

Uno studio di  
biomeccanica  
nel nuoto

Gabriele Salvadori\*

## La locomozione in acqua

*Da tre anni, l'ultima settimana di agosto, a Conegliano un gruppo di tecnici si riunisce per approfondire le proprie conoscenze sul nuoto. Con l'aiuto di Raymond Catteau, si sono occupati di problemi di insegnamento e di allenamento. La tecnica è una preoccupazione di indagine permanente. Non si accontentano delle mode né credono a quel che gli altri dicono o scrivono, vogliono verificare personalmente... L'analisi video è uno strumento prezioso di conoscenza se usato con prudenza e i fenomeni osservati non vengono isolati tra loro.*

\* Allenatore di nuoto e Collaboratore del SIT.

Lo studio delle immagini subacquee dei migliori ha permesso di cancellare molti grossolani pregiudizi su ciò che succede nell'azione propulsiva di chi nuota.

Ma molti dubbi ci accompagnano ancora se è vero che al 5° Simposio Internazionale di Biomeccanica e Medicina del Nuoto (1986 Bielefeld, Germania) James G. Hay mette in guardia sulla mancanza di certezze che caratterizza lo "stato delle ricerche sulla Biomeccanica del nuoto".

Eppure già da trent'anni la tecnica di ripresa con telecamera subacquea fissa ci ha rivelato, contrariamente ad ogni pregiudizio, che i migliori nuotatori escono con la mano in un punto più avanzato di

fluenzati da tale teoria nata dai lavori di Counsilman. Nel frattempo l'insegnamento si è organizzato a partire da questo modello tecnico descrittivo; parecchi allenatori si preoccupano di far fare la "S" agli allievi e identificano la fase propulsiva con l'intero tragitto subacqueo e il recupero con la sola traiettoria aerea. Dunque per costoro il corpo in acqua avanzerebbe grazie a pressioni della mano esercitate da destra a sinistra e viceversa piuttosto che da avanti a dietro. L'intero tragitto della mano dentro l'acqua viene identificato come propulsivo e il recupero equivale invece alla sola parte aerea.

Da tre anni a Conegliano viene organizzato uno stage estivo per tecnici nel quale Raymond Catteau ci aiuta a meglio fondare le nostre conoscenze di tecnica del nuoto. Cercherò di fare il punto sullo stato di queste ricerche e riflessioni che mirano non a conoscenze decisive ma a una metodologia in grado di ottenerle. Una nuova visione del nuoto è possibile quando si comincino ad analizzare quali siano in acqua le analogie e quali le differenze con la locomozione a terra.

L'ipotesi forte è che la locomozione dell'uomo in acqua obbedisca sostanzialmente nella sua organizzazione ai meccanismi di quella a terra, che l'avanzamento sia possibile prendendo l'acqua avanti per metterla dietro, che le spinte abbiano carattere intermittente e che la fase motrice si identifichi solo con un settore assai limitato del passaggio dentro l'acqua della mano.

### ■ Che cos'è la locomozione?

Per locomozione si intende la capacità di spostarsi volontariamente su o in un elemento. Il termine designa sia l'azione che la funzione e i mezzi per compierla. I vincoli fondamentali dell'ambiente giocano in maniera dialettica per l'essere vivente, che deve sia vincerli che utilizzarli per spostarsi (J.P. Gasc 1989). La locomozione obbedisce inoltre al principio di conservazione del moto:  $mv = m'v'$  (Dufour 1962).

Legge fondamentale: ogni essere vivente per spostare la propria massa a una certa velocità deve prendere appoggio su un'altra massa.

**"Le vostre ipotesi non sono abbastanza folli per avere delle probabilità di essere vere".**

Hubert Reeves (astrofisico)

quello di ingresso in acqua dopo aver percorso con la mano stessa una traiettoria chiusa ad **asola**.

Vista nelle tre dimensioni dello spazio questa traiettoria non resta nel piano sagittale del nuotatore ma lo attraversa più volte: nella descrizione si parla di traiettoria ad "S". Una riflessione: i nuotatori facevano già la "S" prima dei film subacquei, a riprova che sono i nuotatori ad inventare la tecnica e non gli allenatori.

Evocando il principio di Bernoulli, i movimenti laterali della mano (per alcuni le remate) creerebbero una continua differenza di pressione tra le sue due facce, come per l'ala dell'aereo o per l'elica; la forza risultante spingerebbe avanti il corpo (lift theory).

Gli autori italiani di questi ultimi 20 anni sono stati fortemente in-

## La locomozione sulla terra

Trattandosi di una azione ciclica, l'analisi può essere riferita ad un solo ciclo completo. Il movimento degli arti locomotori (inferiori) presuppone una organizzazione interna, intima e permanente di tutto il corpo. Relativamente al suolo distinguiamo due fasi: il volo e l'appoggio.

**Il volo.** Fase che va dal momento in cui il piede si stacca dal suolo a quello in cui riprende contatto. In un primo tempo i diversi segmenti della gamba si flettono (il massimo di flessione corrisponde al punto in cui l'anca raggiunge il punto più alto) e in un tempo successivo si estendono. La flessione ha la funzione di sopprimere il contatto col suolo, l'estensione di ristabilirlo più avanti.

**L'appoggio.** È l'intera fase di contatto del piede al suolo. Anche qui distinguiamo due sottofasi. Nella prima i medesimi segmenti si flettono (funzione: per accumulare sotto forma elastica l'energia nei muscoli e nei tendini). Il massimo di flessione corrisponde al punto più basso raggiunto dall'anca e al suo passaggio sopra l'appoggio. Nella seconda sottofase, attraverso la estensione dei segmenti in precedenza flessi, avviene la spinta dal suolo.

## Dal movimento alla funzione

Nella marcia e nella corsa è questo movimento di estensione la parte più propriamente motrice del ciclo. La forza propulsiva si sviluppa nei punti di contatto del corpo con il suolo e nasce dallo sforzo muscolare che produce l'estensione.

La forza motrice è generalmente "ritmata e periodica" (Demeny); essa imprime dunque delle spinte successive ed intermittenti la cui direzione è però obliqua al suolo. Tali spinte hanno bisogno di un punto di appoggio, che il piede trova nel suolo solido e consistente, mediante una forza di attrito che arriva a fissare il piede al suolo e quindi alla terra, la cui massa è infinita.

La pressione esercitata dai piedi dell'uomo sulla terra lo spinge dunque avanti. Ciò non è possibile per esempio sul ghiaccio o su un pavimento molto liscio, dove il piede finisce per scivolare ed il corpo resta sul posto.

Tab. 1 - LE DIFFERENZE FRA ATTIVITÀ TERRESTRI E NUOTO

A TERRA	IN ACQUA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- equilibrio del corpo verticale</li> <li>- testa verticale</li> <li>- sguardo orizzontale</li> <li>- riflessi labirintici</li> <li>- riflessi plantari</li> <li>- forza peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- equilibrio del corpo orizzontale</li> <li>- testa orizzontale</li> <li>- sguardo verticale</li> <li>- informazioni labirintiche modificate</li> <li>- riflessi plantari scomparsi</li> <li>- forza peso + forza d'Archimede</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- respirazione innata</li> <li>- inspirazione dal naso</li> <li>- durata inspirazione/espiazione uguale</li> <li>- muscoli respirazione non impegnati per la propulsione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- respirazione appresa</li> <li>- inspirazione dalla bocca</li> <li>- inspirazione/espiazione brevi</li> <li>- apnea (blocco) lunga</li> <li>- muscoli respirazione impegnati anche per la propulsione</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- gambe motrici</li> <li>- braccia riequilibratrici</li> <li>- appoggi fissi e solidi al suolo</li> <li>- azioni muscolari con velocità decrescente</li> <li>- resistenza dell'aria trascurabile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- braccia motrici</li> <li>- gambe riequilibratrici</li> <li>- testa riequilibratrice</li> <li>- appoggi cedevoli e mobili (acqua)</li> <li>- azioni muscolari progressive</li> <li>- resistenza dell'acqua notevole</li> </ul>

LE ANALOGIE FRA ATTIVITÀ DI LOCOMOZIONE TERRESTRE E NUOTO

Tab. 2 - LA LOCOMOZIONE IN TERRA

FASE	ESTREMITÀ (piede)	MOVIMENTO	FUNZIONE
appoggio	contatto del piede con il suolo	flessione gamba	pre-stiramento
appoggio	contatto del piede con il suolo	estensione gamba	spinta propulsiva
volo	nell'aria, senza più contatto con il suolo	flessione gamba	recuperare e interrompere il contatto con il suolo
volo	nell'aria, senza più contatto con il suolo	estensione gamba	recuperare e ricercare un nuovo appoggio più avanti

Tab. 3 - LA LOCOMOZIONE IN ACQUA

FASE	ESTREMITÀ (mano)	MOVIMENTO	FUNZIONE
attiva (preparazione)	nell'acqua, dal punto più avanti P.A. (fotogramma n. 0) al punto più profondo P.P.	flessione braccio	pre-tensione ed organizzazione braccio-avambraccio-mano per le sottofase successiva
attiva (motrice)	nell'acqua, dal punto più profondo P.P. al punto di fine spinta P.F.	estensione braccio (incompleta)	spinta propulsiva (verso dietro)
recupero	prima nell'acqua, dal punto di fine spinta P.F. alla superficie, e quindi nell'aria fino alla massima elevazione del gomito	flessione braccio	far uscire il braccio dall'acqua per diminuire la resistenza
recupero	prima nell'aria fino al punto di ingresso e quindi dentro l'acqua fino al successivo P.A. (fotogramma n. 32)	estensione braccio	recupero e cercare più avanti una massa d'acqua inerte

Nella marcia ciascuna gamba gioca alternativamente due ruoli, uno di sostegno e uno di spinta: mentre un piede esercita la spinta, l'altro si prepara a sostenere il peso del corpo fino al momento in cui a sua volta diverrà propulsore.

L'obliquità delle spinte genera un movimento che non è rettilineo, la loro periodicità genera una velocità che non è uniforme. L'arte di chi cammina o corre consiste nel rendere il più possibile uniforme il movimento dal punto di vista della traiettoria e della velocità e far economia della forza utilizzandola nel momento e nella direzione più favorevoli.

### La locomozione nell'acqua

Cosa succede quando l'uomo non ha più i piedi per terra? Le leggi naturali sono le stesse sulla terra e nell'acqua, non possono cambiare. Il nuotatore utilizza dunque le sue membra per spostarsi, ma l'acqua non ha la consistenza del suolo.

La massa liquida su cui il nuotatore cerca di esercitare una spinta viene messa in movimento nella direzione e nel senso della spinta, anche se un liquido è dotato di una certa inerzia.

Come comportarsi per spingersi in maniera efficace? I buoni nuotatori sembrano spostarsi senza sforzo mentre i principianti si agitano con gesti disordinati ed un risultato modesto. L'acqua costituisce un mezzo omogeneo ma è un liquido, quindi deformabile ma non comprimibile.

**Il nuotatore deve penetrare attraverso l'acqua (funzione proiettile) e allo stesso tempo spingersi dall'acqua (funzione propulsore).** La resistenza dell'acqua ha un **duplice aspetto contraddittorio**: impedisce ma permette di avanzare. Chi nuota è sospeso nel fluido, per cui le sue azioni motrici elementari non devono preoccuparsi né di mantenere né di elevare sistematicamente il baricentro.

### Il corpo proiettile-propulsore

Al momento in cui i piedi lasciano il blocco di partenza, il corpo ha una velocità orizzontale stimata superiore ai 40 Km/h. Anche dopo le virate, la velocità del nuotatore è nettamente superiore a quella massima alla quale riesce a nuotare.

Per conservare il più a lungo il vantaggio rappresentato da queste velocità iniziali dopo le spinte prese da un appoggio solido, il nuotatore prende una forma idrodinamica e tonifica il suo corpo per penetrare nell'acqua senza esserne deformato e favorire lo scorrimento laminare del fluido.

Con una espressione piuttosto suggestiva diremo che il nuotatore si fa proiettile. Successivamente si impone lo spostamento sotto la superficie: si sa infatti che un mobile alla velocità di 9 Km/h – se non è completamente immerso – trova il 30% di resistenza in più da vincere e consuma il doppio di energia. I migliori nuotatori sui 100 metri superano i 7 Km/h.

Il problema della locomozione consiste nel conservare a un valore medio costante la velocità di spostamento che il nuotatore ancora ha al momento in cui smette di essere solo proiettile e diviene proiettile-propulsore.

Poiché in genere la distanza da percorrere supera la possibilità di apnea, si deve adottare un compromesso tra la convenienza dell'immersione totale e la necessità di sequenze nelle quali alcune parti del corpo escono.

L'uscita intermittente e parziale ha scopi diversi: garantire il rifornimento di comburente (l'aria), assicurare la raccolta di informazioni visive per guidare lo spostamento e infine permettere alcune fasi del recupero delle braccia (una parte del quale vedremo che avviene sott'acqua).

### Analogie con la locomozione sulla terra

Già Hebert nel 1943 postula una analogia tra i meccanismi della locomozione sulla terra e quelli nell'acqua ma senza rivelare di quali analogie si tratti. L'ipotesi sembra affascinante se non originale.

Vedremo che per confermare

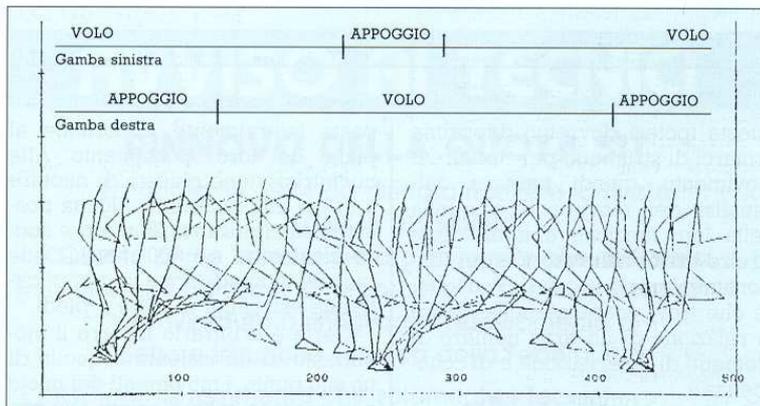


Fig. 1 - Locomozione a terra: la corsa. La descrizione nella tabella 2 e nel testo.

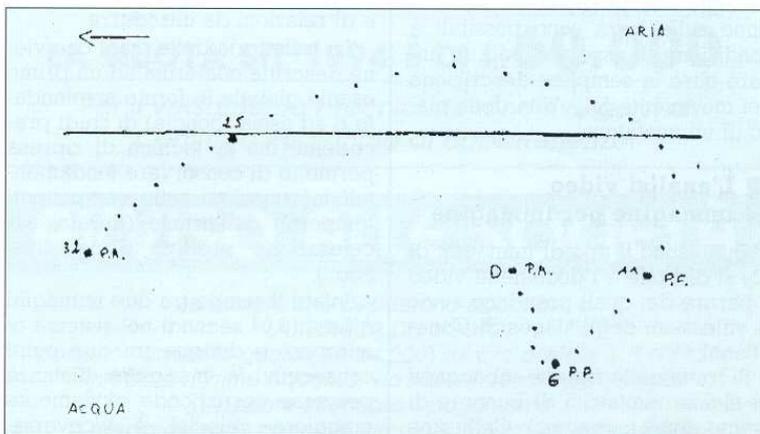
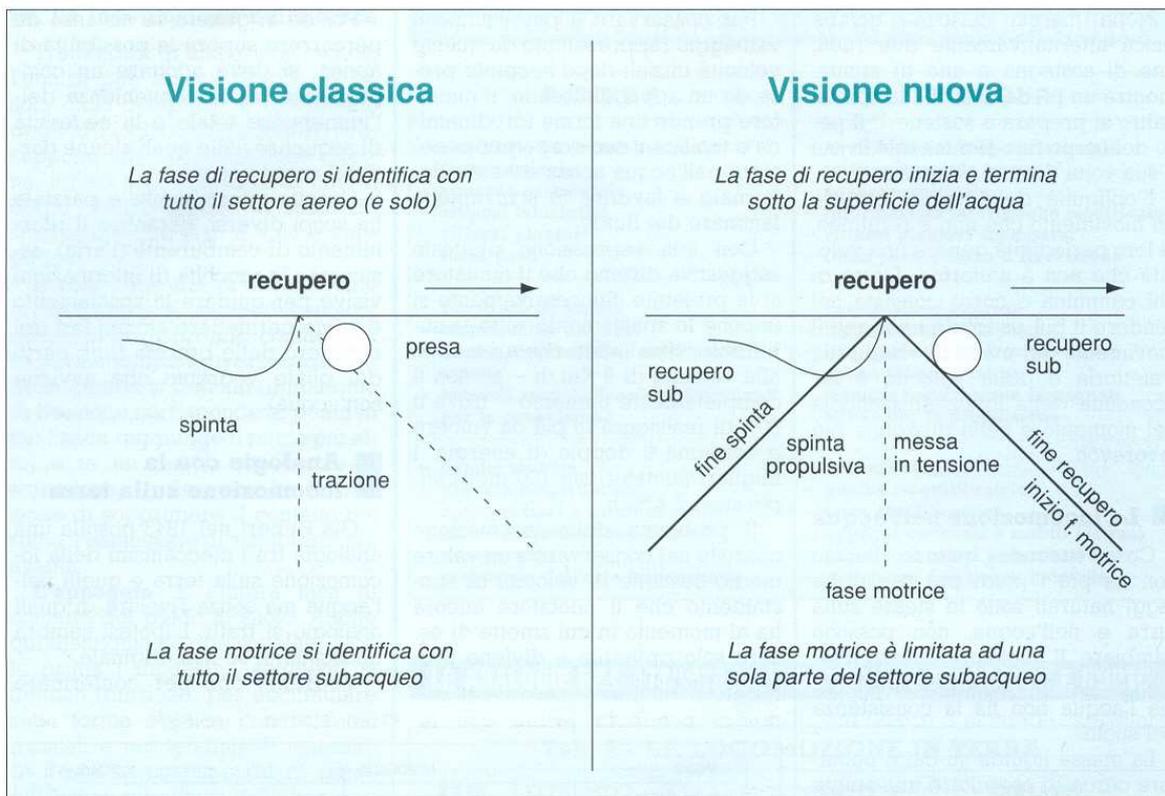


Fig. 2 - Locomozione in acqua: il crawl. Ricostruzione della traiettoria delle dita di una mano in un ciclo. La descrizione nella tabella 3 e nel testo.



questa ipotesi dovremo dapprima armarci di strumenti per definire il movimento, quindi passare dall'analisi dei movimenti a quella della loro funzione e infine ricostruire un modello teorico del funzionamento dell'azione del nuotatore che trovi coerenze nella messa in relazione di un gran numero di elementi di osservazione e di conoscenze.

In altre parole la comprensione del meccanismo di funzionamento del nuotatore e la scoperta delle analogie con quello della locomozione sulla terra sono possibili a condizione di essere capaci di andare oltre la semplice descrizione dei movimenti delle dita della mano di un nuotatore.

### L'analisi video immagine per immagine

Quali sono il tipo di immagini di cui si dispone e i documenti video a partire dai quali prendono avvio le riflessioni degli stages di Conegliano?

Si tratta delle riprese subacquee di alcune nuotatrici di buono e di ottimo livello (tra cui Catherine Plewinski) effettuate da Raymond Catteau con una telecamera fissa

posta lateralmente e normale al piano del loro spostamento. Alle nuotatrici viene chiesto di nuotare a crawl alla massima velocità possibile sulla distanza 25 metri e successivamente sui 400 metri. Delle piccole lampade sono loro applicate alle estremità di mani e piedi.

Certo è arbitrario ridurre il movimento di un insieme a quello di un suo punto, i movimenti del nuoto non possono essere ridotti alle traiettorie delle mani o dei piedi. Ma non è che l'approccio per una analisi più ricca di elementi osservati e di relazioni da introdurre.

La traiettoria delle mani che viene descritta conferma ad un primo esame globale le forme arrotondate e ad asola (boucle) di studi precedenti: ma la tecnica di ripresa permette di conservare fondamentali informazioni sulle componenti temporali dell'azione (durata, accelerazione positiva o negativa, ecc..).

Infatti il tempo tra due immagini è fisso (0,04 secondi nel sistema tv europeo) e dunque tra due punti consecutivi a maggiore distanza percorsa corrisponde ovviamente maggiore velocità e viceversa. Inoltre due punti sovrapposti indicherebbero arresto del movimen-

to; una successione di punti equidistanti indica un movimento a velocità costante; nel caso invece di una successione di punti che si allontanano o si avvicinano si tratta di accelerazione positiva o negativa.

Secondo Demeny i nostri movimenti hanno un carattere "completo, continuo e arrotondato" e inoltre gesti sportivi ad intensità massimale non possono presentare cambiamenti istantanei di direzione e di verso. Ma nelle asole vi sono alcuni punti caratteristici di "rottura" da evidenziare: il punto più avanti, che corrisponde all'inizio di una flessione dell'arto, il punto più profondo, che corrisponde all'inizio di una estensione.

Questa estensione è relativamente violenta ma non è completa ed è seguita da una flessione durante la quale la mano risale bruscamente fino ad un punto di fine flessione nel tragitto aereo in corrispondenza del punto più alto del gomito.

A partire da tale punto il braccio si estende non solo nel restante tratto aereo ma anche nella prima parte della traiettoria subacquea dall'entrata della mano in acqua fino quasi al punto più avanti.

A cosa servono questi **quattro movimenti** (flessione-estensione-flessione-estensione)? Cioè, quale ne è la funzione? I punti di rottura vengono rappresentati come cambi di funzione e – **come nella locomozione a terra** – troviamo in acqua il succedersi e l'alternarsi di due movimenti di estensione e due di flessione.

**Fase attiva.** È forte allora la tentazione di identificare l'inizio della fase attiva con il punto più avanti della traiettoria della mano (P.A.). Va sottolineato che si tratta di un punto sotto la superficie dell'acqua. Dapprima una sottofase di **preparazione**, attraverso una flessione che serve a mettere in tensione e a posizionare l'insieme mano-avambraccio, fino al punto più profondo (P.F.).

Qui avrebbe inizio la vera e propria spinta propulsiva, diretta verso dietro, mediante una **estensione incompleta ma "esplosiva"** durante la quale la mano accelera visibilmente ed il complesso mano-avambraccio-braccio è grosso mo-

do allineato perpendicolarmente all'avanzamento del corpo... Tutto ciò in analogia con la fase di appoggio che abbiamo a terra e le sue due sottofasi.

**Fase di recupero.** La spinta termina con la mano ben al di sotto della superficie dell'acqua. Il punto di fine spinta (P.F.) non rappresenta il punto più arretrato della traiettoria della mano. Alla fine della spinta la mano continua ad arretrare ma soprattutto si nota il passaggio ad una nuova flessione del braccio, come succedeva nella corsa all'inizio del volo. La mano risale in maniera estremamente rapida e segue il braccio nell'uscita dall'acqua. La sensibile deviazione verso l'alto del movimento e la distanza crescente tra punti successivi dopo P.F. ci forniscono importanti indizi di mutata funzione. S'impone una rapida uscita che riduca il tempo di esposizione del braccio alla resistenza frenante dell'acqua. Con questa flessione per risalire è iniziato il recupero. Dunque **il recupero comincia prima che la**

**mano esca dall'acqua** e continua nell'aria (analogia a terra nel volo con la flessione della gamba che stacca il piede dall'appoggio).

Da qui ha inizio il quarto movimento, l'estensione, che fa parte ancora del recupero e che non termina con l'ingresso della mano in acqua come si ritiene comunemente. **Il recupero continua cioè anche dentro l'acqua**, mentre la mano avanza, fino a quando raggiunge il punto più avanti e ha inizio la fase attiva con la flessione del braccio che abbiamo analizzato all'inizio della descrizione.

La coordinazione spazio-temporale delle due braccia mi sembra a questo punto l'argomento più urgente su cui raccontarvi qualcosa.

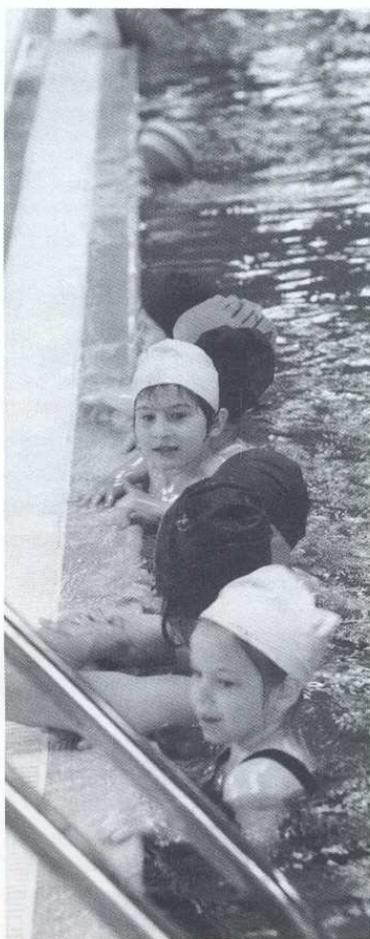
#### BIBLIOGRAFIA

DEMENY G.: *Meccanismo ed educazioni dei movimenti* (ed. EPS).

CATTEAU R.: *Rivista D.I.R.E. n° 42.*

COUNSILMAN J.: *La Tecnica del Nuoto* (Zanichelli).

MAGLISCHIO E.: *Swimming Faster* (Mayfield).



## AVVISO AI TECNICI

### RINNOVO DELLA QUOTA SIT

La quota SIT 1994 dà diritto a ricevere la rivista  
LA TECNICA DEL NUOTO.

Questo primo numero è stato inviato anche ai Tecnici che alla data del 20 febbraio non avevano ancora provveduto a rinnovare il tesseramento al Settore Istruzione Tecnica della Federnuoto.

Si rammenta che solamente i Tecnici in regola con il pagamento della quota hanno diritto a ricevere i restanti due fascicoli.

**LA QUOTA SIT 1994 È DI L. 60.000**

Per il versamento i Tecnici devono rivolgersi al Comitato Regionale di appartenenza.

## AVVISO ALLE SOCIETÀ

Le società che desiderano abbonarsi a  
LA TECNICA DEL NUOTO

possono versare la quota (lire 24.000) sul c/c postale n. 11761376 intestato a Prime Aquarius, via Albere 19 - 37138 Verona, oppure effettuare il pagamento a mezzo assegno bancario circolare, vaglia, direttamente a Prime Aquarius, via Albere 19, 37138 Verona