

INTRODUZIONE

I ELEMENTI TEORICI: EFFETTO SOSTENTAMENTO E TEORIA DEI VORTICI

- I.1 Effetto sustentamento o effetto Bernouilli*
- I.2 Velocità della mano e accelerazione*
- I.3 La bracciata crawl*
- I.4 La teoria dei vortici*
- I.5 Elementi di idrodinamica*

II KZ: LO STRUMENTO

- II.1 Strumento*
- II.2 Evoluzione dello strumento*
- II.3 Verifica dello strumento*

III STRUTTURAZIONE DELLA RICERCA

- III.1 Test a due velocità: analisi dei dati e Interpretazione dei grafici*
- III.2 Profilo del dorso*
- III.3 Profilo del delfino*
- III.4 Profilo della rana*
- III.5 Kz: ultimi sviluppi*
- III.6 Interpretazione e confronto dei tracciati nei vari stili*
- III.7 Prove in vasca ergometrica*

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

CAPITOLO I

ELEMENTI TEORICI: EFFETTO SOSTENTAMENTO E TEORIA DEI VORTICI

I.1 Effetto sustentamento o effetto Bernouilli

Dalla fine degli anni '60 la meccanica dei fluidi applicata al nuoto evidenziò il ruolo svolto dal *sostentamento*¹. Prima di allora si presupponeva che la forza propulsiva generata dalla mano del nuotatore derivasse esclusivamente dalla resistenza opposta all'acqua.

I termini *sostentamento* ed *effetto Bernouilli* sono sinonimi². Il termine *sostentamento* implica un lavoro contro la forza di gravità. Il concetto che sta alla base del principio di *sostentamento* è che la pressione di un fluido diminuisce con l'aumentare della velocità di flusso; lo si potrebbe considerare applicabile solo ai movimenti verso l'alto. In realtà, il *sostentamento* è una forza che può essere applicata in tutte le direzioni: verso l'alto, il basso, in avanti, all'indietro e lateralmente – come avviene nel nuoto.

I remi di una barca, le pagaie di una canoa e le vecchie ruote a pale dei battelli fluviali sono esempi dell'utilizzo della resistenza idrodinamica ai fini della propulsione. La spinta in avanti che si ottiene in questi tre casi è il risultato della differenza di pressione tra il lato posteriore del remo o

¹ J.E. Counsilman, "The Role of Sculling Movements in the Arm Pull", *Swimming World*, vol.X, n.12 (Dic.1969), pp.6,7 e 43

J.E. Counsilman, "The Application of Bernouilli's Principle to Human Propulsion in Water", *Swimming I: Atti del primo Simposio Internazionale sulla Biomeccanica di Nuoto, Pallanuoto, e Tuffi*; L.Lewillie e J.P. Clarys, eds. (Baltimore University Park Press, 1970), pp.59-71

R.M. Brown e J.E.Counsilman, "The Role of Lift in Propelling the Swimmer", *Selected Topics on Biomechanics*, J.M. Cooper, ed. (Chicago, Athletic Institute, 1971), pp. 179-88

² J.Counsilman, B.E. Counsilman, *La Nuova Scienza del Nuoto*, ed. Zanichelli, 2004 p. 7

pagaia, dove la pressione è elevata, e il lato anteriore dove si forma la scia e la pressione è bassa. In questo tipo di propulsione la scia è fondamentale, se il flusso fosse completamente lineare, la pressione totale sul remo sarebbe zero e il movimento non potrebbe aver luogo.

Quando si teorizzava che i bravi nuotatori di crawl dovessero esercitare la trazione con il braccio in linea retta lungo la linea mediana del corpo, si pensava che il braccio dovesse comportarsi come una pagaia e la mano dar luogo a una scia. Allora si riteneva che la forza propulsiva derivasse unicamente dalla resistenza. Di conseguenza, secondo la Terza Legge della dinamica (azione-reazione), se volevano spostarsi in avanti in linea retta, dovevano spingere l'acqua posteriormente in linea retta. Negli anni '60, James Counsilman, utilizzando delle riprese cinematografiche subacquee, evidenziò che i nuotatori di élite, nelle passate subacquee, utilizzavano delle traiettorie curvilinee (*Fig.1: da "Swimming Fastest" E.W. Maglischo*).



Fig. 1 Traiettoria curvilinea nella passata subacquea del crawl

Per lungo tempo questo venne attribuito a imperfezioni nella nuotata, per cui non lo si considerava oppure si facevano tentativi per eliminarlo. In tutti e quattro gli stili, le riprese subacquee rivelano una trazione a traiettoria ellittica o curvilinea, simile a un punto interrogativo rovesciato, o a forma di S.

J. Counsilam giustificò tale comportamento ipotizzando che lo spostamento continuo del punto di appoggio, permettesse all'atleta di effettuare la sua azione sempre su acqua "nuova" e "ferma", assicurando così una maggiore efficienza propulsiva.

Se il nuotatore utilizza le mani come eliche anziché come pagaie (cioè inclinandole in maniera adeguata rispetto alla direzione che deve seguire nell'acqua), almeno nell'ultima parte della trazione (concetto supportato da altri studi³) il contributo apportato dall'effetto sustentamento diventa un fattore significativo, specialmente per alcuni nuotatori e in determinati stili. Alcuni eccellenti nuotatori di crawl fanno grande uso del movimento elicoidale, introducendo nel loro stile movimenti laterali molto accentuati nella prima parte della trazione. Questi nuotatori probabilmente sfruttano l'effetto sustentamento più della resistenza ai fini della propulsione.

I movimenti elicoidali permettono al nuotatore di ottenere un'efficienza maggiore in quanto consentono di spostare una grande quantità di acqua per un breve tratto piuttosto che una piccola quantità per un lungo tratto con i movimenti lineari.

Se il nuotatore esegue la trazione con la mano in linea retta, spinge una piccola quantità d'acqua per un lungo tratto con una accelerazione elevata. Una volta che l'acqua attorno alla sua mano ha iniziato a spostarsi in direzione posteriore, a causa del movimento del braccio, il nuotatore può ricavarne una scarsa forza di trazione. Perciò dovrà muovere la sua mano seguendo una traiettoria elicoidale, o quantomeno curvilinea, per andare a prendere acqua sempre ferma. (Fig.3: da *"breakthrough Swimming"* *"Swimming into the 21th Century"*, C. Colwin)

³ Bodo ungerechts, "Optimizing Prpulsion in Swimming by Rotation of the Hands",Swimming III: atti del Terzo Simposio Internazionale sulla Biomeccanica nel Nuoto; J. Terauds e E. H. Bedingfield, eds. R.C. Nelson e C. A. Morehouse, series eds. (Baltimora, University Park Press, 1979), pp. 55-61

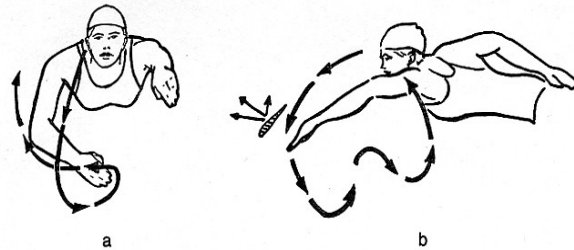
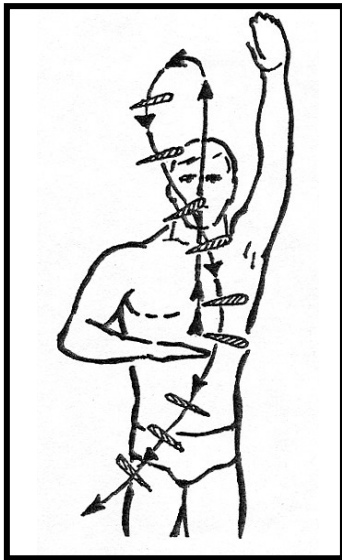
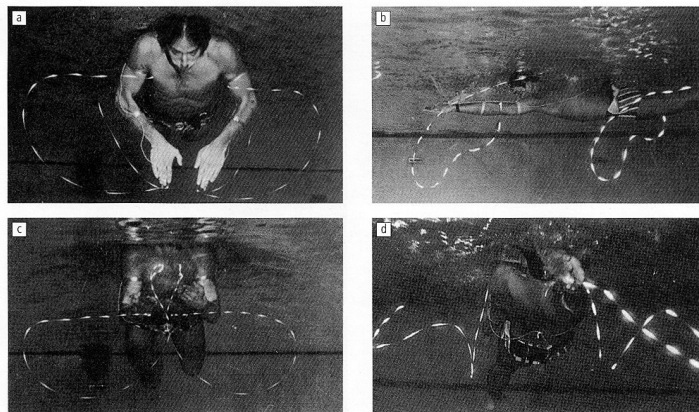


Fig.3 L'inclinazione della mano è continuamente
aggiustata per ottenere la massima propulsione di lift

Verso la metà degli anni '70, J. Counsilman con altri ricercatori (R. M. Brown, R. Schleiauf), utilizzando una telecamera fissa e delle lampadine sulle mani dei nuotatori per evidenziare le traiettorie, notò che in tutte le nuotate agonistiche, gli arti si muovono principalmente in direzione laterale o trasversale rispetto a quella di avanzamento.



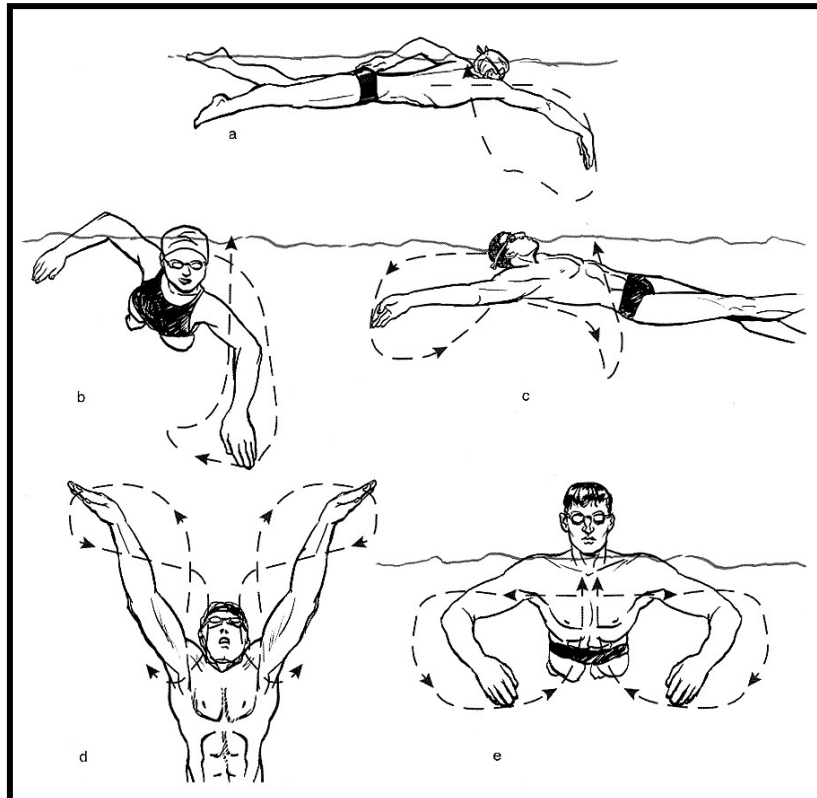


Fig.4 Modelli di bracciate delle quattro nuotate

visione laterale a) e frontale b) del crawl; Visione laterale del dorso c);
visione dal basso del delfino d); visione frontale della rana e).

e che il punto di ingresso della mano in acqua è molto vicino a quello di uscita (Fig.5: da *"Swimming Fastest"* E.W. Maglischo).

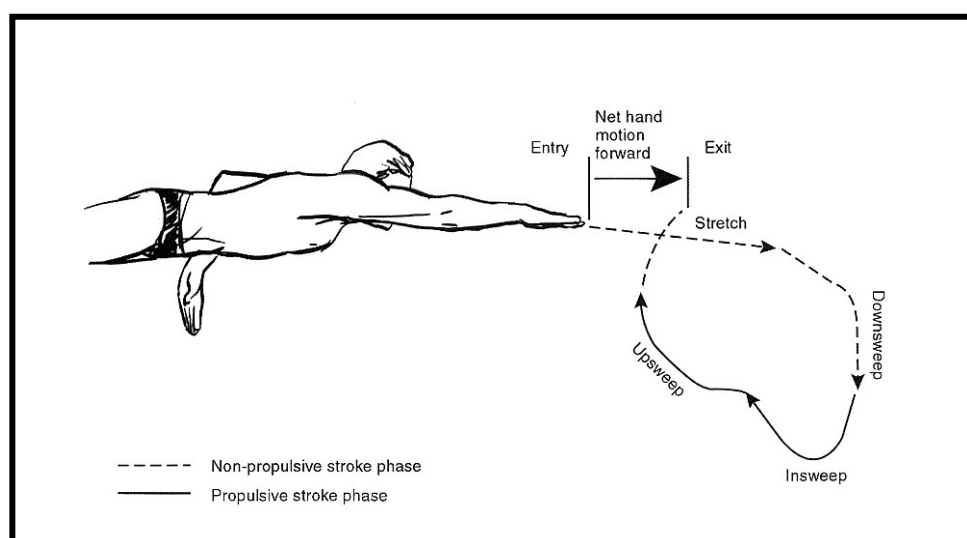


Fig.5 Visione laterale della bracciata subacquea crawl; si mostra il punto d'ingresso e di uscita della mano dall'acqua

Ciò venne giustificato con l'applicazione del principio di Bernouilli e con l'idea che nei fluidi, la forza debba essere applicata su superfici estese.

Sulla mano, se ben posizionata, si genera un differenziale di pressione tra la superficie inferiore e quella superiore che favorisce la presa d'acqua.

Con esperimenti di laboratorio, si ottenne il diagramma della produzione della forza di sollevamento rispetto all'angolo di inclinazione della mano. Tale diagramma dimostrava che la forza di sollevamento dapprima cresce con l'aumentare dell'angolo di inclinazione della mano (angolo di attacco) riferito alla traiettoria di movimento, per poi diminuire e ridursi a zero quando la mano è perpendicolare a tale traiettoria.

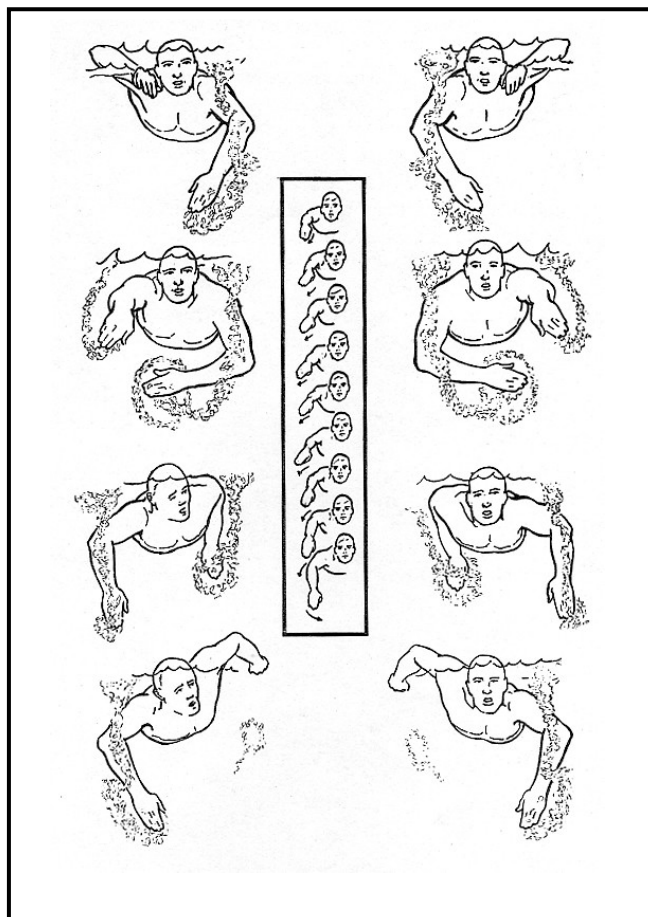
Comunque si riteneva ragionevolmente che tra forza ascensionale e forza resistente ci fosse una interazione nel generare propulsione (R. Schleiauf, 1974; 1977; 1979)⁴.

L'attenzione dei tecnici si spostò così non solo sul movimento dei segmenti corporei, ma soprattutto su quello delle masse d'acqua, in conseguenza alle azioni che l'atleta compie nell'esecuzione del suo gesto. L'abilità tecnica del nuotatore consiste nel trasmettere all'acqua una significativa quantità di moto in qualunque fase della bracciata ricavandone spinte utili ai fini dell'avanzamento. Ciò significa che l'inclinazione della mano deve essere continuamente modificata a seconda della traiettoria della bracciata, in modo da mantenere sempre l'angolo d'attacco efficace per tutta la durata della fase subacquea della bracciata.

Per ottenere la massima propulsione in avanti dalla trazione delle braccia, viene suggerita⁵ una posizione alta del gomito durante la prima parte di questa fase, reso possibile mediante una rotazione interna mediale del braccio. A metà trazione il gomito dovrebbe essere flesso a 90° circa. Questa posizione del gomito permette la differenza di pressione tra palmo della mano, dove la forza è maggiore e il dorso, dove la pressione è inferiore, di spingere il nuotatore orizzontalmente in avanti.

⁴ C. Colwin, "Breakthrough Swimming", Human Kinetics, 2002, p. 36

⁵ J. Counsilman, B. E. Counsilman, "La Nuova Scienza del Nuoto", Zanichelli, 2004, p. 11



Un aspetto fondamentale per trarre il massimo vantaggio dal sostentamento ai fini della spinta propulsiva in avanti è l'inclinazione della mano, che sebbene vari nelle diverse fasi della trazione, l'angolo critico è di circa 30°-40° rispetto al percorso della mano nell'acqua per la nuotata crawl e per quella delfino, e di 90° per il dorso.

Fig.8 da *"Breakthrough Swimming"* C. Colwin)

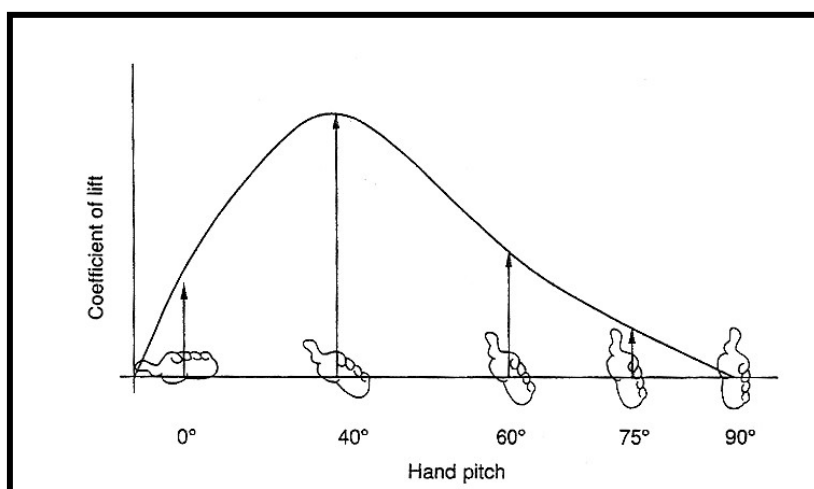


Fig.8 La componente di lift aumenta o diminuisce relativamente all'inclinazione della mano

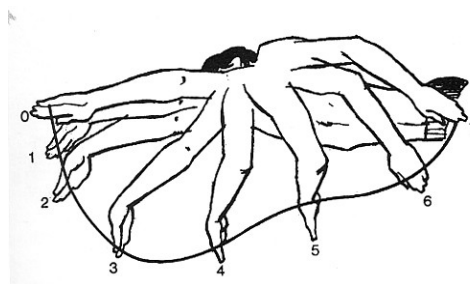
La capacità del nuotatore di mantenere l'inclinazione corretta della mano (o angolazione critica) nel tempo determina il vantaggio che ne ricava. La resistenza dell'atleta all'affaticamento determina una diminuzione della corretta inclinazione della mano.

Le prime riprese subacquee dei grandi nuotatori rivelarono come in realtà questi già eseguissero le variazioni di inclinazione della mano e questo forse è spiegabile attraverso la loro sensibilità alle variazioni della pressione dell'acqua contro la loro mano. Nel cercare un modo efficace di applicare la pressione, il sistema neuromuscolare sembra determinare il modello più adeguato di trazione e di inclinazione della mano attraverso l'apprendimento intuitivo per tentativi, con un coinvolgimento cerebrale minimo.

1.2 Velocità della mano e accelerazione

Ai fini della comprensione delle forze propulsive è importante considerare oltre alla direzione del movimento e all'angolazione della mano, anche la sua velocità.

Da uno studio degli anni '70⁶ di Robert Schleihau (che si prodigò per legittimare la teoria del sostentamento), gli autori J. Counsilman e B.E. Counsilman valutarono il ruolo dell'accelerazione ai fini dello sfruttamento del sostentamento nel nuoto e da un esame sulla velocità della mano in diversi nuotatori di classe mondiale emerse che i bravi nuotatori applicavano la forza alternando fasi di accelerazione a fasi di decelerazione e che avevano un minor spostamento degli arti verso dietro rispetto ai nuotatori mediocri. (Figg. 9, 10: "La Nuova Scienza del Nuoto" Counsilman)



⁶ R. Schleihau, "A Biomechanical Analysis of Freestyle Aquatic Skill", Swimming Technique (autunno 1974), pp. 89- 96

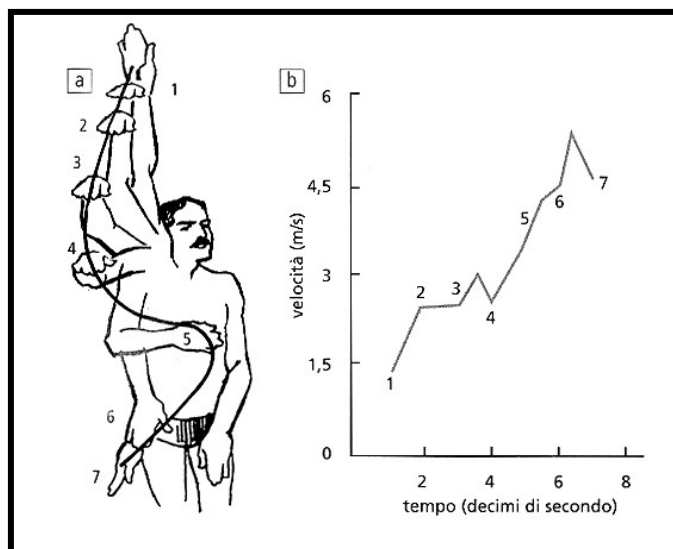


Fig. 9 Accelerazione della mano di Mark Spitz rispetto al suo corpo

- a) Visione dal basso
- b) Rappresentazione grafica dell'accelerazione illustrata in a)

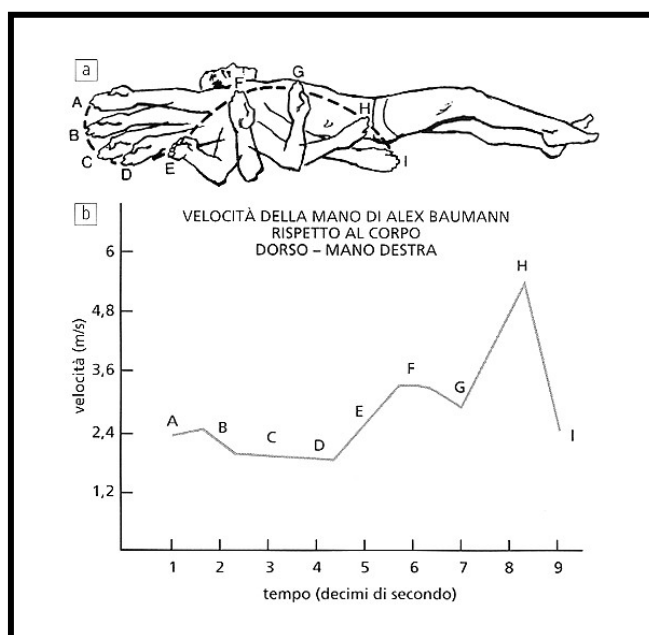


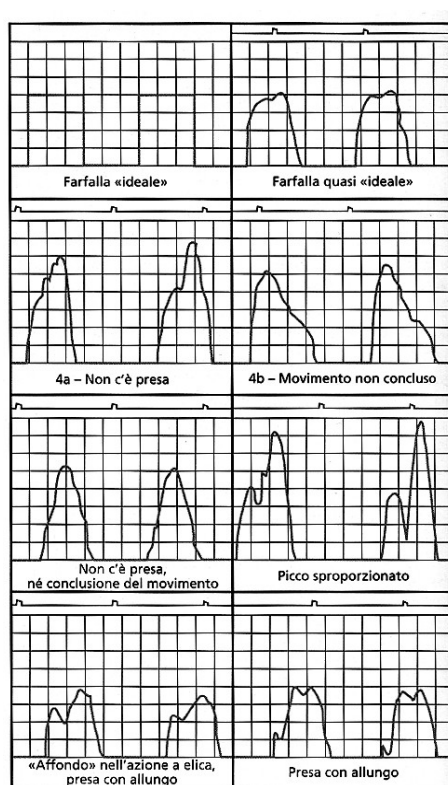
Fig. 10 Accelerazione della mano di A. Baumann nella bracciata dorso

I nuotatori mediocri, indipendentemente dai difetti di stile, tendono ad applicare schemi inadeguati di velocità della mano e di accelerazione, in quanto presentano una certa accelerazione ma raramente arriva al 60% della velocità dei nuotatori di alto livello. Generalmente le differenze si

evidenziano nella velocità troppo elevata della mano all'inizio della trazione; velocità troppo bassa al termine della trazione; velocità irregolare; differenza marcata di schema di velocità tra le due mani⁷.

Idealmente, una forza applicata in modo uniforme risulta più efficace di una forza applicata a intermittenza, come avviene nelle attività cicliche che comportano la ripetizione dei movimenti. In realtà, non potendo teorizzare il principio dell'uniformità di applicazione della forza, bisogna cercare di applicare la forza il più uniformemente possibile.

Applicando questo principio al nuoto, si registrano deviazioni nella produzione della forza rispetto alla così detta curva di forza ideale.



⁷ J.E.Counsleman, "The Importance of Hand Speed and Acceleration in Swimming the Crawl Stroke", *Swimming Technique*, 1981, 18(1), pp. 22-26

J.E. Counsilman, J.M. Wasilak, "HandSpeed andHand Acceleration Patterns in Swimming Strokes", *American Swimming Coaches Association, World Clinic Yearbook* (1981), pp.41.55, Ft. Lauderdale, FL.

Nel nuoto è inevitabile che ci siano fluttuazioni della forza propulsiva, ma in termini di efficacia propulsiva non si devono creare intermittenze di movimento troppo accentuate, pertanto le fluttuazioni vanno ridotte al minimo. Ad esempio, nella nuotata delfino un prolungamento eccessivo della scivolata in avanti delle braccia causa una decelerazione del corpo.

L'utilizzo di un sistema di riferimento relativo all'acqua rivoluzionò le convinzioni dei tecnici di nuoto sulla propulsione. Gli autori sopra citati ipotizzarono che l'avanzamento non fosse causato dalla reazione allo spostamento di masse d'acqua verso dietro, ma bensì dalla capacità degli atleti di sfruttare le spinte di sollevamento che si creano sulle mani e di utilizzare determinati angoli d'attacco per ottenere degli appoggi su cui esercitare direttamente le spinte propulsive.

Nel linguaggio tecnico vennero così sostituiti termini tradizionali relativi alla bracciata, presa, appoggio, trazione e spinta che suggerivano un meccanismo di avanzamento basato principalmente sul principio di azione-reazione vennero rimpiazzati con il termine inglese "*Sweep*" (movimento circolare) preceduto da un prefisso caratterizzante la direzione principale della mano: *outsweep*, movimento iniziale verso l'esterno-basso-retro per ottimizzare l'attacco; *downsweep*, verso dietro-basso in cui si raggiunge la massima profondità della passata subacquea; *insweep*, adduzione dell'arto al corpo verso l'interno-alto-retro che assicura un buon impulso propulsivo; *upsweep*, movimento esplosivo finale di distensione dell'arto verso dietro-esternoalto che assicura la propulsione e prepara il recupero aereo dell'arto per il ciclo successivo. (Vedi fig. 5)

1.3 La bracciata crawl

Tradizionalmente vengono distinte delle fasi che caratterizzano la bracciata: presa, trazione, spinta e recupero. Poiché il movimento della bracciata nel suo complesso è continuo le fasi sono legate l'una con l'altra e la loro distinzione ha un significato puramente didattico-descrittivo.

Il recupero è l'unica fase della bracciata che avviene fuori dall'acqua, è un movimento circolare che ha inizio con il termine della spinta e fa sì che venga conservata l'inerzia che si sviluppa nella parte finale della spinta.

Il braccio si trova disteso lungo il fianco e il gomito flettendosi verso l'alto deve uscire per primo dall'acqua trascinandosi dietro la mano; facendo fare da perno al gomito, il braccio ruota in avanti, la mano passa davanti al gomito prima che questo abbia superato la linea della spalla e rientra in acqua in linea davanti alla spalla.

Il recupero del braccio deve essere un movimento rilassato e controllato e la contrazione muscolare (principalmente deltoide e trapezio) che si crea al termine della prima parte del recupero deve essere tale da far ricadere il braccio in acqua privo di tensione ma neanche in maniera troppo sostenuta.

I nuotatori più capaci utilizzano i muscoli impegnati nel recupero in modo meno intenso e per un tempo più breve dei nuotatori meno abili. Inoltre, impegnano tre dei muscoli adduttori del braccio (gran dorsale, gran rotondo e tricipite) più a lungo e vigorosamente rispetto ai nuotatori meno dotati.⁸

Nella prima parte del recupero, il palmo della mano deve essere rivolto all'indietro e leggermente verso l'alto mentre il polso è rilassato.

La fase di presa ha inizio con l'ingresso della mano in acqua. Rappresenta la prima fase del movimento subacqueo della bracciata. Da qui ha inizio la traiettoria curvilinea della bracciata. Si distende il braccio in acqua, la mano si immerge leggermente e mediante una rotazione dell'avambraccio si ruota il palmo della mano verso l'esterno andando a cercare l'appoggio. Da qui ha inizio la fase della trazione.

Si flette leggermente il gomito e il braccio ruota all'interno verso la linea mediale del corpo. Il gomito deve essere tenuto sempre più alto della mano. Questa rotazione mediale con la crescente flessione del gomito viene mantenuta per tutta la prima parte della trazione. Il punto di maggiore flessione si ha nel momento in cui il braccio, avambraccio e mano passano sotto la linea delle spalle. Da qui il braccio comincia ad estendersi e inizia la fase di spinta che è la più efficace agli effetti propulsivi. La traiettoria della

⁸ M. Ikai, K. Ishii, M. Miyashita, "An Electromyographic Study of Swimming", Laboratori for Physiologic Research in Physical Education, School of Education, Università di Tokyo, Research Journal of Physical Education, 7, n.4 (aprile 1964), pp.47-54

spinta arriva al livello della coscia. Terminata la spinta lo svincolo del braccio è favorito dall'affondamento della spalla opposta.

La traiettoria della trazione consente di sfruttare il sostentamento grazie ai movimenti elicoidali che permettono di continuare a trovare acqua ferma contro la quale esercitare la forza. La posizione alta del gomito permette di variare continuamente l'angolo di attacco e quindi di eseguire il movimento curvilineo.

1.4 La teoria dei vortici

Verso la fine degli anni '80, C. Colwin ipotizza la possibilità che gli arti del nuotatore possano generare propulsione con una dipendenza minore dall'angolo di attacco e dalla superficie di appoggio, anche in condizioni di "fluido non ideale".⁹, ovvero fluido viscoso come l'acqua.

Questa teoria è conosciuta come "*teoria dei vortici*"¹⁰, considerata come una estensione della teoria del lift, si basa sulla formazione di masse fluide in movimento rotatorio attorno agli arti del nuotatore che incrementerebbero il differenziale di pressione tra superficie inferiore e superiore (fig.11 da "*Swimming Fastest*" E.W. Maglscho). Questo accade perché il vortice che si sposta nella stessa direzione del fluido adiacente alla superficie superiore ne accresce la velocità, mentre rallenta quello proveniente dalla superficie inferiore.

Nei suoi libri ("*Breakthrough Swimming*" e "*Swimming into 21th Century*") Colwin ipotizza che i nuotatori possano trarre vantaggio dalla formazione di vortici sui propri arti. Colwin sostiene che la capacità di formare dei vortici sul dorso della propria mano aiuti il nuotatore nella ricerca di un punto d'appoggio stabile, riducendo lo slittamento verso dietro della mano stessa.

⁹ C.Colwin "Swimming into the 21th Century", Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, p. 53,1992

¹⁰ C. Colwin, "Breakthrough Swimming", Human Kinetics, 2002,
C. Colwin, "Swimming into the 21th Century", Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois,1991

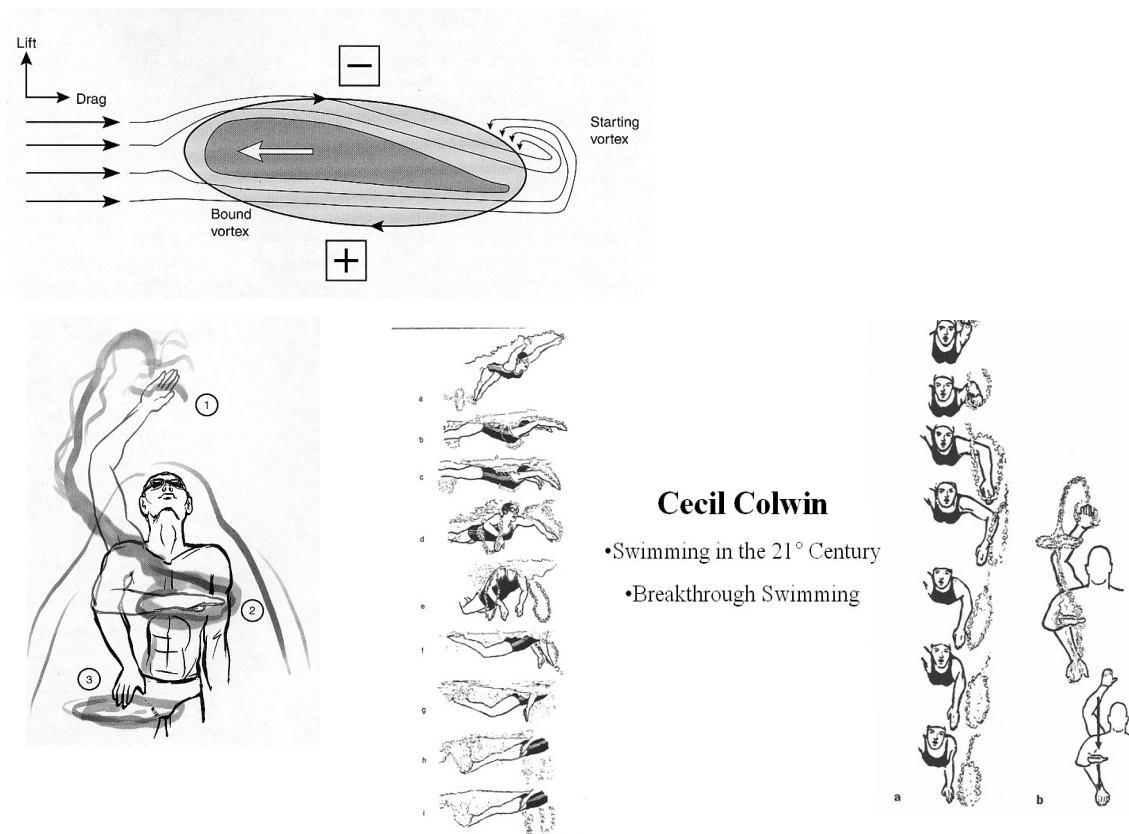


Fig.11 Formazione di un flusso vorticoso

Se suddividiamo la passata subacquea in due fasi distinguiamo una fase di preparazione in cui è predominante l'effetto lift; una fase più propulsiva in cui vengono sfruttate delle masse d'acqua in movimento opposto a quello degli arti.

La conoscenza attuale della propulsione e della fluidodinamica applicate al nuoto consente di attribuire a ciascuna delle ipotesi teorizzate in questi ultimi 40 anni alcuni aspetti importanti, ma nessuna può essere assunta completamente come unica teoria valida.

Così si ritiene che nella passata subacquea possa crearsi una propulsione generata dall'insieme delle teorie ipotizzate nel corso degli anni.

Nella prima fase della passata subacquea il nuotatore crea i presupposti (lift) per applicare successivamente la forza direttamente verso dietro (azione-reazione) spingendo poi contromosse fluide in risalita (creazione dei vortici).

I grafici sottostanti comparano la velocità della mano con la velocità di spostamento del corpo (fig. 12: da "Swimming Fastest" E.W. Maglischo) e si può ben notare come già la mano genera propulsione nella prima fase in cui

la velocità di spostamento in direzione opposta a quella del movimento del corpo è bassa. Questo è in accordo con la teoria del lift. Le fasi successive in cui la velocità del corpo è maggiore coincidono con la fase in cui gli arti spingono direttamente verso dietro e questo concorda con la terza legge di Newton.

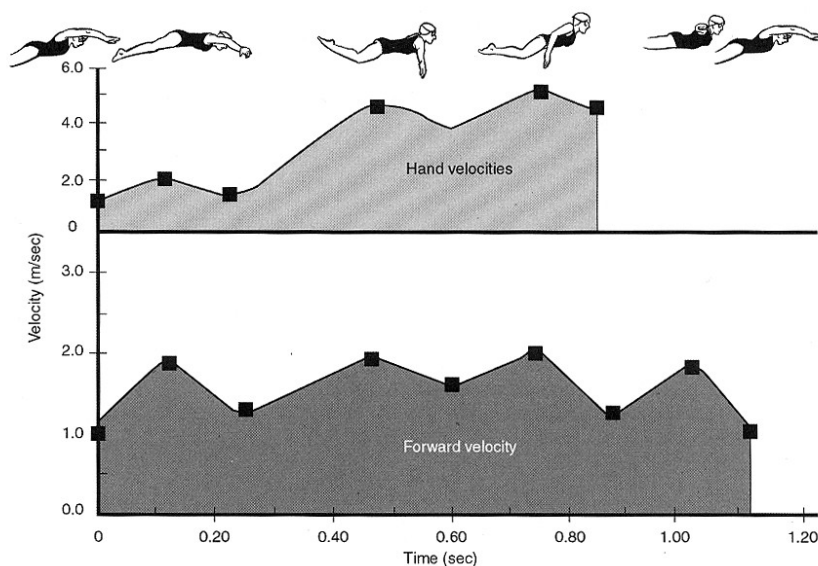
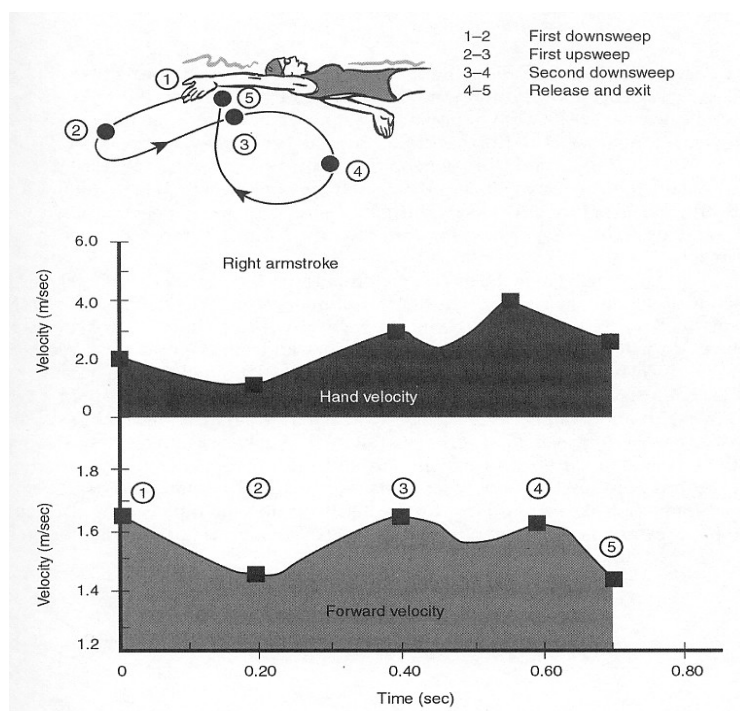


Fig. 12 Comparazione tra le velocità della mano e la velocità di spostamento del corpo

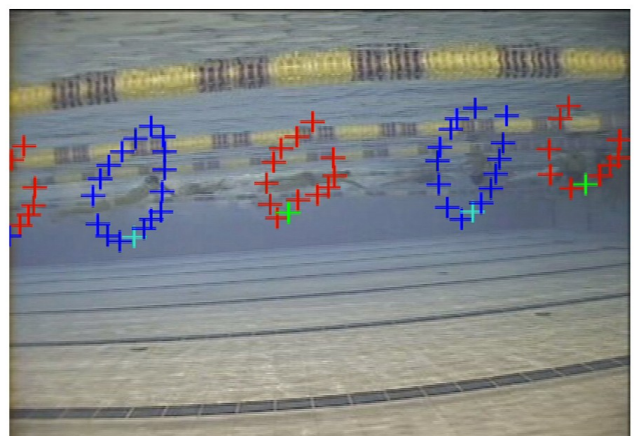
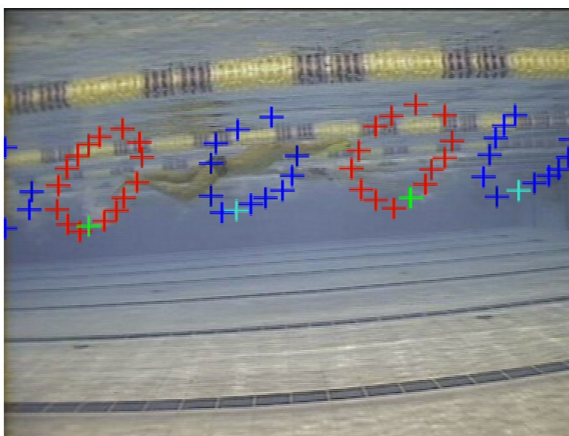


Questo ha portato a rivalutare l'importanza del principio di azione-reazione nella propulsione dei nuotatori che con bracciate più profonde possono sfruttare la maggiore pressione (definita come la forza che agisce perpendicolarmente su una certa superficie) alle maggiori profondità per ricercare un appoggio più saldo. Gli atleti che usufruiscono di una passata subacquea più profonda non hanno grande necessità di utilizzare movimenti laterali della mano per creare gli appoggi, tendono inoltre, ad aumentare la frequenza di bracciata favorendo un percorso più breve, cioè quello rettilineo.

In conclusione, la scelta degli allenatori sulla tecnica da adattare agli atleti ai fini di un gesto atletico efficace deve tener conto di molti aspetti, dalle caratteristiche fisico-individuali dei singoli atleti ai principi di fisica dei fluidi applicabili al nuoto.

Osservando attentamente i filmati subacquei di nuotatori velocisti di alto livello, si nota che tutti gli atleti dopo aver raggiunto il punto più profondo della traiettoria della loro mano formano dei vortici, che si manifestano con delle bollicine intorno agli arti. Probabilmente questo è dovuto al fatto che i nuotatori dopo aver raggiunto il punto più profondo (massima pressione idrostatica) iniziano a "tirare" rapidamente indietro, cercando di creare, attraverso la formazione di vortici, un appoggio meno cedevole.

Nelle figure 12 e 13 i punti di colore diverso nelle traiettorie indicano il momento in cui si iniziano ad evidenziare questi vortici.



Figg.12 e 13 Traiettorie di bracciate di due atleti d'élite. In evidenza il punto in cui si evidenzia la formazione di vortici

La formazione di vortici sul dorso della mano costituisce un vantaggio per il nuotatore, in quanto la depressione che si viene a creare, impedisce lo slittamento dell'arto durante la presa. D'altronde per ottenere questa situazione è necessario che la mano venga mossa ad alte velocità nell'acqua, in modo da generare un moto vorticoso. Nelle figure 14 e 15 viene visualizzato l'andamento dei flussi intorno alla mano, attraverso l'uso di strisce di plastica attaccate al dorso della mano. Appare evidente il diverso comportamento del flusso intorno alla mano quando questa viene mossa lentamente (fig. 14) o velocemente (fig. 15).¹¹

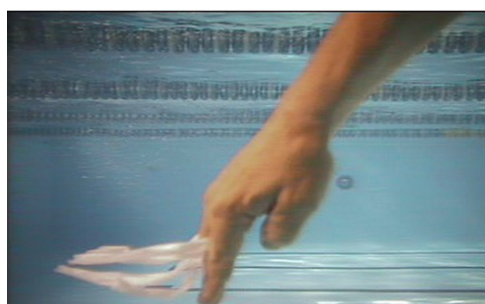


Fig. 14 Flusso a bassa velocità



Fig. 15 Flusso ad alte velocità

1.5 Elementi di idrodinamica

Un fluido in movimento ha caratteristiche molto diverse da un fluido statico. Non appena la mano di un nuotatore comincia a muoversi nell'acqua, un'altra forza esercita la sua influenza: la resistenza del fluido al moto.

C. Colwin ha condotto molti studi con l'obiettivo di spiegare cosa accade all'acqua durante l'azione di nuotata.¹² In particolare, come l'acqua reagisce alle forze sviluppate da differenti meccanismi propulsivi, ad esempio le differenze causate da una bracciata con movimento rettilineo e da una con movimento curvilineo.

Come tutti i fluidi l'acqua cambia forma sotto l'azione di forze. Questi mutamenti sono conosciuti come deformazioni e appaiono come flusso ed elasticità. Il flusso aumenta continuamente senza limiti sotto la minima azione di forza. Una forza data produce elasticità che svanisce alla

¹¹ Per le immagini è stato utilizzato il programma "Dart Trainer"

¹² C. Colwin, "Fluid Dynamics: Vortex Circulation in Swimming propulsion". In T.F. Welsh (ed.) American Swimming Coaches Association World Clinic Yearbook, 1984. Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association, 38-46

rimozione della forza. Flusso ed elasticità sono le qualità che caratterizzano l'acqua in movimento e che sono riconoscibile da un nuotatore di livello.

Il modello di flusso intorno ad un oggetto immerso può essere rappresentato da delle linee di flusso. Quando l'oggetto immerso si inclina le linee di flusso si alterano indicando così la direzione del flusso e dallo spazio che si crea tra una linea e l'altra è possibile identificare la velocità di flusso. (Fig. 16 da "*Breakthrough Swimming*" C. Colwin)

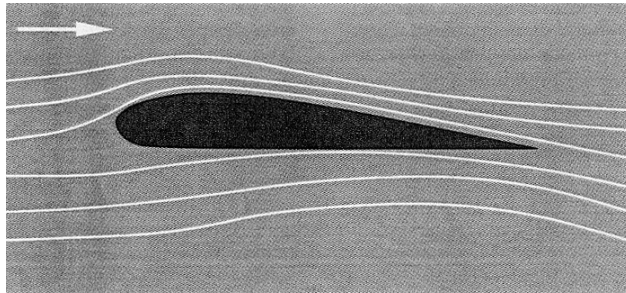


Fig. 16 Modello di flusso su un profilo alare che mostra la direzione e la velocità del flusso. Gli spazi ridotti tra le linee di corrente mostrano dove la velocità è maggiore.

Capitolo II

Kz: lo strumento

II.1 Lo Strumento

KZ è un sistema brevettato¹³ di misurazione della pressione esercitata dal nuotatore durante l'azione in acqua.

E' composto da speciali palette per le mani in fibra di carbonio strumentate con sensori di pressione ed una unità di acquisizione ed analisi dati che l'atleta indossa alla cintura.

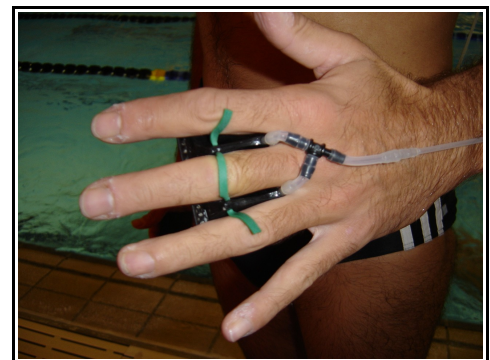


a)



b)

Fig. 17 Prima versione delle palette.
a) paletta con la membrana di gomma
b) tubicino di gomma che collega la paletta alla scatola di acquisizione dati;
c) Parte superiore sul dorso della mano.



c)

¹³ AP Lab

Le due componenti sono unite da un tubicino di gomma.

Le palettine vengono indossate dall'atleta come normali palette da allenamento, anche se hanno dimensioni più ridotte e presentano una membrana di gomma che si deforma per effetto della pressione esterna e va a comprimere l'aria presente nel tubicino di gomma. Il tubicino viene assicurato al corpo dell'atleta tramite elastici. L'altro capo del tubicino termina nell'imbocco del sensore di pressione chiuso dentro la scatola della scheda di acquisizione.

Il contenitore è leggero e poco ingombrante, e può essere indossato alla cintura senza modificare apprezzabilmente l'assetto in acqua dell'atleta. Che si trova così completamente privo di qualsiasi vincolo esterno e può nuotare liberamente nei 4 stili.

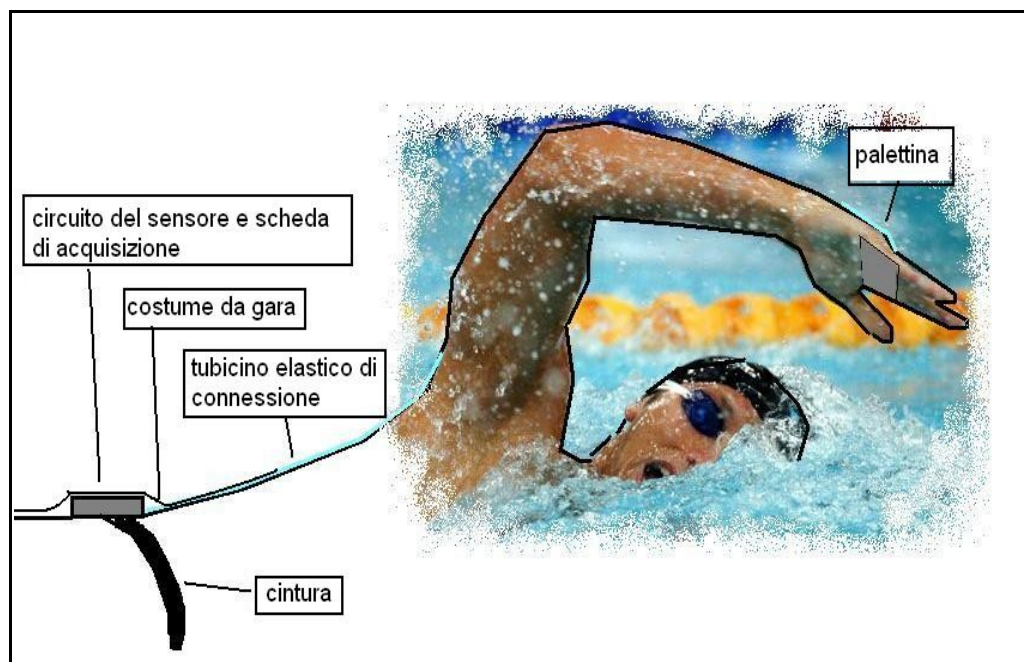


Fig. 18

Una volta terminata l'acquisizione, i dati vengono riversati sul PC tramite cavo USB ed analizzati tramite il software Sport DAQ¹⁴

KZ permette di misurare con accuratezza mai raggiunta in precedenza la forza in acqua, la differenza di spinta fra le braccia, la qualità dell'azione e tutti gli altri parametri caratteristici della nuotata.

¹⁴ Ap Lab

II.2. Evoluzione dello strumento

Nell'arco del 2007 e del 2008 lo strumento ha subito un'evoluzione tecnologica dovuta sia in conseguenza dei risultati dei test fatti con la prima versione delle palette, sia a delle migliorie di carattere tecnico-pratico.

La prima versione (fig. 17) dello strumento prevedeva la membrana di gomma solo sul palmo della mano, in quanto l'obiettivo dello studio era la misurazione della spinta delle braccia esercitata dall'atleta.

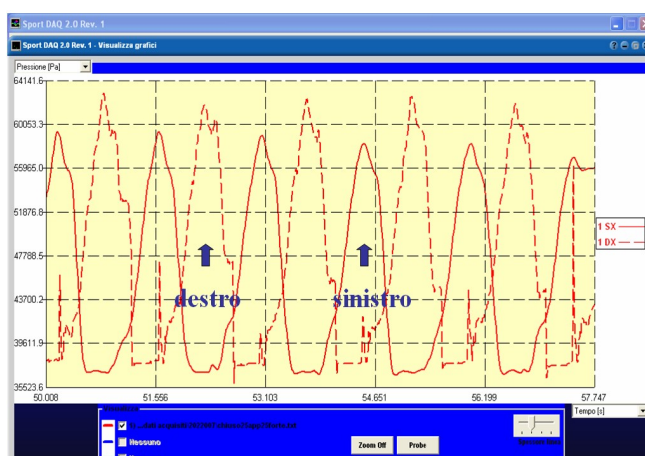


Fig.18 Grafico con il segnale acquisito dal primo modello di palette

L'interpretazione del segnale acquisito, come si nota nella fig.18, su una delle nostre atlete nazionali più importanti appare piuttosto chiara: i segmenti piatti in basso rappresentano la fase aerea, in cui si ha solo la pressione atmosferica.

Il braccio destro (curva tratteggiata) spinge di più rispetto al sinistro (curva continua), si nota però che durante l'azione del braccio destro si ha una piccola perdita di appoggio che genera il dentino evidente nel tracciato.

In una prova successiva è stato messo a confronto il segnale di un nuotatore con quello di una nuotatrice (fig.19) e dal grafico si evidenzia il segnale più alto generato dall'uomo rispetto a quello della donna.

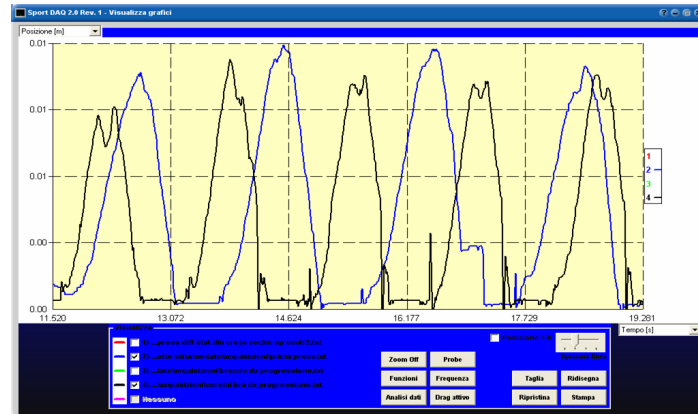


Fig. 19 Confronto tra il segnale di un uomo (blu) e di una donna (nero)

Questa differenza può essere spiegata dalle leve più corte della donna, quindi una pressione idrostatica minore), dall'effettiva minore spinta da parte della donna (la prova era stata effettuata al termine di un allenamento).

Dai due segnali si evidenziano due curve di forme diverse, in particolare quella della donna ha una forma a doppio picco tipica di una perdita di propulsione tra la fase di trazione e quella di spinta.

E' stato chiesto ad un atleta di effettuare delle prove con delle volontarie perdite di appoggio a metà trazione della bracciata (fig. 20) e come si nota nelle prime tre curve l'effetto di questa azione si traduce in una caratteristica forma della curva.

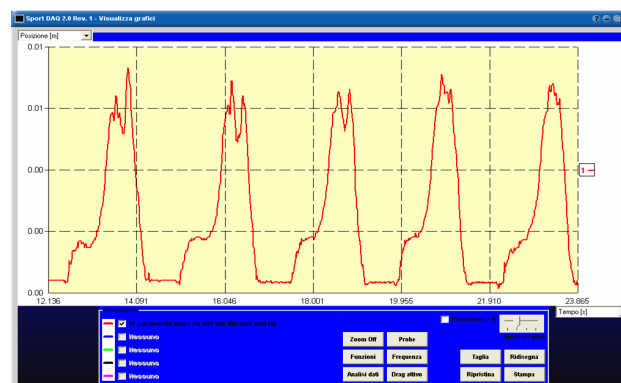


Fig 20 Errore volontario di perdita d'appoggio

Successivamente è stata eseguita un'ulteriore prova facendo nuotare un atleta in progressione di velocità, ottenendo il grafico di figura 21. All'aumentare della velocità diminuisce l'altezza dei picchi. Questo comportamento segue la logica del principio di Bernoulli, per cui con una diminuzione della sezione è corrisposto una velocità maggiore e una pressione minore. Inoltre, le palette registrano la somma della pressione statica e di quella dinamica e probabilmente l'atleta aumentando la velocità effettua bracciate meno profonde.

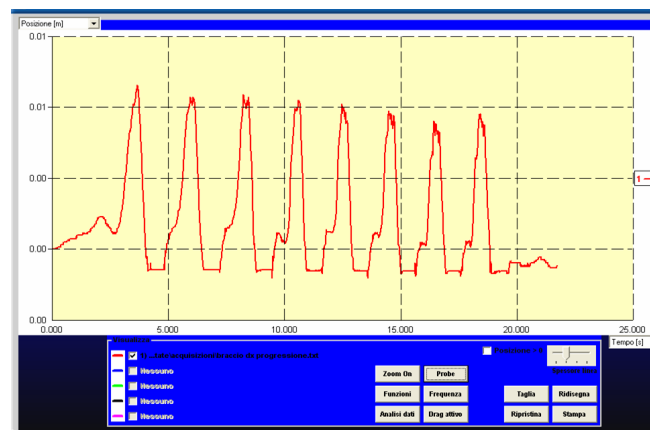


Fig. 21 Velocità e pressione dinamica

Si è così reso necessario distinguere il segnale dovuto alla pressione idrostatica da quello della pressione dinamica, pertanto gli ingegneri della ApLab hanno modificato le palette (fig. 22) aggiungendo sul dorso della mano dell'atleta un elemento sensibile alla pressione idrostatica e di sottrarre il valore misurato da questo elemento a quello rilevato dalla palette.



Fig. 22 Secondo modello di palette

Il segnale rilevato con questo tipo di paletta è rappresentato da una doppia curva distinta da una linea tratteggiata che corrisponde al segnale sul dorso della mano e la linea continua corrisponde alla pressione sul palmo della mano (fig. 23)

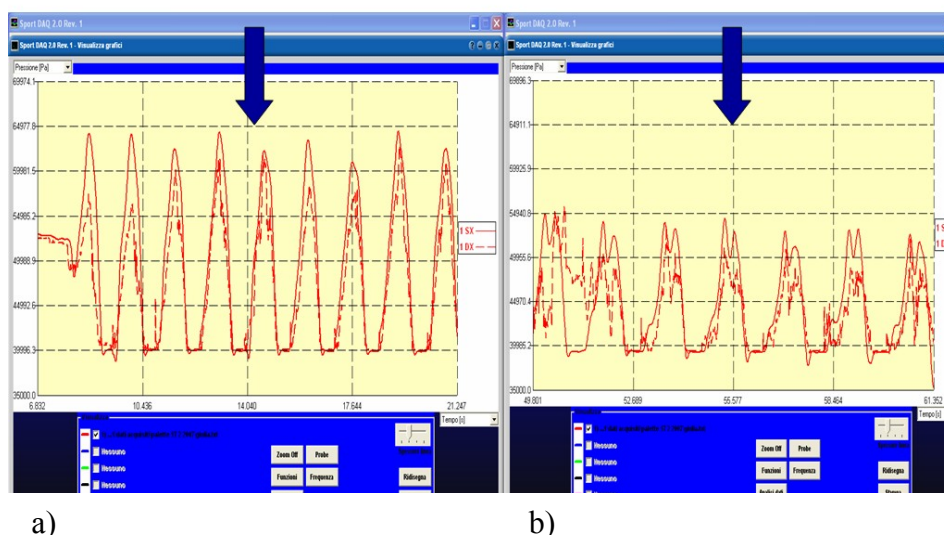


Fig.23 Segnale della bracciata crawl; b) segnale della bracciata dorso

Dalla comparazione dei due tracciati è evidente che i picchi del crawl sono più alti, perché in questa nuotata la mano raggiunge profondità maggiori che non nel dorso. Il sistema ci sembra quindi alquanto attendibile e le misure sufficientemente accurate.

Sintetizzando il tracciato riproduce una serie di curve continue che rappresentano il numero di bracciate in cui si evidenzia: la fase aerea della bracciata, indicata da un segmento piatto in basso al grafico (punto in cui si ha solo la pressione atmosferica); la profondità della bracciata nella fase subacquea, indicata dal picco della curva (punto che indica la pressione idrostatica); la frequenza delle bracciate; le perdite di appoggio in fase subacquea con conseguente efficacia della spinta; il valore della pressione sul palmo della mano e quello del dorso della mano. I "dentini" che si formano lungo le linee sono indice di una perdita di appoggio della mano, come si evidenzia tra la prima e la seconda fase della bracciata nel grafico b) della fig.23.

La scatola di acquisizione dati ha sicuramente come problema principale il rischio di infiltrazione di acqua tra i due lembi di contatto e dall'uscita per il cavo usb.

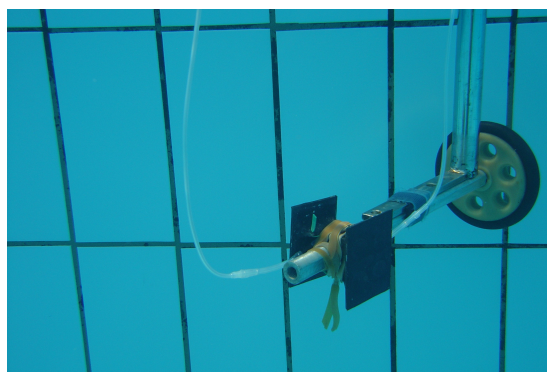
Questa è una questione che è già allo studio della ApLab che sta creando una scatola di acquisizione dati Wi-fi.

Questo sistema di palette ci consente quindi di ottenere dei grafici dai quali è possibile delineare i profili di bracciata individuali di ogni atleta, identificandone le caratteristiche comuni e individuali che personalizzano lo stile di ogni nuotatore.

Confrontando i grafici relativi al braccio destro e sinistro del nuotatore è anche possibile evidenziare eventuali differenti errori di spinta ed errori relativi alla tecnica del movimento.

II. 3 Verifica dello strumento

Lo strumento è stato posizionato su un braccetto nella vasca ergometrica a 70 cm di profondità (la profondità che raggiunge in media la mano del nuotatore) e sono state effettuate varie prove con diverse velocità del flusso di acqua e con inclinazioni differenti.



Dalla figura 23 si evidenzia che all'incremento progressivo della velocità coincide un aumento della pressione su entrambe le palette ma in particolar modo su quella posta sul dorso della mano (in questo caso rappresentata dalla linea continua).

Circa 2,5 m/s

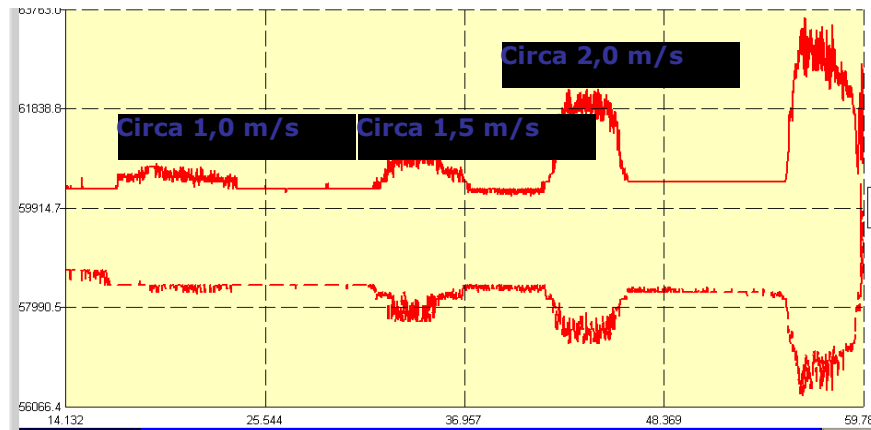


Fig.23 Rilevazioni della pressione a 4 velocità diverse

Il grafico in fig. 24 si riferisce ad una prova effettuata con le palette inclinate a 90° a due profondità diverse 25 cm e 70 cm a quattro velocità progressive, mentre la fig. 25 si riferisce alla stessa prova effettuata con un angolo di 45°.

Paragonando i tracciati rosso (minore profondità) a quello blu si riscontra che in entrambe le prove alla massima velocità di prova corrisponde una maggiore depressione sul dorso, ma sembra che l'inclinazione a 90° non abbia effetto alle basse velocità (tracciato blu). Al contrario in superficie l'angolo di 45° sembra creare un differenziale migliore anche a basse velocità a causa dell'effetto dell'onda generata.

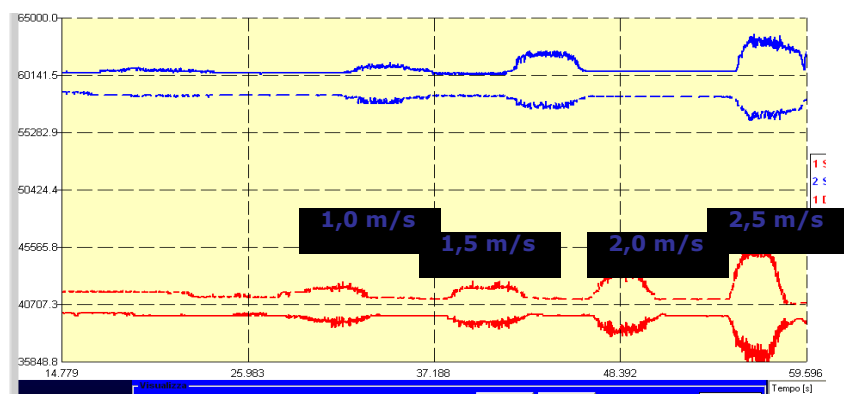


Fig. 24 Verifica a due profondità con quattro velocità e inclinazione di 90°

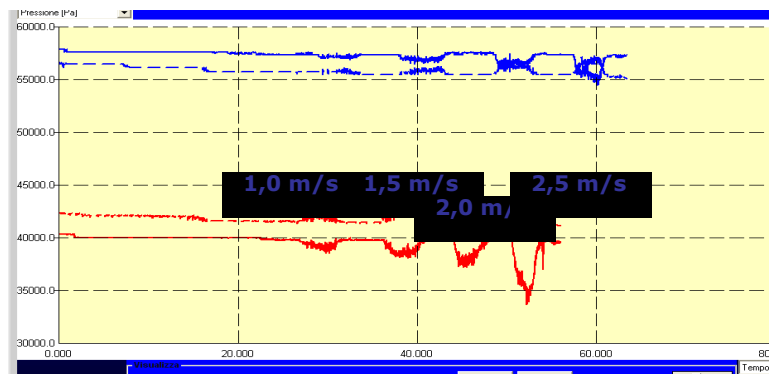


Fig. 25 Verifica a due profondità con quattro velocità e inclinazione di 45°

Creando un movimento dall'alto verso il basso con l'inclinazione a 90° delle palette a tre velocità differenti, fig. 26 a, si ottiene un certo differenziale, mentre se lo stesso movimento viene effettuato con una inclinazione di 45° la differenza risulta veramente minima, fig. 26 b.

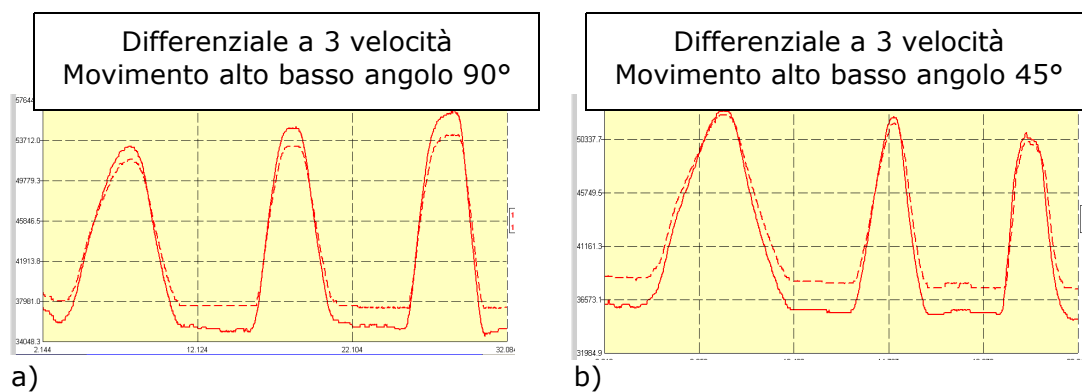


Fig. 26 Differenziale di pressione a tre velocità con angoli a 90° e 45°

Se allo stesso movimento viene aggiunto uno spostamento in avanti si ottiene un certo differenziale di pressione (Fig.27)

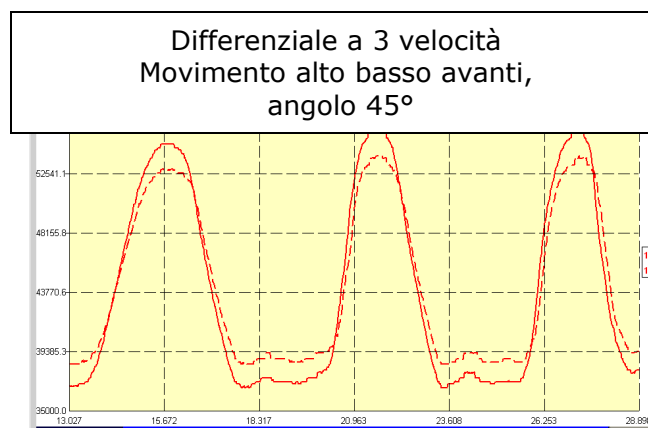


Fig. 27 Differenziale di pressione a tre velocità con movimento Alto basso e avanti con angolo di 45°

All'atto pratico tale movimento ricalca quello caratteristico dei nuotatori mezzofondisti e fondisti che eseguono una bracciata molto più dolce e rotonda, meno in profondità con una inclinazione della mano sull'avambraccio di circa 40° - 45° . I velocisti, al contrario, come il braccio entra in acqua, hanno la tendenza ad abbassare subito la mano perpendicolarmente all'asse di avanzamento andando a cercare in profondità la miglior presa.

Capitolo III

Strutturazione della ricerca

III.1 Test a due velocità: analisi dei dati e interpretazione dei grafici

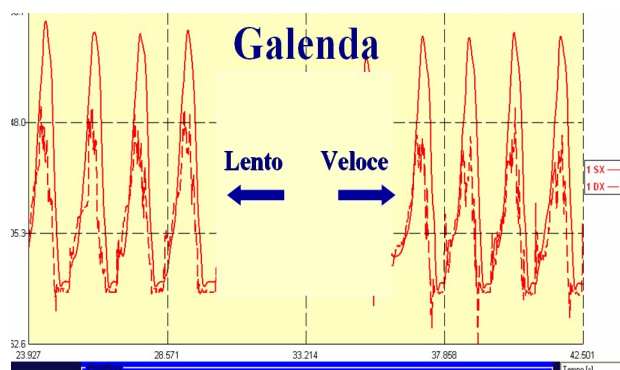
Lo studio con le palette che è stato portato avanti nell'anno 2008 aveva come obiettivi: misurare la spinta esercitata dalle braccia dell'atleta durante la nuotata e creare dei modelli di bracciata per tutti e quattro le nuotate.

I test sono stati eseguiti nel corso dell'anno 2008 tra gli atleti facenti parte del gruppo Pechino, gli atleti partecipanti ai campionati italiani assoluti primaverili di Livorno e tra alcuni dei nostri migliori campioni di élite che si sono sottoposti ai test con il consenso degli allenatori.

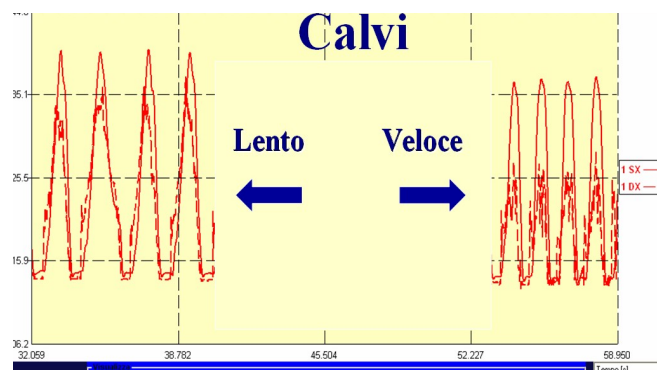
Sono stati testati circa 40 atleti di età compresa tra i 16 e i 20 anni dal dicembre 2007 al giugno 2008. I tracciati degli atleti d'élite sono stati utilizzati anche come modello di paragone con quelli dei nuotatori mediocri.

E' stato chiesto loro di effettuare due brevi tratti circa 10m a differenti andature. Il primo ad un passo di resistenza aerobica (A2) e il secondo doveva essere uno sprint alla massima velocità.

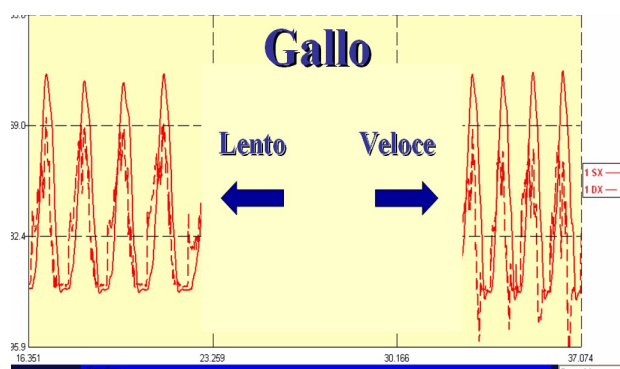
Dai tracciati ottenuti (fig. 28) è stato fin da subito piuttosto evidente che non si notava alcuna variazione di pressione sul palmo della mano, mentre era ben visibile la diminuzione sul dorso alle alte velocità. In altri termini, questi tracciati ci dimostrano che l'aumento di velocità non viene ottenuto aumentando la spinta sul palmo, bensì creando una depressione sul dorso, che trattiene la mano dell'atleta, e ne impedisce, nel contempo lo slittamento, procurandogli degli appoggi più stabili. Le evidenze sperimentali depongono, quindi a favore della "*teoria dei vortici*" di Cecil Colwin.



a)



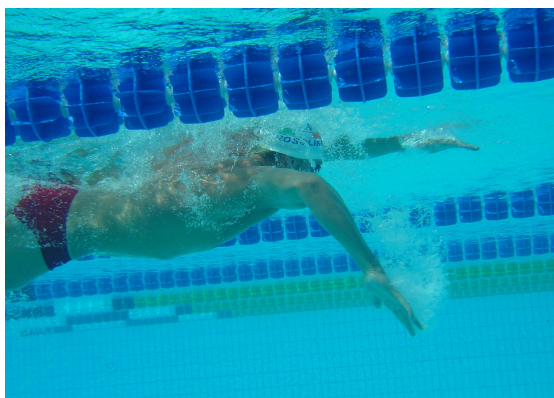
b)



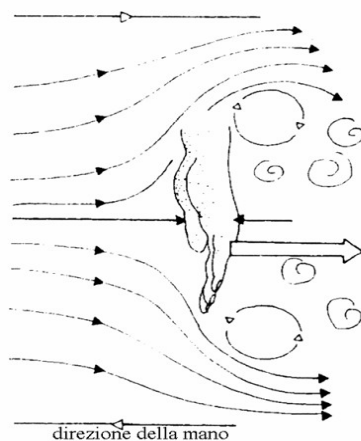
c)

Fig. 28 Grafici di tre atleti di élite

Osservando attentamente i filmati subacquei di nuotatori velocisti di alto livello, ci accorgiamo che tutti dopo aver raggiunto il punto più profondo della traiettoria della loro mano formano dei vortici, che si manifestano con delle bollicine intorno agli arti. Probabilmente questo è dovuto al fatto che i nuotatori dopo aver raggiunto il punto più profondo (massima pressione idrostatica) iniziano a "tirare" rapidamente indietro, cercando di creare, attraverso la formazione di vortici, un appoggio meno cedevole.



Così quello che una volta veniva ritenuto un errore (la creazione di bolle durante la passata subacquea) può essere visto invece come un modo per migliorare l'appoggio della mano, attraverso la creazione della resistenza aggiuntiva, garantita dai vortici stessi



Per comprendere se il comportamento osservato fosse caratteristico solo dei velocisti sono stati testati nel crawl, oltre agli specialisti dei 100 e 200 anche gli specialisti dei 200 e 400 fino ai nuotatori di fondo. Nei grafici che seguono (fig.29) vediamo il risultato del test della campionessa olimpionica Federica Pellegrini (100, 200, 400 e 800 s.l.) e di Valerio Cleri specialista nel fondo e gran fondo.

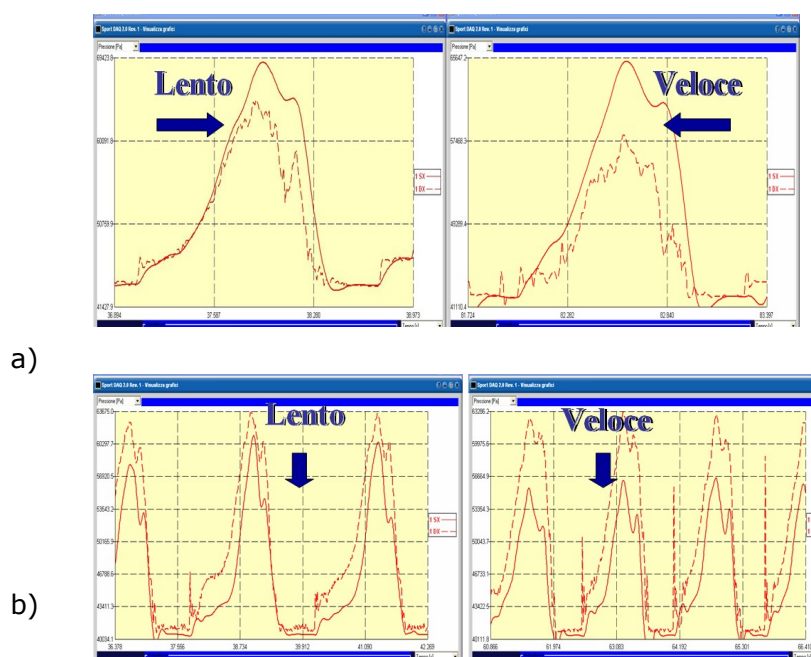


Fig.29 a)Tracciato F. Pellegrini; b) tracciato V. Calvi

Dai tracciati risultanti appare evidente la diminuzione della pressione sul dorso della mano, pertanto si può considerare un comportamento generale tipico dei nuotatori. Tuttavia si può delineare un profilo di bracciata caratteristico della categoria di atleti velocisti resistenti o mezzofondisti veloci che sfruttano il differenziale pressorio, per ottenere velocità, in maniera più equilibrata utilizzando sia la prima che la seconda che la terza parte della passata subacquea.

III.2 Profilo del dorso

Il risultato ottenuto con il test delle due velocità nei dorsisti è altrettanto interessante che nel crawl.

Nei due grafici che seguono (fig. 30), è abbastanza evidente la differenza di comportamento nella velocità dei due dorsisti. Il dorsista a) aumenta la sua velocità accentuando il rollio e questo comportamento è evidente dall'altezza dei picchi che aumenta indicandoci che gli arti raggiungono profondità maggiori. Al contrario la dorsista b) aumenta la sua velocità riducendo il rollio e questo comportamento evidenziato dal fatto che l'altezza dei picchi diminuisce.

In generale il profilo della bracciata dorso si contraddistingue da quella crawl per una profondità minore.

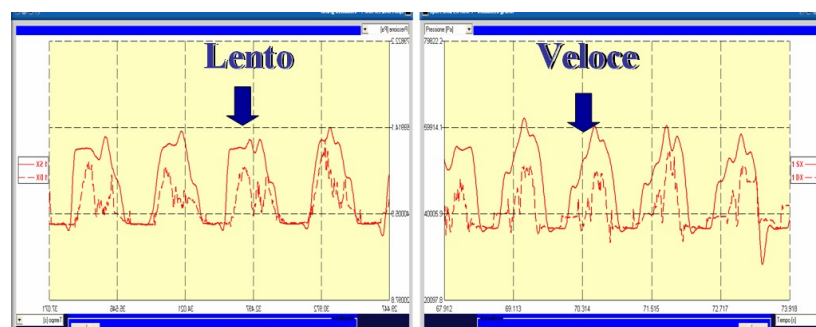


Fig. 30 Confronto tra i profili di due dorsisti velocisti

III. 3 Profilo del Delfino

Anche il comportamento dei delfinisti illustrato nella figura 31 appare abbastanza ragionevole, infatti nell'aumentare la velocità si tende a ridurre l'ondulazione del corpo e la profondità della bracciata, pertanto i picchi subiscono una diminuzione di altezza.

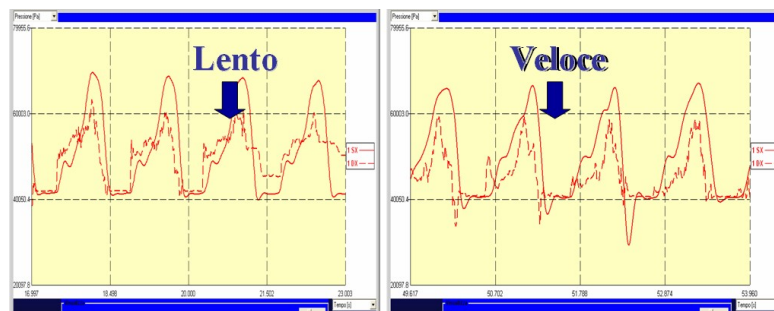


Fig. 31 Profilo di bracciata delfino a due velocità diverse

Confrontando i tracciati della nuotata delfino di un atleta di medio livello (fig. 32), appartenente alla categoria Assoluti, si nota facilmente che tra andatura lenta e veloce la profondità di bracciata non cambia molto; questo può essere spiegato con un'ondulazione eccessiva effettuata anche in velocità

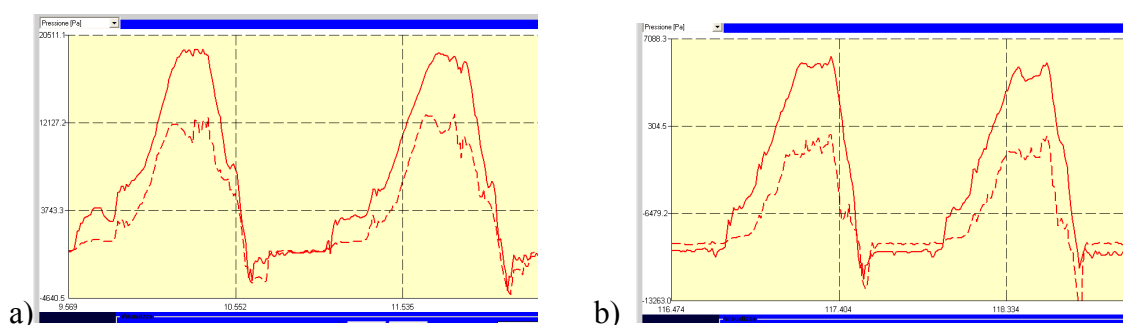


Fig. 32 Profilo di bracciata delfino di un atleta di medio livello a) lento, b) veloce

III. 4 Profilo della Rana

La nuotata rana presenta un profilo di bracciata piuttosto differente rispetto a quelli visti fin ora, il recupero subacqueo delle braccia comporta l'assenza del segmento basso rappresentante la pressione atmosferica. La prima parte della curva è molto morbida e raggiunge il suo picco solo nella seconda fase della bracciata in coincidenza con il termine della trazione. Anche per questa nuotata è evidente quanto sostenuto fin ora riguardo la tendenza della pressione sul palmo della velocità in relazione all'aumento dell'andatura di nuotata.

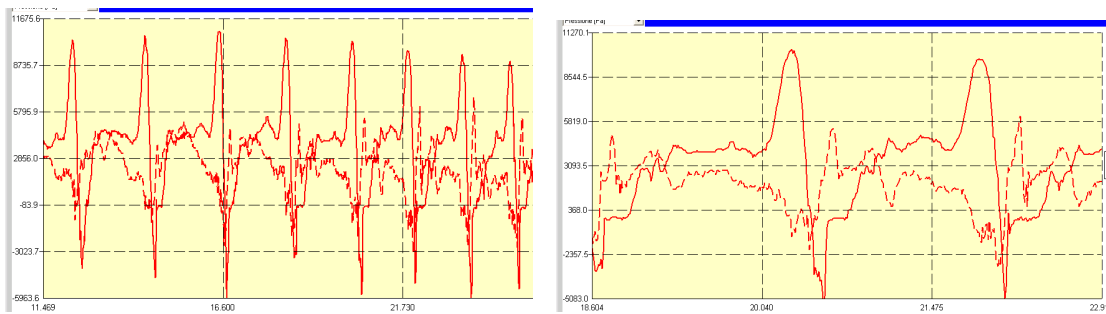


Fig. 33 Profilo caratteristico della bracciata rana

III. 5 Kz: ultimi sviluppi

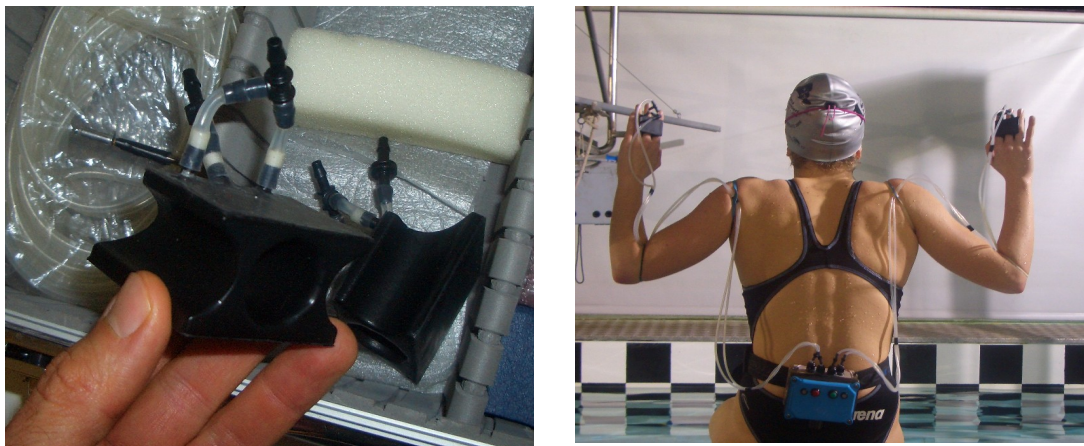


Fig. 34

La nuova versione dello strumento prevede una paletta per la mano destra e una per la mano sinistra, ha una conformazione anatomica superiore al modello precedente e consente graficamente di rilevare direttamente il differenziale di pressione. I nuovi grafici sono quindi caratterizzati da un unico tracciato.

Questo consente una interpretazione ancora più semplice delle caratteristiche individuali dell'atleta.

Nella figura 35, raffigurante il profilo di bracciata di un grande campione, Massimiliano Rosolino, si nota come la sua curva ricalchi un movimento in presa continua quasi confrontabile con la curva di forza ideale. (fig. p.10)

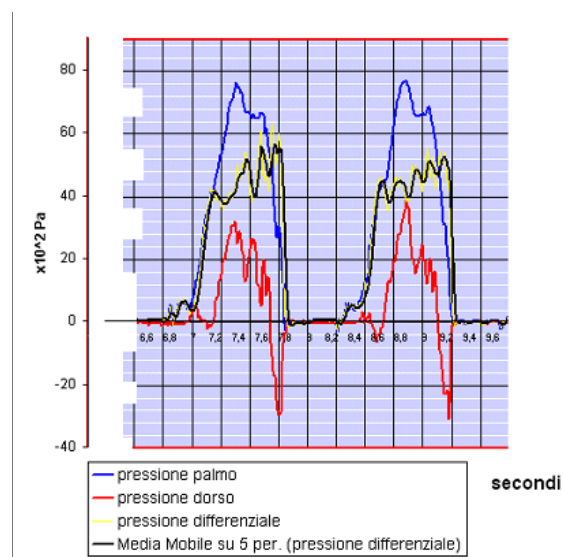


Fig. 35 Tracciato braccio dx crawl di un atleta di élite

Il doppio strumento consente il confronto diretto del profilo della bracciata destra con quella dell'arto sinistro, mentre in precedenza era necessario visionare due file differenti relativi ai due arti e tramite un lavoro di "taglio" creare un nuovo file che sovrapponesse i due tracciati.

Questa nuova versione, invece, consente di guadagnare molto tempo, di interpretare con immediatezza il tracciato e di fornire un riscontro diretto all'allenatore. Un'altra informazione ora leggibile dalle due curve (una per arto) del grafico è la frequenza delle bracciate e quindi "vedere" e valutare la corretta coordinazione tra i movimenti di un arto rispetto all'altro.

III.6 Interpretazione e confronto dei tracciati nei vari stili

Dai grafici acquisiti con la nuova versione delle palette risulta più semplice confrontare i profili caratteristici delle 4 nuotate, ma soprattutto risultano molto più evidenti le caratteristiche individuali dei profili di bracciata e le caratteristiche proprie delle specialità dei nuotatori.

Crawl

Il grafico sottostante è relativo al differenziale di pressione della bracciata crawl (fig. 36), è semplice notare che nella prima fase della bracciata si ha una scarsa presa, con una buona ripresa nella seconda parte, una perdita di appoggio della mano nella terza fase e di nuovo una ripresa nella parte finale.



Fig. 36 Tracciato differenziale del crawl

Volendo confrontare i profili del crawl di due nuotatori in specialità differenti (fig.37) si nota più evidentemente che nella versione precedente della palette la differenza di pressione esercitata dai nuotatori. Il velocista si caratterizza per una prima parte di bracciata dallo scarso differenziale (dovuto alla tendenza di un movimento iniziale che scende verso il basso e tira verso dietro) ed un elevato differenziale nella parte finale della bracciata. Il mezzofondista, invece, ha un differenziale in crescendo e piuttosto continuo per tutta la passata subacquea (anche se si evidenzia una perdita di appoggio a metà bracciata), questo profilo ricalca la tendenza

di bracciata caratteristica di questi nuotatori, ovvero quella di allungare leggermente il braccio in fase di presa e di seguire una traiettoria curvilinea che gli consente una presa continua.

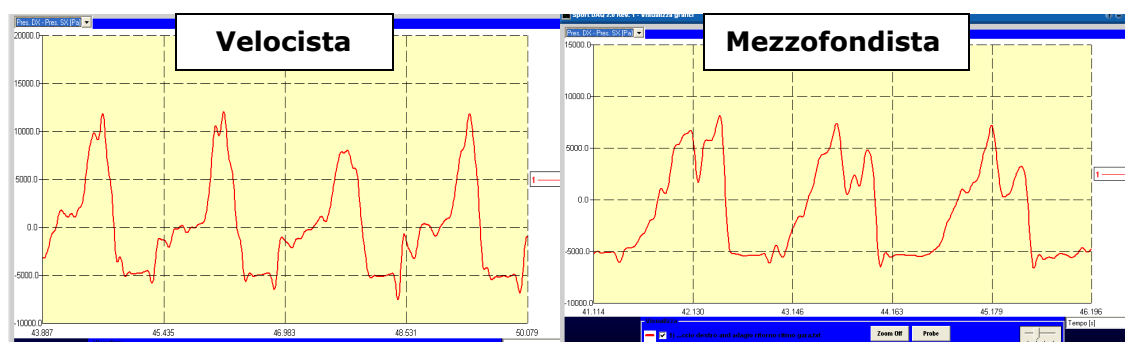


Fig.37 tracciato di un velocista e di un mezzofondista



Fig.38 Braccio dx e sx del profilo crawl

Come mostra il grafico in fig. 38 le curve dei due arti rendono un'idea immediata delle differenze esistenti in questo nuotatore testato. Le due forme diverse (più larga per quella a linea continua e più stretta per quella tratteggiata) denotano due prese d'acqua piuttosto differenti, due profondità diverse e perdite di appoggio in punti diversi. Questo grafico rende evidente la complessità generale del nuoto, dei suoi movimenti, della coordinazione tra arti e tra movimento e la ripetizione dello stesso gesto eseguito alla stessa frequenza. Lo spazio tra una curva e l'altra indica l'intervallo di tempo tra le bracciate. Nello spazio b indicato dalla freccia lo spazio è maggiore che nel punto a, ciò indica una frequenza di bracciata più ampia.

Dorso

Anche per il dorso risulta più semplice la lettura del profilo e degli errori effettuati da nuotatori, ad esempio dalla fig.39 appare chiaro il cedimento dell'appoggio nella terza fase della passata subacquea.

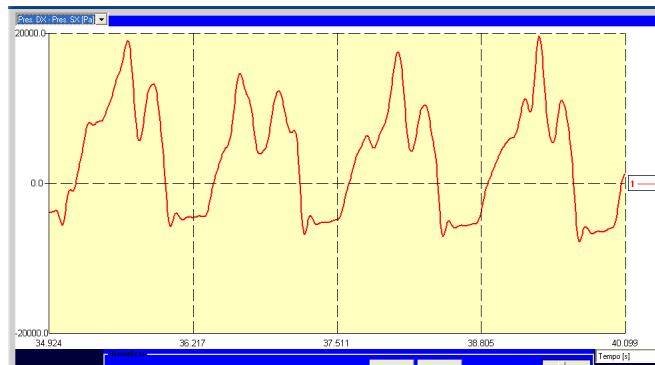


Fig. 39 profilo differenziale del dorso

Quello che questo ultimo modello di palette ha notevolmente semplificato è il confronto tra profili individuali degli atleti.

Come dal paragone dei tracciati della figura 40, si delinea la differenza di bracciata dei due notatori testati. L'atleta A, oltre ad un appoggio molto cedevole, effettua anche delle bracciate dalla frequenza piuttosto variabile, addirittura in alcuni momenti il movimento dei due arti si sovrappone, tuttavia le caratteristiche del tracciato del braccio destro sembrano coincidere con quelle del braccio sinistro. L'atleta B sembra avere, invece un'andatura più continua con una buona frequenza, con una buona presa più per il braccio destro. I picchi verso il basso dell'atleta B indicano che la mano destra entra in acqua con troppa forza, impattando bruscamente con la superficie dell'acqua.

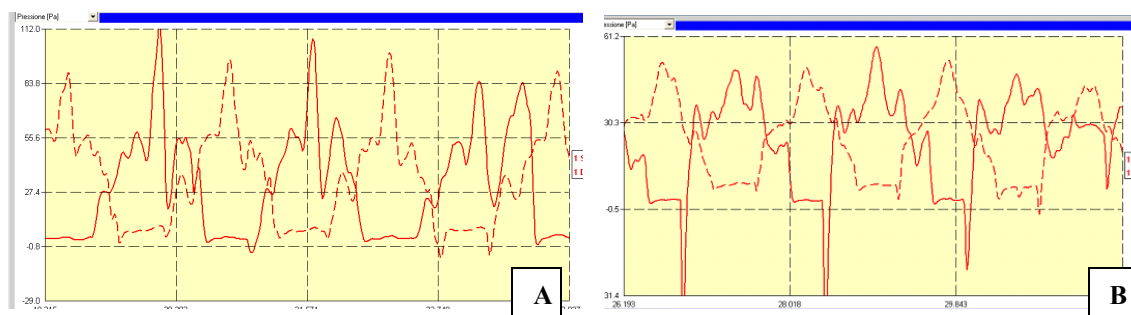


Fig. 40 Due profili di dorsisti

Delfino

Le caratteristiche del profilo di bracciata del delfino risultano essere assai più evidenti degli altri stili con questo modello di palette. Come da confronto dei due grafici in fig. 41, dove in A è rappresentato il tracciato ottenuto con la precedente versione dello strumento, appare chiara la differenza con il tracciato B e di conseguenza la maggior semplicità di interpretazione.

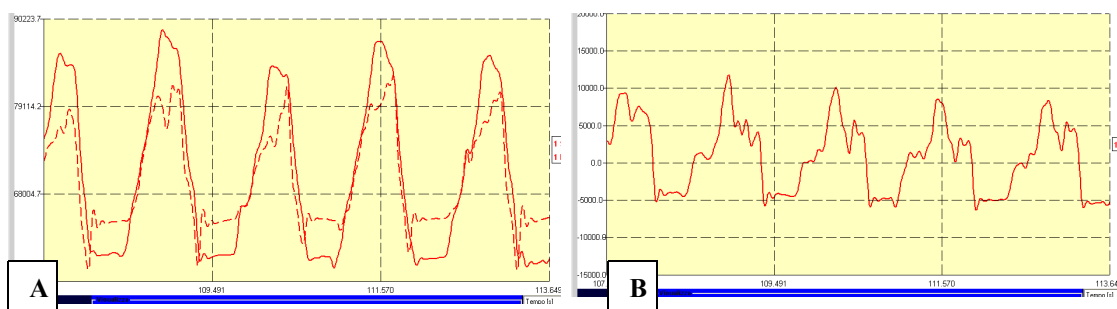


Fig. 41 Confronto del tracciato delfino con due versioni diverse del Kz

Nella fig.42 il nuotatore testato risulta avere una simmetria del movimento con gli arti superiori piuttosto buona anche se in alcuni punti (all'inizio della bracciata e in fase di spinta) il differenziale della mano sinistra risulta essere minore e in generale non ha una presa d'acqua continua.

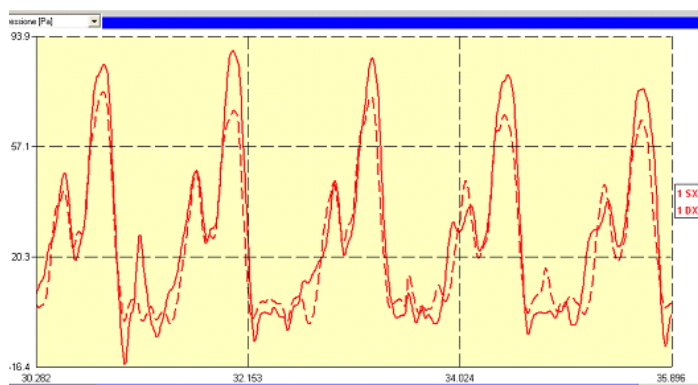
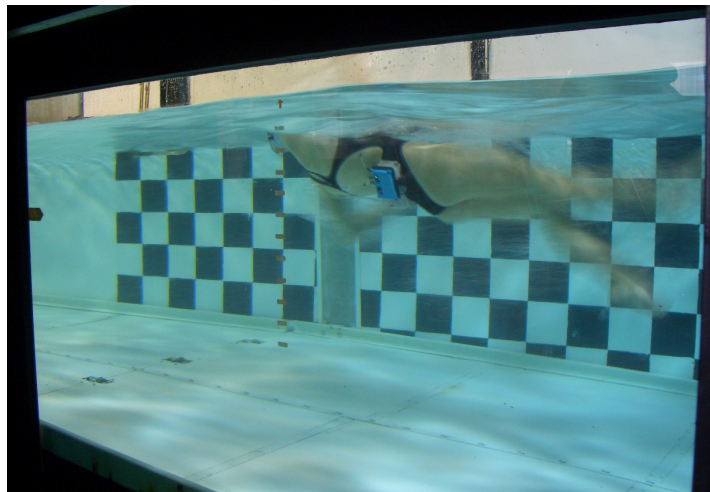


Fig. 42 Profilo bracciata delfino braccio dx e sx

III. 7 Prove in vasca ergometrica

Una volta compreso che l'efficacia della propulsione non dipende dalla forza applicata con il palmo della mano ma dal differenziale di pressione che si crea sul dorso, sono state effettuate delle prove con il nuovo modello del Kz anche in vasca ergometrica, con l'obiettivo di esaminare se con l'acqua in movimento sul dorso della mano si verificassero dei cambiamenti di pressione.

In vasca ergometrica è stata impostata circa la stessa velocità di nuotata in piscina dei singoli atleti.



In particolare è stato notato che in vasca ergometrica nella prima fase della bracciata l'atleta perde notevolmente l'appoggio della mano, e come risulta dai grafici sottostanti il differenziale di pressione diminuisce. Questo è più o meno evidente per tutte e quattro le nuotate.

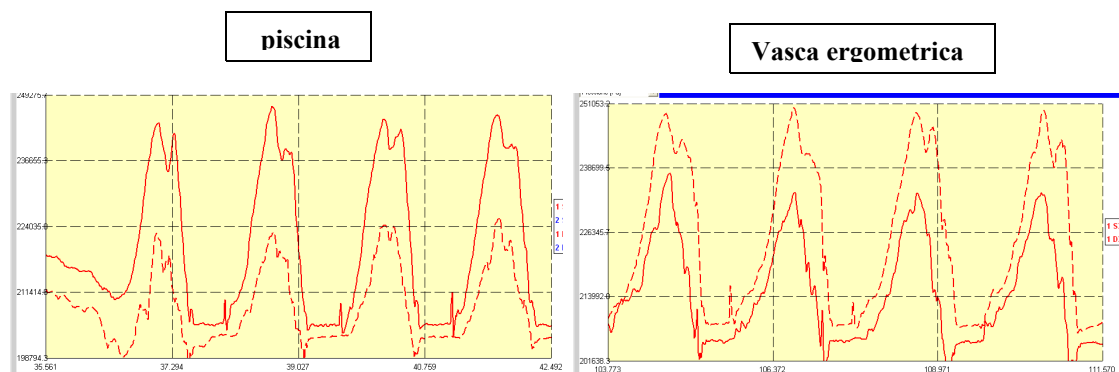


Fig. 43 Confronto differenziale crawl in piscina e in vasca ergometrica

Dai dati rilevati anche con l'ausilio delle immagini filmate con la fotocamera e del Dartfish è stato possibile venire a conoscenza di un dato interessante. Sebbene tutti i nuotatori testati avessero mantenuto più o meno la stessa frequenza di bracciata la velocità della mano era sensibilmente aumentata in vasca ergometrica e all'aumentare della velocità di andatura aumenta la velocità della mano. Vedi tabella sottostante.

	A.....		B.....		D.....		F.....	
	vel.1,12 m/s		vel.1,38 m/s		vel.1,49 m/s		vel.1,30 m/s	
	frequenza	vel.mano	frequenza	vel.mano	frequenza	vel.mano	frequenza	vel.mano
Piscina	28,5	1,75	41,5	2,05	38,7	2,44	42,9	2,06
V.ergo m.	31,0	1,96	41,7	2,35	40,5	2,86	44,0	2,73
	vel.1,30 m/s		vel 1,47 m/s		vel.1,65 m/s		vel.1,43 m/s	
Piscina	33,3	2,02	44,7	2,65	42,8	2,91	47,3	2,5
V.ergo m.	35,7	3,06	44,8	2,93	43,2	3,18	48,9	3,42

Questo è spiegabile con la perdita di appoggio iniziale della mano. Ovvero, il flusso d'acqua spinto a velocità contro il dorso della mano va a spingere la mano direttamente indietro, impostando una traiettoria piuttosto rettilinea della bracciata e creando un appoggio molto cedevole per l'atleta, il quale si trova "obbligato" ad aumentare la velocità d'esecuzione della bracciata (quindi anche la forza) nella parte finale prolungando la fase di spinta per ottenere una propulsione efficace.

A causa delle modificazioni che induce nell'esecuzione del gesto tecnico della bracciata, la vasca ergometrica può essere utilizzata come un ottimo strumento per l'allenamento neuromuscolare.

CONCLUSIONI

L'applicazione della scienza alla ricerca e alla conoscenza del nuoto è sicuramente stata fin dalla fine degli anni '70, e J. Counsilman ce lo insegna, uno strumento utilissimo per il progresso del nuoto da competizione.

Lo strumento analizzato ci ha consentito di verificare e dimostrare la teoria dei vortici ipotizzata da C.Colwin negli anni '80 e ci ha consentito di studiare la bracciata degli atleti in maniera inusuale. L'interpretazione data ai tracciati consente agli allenatori e ai tecnici del settore nuoto di studiare e confrontare la tecnica e la qualità del movimento dei nuotatori e di comprendere talvolta anche l'origine di determinati errori nell'esecuzione del gesto tecnico.

Da solo non è sufficiente a comprendere le cause di tanti errori o di scarsi risultati, il nuoto è uno sport complesso da un punto di vista tecnico che deve tener conto anche della reazione che un corpo in movimento produce in acqua.

Risulta essere sicuramente uno strumento utile in quanto crea un feedback immediato all'allenatore ma anche all'atleta stesso anche su aspetti della bracciata che riguardano più la capacità senso-percettiva del nuotatore su errori poco visibili a occhio nudo da parte dell'allenatore.

Il Kz è utilizzato, ad oggi, come un supporto alla ricerca continua del miglioramento della prestazione atletica.

Sicuramente il Kz è uno strumento molto valido per la ricerca ma non dobbiamo dimenticare che non può rappresentare la risposta a tutti i problemi e ai difetti di nuotata. Il nuoto è uno sport caratterizzato da movimenti complessi e influenzati da caratteristiche anatomiche, morfologiche e di forza tipiche di ogni individuo. Gli allenatori devono continuare a lavorare anche su molti altri aspetti riguardanti: il miglioramento della tecnica, sebbene non sempre i difetti di meccanica della bracciata di alcuni nuotatori se eliminati o migliorati possano comportare un miglioramento anche dei risultati della prestazione; la capacità di

minimizzare le resistenze all'avanzamento; la capacità di usare l'avambraccio; l'utilizzo degli arti inferiori etante altre.

Il fenomeno nuoto è molto complesso e i parametri che lo descrivono talmente numerosi e, a volte imprevedibili, da non permetterci di trarre conclusioni attendibili dall'analisi di un singolo aspetto.

Lo strumento è nato per soddisfare alcune curiosità riguardanti la forza applicata nelle bracciate e le prime risposte hanno sviluppato nuove domande che hanno portato a rilevazioni sempre più specifiche dello strumento e ad una sua evoluzione.

Dalla "semplice" lettura dei grafici sulla pressione esercitata dal nuotatore sul palmo della mano ad una molteplice interpretazione relativa al differenziale di pressione, alle caratteristiche individuali di bracciata, all'analisi del movimento subacqueo della bracciata. I risultati fin qui ottenuti hanno consentito di rivalutare e di sostenere empiricamente la teoria dei vortici ipotizzata da Colwin all'inizio degli anni '90. Effettivamente osservando attentamente i filmati subacquei di nuotatori velocisti di alto livello, ci accorgiamo che tutti dopo aver raggiunto il punto più profondo della traiettoria della loro mano formano dei vortici, che si manifestano con delle bollicine intorno agli arti. Probabilmente questo è dovuto al fatto che i nuotatori dopo aver raggiunto il punto più profondo (massima pressione idrostatica) iniziano a "tirare" rapidamente indietro, cercando di creare, attraverso la formazione di vortici, un appoggio meno cedevole. Questo ci dimostra che l'aumento di velocità non viene ottenuto aumentando la spinta sul palmo, bensì creando una depressione sul dorso, che trattiene la mano dell'atleta, e ne impedisce, nel contempo lo slittamento, procurandogli degli appoggi più stabili.

Tale comportamento risulta essere generale, cioè tipico di tutti i nuotatori.

L'importanza della depressione sul dorso della mano è stata dimostrata anche con le prove effettuate dai nuotatori in vasca ergometrica. Il flusso d'acqua spinto contro il nuotatore, spinge la sua mano indietro, provocando una diminuzione del differenziale di pressione e di conseguenza un appoggio piuttosto cedevole.

Le centinaia di prove effettuate sui nuotatori con questo nuovo strumento di valutazione ha sicuramente aiutato tecnici e nuotatori a considerare il gesto

tecnico sotto un nuovo punto di vista che però rimane pur sempre un singolo aspetto da inserire in un'analisi del movimento assai complessa. Sicuramente lo studio del movimento reso possibile dal Kz contribuisce all'accrescimento delle conoscenze sul nuoto sino ad oggi acquisite. Probabilmente sulla base delle nozioni acquisite con il Kz sarà possibile utilizzare metodi di allenamento diversi, nuovi attrezzi per l'allenamento specifico o più semplicemente potrebbe risultare più facile per un allenatore valutare i difetti di meccanica della bracciata di un nuotatore e riconoscere una caratteristica di stile che magari non influisce sul risultato della prestazione da un errore tecnico da correggere.

BIBLIOGRAFIA

- Brown R.M. e. Counsilman J.E., "The Role of Lift in Propelling the Swimmer",
Selected Topics on Biomechanics, J.M. Cooper, ed. (Chicago, Athletic Institute, 1971)
- Colwin C., "Breakthrough Swimming", Human Kinetics, 2002
- Colwin C., "Swimming into the 21st Century", Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, 1992
- Colwin C., "Fluid Dynamics: Vortex Circulation in Swimming propulsion". In
 T.F. Welsh (ed.) American Swimming Coaches Association World Clinic
 Yearbook, 1984. Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association
- Counsilman J.E., "*The Role of Sculling Movements in the Arm Pull*",
Swimming World, vol.X, n.12 (Dic.1969)
- Counsilman J.E., "The Application of Bernoulli's Principle to Human Propulsion
 in Water", *Swimming I: Atti del primo Simposio Internazionale sulla Biomeccanica di Nuoto, Pallanuoto, e Tuffi*; L.Lewillie e J.P. Clarys, eds. (Baltimore University Park Press, 1970)
- Counsilman J., Counsilman B.E., "La Nuova Scienza del Nuoto", ed. Zanichelli,
 2004
- Counsilman J.E., "The Importance of Hand Speed and Acceleration in Swimming the Crawl Stroke", *Swimming Technique*, 1981
- Counsilman J.E., Wasilak J.M., "Hand Speed and Hand Acceleration Patterns in Swimming Strokes", American Swimming Coaches Association, World Clinic Yearbook (1981), Lauderdale, FL.

Ikai M., Ishii K., Miyashita M., "An Electromyographic Study of Swimming",
Laboratori for Physiologic Rsearch in
Physical Education, School of Education,
Università di Tokyo, Research Journal of
Physical Eucation, 7, n.4 (aprile 1964)

Maglischo E. W. "Swimming Fastest", Human Kinetics, 2003

Schleihau R., "A Biomechanical Analysis of Freestyle Aquatic Skill",
Swimming Technique (autunno 1974)

Ungerechts Bodo, "Optimizing Prpulsion in Swimming by Rotation of the
Hands", Swimming III: atti del Terzo Simposio
Internazionale sulla Biomeccanica nel Nuoto; J. Terauds e
E. H. Bedingfield, eds. R.C. Nelson e C. A. Morehouse,
series eds. (Baltimora, University Park Press, 1979)