

Alla ricerca del meccanismo più funzionale

Raymond Catteau*

La propulsione del nuotatore

Le nostre conoscenze sulla propulsione nel nuoto per molti anni sono state "deviate" dalle immagini video subacquee.

Tre diverse scoperte vengono presentate dall'autore.

La prima, di carattere geometrico, mostra inattese analogie tra le traiettorie delle mani del nuotatore viste di profilo e quelle di un punto di una circonferenza che rotola "slittando"; si tratta delle ben note "asole".

La seconda riguarda le variazioni angolari della superficie mano-avambraccio che ne confermano la funzione propulsiva e la limitano ad un settore della fase subacquea.

La terza si occupa del comportamento di un punto davvero particolare del braccio sul quale si inserisce un muscolo assai importante nel nuoto: il gran dorsale.

* Traduzione di Gabriele Salvadori

Nel mio precedente articolo per la Tecnica del Nuoto (Lift o Drag, TdN 2/94) ho preso posizione in rapporto alla teoria della portanza per spiegare i meccanismi della propulsione del nuotatore.

La scelta di un **punto di riferimento** per la descrizione dei movimenti del propulsore del nuotatore si rivela determinante (Galileo: Immobilità e Movimento non prendono senso che una in rapporto all'altra).

Chi ha seguito il dibattito e gli argomenti dei sostenitori della **portanza** devono ricordarsi delle analogie che ciascuna teoria esponeva con un modello di propulsione della navigazione. L'esempio dell'**elica** veniva opposto a quello della **ruota a pale** per convincere i più incerti. Questo

Il funzionamento della ruota a pale è stato paragonato a una successione di colpi d'ala in cui ciascuno interviene in maniera **discontinua**. Tutti sanno che il vantaggio dell'elica sul remo è dato dalla **continuità** della sua spinta.

DALLA RUOTA ALLA RUOTA A PALE

I libri di geometria attirano la nostra attenzione sulla traiettoria "inaspettata" seguita da un punto della circonferenza di una ruota di un veicolo che corre su un terreno senza slittare.

Tale curva viene chiamata **cicloide** (figura 1). Il punto di riferimento del movimento è fisso ed esterno alla ruota.

Una delle caratteristiche di ciascun punto della circonferenza durante la rotazione è di spostarsi, rispetto al centro della ruota, alternativamente da avanti a dietro e da dietro a avanti. Ogni giro dunque comporta un **cambio di verso**. Ciò non è senza conseguenze sulle distanze orizzontali percorse rispetto al verso.

Riprendiamo l'esempio della **figura 1** ma scegliamo arbitrariamente per punto di partenza la situazione in cui il raggio si trova orizzontale **davanti** al centro (**figura 2**).

esempio è stato ripreso da numerosi autori e in diversi articoli.

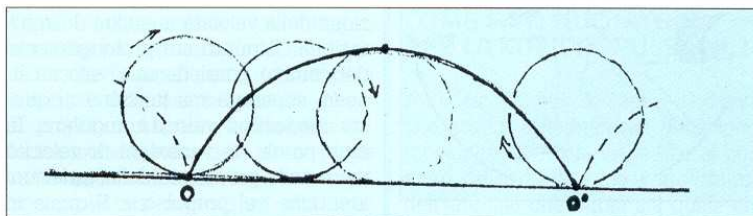


Figura 1 - La cicloide (curva generata da un punto della circonferenza).

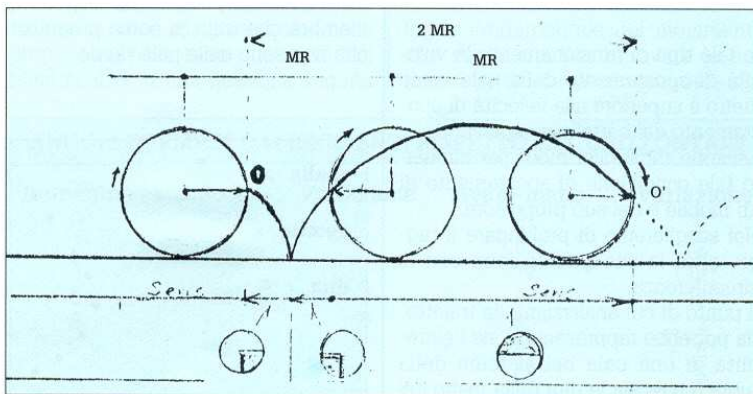


Figura 2 - Ancora la cicloide con origine O.

Facendo ruotare la ruota dapprima di un quarto di giro, possiamo osservare che il movimento del punto estremo del raggio sulla circonferenza **avanza e scende** fino ad entrare in contatto con il suolo allorché il raggio si trova sulla verticale.

Il secondo quarto di giro vedrà il punto fin qui citato continuare ad avanzare ma risalendo fino a posizionarsi all'orizzontale **dietro** il centro della ruota. Completando il giro, il punto continua ad avanzare, passando per il punto più alto della curva nel momento in cui il raggio ripassa sulla verticale dall'altra parte rispetto al centro, per poi ridiscendere avanzando fino al termine del giro dove il raggio si ritrova all'orizzontale davanti al centro.

Per conoscere di quanto è avanzato il punto è sufficiente proiettare l'intera traiettoria sull'asse orizzontale.

Si nota che nel primo mezzo giro il punto sulla circonferenza ha percorso soltanto una distanza uguale a $(3.14 R - 2R)$ mentre nel secondo mezzo giro ha percorso $(3.14 R + 2R)$. Il centro invece percorre ad ogni mezzo giro $(3.14 R)$.

Infine notiamo che in un giro intero il punto sulla circonferenza ha percorso, come il centro, $(2 \times 3.14 R)$.

Numerosi autori hanno voluto assimilare i movimenti di un nuotatore che lavora a braccia tese a quello della ruota a pale.

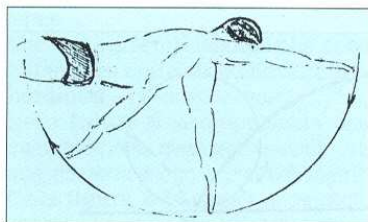


Figura 3 - Se il nuotatore usasse le braccia come una ruota a pale...

In tale tipo di funzionamento la velocità di spostamento delle pale verso dietro è superiore alla velocità di spostamento del battello verso avanti.

Esistono molteplici modi per simulare tale condizione di spostamento di un mobile e del suo propulsore.

Noi sceglieremo di prolungare il raggio oltre la sua intersezione con la circonferenza.

Il punto di cui analizziamo la traiettoria potrebbe rappresentare sia l'estremità di una pala nel sistema della ruota a pale sia le dita della mano del nuotatore.

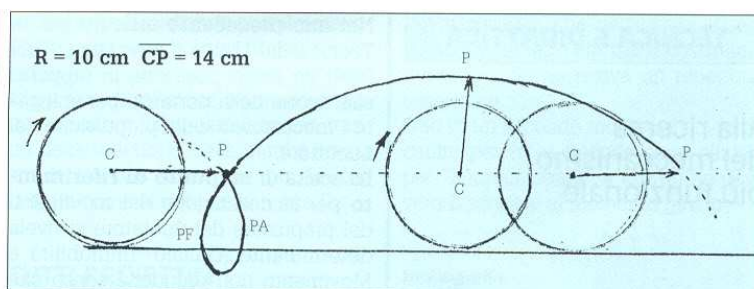


Figura 4 - Cosa succede quando la ruota "slitta" (ovvero la traiettoria di un punto P a distanza dal centro maggiore del raggio)...

La prima notazione che si impone (alla figura 4) riguarda la comparsa dell'**asola**...

Nell'esempio della ruota, la parte discendente della traiettoria si trova "dietro" rispetto alla parte ascendente. Qui invece viene a porsi "davanti".

Altra conseguenza, l'asola presenta un **punto più avanti (PA)** e simmetricamente un **punto più indietro (PF)** rispetto al punto fisso esterno.

Contro ogni previsione, le traiettorie subacquee delle mani del nuotatore sono molto simili a quelle del modello (respinto dai sostenitori della portanza) della ruota a pale accusata di proiettare una piccola quantità d'acqua per una grande distanza.

Come si vede, l'analogia resta molto o troppo superficiale. In questo primo modello, la velocità di spostamento del mobile è determinata dalla grandezza del raggio del cerchio in funzione della velocità angolare della rotazione. Il punto sul prolungamento del cerchio possiede una velocità lineare superiore ma funzione di questa medesima velocità angolare. In altre parole, le variazioni di velocità del mobile provocano delle variazioni identiche nel propulsore. Il quale in questo modello ancora non possiede delle accelerazioni proprie.

Invece l'uomo per nuotare dispone di membra che utilizza come propulsori che non sono delle pale rigide.

L'ORGANIZZAZIONE DEL PROPULSORE

Per superare la prima approssimazione del modello appena visto nel quale il membro superiore del nuotatore è rappresentato come un segmento unico la cui lunghezza era superiore al raggio, possiamo pensare ad un modello nel quale il segmento sarà costituito da elementi articolati tra loro.

L'uso delle articolazioni permette la trasformazione di un movimento rotativo (attorno a un centro) in un movimento lineare (all'estremità).

Spalla, gomito e polso costituiscono queste articolazioni nel membro superiore.

L'analisi delle traiettorie delle dita fa ormai parte delle conoscenze classiche offerte ai lettori di studi di biomeccanica.

Sono invece meno frequenti le immagini nelle quali sono rappresentate contemporaneamente le traiettorie percorse dalle altre articolazioni.

Ancor più rare quelle che associano a ciascuna fase la sua funzione specifica.

Nella **figura 5** le traiettorie delle dita sono rappresentate con delle "o", quelle del gomito con delle "x" e quelle della spalla con dei ".".

Le immagini sono state ricavate da uno studio immagine per immagine delle traiettorie delle articolazioni di una nuotatrice francese di livello na-

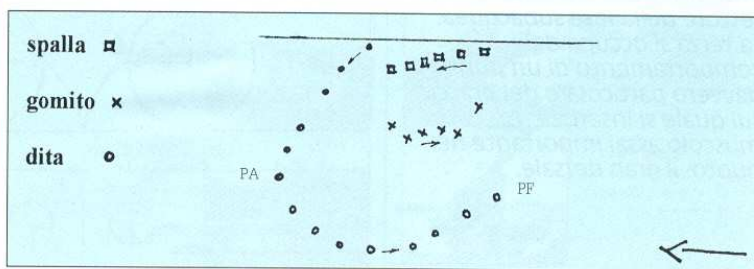


Figura 5 - Traiettorie della spalla, del gomito, delle dita.

zionale la quale doveva passare alla massima velocità davanti ad una telecamera fissa immersa. Frequenza delle immagini : 25 fotogrammi al secondo.

Per comprendere a fondo il processo propulsivo è utile costruire dei riferimenti sull'organizzazione dei differenti elementi articolati.

Metteremo in relazione i diversi punti che rappresentano le articolazioni a momenti diversi significativi della parte subacquea del ciclo.

Si constata che lo spostamento delle estremità delle dita e del gomito rispetto a quello della spalla si dirige in senso inverso. Cioè quando le mani si spostano da avanti a dietro, le spalle avanzano da dietro ad avanti.

I segmenti mano e avambraccio si situano praticamente in maniera permanente nel prolungamento l'uno dell'altro. A partire dal punto di riferimento (4) essi hanno la tendenza a verticalizzarsi. Il blocco di questi due segmenti in un unico riduce a due le possibili articolazioni "libere".

FORME E FUNZIONI

La scelta del punto di origine PA può sembrare arbitraria. Ma corrisponde alla fine della estensione dell'avambraccio sul braccio e si situa nel punto più avanti della traiettoria. Il nuotatore si trova in situazione "proiettile". Nelle immagini che seguono, si vede l'avambraccio flettersi sul braccio ma la mano si sposta verso dietro molto più rapida del gomito.

Il segmento propulsore (avambraccio-mano), che all'inizio è sul prolungamento del tronco, progressivamente si orienta perpendicolarmente al tronco. Tale momento corrisponde al punto (5).

Al punto di origine, la velocità e il senso dello spostamento della mano

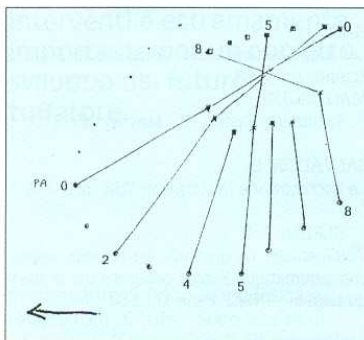


Figura 6 - L'organizzazione del braccio e dell'"avambraccio + mano".

sono gli stessi di quelli del corpo (cioè rispetto al corpo la mano è ferma).

Per poter esercitare una pressione sull'acqua il segmento propulsore non può restare in estensione. La traiettoria delle dita verso l'interno ne è la conseguenza più evidente. E la mano non è sufficiente per esercitare una pressione su una massa d'acqua che sia grande.

In una sua lezione all'INSEP di Parigi nel gennaio del 1994, Robert Schleihaufl trattava con ironia il ruolo dell'avambraccio dicendo all'auditorio che egli non sarebbe mai salito su un aereo le cui ali fossero state rotonde: è da sottolineare invece che l'avambraccio rappresenta una superficie notevole quando agisce solidale con la mano.

Come si vede nelle immagini è questo insieme che viene proiettato indietro in maniera violenta. Possiamo ritenere che **dalla immagine (5) alla (8) avviene l'essenziale della fase propulsiva.**

L'elevazione del gomito (e dunque delle dita) associata a uno spostamento del propulsore verso l'esterno del nuotatore, è la conseguenza del funzionamento limitato a due articolazioni (essendo il polso bloccato, N.d.T.) e del fatto che il braccio è inserito nella spalla cioè a distanza dal piano sagittale.

Non è ragionevole affermare che l'essenziale della propulsione si situi nella fase di risalita rapida della mano verso l'alto. L'acqua messa in movimento non offre più resistenza e facilita la risalita che fa ormai parte del recupero e non più della fase motrice.

E' proprio con questa favola della velocità molto elevata della mano (dove tuttavia la velocità viene misurata non proiettata rispetto ad una direzione ma nello spazio) che la teoria della portanza attribuisce un ruolo propulsivo a questa risalita.

La fase motrice comporta come nella propulsione sulla terra due sotto fasi identificabili in una flessione seguita

da una estensione (avambraccio-braccio).

LE VARIAZIONI ANGOLARI

Lo studio degli angoli realizzato sequenza per sequenza durante il movimento dei segmenti articolati tra loro e in rapporto all'orizzontale ci reca degli insegnamenti preziosi.

La **tabella 7** ci fornisce i valori misurati durante la fase motrice.

All'origine, braccio, avambraccio e mano si trovano su una stessa linea che forma con l'orizzontale un angolo molto prossimo ai 30°. Al termine dell'azione propulsiva essi formano invece con l'orizzontale un angolo di 160°.

Il recupero farà passare il braccio da 160° a 390° di cui 180° corrispondono al passaggio nell'aria e 50° hanno luogo dentro l'acqua.

Come è facile vedere la variazione tra ciascuna immagine (0.04 secondi) è caratterizzata dal crescere della velocità angolare seppur con due leggere rotture in 4 e 7.

L'organizzazione spaziale dell'avambraccio merita di essere analizzata nelle due sottofasi :

- da 0 a 5, dove varia di 56°
- da 5 a 8, dove varia solamente di 15°.

Non è evidente che si tratta di una superficie propulsiva?

COME FA IL NUOTATORE PER LA SUA PROPULSIONE?

All'inizio del secolo Marey scriveva: "Lo studio sperimentale della locomozione nell'acqua esige che si possano determinare sia i movimenti dell'animale che nuota sia quelli che imprime al liquido nel quale si muove.

Qui ritroviamo un riferimento alla legge fondamentale del movimento che vuole che per muovere la sua massa si debba poter prendere ap-

ANGOLI FORMATI DAI SEGMENTI RISPETTO ALL'ORIZZONTALE

Immagine	Braccio	Variazione	Avam-mano	Variazione
0	31°	0°	31°	0°
2	39°	8°	53°	22°
4	60°	21°	72°	19°
5	80°	20°	87°	15°
6	108°	28°	89°	2°
7	129°	21°	97°	8°
8	160°	31°	102°	5°

Figura 7 - (le misure degli angoli fanno riferimento alla Figura 6).

poggio su un'altra massa.
L'equazione $mv=m'v'$ resta valida anche nell'acqua. (*)

Fino ad ora l'attenzione del lettore non è stata ancora attirata su un elemento inedito ma essenziale.

Abbiamo insistito sul fatto che mentre la mano e il gomito si portano verso dietro, la spalla si sposta in avanti. Si potrebbe dunque credere che è attraverso la spalla che avviene la trasmissione della propulsione del corpo.

L'esistenza di un punto che resta fisso durante l'intera fase propulsiva e che è situato nella parte media del segmento braccio deve attirare tutta la nostra attenzione.

Chi conosce l'anatomia avrà riconosciuto in questo punto l'inserzione del gran dorsale sull'omero e il fatto che questa sia immobilizzata durante l'azione propulsiva significa che un'altra inserzione è certamente mobilizzata.

Questa osservazione concorda con la grande mobilizzazione delle anche nelle gare di velocità. Inoltre essa dà un senso alla formulazione del sottotitolo dell'articolo di Bob PRICHARD uscita in Swimming Technique di maggio-luglio 1993: "I nuotatori generano la propria propulsione dalle anche", articolo che ha fatto riflettere tecnici e allenatori.

Le azioni delle braccia realizzano una dinamica di stabilizzazioni successive che costituiscono una serie di ancoraggi a partire dai quali il corpo è tirato avanti.

Sapendo inoltre che i muscoli ottenendo la loro massima potenza quando agiscono perpendicolarmente all'osso che mobilizzano, non saremo stupiti di vedere l'azione del gran dorsale compiersi mentre la leva si

avvicina all'asse di trazione del muscolo.

La distribuzione delle azioni delle gambe, in apparenza senza regole, prova la loro subordinazione permanente alle conseguenze di queste trazioni; le gambe hanno per funzione di assicurare il mantenimento dello stato tonico assiale senza il quale le azioni propulsive perdono la loro efficacia.

L'azione delle gambe ha il compito di riallineare il corpo.

L'ARGOMENTAZIONE COMPLEMENTARE

Mi sembra assai utile presentare le immagini di un nuotatore di livello mondiale per far comprendere la differenza essenziale che vi è tra i movimenti del nuotatore (che sono quelli che egli realizza e sente) e quel che questi movimenti diventano quando lo spostamento simultaneo del corpo e del propulsore vengono filmati con una telecamera fissa immersa.

Dapprima si è filmato il nuotatore che passava alla sua massima velocità davanti all'obiettivo della telecamera fissa (tratto continuo).

Quindi si è fissato il nuotatore con un cavo e si è nuovamente filmato mentre cercava di nuotare alla massima potenza.

L'analisi video delle immagini del nuotatore fermo prese con la telecamera posta alla stessa distanza è rappresentata dalle tracce punteggiate.

Sono le tracce punteggiate (e NON la traccia "in continuo") che forniscono la traiettoria dei movimenti del nuotatore.

CONCLUSIONI

Per molti anni le nostre conoscenze relative alla propulsione del nuotatore sono state deviate perché certe immagini nate dal progresso tecnologico si sono sostituite a quelle che ci erano più familiari.

Il progresso da compiere nelle nostre conoscenze sul nuoto dovrà moltiplicare le nostre analisi fornendoci altri modelli della realtà.

"Trattare un fatto secondo la sua natura, vuol dire confrontarlo a tutti i sistemi ai quali si può, volta a volta, metterlo in rapporto per definirlo e spiegarlo". (**)

E' nella nostra capacità di mettere in relazione e non nella scelta di uno tra questi che affineremo la conoscenza del reale.

NOTE

(*) m rappresenta la massa del corpo attivo, v la sua velocità; m' rappresenta la massa di appoggio e v' la velocità comunicata alla massa di appoggio. Nella locomozione a terra la massa di appoggio è praticamente infinita la velocità v' è praticamente nulla.

(**) Wallon H. Les Origines du Caractère chez l'Enfant PUF 1954

Bibliografia

CATTEAU R.
Observer la natation autrement in DIRE n.42
Quand on n'a plus les pieds sur terre in SPA n. 3/1993
Quand l'engin n'a plus les roues sur terre in SPA n. 4/1993
Les Principes de l'action de nager in SPA 06 e 07/1993
Sempre Galileo in DIRE n.49 e 50 /1994
Lift o Drag in TdN n.2/1994
Géométrie de la Technique in DIRE n.52 /1994

GASC J.P.
Les Déplacements des Vertébrés in Pour la Science n.7/1989
MAGLISCHO
E. Swimming Faster ed. Mayfield 1982

SALVADORI G.
La Locomozione in Acqua in TdN n.1/1994

SCHLEIHAUF R.
Conférences: La gestuelle du Nageur, approche cinématique Forces générées par la main du nageur INSEP Paris 17.01.94.

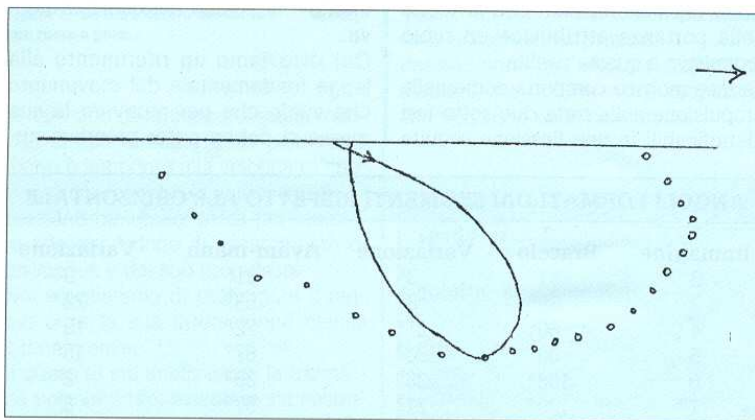


Figura 8 - (punteggiata la traiettoria del nuotatore in movimento, continua quella del nuotatore tenuto). Notare la maggiore densità di punti nella prima parte della bracciata (+ lenta).