che potrebbe anche esser espressa dal rapporto tra massimo consumo di ossigeno ottenibile al cicloergometro ed al simulatore del kayak, effettuati sullo stesso atleta, oppure attraverso il rapporto tra la quantità di lavoro meccanico esterno fornito al cicloergometro ed al simulatore stesso.

Nelle figure 17 e 18 si può rilevare la buona simulazione meccanica ottenuta, mentre nelle figure 19 e 20 si osservano rispettivamente i valori ed i grafici ottenuti nella valutazione comparativa di canoisti di elevato valore atletico provati in differenti test (cicloergometro e simulatore del kayak).

Pur non soffermandoci nell'analisi particolareggiata dei risultati che si ottengono mediante questa valutazione funzionale di tipo biomeccanico (gli interessati potranno approfondire l'argomento consultando

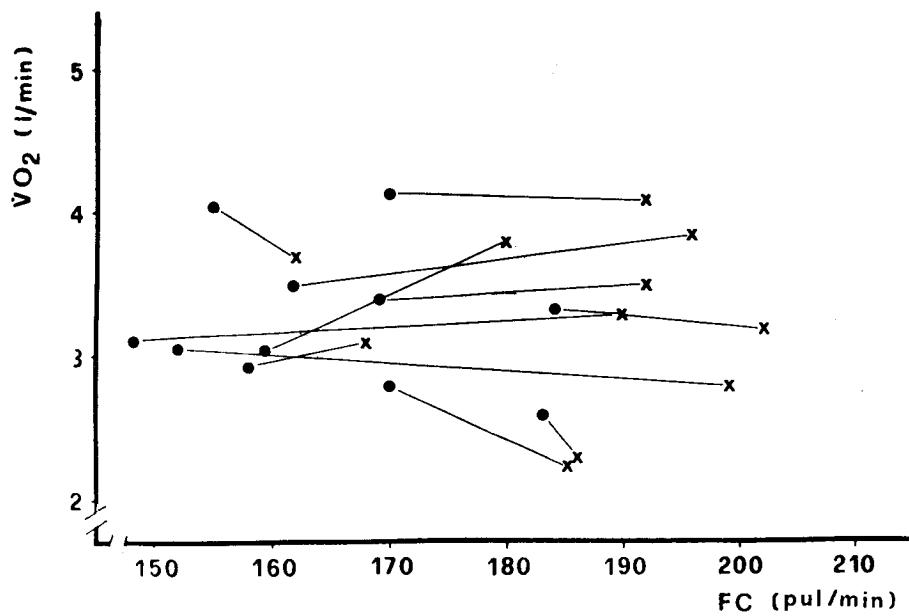


Fig. 19

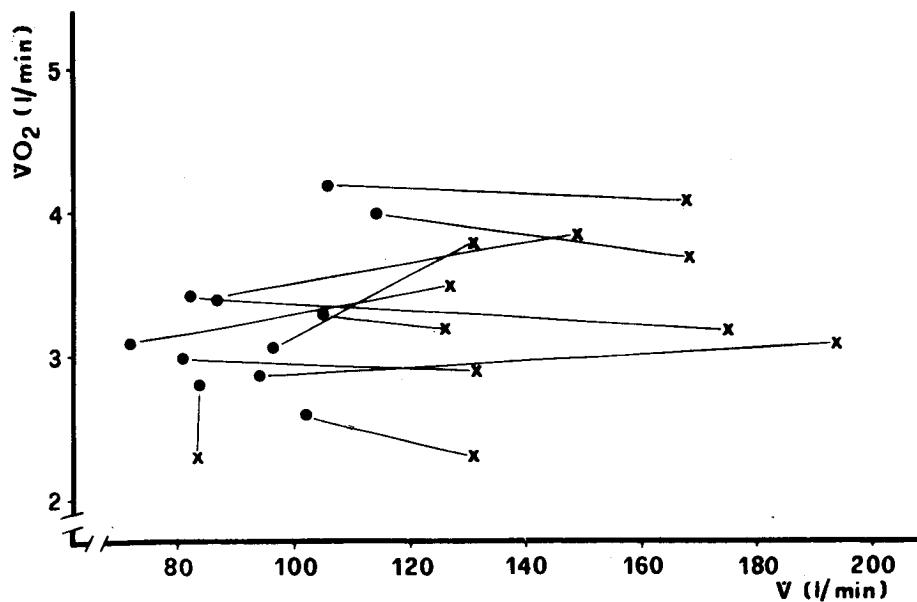


Fig. 20

i testi citati in bibliografia) si ritiene però utile attirare l'attenzione sul comportamento del consumo di ossigeno che, nei canoisti, rilevato all'ergometro simulatore del kayak, quasi raggiunge il consumo ottenuto al cicloergometro. Da rammentare che gli individui « normali », al simulatore del kayak, producono una quantità di lavoro meccanico esterno non superiore ad un quinto di quello che gli stessi soggetti sono in grado di mostrare quando lavorano al cicloergometro od al nastro trasportatore (fig. 4). Mentre il consumo d'ossigeno è pari alla metà.

Ancora più significativo appare il fenomeno della frequenza cardiaca e della ventilazione polmonare che, nel test all'ergometro simulatore del kayak, a parità di lavoro svolto e di consumo d'ossigeno, presentano valori assai più elevati, mentre al massimo carico di lavoro, che è differente nei due diversi ergometri, si ha invece la medesima frequenza cardiaca e ventilazione polmonare (figg. 19 e 20).

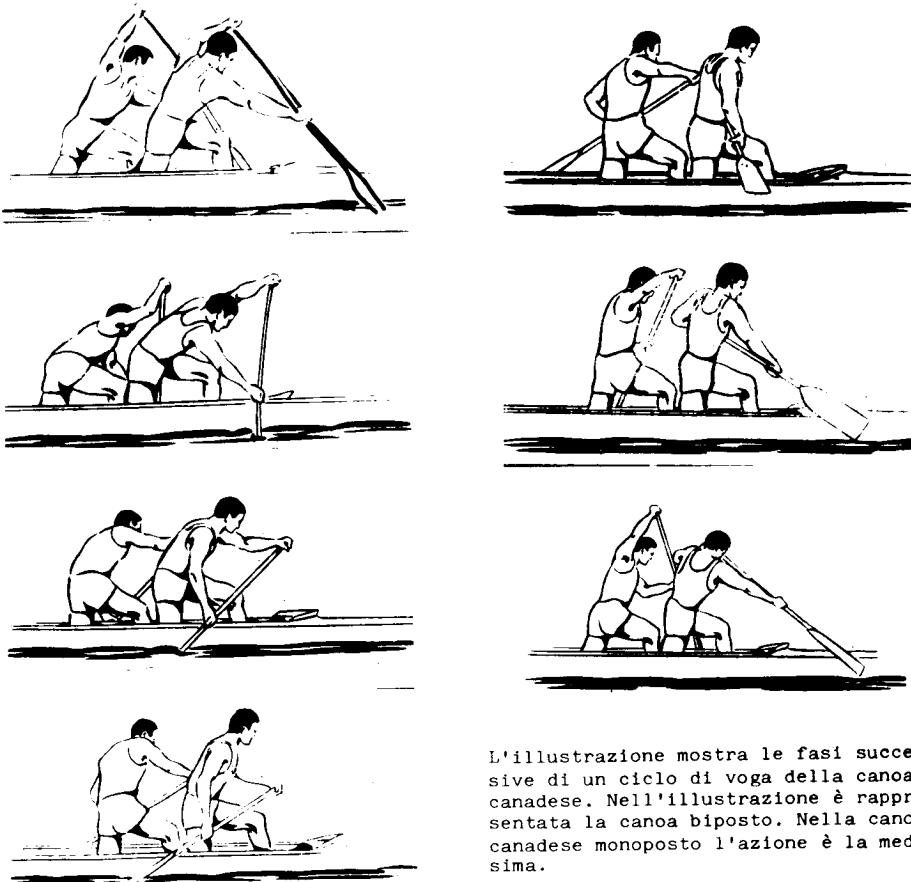
Ciò dimostra, al di là di ogni ragionevole dubbio, come, nella valutazione specifica funzionale degli atleti, si debba ricorrere in laboratorio alla simulazione meccanica del gesto se si vogliano ottenere risultati utili soprattutto per il tecnico.

Dopo questi due esempi, già applicati estesamente nella pratica routine, dell'Istituto di Medicina dello Sport, si accennerà a due nuovi ergometri specifici e cioè quello per la valutazione del canoista di canoa canadese e quello per lo sci di fondo. La canoa canadese richiede un particolare ergometro perché il suo gesto specifico si basa su un movimento quanto mai caratteristico e che comporta un impegno del tutto inusuale dei vari distretti muscolari.

E' evidente, infatti, osservando nella figura lo schema del movimento del « canadese » (fig. 21), che in questa disciplina sportiva, più che in altre, possono eccellere i soggetti che, a parità di mezzi fisici, sappiano produrre una maggiore quantità di lavoro meccanico esterno. Il migliore sfruttamento sotto il profilo biomeccanico della geometria corporea e delle masse muscolari (a loro volta opportunamente adattate attraverso l'allenamento), costituisce, forse più della potenza fisica assoluta, il mezzo per raggiungere, da parte di questi atleti, le massime prestazioni per cui in laboratorio qualsiasi valutazione che non comporti tali caratteristiche di efficienza funzionale risulta del tutto incompleta ed incapace di fornire dati utili.

L'ergometro simulatore della canoa canadese si basa ovviamente sul mantenimento, da parte del soggetto in valutazione, della stessa posizione adottata sull'imbarcazione. Dal momento che gli atleti adoperano, per appoggiare il ginocchio, un particolare supporto sagomato anatomicamente, in laboratorio gli atleti possono utilizzare il loro appoggio personale (fig. 22).

Per quanto riguarda la riproduzione meccanica del movimento della pagaia esso viene ottenuto attraverso un sistema capace di opporre resistenza alla trazione dall'avanti verso l'indietro, della pagaia, mentre nel movimento di ripresa e cioè dall'uscita della pagaia dall'acqua alla fase di attacco (inizio della trazione) non si deve avere praticamente resistenza.



L'illustrazione mostra le fasi successive di un ciclo di voga della canoa canadese. Nell'illustrazione è rappresentata la canoa biposto. Nella canoa canadese monoposto l'azione è la medesima.

Fig. 21

Per raggiungere tale scopo sono stati fissati ai lati del nastro trasportatore (che è stato, per motivi che si vedranno in seguito, quando si descriverà il successivo ergometro simulatore, usato come « stativo ») due tubi longitudinali corrispondenti a vere e proprie rotaie, che costituiscono le due « guide » per il movimento delle pagaie, e cioè rispettivamente quella di destra per gli atleti che pagaiano a destra dell'imbarcazione, e quella di sinistra utilizzabile dai canoisti mancini, che fanno scorrere la pagaia sul lato sinistro della canoa.

Nell'ergometro simulatore della canoa « canadese », l'estremità inferiore della pagaia, quella corrispondente alla pala, anziché essere libera come nella realtà, è fissata mediante uno snodo a due gradi di libertà ad un carrello scorrevole su due « tubi-rotaie ». Da questo carrello si diparte un cavo di trasmissione avvolto pressappoco come avviene per il cingolo di un carro armato, su due carrucole poste anteriormente e posteriormente alle estremità del tubo stesso (fig. 23).

Queste due carrucole consentono il rinvio e lo scorrimento del carrello nei due sensi.

Per riprodurre, nel modo più aderente possibile alla realtà, la resistenza opposta dall'acqua alla pagaia, si è ricorsi trasferendo la spinta applicata alla pagaia mediante il cavo di trasmissione ad un volano dotato di sistema di frenatura a cinghia di attrito, con resistenza variabile tramite pesi, secondo il metodo applicato da Fleisch, Monark ecc., vedi fig. 23 ai loro noti cicloergometri.

La formula fisica su cui si basa tale sistema di frenatura è rappresentata da:

$$P = p e^{f\alpha}$$

dove P e p sono le forze di tensione del nastro; f è il coefficiente di attrito della coppia strisciante nastro puleggia; α è l'angolo di abbraccio del nastro sulla puleggia espresso in radianti; e è la base dei logaritmi naturali.

La coppia frenante applicata alla puleggia è evidentemente:

$$M = (P - p) \times R = P \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha}}\right) \times R$$

dove R è il raggio della puleggia.

La forza P è ben determinata e costituisce il metodo per variare il carico di lavoro ed è rappresentata dal peso sospeso al nastro. Il « contrario » p può essere portato al valore 0 aumentando l'angolo α di abbraccio. Nel caso in oggetto la cinghia è avvolta per circa 16 radianti (oltre 2 giri).

Con un angolo abbraccio così esteso e con il valore della $p = 0$, il calcolo del lavoro viene assai semplificato e rappresentato dalla formula:

$$L^I = 2 \pi (PR + \delta) \times n$$

dove n è il numero di giri compiuti dalla puleggia nell'intervallo di tempo di misurazione del lavoro ed è rilevabile mediante un semplice contagiri collegato con l'asse della puleggia; δ è un fattore correttivo che tiene conto dell'attrito ai cuscinetti ed all'arpionismo collegante il cavo di trasmissione con il volano durante la fase di disimpegno dello stesso.

In realtà a tale lavoro L^I va sommato il lavoro L^H compiuto per vincere gli attriti degli organi meccanici non considerati in δ (trascuriamo l'inerzia della pagaia e di tutti gli altri componenti in moto alternativo).

Esso vale:

$$L^H = l \times (F_1 + F_2) \times m$$

dove l è la lunghezza del percorso compiuto durante la fase attiva della palata; F_1 e F_2 sono rispettivamente le forze necessarie per vincere gli attriti durante la fase attiva ed il ritorno della pagaia; m è il numero di palate eseguite durante l'intervallo di tempo di misurazione del lavoro.

La foto mostra la registrazione della forza di una passata in acqua registrata assieme alla ventilazione polmonare, che in questo sport,

in tutti i soggetti fino ad oggi valutati, ha una frequenza minuto identica a quella di vogata, ed infine nella traccia in basso l'elettrocardiogramma (fig. 24).

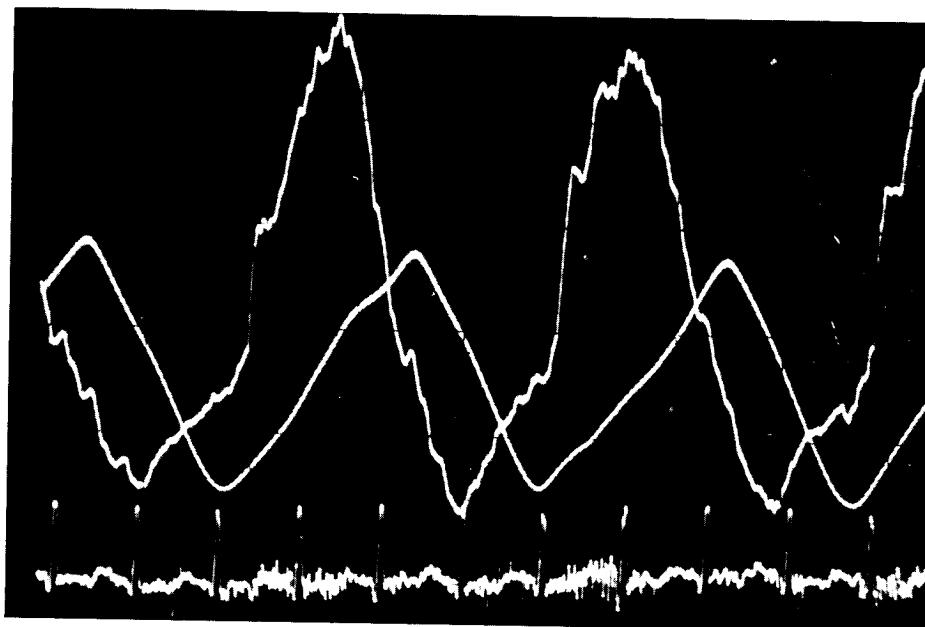


Fig. 24

I soggetti che praticano a buon livello tale sport, nei test di quattro minuti di durata (corrispondenti pressappoco a quella di gara), hanno mostrato di raggiungere al 4° minuto di lavoro un consumo di ossigeno/minuto compreso tra i 40 ed i 50 ml per chilo di peso corporeo (inferiore, dato il tipo del movimento, a quello ottenibile al cicloergometro od al nastro), la frequenza cardiaca massima tra 175 e 200 e la ventilazione polmonare di 120-150 litri minuto. Questo ergometro è ormai applicato di routine e gli atleti mostrano di gradire molto il test appunto perché permette loro una riproduzione assai fedele del gesto specifico cui sono allenati. Sono in corso di pubblicazione dati più particolareggiati su questo ergometro simulatore.

Un altro ergometro specifico per la simulazione in laboratorio del gesto sportivo, che recentemente è entrato a far parte delle apparecchiature in dotazione all'Istituto di Medicina dello Sport per il rilievo dei parametri biomeccanici del gesto sportivo, è rappresentato dall'« ergometro simulatore dello sci di fondo ».

Lo scopo che con la realizzazione di tale ergometro specifico ci si era prefisso era quello di ottenere una corretta valutazione della potenza meccanica (globale) espressa dall'atleta, nonché di valutare la distribuzione della forza applicata dall'atleta ai suoi arti superiori ed a quelli inferiori misurata separatamente.

Appare ovvio che, attraverso l'analisi della spinta propulsiva degli arti inferiori e di quella degli arti superiori, nonché della coordinazione neuro-muscolare dell'atleta nel compiere il suo gesto sportivo, esplorato in condizioni diverse di velocità, pendenza di salita, stato di affaticamento, si ottiene una ricca massa di informazioni di « pronto impiego » per il tecnico sportivo.

Nella progettazione di tale ergometro ci si è basati sull'uso degli « sky roller » (e cioè degli sci stradali usati dagli sciatori di fondo per allenarsi su strada d'estate), per simulare il movimento di spinta e di « passo-spinta » per gli arti inferiori.

Per gli arti superiori, invece, si è adottato un sistema basato sul principio dell'ergometro simulatore della canoa canadese e cioè sostituendo la pagaia con i bastoncini incernierati sui carrelli di scorrimento già illustrati in precedenza. Anche il lavoro meccanico esterno fornito dall'atleta con la propulsione sui bastoncini è stato misurato mediante lo stesso sistema di freno ad attrito su volano, descritto a proposito dell'ergometro per la canoa canadese, cui si rimanda.

Per quanto riguarda invece la riproduzione del movimento degli arti inferiori, gli « sky roller » sono stati posti sul nastro trasportatore (figura 25).

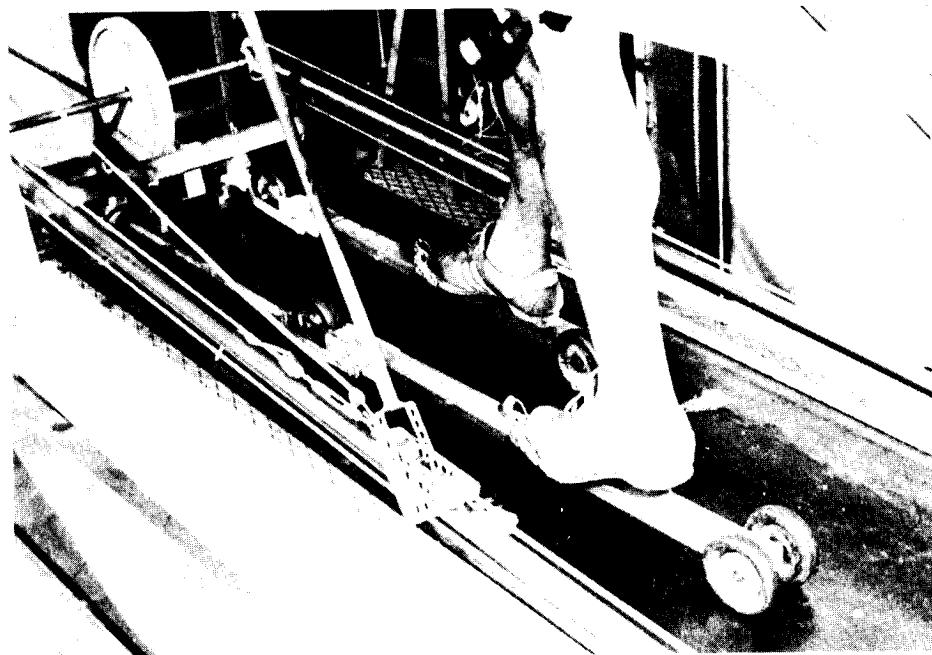


Fig. 25

Per poter rendere il movimento « in simulazione » del tutto simile a quello reale, si è dovuto provvedere a prolungare posteriormente il percorso praticabile dagli « sky roller », mediante una lastra aggiuntiva po-

sta allo stesso livello del nastro di scorrimento. Sotto il profilo tecnico va precisato che ogni singolo « sky roller » fa presa sul terreno mediante un sistema di « ruota libera » che agisce solamente sulla ruota anteriore. Tale dispositivo permette infatti allo « sky roller » di avanzare liberamente, ma gli impedisce di retrocedere. Le ruote posteriori sono invece « in folle » per cui, nella spinta verso dietro, possono liberamente appoggiarsi sulla lastra posta al termine del nastro o, addirittura, sollevarsi dal suolo a somiglianza di come si verifica con gli sci da neve al termine della spinta effettuata, con forte proiezione dell'arto all'indietro.

La direzione degli « sky roller » è guidata sul nastro mediante aste di lega leggera che scorrono in un apposito snodo, a due gradi di libertà, fissato su una trave posta in corrispondenza dell'inizio del nastro trasportatore (fig. 26).

Mediante tale dispositivo gli sciatori, potendo usufruire sugli sci dotati di ruote di ogni grado di libertà nel movimento, ad eccezione della possibilità di divergere o di convergere, si trovano in una situazione analoga a quella reale, in cui gli sci, nelle gare di fondo, scorrono in due solchi preparati appositamente da sciatori apripista. La distanza trasversale è ovviamente quella standard adottata nelle competizioni.

La misura della forza degli atleti è ottenuta attraverso sistemi estensimetrici applicati sia ai singoli bastoncini, mediante un sistema che rileva solamente le forze assiali, che agli attacchi degli sci (sugli sky roller, ovviamente), per cui, su questi ultimi, si è in grado di registrare solamente la forza applicata tangenzialmente alla superficie degli sci stessi.

In tale modo possono essere rilevati e calcolati i seguenti valori biomeccanici:

- a) la forza applicata sul bastoncino destro;
- b) la forza applicata sul bastoncino di sinistra;
- c) la misura del lavoro svolto con gli arti superiori;
- d) la velocità di corsa;
- e) la forza esercitata dall'arto inferiore dell'atleta sullo sci di sinistra;
- f) la forza esercitata sullo sci di destra.

Il nastro trasportatore può, ovviamente, assumere ogni pendenza, consentendo così di riprodurre in laboratorio le differenti condizioni di allenamento e di gara che si intendono valutare.

Ai parametri biomeccanici, ovviamente, vanno aggiunti quelli fisiologici, che sono gli stessi già indicati nelle descrizioni degli ergometri precedenti.

La simulazione meccanica ottenuta con tale apparecchiatura è risultata particolarmente felice e gli atleti che hanno eseguito test con tale tecnica hanno dichiarato di sentirsi del tutto a proprio agio.

Ciò è stato anche confermato dal fatto che i valori ottenuti nel dispendio energetico sono stati elevatissimi (oltre 80 ml di O_2 per kg di peso corporeo, in un soggetto di particolare valore sportivo) dimostrando

così che gli atleti che praticano questo sport così costoso, sotto il profilo del dispendio energetico, sono in grado, su questo simulatore meccanico, di fornire le massime prestazioni biologiche.

Per finire, accenniamo ad un metodo basato su valutazioni dinamometriche, e perciò biomeccaniche, e su formule per la valutazione del lavoro meccanico esterno, realizzato per rilevare la massima potenza anaerobica alattacida.

Tale metodo tende a verificare la possibilità di misurare, con una tecnica di rilievo che consente una facile applicazione in campo sportivo, differenti aspetti di questo particolare tipo di lavoro, intensissimo, ma di breve durata, e cioè:

a) l'andamento della potenza artaerobica alattacida per una durata corrispondente a quella in cui si svolgono le trasformazioni chimiche di tipo rigidamente alattacido, e cioè costituite dalla trasformazione che, esemplificata al massimo, risulta espressa dalle formule $ATP \rightarrow ADP + P$ $ADP + CP = ATP + C$;

b) la variabilità della potenza anaerobica nei differenti soggetti, e quindi anche nei vari sport, espressa in funzione della velocità di movimento;

c) il tempo e le modalità di esaurimento delle scorte energetiche del « pool » anaerobico alattacido, valutati mediante un test che mobilizza la massima percentuale delle masse muscolari corporee.

Tale test non si presenta come un sostituto di quello ben noto della salita veloce della scala del Margaria, ma tende ad esplorare aspetti della « potenza anaerobica alattacida » che con il test del Margaria non è possibile evidenziare, e cioè l'espressione della massima potenza anaerobica alattacida per tutta la durata del ricorso a tale fonte energetica e, soprattutto, il suo comportamento a velocità diverse imposte e non sulla massima velocità ottenibile.

Il test della massima potenza anaerobica alattacida si basa sulla registrazione continua, per la durata fissata di dieci secondi, della spinta che un soggetto è in grado di applicare ad una sbarra dinamometrica mentre procede su un nastro trasportatore alle differenti velocità di 1,5, 2 e 3 metri al secondo (figg. 27, 28).

Per barra dinamometrica si intende una barra sagomata e strutturata in modo particolare, dotata di trasduttori in grado di registrare le forze applicate su di essa. Nel nostro caso la barra è in grado di rilevare forze agenti nei due assi ortogonali.

Il test in oggetto risulta assai impegnativo e tale da condurre al completo affaticamento fisico nel termine prefissato di 10 sec., nel quale viene appunto registrato l'andamento della potenza anaerobica espressa dall'atleta (fig. 29).

L'altezza della barra dinamometrica e la pendenza del nastro sono stati ottimizzati sperimentalmente e, per particolari esplicativi, si rimanda a quanto pubblicato in bibliografia. Appare invece utile riportare in questa sede alcuni dei risultati ottenuti valutando soggetti praticanti diverse discipline sportive.

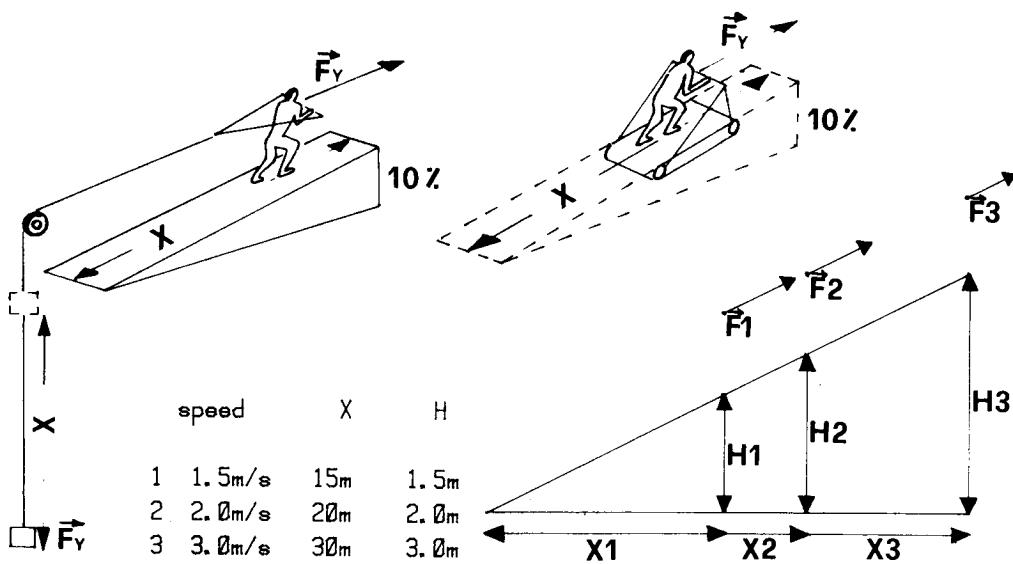


Fig. 28 - La spinta che un soggetto applica su di una barra fissa posta dinanzi a lui mentre cammina su di un ergometro trasportatore alla velocità di 1,5, 2,0 e 3,0 m/sec. per il tempo di 10 secondi corrisponde alla spinta massimale che lo stesso soggetto può applicare ad un grave posto dinanzi a lui per percorso di 15, 20 e 30 m.

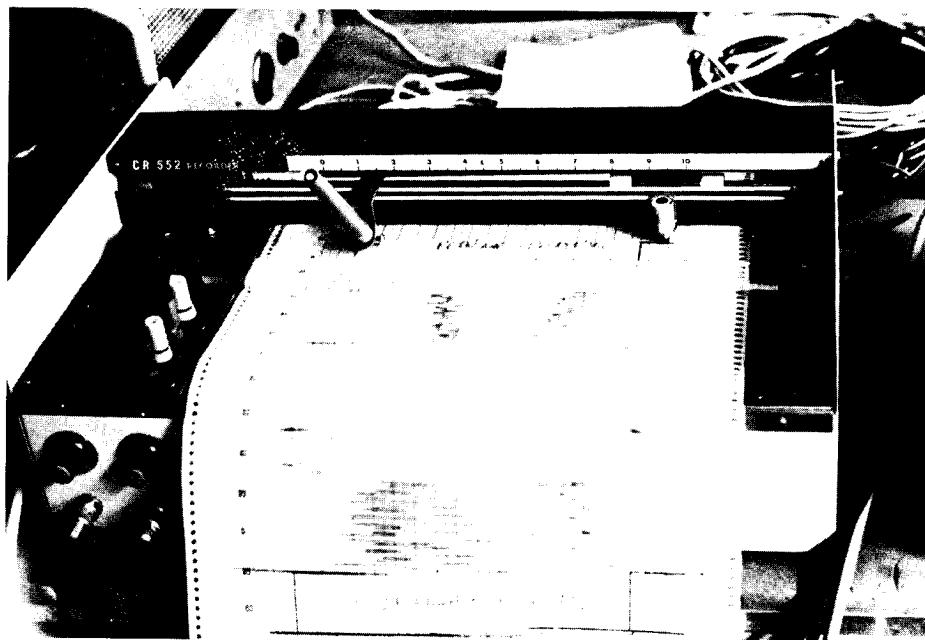


Fig. 29

Il test della massima potenza anaerobica alattacida è stato ormai sperimentato su diverse centinaia di atleti di varie discipline: bob, rugby, canottaggio, lotta greco-romana, scherma, calcio, tennis, sia adulti che in età evolutiva. A ciascun atleta il test è stato fatto compiere a velocità diverse e cioè, come si è detto, a 1,5 m/sec., 2 m/sec., 3 m/sec., con un intervallo tra una prova e l'altra di circa 10 min.

In ogni test effettuato l'inclinazione del nastro trasportatore è stata mantenuta costante al 10% (fig. 30), pendenza che è risultata essere un buon compromesso tra il lavoro prodotto nel moto in salita ed il lavoro ottenuto calcolando la spinta sulla barra dinamometrica.

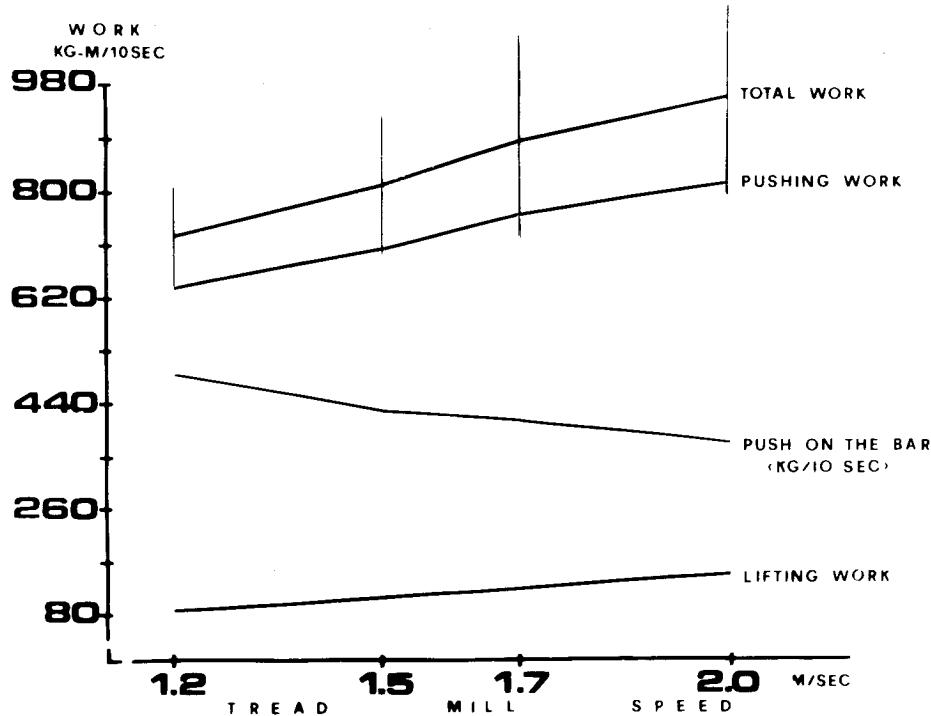


Fig. 30 - Lavoro parziale e lavoro totale in funzione della velocità dell'ergometro trasportatore. Dal basso verso l'alto sono rappresentati: 1) il lavoro per sollevare il corpo; 2) l'intensità di spinta sulla barra; 3) il lavoro di spinta della barra; 4) il lavoro totale. Nella figura non è indicato il lavoro svolto a 3 m/sec.

Il lavoro effettivo compiuto nei 10 secondi del test è stato infatti calcolato sommando quello di sollevamento virtuale del corpo sul nastro, a quello, sempre virtuale, della spinta applicata alla barra dinamometrica durante lo scorrimento del nastro.

Questo lavoro che per semplificare chiameremo « effettivo », può essere addizionato della quota parte di energia che il soggetto dissipa durante il test senza produrre lavoro meccanico.

Questa quota parte di lavoro che può essere definito come « latente » è costituito dall'energia chimica dissipata nei 10 secondi da un soggetto in corsa piana con sovraccarico F_y .

Le relative formule sono le seguenti:

quando si intende valutare il solo lavoro effettivo la formula adottata è:

$$Le = F_x \cdot V \cdot S + P \cdot \sin \alpha \cdot V \cdot S \quad (1)$$

quando si intende aggiungere al lavoro effettivo quello definito « latente » e cioè l'equivalente convenzionale al lavoro meccanico esterno (lavoro complessivo), la formula diviene:

$$L_{comp.} = F_x \cdot V \cdot S + P \cdot \sin \alpha \cdot V \cdot S + c \cdot (P + F_y) \quad (2)$$

dove

P = peso in Kg del soggetto

α = angolo relativo al 10% di pendenza del nastro

V = velocità del nastro espressa in m/sec

S = tempo di durata della prova in secondi

F_x = componente orizzontale della forza espressa alla barra dinamometrica

F_y = componente verticale della forza espressa alla barra dinamometrica.

Poiché per ogni velocità $V \cdot S$ e $V \cdot S \cdot \sin \alpha$ risultano essere dei coefficienti costanti, chiamando $V \cdot S = a$ e $V \cdot S \cdot \sin \alpha = b$ la formula (2) può essere semplificata così:

$$L_{comp.} = F_x \cdot a + P \cdot b + c \cdot (P + F_y) \quad (3)$$

dove i coefficienti a , b e c valgono:

	a	*b	*c
$V = 1,5 \text{ m/s}$	15	1,5	1,2
$V = 2 \text{ m/s}$	20	2,0	2,1
$V = 3 \text{ m/s}$	30	3,0	3,0

* = i valori sono stati arrotondati.

Il coefficiente c è così ottenuto:

$$E \quad \times 0,25 \quad \times \frac{1}{3600} \quad \times 427 \quad \times 10 \text{ sec.}$$

Dal nomogr. rendim. me- conversione conversione
su Cerretelli dio conven- a secondi a Kgm

Kcal zionale della corsa

$\text{Kg} \times \text{h}$

$$V = 1,5 \text{ m/s } E = 4$$

$$V = 2 \text{ m/s } E = 7$$

$$V = 3 \text{ m/s } E = 10,05$$

Dando valori più opportuni (se del caso) ad E ed al rendimento alle varie velocità si potrà migliorare l'apprezzamento di c.

In tabella (fig. 31) sono stati riportati i valori medi della massima potenza anaerobica alattacida ottenuti in soggetti praticanti scherma, canottaggio, bob, rugby e lotta greco-romana. Di questi atleti sono stati

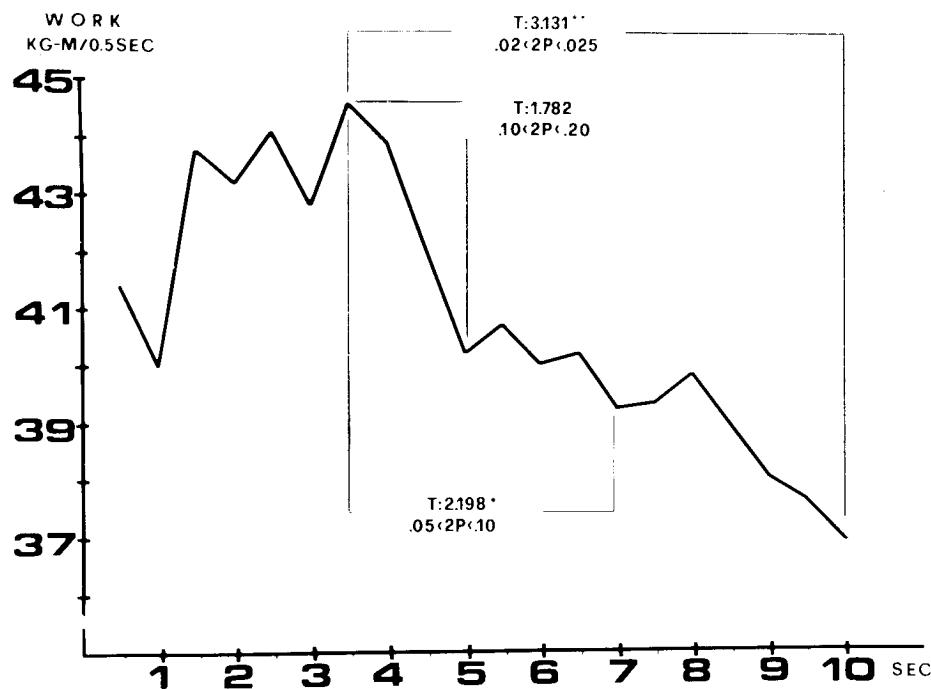


Fig. 31

riportati oltre i valori del lavoro effettivo e del lavoro complessivo su 10 secondi, anche quelli del lavoro compreso tra il 2° ed il 4° secondo a cui sperimentalmente sono stati visti corrispondere i valori più elevati di spinta (vedi fig. 32).

Inoltre nei gruppi testati si è voluto calcolare l'incremento percentuale del lavoro effettivo e del lavoro complessivo espresso alle velocità di 2 m/sec. e di 3 m/sec. rispetto al lavoro compiuto alla velocità di 1,5 m/sec., considerando sia il lavoro espresso tra il 2° ed il 4° secondo che quello sui 10 secondi.

Dei valori espressi nella tabella (fig. 31) la colonna con l'incremento percentuale merita un commento: infatti confrontando questi valori tra i vari sport si può osservare che i rugbysti e bobbisti presentano il più alto incremento percentuale con l'aumentare della velocità del nastro, mentre meno elevato risulta per gli schermidori, i canottieri ed i lottatori. Analizzando poi l'incremento percentuale tra il 2° ed il 4° secondo

Spese	Velocità del materiale di produzione	Lavoro effettivo		Incremento di potenza rispetto alla velocità di 1,5 m/sec				Lavoro complessivo				Incremento di potenza rispetto alla velocità di 1,5 m/sec			
		\bar{X}_{tra} 2°-4° sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec	\bar{X}_{tra} 10 sec	\bar{X}_{tra} 20-40 sec
Spese	1,5 m/sec	42,0%	17,077	0,541	0,477			52,307	47,212	0,074	0,008				
	2 m/sec	41,2%	44,2%	0,642	0,570	11,5	19,4	67,405	61,430	0,870	0,701	21,8%	11,0		
	1 m/sec	55,2%	41,0%	0,711	0,610	31,4	29,7	79,487	72,122	1,030	0,420	52,0%	52,0%	52,0%	52,0%
Spese	1,5 m/sec	46,2%	45,4%	0,534	0,524			58,173	56,372	0,671	0,611				
	2 m/sec	51,15%	41,0%	0,502	0,508	11,0	6,6	71,825	68,640	0,820	0,702	21,5	21,5		
	3 m/sec	51,0%	51,7%	0,650	0,596	21,8	13,8	84,298	70,201	0,972	0,914	44,0	44,0	40,0	40,0
Spese	1,5 m/sec	51,0%	52,8%	0,605	0,546			72,304	65,404	0,747	0,692				
	2 m/sec	71,0%	67,7%	0,744	0,700	22,9	28,2	95,413	80,624	0,980	0,937	31,0	31,0		
	3 m/sec	77,0%	70,2%	0,805	0,798	32,9	44,3	109,494	107,294	1,132	1,108	51,1	51,1	40,0	40,0
Spese	1,5 m/sec	44,0%	42,0%	0,554	0,540			54,739	53,394	0,698	0,671				
	2 m/sec	51,0%	52,5%	0,700	0,680	27,5	22,3	74,390	70,340	0,934	0,935	15,0	11,0		
	3 m/sec	67,0%	59,0%	0,912	0,845	0,715	53,1	32,6	93,145	92,172	1,171	1,033	70,2	64,0	
Spese	1,5 m/sec	47,0%	41,0%	0,735	0,632			56,252	49,577	0,876	0,767				
	2 m/sec	57,0%	52,1%	0,857	0,803	2,07	27,0	74,039	67,309	1,141	1,014	30,2	15,2		
	3 m/sec	59,0%	47,0%	0,874	0,872	0,743	1,70	17,5	77,470	65,406	1,196	1,055	36,0	17,7	

Fig. 32 - Andamento del lavoro totale in funzione del tempo.

rispetto al lavoro totale sui dieci secondi, risulta che i rugbysti riescono ad avere il miglior incremento tra il 2° ed il 4° secondo, mentre per i bobbisti si ha l'inverso, ossia riescono ad esprimere in proporzione il meglio su 10". Mentre tale confronto non sembra avere significato per gli altri sport considerati.

Se invece del solo lavoro effettivo prendiamo in considerazione i valori corretti mediante l'addizionale del lavoro latente, osserviamo che i massimi incrementi percentuali li otteniamo proprio nella scherma, mentre vengono confermate le eccellenti capacità di potenza anaerobica alattacida sviluppate nel bob e nel rugby. I valori di minore incremento in rapporto alla velocità li troviamo, anche in questo caso, nel canottaggio e nella lotta; in quest'ultima, anzi, sembra che i soggetti siano capaci di fornire una maggiore potenza anaerobica alattacida in rapporto al peso corporeo, con minori variazioni in funzione della velocità.

Da quanto sopra esposto non può essere sottovalutato l'interesse di questo test che, attraverso valutazioni di laboratorio abbastanza semplici, per effettuazione, ripetibilità e calcolo, permette di ottenere delle informazioni sulla capacità neuromuscolare, sul lavoro esterno con differenti qualità meccaniche, quali $F \cdot t$, $F \cdot V$ ecc.

Si badi bene che oggi l'unica tecnica in grado di sondare la qualità del tessuto muscolare è quella ben nota, ma non certo molto gradita, della biopsia muscolare, per cui, se un'opportuna evoluzione di una tecnica incruenta consentisse indirettamente, e cioè sondando le qualità meccaniche, di arrivare a conoscere con una certa approssimazione quali siano le caratteristiche della distribuzione delle fibre muscolari, si sarebbe senz'altro compiuto un notevole passo avanti nella individuazione precoce dei talenti sportivi, applicabile ad uno strato di popolazione assai più ampio di quanto possa essere compiuto con le biopsie. Chiedo scusa al lettore se questa relazione è andata molto più in là dei limiti di spazio consentiti... e leciti. D'altra parte l'argomento a me affidato doveva in qualche modo portare un contributo alla conoscenza di quanto può essere eseguito in campo pratico attraverso metodiche biomeccaniche.

Ora che siamo al termine ho il timore di aver trascurato alcune delle metodiche, già in uso presso i laboratori biomeccanici, che avrebbero potuto costituire esempi più significativi di quelli da me descritti. Speriamo che mi sia data l'occasione di descriverle in seguito in altra sede.

Non posso però terminare senza ringraziare coloro che hanno partecipato alla loro messa a punto e che tuttora collaborano all'applicazione routinaria di dette tecniche e particolarmente i maestri di sport, nonché i medici ed i tecnici dei laboratori di valutazione funzionale e di biomeccanica dell'Istituto di Medicina dello Sport.

BIBLIOGRAFIA

ALAYON A., INBAR O., BAR-OR O.: Relationship among measurements of explosive strength and anaerobic power, in « Biomechanics », IV, 572, University Park Press, Baltimore 1974.

- ASTRAND P.O., RODHAL K.: Textbook of work physiology. Mac Graw Hill Book Company, New York 1970.
- CAREY P., STENSLAND M., HARTLEY L.N.: Comparison of oxygen uptake during maximal work on the treadmill and the rowing ergometer. Medicine and Science in Sports, 6, 101, 1974.
- CERRETELLI P.: Fisiologia del lavoro e dello sport. Soc. Ed. Universo, 1973.
- COOPER K.H.: Aerobics. M. Evans and Co., New York 1968.
- DAL MONTE A.: Proposta di una classificazione ad orientamento biomeccanico delle attività sportive. Med. Sport, 22, 501, 1969.
- DAL MONTE A.: Adattamenti morfologici e funzionali in rapporto alle tecniche di allenamento alle prestazioni di massima potenza muscolare. Med. Sport, 27, 127, 1974.
- DAL MONTE A.: Analysis of physical capacity in sport and methods of functional evaluation. Atti dell'International Symposium Olympic Solidarity of the I.O.C., VII Asian Games, Teheran, 29-31 agosto 1974.
- DAL MONTE A., FUCCI S., MANONI A.: The treadmill used as a training and simulator instrument in middle and long-distance running. In Biomechanics III, 359. S. Karger, Basel, 1973.
- DAL MONTE A., TODARO A.: Heart frequency and oxygen input in treadmill exhausting work in 70 endurance athletes. XX World Congress in Sports Medicine, Melbourne, 4-9 novembre 1974.
- DAL MONTE A., LEONARDI L.M.: Sulla specificità della valutazione funzionale degli atleti: esperienze sui canoisti. Med. Sport, 28, 213, 1975.
- DAL MONTE A., LEONARDI L.M.: Functional evaluation of kayak paddlers from biomechanical and physiological viewpoint. In Biomechanics V-B, 258, University Park Press, Baltimore 1976.
- DAL MONTE A.: Fisiologia e Medicina dello Sport. Sansoni Enciclopedie Pratiche., Firenze 1977.
- DAL MONTE A.: Esperienze di biocanottaggio. Riv. Canottaggio n. 5-6, settembre 1977.
- DAL MONTE A.: Su un nuovo ergometro simulatore della canoa canadese. In corso di pubblicazione.
- DAL MONTE A., FUCCI S., TROZZI V.: Sci di fondo in laboratorio. Presentazione di un nuovo ergometro-simulatore. Quaderni dello Sport, in corso di pubblicazione.
- DAL MONTE A., LEONARDI L.M.: A new technic to measure maximal anaerobic alactacid muscular power. VI International Congress Biomechanics, Copenhagen, 1977 (in corso di pubblicazione).
- DAL MONTE A., LEONARDI L.M., SARDELLA F., FAINA M., SIANI V.: Utilizzazione di un test per il rilievo della massima potenza anaerobica alattacida in soggetti in età evolutiva. XXI Congresso Nazionale di Medicina dello Sport, Trieste, 30/9-2/10/1977 (in corso di pubblicazione).
- DI PRAMPERO P.E.: Bioenergetica della contrazione muscolare anaerobica. Med. Sport, 27, 119, 1974.
- FORSBERG A., TESCH P., SJODIN B., THORSTENSSON A., KARLSSON J.: Skeletal muscle fibers and athletic performance, in Biomechanics V-A, 112, University Park Press, Baltimore, 1976.
- GLESER M.A., HORSMAN D.H., MELLO R.P.: The effect on $\dot{V}O_2$ max of adding arm work to maximal leg work. Med. and Science in Sports, 6, 104, 1974.
- HAY J.G.: The biomechanics of sports techniques. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- ISRAEL S., BRENKE H.: Differenti risultati ergospirometrici in velocisti, nelle due prove: ergometro a manovella e cicloergometro. Med. Sport, 7, 104, 1967.
- MARCHETTI M.: Aspetti neurofisiologici dell'allenamento alle prestazioni di massima potenza muscolare. Med. Sport, 27, 133, 1974.
- MARGARIA R., AGHEMO P., ROVELLI E.: Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J. Applied Physiol., 21, 1662, 1966.
- SCHWARZ R., TOMIK W., JESDALE T.: Il consumo di ossigeno durante l'attività del canottaggio. Med. Sport 23, 299, 1970.
- SELINGER V.: Dispendio energetico durante l'esercizio del remo. Physiologia Bohemoslovaca, 18, 49, 1969.